

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AA1050 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ BİLYALI DÖVME
SONRASI MEKANİK DAVRANIŞLARININ, YÜZEY
MORFOLOJİLERİNİN VE YÜZEY TOPOGRAFYALARININ
İNCELENMESİ

BERKER BALA

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AA1050 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ BİLYALI DÖVME
SONRASI MEKANİK DAVRANIŞLARININ, YÜZEY
MORFOLOJİLERİNİN VE YÜZEY TOPOGRAFYALARININ
İNCELENMESİ

BERKER BALA

Doç. Dr. Egemen AVCU

Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Abdulkadir CENGİZ

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Cihan KABOĞLU

Jüri Üyesi, Bursa Teknik Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.01.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.



Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.



Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Berker BALA

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/~~projemin~~ tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/~~projemin~~ tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezim/~~projemin~~ kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/~~projemin~~ tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim,

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/~~projemin~~ erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir,
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/~~projem~~ ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Berker BALA

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Saf veya yüksek saflıkta metal alaşımlarının mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin yenilikçi teknolojiler yardımıyla geliştirilerek, bu malzemelerin yorulma, mühendislik dayanımı, yüzey sertliği vb. performans özelliklerinin iyileştirilmesi önemli ve güncel bir araştırma konusudur. Bu alaşımların kimyasal kompozisyonlarını değiştirmeden, mikroyapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla bilyalı dövme gibi bazı plastik deformasyon yöntemlerinin kullanıldığı bilinmektedir.

Literatür incelendiğinde, alüminyum alaşımı olan AA1050 alaşımının, bilyalı dövme işlemi sonucunda değişen mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi ile ilgili çalışmaların henüz yeterli seviyeye ulaşmadığı belirlenmiştir. Çalışmada, üniversitemiz tarafından daha önce desteklenen araştırma projesi (2017/049) ile imal edilmiş, özel tasarım otomatik kontrollü bilyalı dövme sistemi ile AA1050 alüminyum alaşımı numuneleri farklı bilyalı dövme parametreleri kullanılarak dövülmüştür. Ardından bilyalı dövme sonrasında değişen mekanik özellikler çekme testi uygulanarak incelenmiştir. Kırılma yüzeyinin analizleri ve yüzey morfolojisi incelenerek malzemedeki mikroyapısal değişimler araştırılmıştır. Ayrıca bilyalı dövülen numunelerin yüzey morfolojileri ve topografileri taramalı elektron mikroskobu ve profilometre kullanılarak irdelenmiştir. Böylece bilyalı dövülmüş malzemelerin yüzey morfoloji ve topografi özellikleri ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmıştır. Çalışmalar neticesinde gerek bilimsel gerekse endüstriyel çalışmalar için bilyalı dövmenin, özellikle düşük mekanik özelliklere sahip yüksek saflıkta metal alaşımlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

Yüksek lisans eğitimimde tanışma fırsatına nail olduğum ve ilk andan itibaren her zaman desteğini hissettiğim danışman hocam Doç. Dr. Egemen AVCU'ya teşekkürlerimi sunarım. Bilgisinin ışığında yürüdüğüm bu yolun en başında tarafıma göstermiş olduğu anlayış olmadan bu çalışma mümkün olamazdı.

Bütün deney sürecimin gerek kurgu gerekse uygulama aşamasında desteğini esirgemeyen, yönlendirmeleri ve olumlu enerjisiyle çıkan her sonuca rağmen süreci pozitif kılan hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin YILDIRAN AVCU'ya sağladığı motivasyon için teşekkürlerimi sunarım. Tezimin yanı sıra bütün çalışmalarım bana destek olan, özellikle yazma sürecinin her satırında kurulan cümleler ile birlikte beni de şekillendiren Dr. Öğr. Üyesi Fikret SÖNMEZ'e göstermiş olduğu ilgi ve alaka için teşekkürlerimi sunarım. Optik profilometre ve taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilen çalışmalarda yardımları için Arş. Gör. Dr. Eray ABAKAY'a teşekkürlerimi sunarım. Deneylerimi gerçekleştirirken her zaman destek olan, görevlerimi görevi gibi gören ve tez süreci boyunca deneyimleri ile deneylerime sahip çıkan sıra arkadaşım Emirhan ÇALIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Bana emek verip bugünlere gelmemi sağlayan, yüksek lisans sürecimi de hayatımdaki her aşamada olduğu gibi yakinen takip eden babam Mehmet Veyis BALA'ya ve abim İsmail Berkan BALA'ya teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte çok değerli eşim Yeliz Baran BALA'ya göstermiş olduğu sabır ve anlayış için teşekkürlerimi sunarım.

Ocak-2023

Berker BALA

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI	2
2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	2
2.1.1. Dökme Alüminyum Alaşımları	3
2.1.2. Dövme Alüminyum Alaşımları	3
2.1.3. AA1050 Alüminyum Alaşımı	5
2.2. Bilyalı Dövme.....	5
2.3. Dövülen Malzemelerin Makro Mekanik Özellikleri	8
2.4. Dövülen Malzemelerin Mikro Mekanik Özellikleri	16
3. MALZEME VE METOT.....	22
3.1. Malzeme	22
3.1.1. AA1050 Alüminyum Alaşımının Hazırlanması.....	22
3.1.2. Bilyalar	23
3.2. Metot	23
3.2.1. Bilyalı Dövme	24
3.2.2. Çekme Testi.....	25
3.2.3. Kırılma (Fraktografi) Analizi	26
3.2.4. Yüzey Pürüzlülük Haritalaması.....	27
3.2.5. Yüzey Morfolojisi	28
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	29
4.1. Çekme Testi Sonuçları	29
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü ve Topografyası.....	34
4.3. Yüzey Morfolojileri.....	37
5. SONUÇLAR.....	42
KAYNAKLAR.....	44
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Dövme alüminyum alaşımları ve gösterimleri	4
Şekil 2.2.	Malzeme yüzeyine uygulanan bilyalı dövme yöntemi.....	7
Şekil 2.3.	Bilyalı dövülen Almen şeridine ait sehimin ölçülmesi	7
Şekil 2.4.	İşlem görmemiş, bilyalı dövülmüş ve farklı parametrelerde lazer dövülmüş AA2195 alüminyum alaşımının gerinme değerleri DIC yöntemi ile gerinim haritaları.....	12
Şekil 2.5.	2060-T8 alüminyum alaşımının dövme öncesi SEM-EBSD görüntüleri (a, c) ve dövme sonrası (b, d) SEM-EBSD görüntüleri	13
Şekil 2.6.	a) AA7050 alüminyum alaşımı ve b) 316L paslanmaz çeliğe uygulanan lazer şok dövme sonrası akma ve çekme mukavemetleri	13
Şekil 2.7.	17-4 paslanmaz çeliğin yöntemlere göre mikro sertlik davranışı.....	15
Şekil 2.8.	Saf bakıra uygulanan bilyalı dövme süresinin mekanik özelliklere etkisi ...	15
Şekil 2.9.	AZ31 magnezyum alaşımına uygulanan bilyalı dövme yönteminin parametrelerinin etkisi a) basınc etkisi, b) zamanın etkisi, c) bilya çapı etkisi.....	16
Şekil 2.10.	DD6 nikel alaşımının bilyalı dövme sonrası P-h grafiği.....	19
Şekil 2.11.	İnce taneli düşük alaşımlı çelik malzemeye uygulanan bilyalı dövme işlemi sonrasında elde edilen; a-c) derinliklere göre P-h grafikleri, d) indentasyon sertliklerinin karşılaştırılması	20
Şekil 3.1.	AA1050 alüminyum alaşımı test parçalarının boyutları	23
Şekil 3.2.	S60 paslanmaz çelik bilyaların SEM görüntüsü	24
Şekil 3.3.	Çalışma akış şeması.....	24
Şekil 3.4.	Bilyalı dövme cihazı.....	25
Şekil 3.5.	Çekme cihazı	26
Şekil 3.6.	Kırılma yüzeyinin analizi a) mikro ölçekli, b) makro ölçekli	27
Şekil 3.7.	Optik profilometre (Huvitz)	28
Şekil 4.1.	Çekme testi sonuçları	29
Şekil 4.2.	Çekme testi verileri kullanılarak hesaplanan a) mekanik dayanımlar, b) yüzde uzama değerleri, c) rezilyans değerleri ve d) tokluk değerleri.....	30
Şekil 4.3.	Kırılma yüzeyleri düşük ölçekli büyütme değerinde a) işlem görmemiş numune, b) 1 barda dövülmüş numune, c) 5 barda dövülmüş numune.....	32
Şekil 4.4.	Kırılma yüzeyleri orta ölçekli büyütme değerinde a) işlem görmemiş numune, b) 1 barda dövülmüş numune, c) 5 barda dövülmüş numune	32
Şekil 4.5.	Kırılma yüzeyleri yüksek ölçekli büyütme değerinde a) işlem görmemiş numune, b) 1 barda dövülmüş numune, c) 5 barda dövülmüş numune.....	33
Şekil 4.6.	Konik çanak kırılma	33
Şekil 4.7.	a) 1 barda ve b) 5 barda bilyalı dövülmüş numunelerin alansal pürüzlülük değerleri	34
Şekil 4.8.	a) 1 barda ve b) 5 barda bilyalı dövülmüş numunelerin yüzey topografyaları.....	35
Şekil 4.9.	a) 1 barda ve b) 5 barda bilyalı dövülmüş numunelerin 3b topografya haritaları	36
Şekil 4.10.	İşlem görmemiş numunenin yüzey mikroyapısı a)100X, b)1000X, c) 1000X büyütme oranlarında	37

Şekil 4.11. 1 barda bilyalı dövülmüş numunenin yüzey mikroyapısı a)100X, b)1000X, c) 1000X büyütme oranlarında	38
Şekil 4.12. 5 barda bilyalı dövülmüş numunenin yüzey mikroyapısı a)100X, b) 250X, c) 1000X büyütme oranlarında	38
Şekil 4.13. 1 barda bilyalı dövülen numunenin yüzeyine saplanan bilya parçaları	39
Şekil 4.14. 5 barda bilyalı dövülen numunenin yüzeyine saplanan bilya parçaları	40



TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Alüminyuma ait mekanik özellikler	2
Tablo 2.2. Dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	3
Tablo 2.3. Dövme alüminyum alaşımlarına uygulanan ve mekanik özellikleri geliştiren yöntemler	4
Tablo 2.4. AA1050 alaşımının ağırlıkça kimyasal kompozisyonu	5
Tablo 2.5. AA1050 alaşımının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri	5
Tablo 2.6. Bilyalı dövme şiddetlerine karşılık gelen sehım değerleri	8
Tablo 2.7. Literatürde yer alan makro mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ve sonuçları	8
Tablo 2.8. Literatürde yer alan mikro mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ve sonuçları	17
Tablo 3.1. AA1050 alüminyum alaşımının yüzde kimyasal kompozisyonu	22
Tablo 3.2. AA1050 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	22
Tablo 3.3. S60 Chronital bilyaların kimyasal ve fiziksel özellikleri	23
Tablo 3.4. Bilyalı dövme yöntem parametreleri.....	25

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Fe	: Demir
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Sn	: Kalay
Zn	: Çinko
MPa	: Megapaskal
J	: Joule
m ³	: Metreküp
cm	: Santimetre
µm	: Mikrometre
Mm	: Milimetre
s	: Saniye
kV	: Kilovolt
GW	: Gigawatt
R _a	: Ortalama çizgisel pürüzlülük
Sa	: Ortalama alansal pürüzlülük

Kısaltmalar

AA	: Aluminium Alloy (Alüminyum Alaşımı)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
BSE	: Backscattered electron (Geri Saçılımlı Elektron)
DIC	: Digital Image Correlation (Dijital Görüntü Korelasyonu)
EDS	: Energy Dispersive Spectroscopy (Enerji Dağılım Spektroskopisi)
EKAP	: Eş Kanallı Açısal Presleme
HV	: Hardness Vickers (Vickers Sertliği)
ITAB	: Isıl Tesir Altındaki Bölge
SAE	: Society of Automobile Engineers (Otomotiv Mühendisleri Derneği)
SE	: Secondary Electron (İkincil Elektron)
SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)

AA1050 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ BİLYALI DÖVME SONRASI MEKANİK DAVRANIŞLARININ, YÜZEY MORFOLOJİLERİNİN VE YÜZEY TOPOGRAFYALARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Saf veya yüksek saflıkta metal alaşımlarının mekanik özelliklerinin (mukavemet, sertlik, yorulma direnci vb.) genel olarak yetersiz olduğu bilinmektedir. Bu durum mekanik özelliklerin önem arz ettiği uygulamalarda (örneğin otomotiv, makine, havacılık ve biyomedikal endüstrileri) bu alaşımların kullanımını önemli ölçüde sınırlamaktadır. Saf veya yüksek saflıkta metal alaşımlarının mekanik özelliklerin geliştirilmesi ve/veya eksikliklerin giderilmesi amacıyla plastik deformasyon yöntemlerinin kullanıldığı bilinmektedir. Bilyalı dövme, bir plastik deformasyon yöntemi olarak uygulandığı malzemenin mikroyapısal ve mekanik özelliklerinde birtakım değişikliklere neden olan mekanik bir yüzey işlemidir. Tez çalışmasında ticari olarak saf olarak nitelendirilen ve düşük mekanik dayanıma sahip AA1050 alaşımının çekme davranışına bilyalı dövmenin etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak AA1050 alaşımı numuneler 1 bar ve 5 bar basınçlarla %100 örtme oranı ile dövülmüştür. Bilyalı dövülen yüzeylerin yüzey morfolojisi ve topografyasının incelenmesi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik profilometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sonrasında farklı dövme parametreleri ile bilyalı dövülen numuneler ile dövülmemiş numunelere çekme testi uygulanmış ve mühendislik gerilim-gerinim eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıca elde edilen veriler doğrultusunda numunelere ait yüzde uzama, rezilyans ve tokluk değerleri hesaplanmıştır. Çekme testleri sonrası kırılan yüzeylerin makro ve mikro ölçekli görüntüleri alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; bilyalı dövme ile numune yüzeylerinde plastik deformasyon olduğu, bilya püskürtme basıncının artması ile deformasyon şiddetinin arttığı ve çatlakların olduğu belirlenmiştir. Yüzey topografyası incelemelerinde, bilyalı dövme ile ortalama alansal pürüzlülük değerlerinde artış gerçekleştiği ve püskürtme basıncının artması ile yüzeyde plastik deformasyona bağlı oluşan tepelerin yüksekliğinde ve çukurların derinliğinde artış gerçekleştiği analiz edilmiştir. Bilyalı dövülen numunelerin akma ve çekme dayanımları bilya püskürtme basıncı ile artış göstermiştir. 5 bar püskürtme basıncında bilyalı dövme sonrası akma ve çekme dayanımlarında sırasıyla %6,3 ve %15 artış gerçekleşmiştir. Tokluk değeri 1 bar püskürtme basıncında %7,9 artış göstermiştir. Fraktografi analizlerinde tüm numunelerde konik kırılma şeklide kırılma yüzeylerinin olduğu ve sünek kırılmanın gerçekleştiği anlaşılmıştır. Sonuç olarak bilyalı dövme işleminin farklı ticari saflıktaki metallerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA 1050 Alaşımı, Bilyalı Dövme, Çekme Testi, Kırılma, Yüzey Morfolojisi, Yüzey Topografyası.

INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOR, SURFACE MORPHOLOGIES AND SURFACE TOPOGRAPHIES OF AA1050 ALUMINUM ALLOY AFTER SHOT PEENING

ABSTRACT

It is well acknowledged that the mechanical properties (strength, hardness, fatigue resistance, etc.) of pure or high purity metal alloys are insufficient. This severely restricts their use in applications where mechanical properties are essential (e.g. automotive, machinery, aerospace, and biomedical industries). It is well known that plastic deformation techniques are utilized to improve the mechanical properties of pure or high-purity metal alloys and/or eliminate defects. As a method of plastic deformation, shot peening is a mechanical surface treatment that alters the microstructure and mechanical properties of materials. In the thesis study, it is aimed to examine the influence of shot peening on the tensile behaviour of AA1050 alloy, which is known as commercially pure aluminium alloy and has low strength. In this direction, AA1050 alloy samples were shot peened with 100% coverage at 1 bar and 5 bar pressures. The surface morphology and topography of shot peened surfaces were examined using a scanning electron microscope (SEM) and an optical profilometer. The shot peened samples were then subjected to tensile testing, and engineering stress-strain curves were obtained. In accordance with the obtained data, the elongation, resilience, and toughness values of the samples were also calculated. Following the tensile tests, macro and micro images of the fractured surfaces were captured. It was determined that shot peening caused plastic deformation on the sample surfaces, that the intensity of the deformation increased with increasing shot pressure, causing crack formation. In surface topography analyses, it was determined that the mean areal roughness values increased with shot peening, where the height of the peaks and the depth of the valleys increased with the increase in shot pressure. With increasing shot pressure, the yield and tensile strengths of the shot peened samples increased. The yield and tensile strengths increased by 6.3 % and 15 %, respectively, after shot peening at 5 bar shot pressure. The toughness value increased by 7.9 % at 1 bar shot pressure. Fracture surfaces were conical, and all samples had ductile fracture, as determined by fractography analysis. As a result, it has been found that the shot peening method can be utilized to improve the mechanical properties of a variety of commercially pure metals.

Keywords: AA1050 Alloy, Shot Peening, Tensile Test, Fracture, Surface Morphology, Surface Topography.

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok mühendislik alanında farklı mekanik özelliklere (mukavemet, elektrik iletkenliği, ısı ve optik özellikler) sahip malzemeler mühendislik uygulamalarının gereksinimleri doğrultusunda çeşitli teknikler kullanılarak geliştirilmektedir. Bu tekniklerin çeşitliliğinin sebebi malzeme gruplarının farklı özelliklerde ve davranışlarda olmasından kaynaklanmaktadır. Her yöntem ve tekniğin etkisi, etkinliği, pratikliği ve maliyeti farklılık gösterdiği için doğru yöntemin seçilmesi çok önemlidir. Teknolojik ihtiyaçlar doğrultusunda saf ve safa yakın malzemelerin sahip olduğu olumlu özelliklerin (elektrik iletkenliği, korozyon direnci vb.) korunarak mevcut dayanımlarının geliştirilmesi ve ilave teknik nitelikler kazandırılması güncel bir araştırma konusudur.

Saf ve safa yakın alaşımların kimyasal kompozisyonlarını değiştirmeden mikroyapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla bilyalı dövme gibi bazı plastik deformasyon yöntemlerinin kullanıldığı bilinmektedir. Bununla birlikte literatür çalışmalarında, bilyalı dövme işlemi sonucunda malzemelerin değişen mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi ile ilgili çalışmaların henüz yeterli seviyeye ulaşmadığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, özel tasarım otomatik kontrollü bilyalı dövme sistemi ile AA1050 alüminyum alaşımı numunelerinin farklı bilyalı dövme parametreleri altında dövülmesi gerçekleştirilmiştir. Ardından bilyalı dövme sonrasında değişen mekanik özellikler gerilim-gerinim eğrileri ile incelenmiştir. Bu kapsamda bilyalı dövülen AA1050 alaşımının mekanik dayanım, yüzde uzama, rezilyans ve tokluk değerleri gibi mekanik davranışları detaylı olarak incelenmiş ve çekme testi sonrası kırılma yüzeylerindeki davranış taramalı elektron mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca bilyalı dövme sonrası yüzey topografisi değişimleri optik profilometre yardımıyla analiz edilerek iki ve üç boyutlu yüzey haritaları oluşturulmuştur. Bilyalı dövme sonrası yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak detaylı olarak irdelenmiştir. Böylelikle bilyalı dövülmüş malzemelerin mikroyapısal özellikleri ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler neticesinde gerek bilimsel gerekse endüstriyel çalışmalar için bilyalı dövmenin, özellikle düşük mekanik özellik gösteren yüksek saflıkta metal alaşımlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

Günümüzde mühendislik malzemelerinin mekanik dayanımları çeşitli yöntemlerle geliştirebilmektedir. Bu yöntemlerden plastik deformasyon yöntemleri malzemelerin dayanımını arttırmada etkin olarak kullanılmaktadır. Bilyalı dövme yöntemi de bu yöntemlerden birisidir. Bu yöntemin temelinde, malzemenin yüzey ve yüzey altından belirli bir derinliğe kadar tane boyutlarının incilmesi ve/veya dislokasyon hareketlerinin sınırlandırılması /yoğunlaştırılması sonucunda malzemenin mukavemetinin geliştirilmesi bulunmaktadır (Bagheri ve Guagliano, 2009).

Saf ve safa yakın malzemelerin kendine has temel özelliklerinin başında elektrik iletkenliği ve yüksek korozyon direnci gelmektedir. Bu malzemelerin temel özelliklerini bozmadan özellikle mekanik özelliklerinin geliştirilmesi önemli bir araştırma alanıdır. Özellikle ticari saflıkta alüminyum alaşımlarının belli sektörlerde yüksek kullanım oranı bu alaşımların araştırılmasına yönelik çalışmaları arttırmaktadır (Georgantzia ve diğ., 2021).

2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum dünya üzerinde en çok bulunan metalik bir elementtir. Doğada saf olarak bulunmayan alüminyum, boksit cevherinden elde edilmektedir. Genel olarak 4 ton boksit cevherinden 2 ton alümina elde edilmekte olup, 2 ton alüminadan da 1 ton alüminyum elde edilmektedir. Alüminyum malzemelerin korozyona karşı dirençli, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması, kolay şekil alması ve düşük ağırlığa sahip olması genel karakteristik özellikleridir (Kvackaj, 2011; Lumley, 2010).

Alüminyumun özgül ağırlığı teorik $2,70 \text{ g/cm}^3$ ve deneysel olarak ise $2,61 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Bu değerler çeliklerle karşılaştırıldığında çeliklere göre daha hafif olduğu görülmüştür (üçte bir oranında) (Cayless, 2013). Alüminyum malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 2.1'de yer almaktadır.

Tablo 2.1. Alüminyuma ait mekanik özellikler (Cayless, 2013)

Özgül Ağırlık (g/cm^3)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
2,70	50,25	66,71	27,8	42

Günümüzde 300’den fazla alüminyum alaşımı bulunmakta olup genel üretim yöntemleri dövme ve dökme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Kaufman ve Rooy, 2004).

2.1.1. Dökme Alüminyum Alaşımları

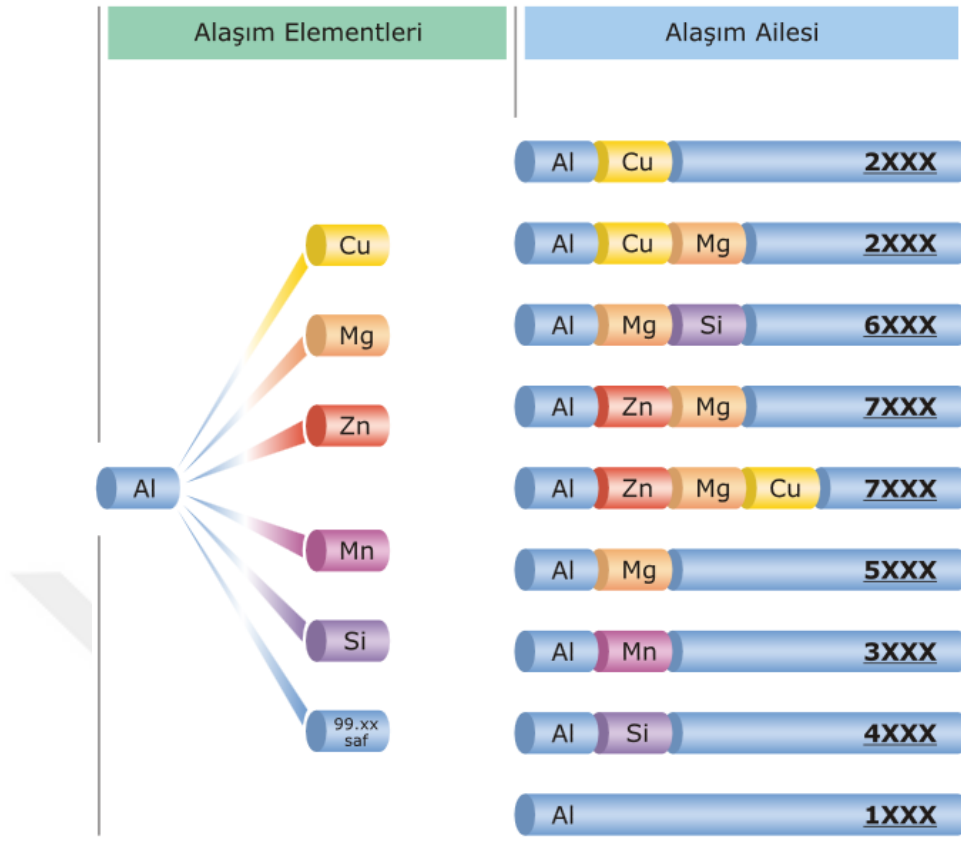
Dökme alüminyum alaşımlarının gösteriminde üç basamak ve bir ondalık basamak kullanılmaktadır. Bu gösterimde kullanılan ilk hane ana alaşım elementine göre belirlenmektedir. Devamında yer alan iki sayı özel alaşım tanımlamasını belirtmekte olup ondalık kısım ise alaşımının üretimindeki dökümün kalitesini belirtmektedir. Döküm alaşımlar (0), hurdadan elde edilen alüminyum ingotlar (1) ve birincil alüminyum ingotlardan üretilen alaşımlar (2) olmak üzere ondalık hanesi 0, 1 ve 2 rakamlar ile tanımlanır (Mazzolani, 1994). Dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması ve içerisinde yer alan alaşım elementleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Dökme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması (Rambabu ve diğ., 2017)

Dökme Alüminyum	Alaşım İçeriği
1XX.X	Al
2XX.X	Cu
3XX.X	Al-Si+Mg/Cu
4XX.X	Si
5XX.X	Mg
6XX.X	Kullanılmıyor
7XX.X	Zn
8XX.X	Sn
9XX.X	Kullanılmıyor

2.1.2. Dövme Alüminyum Alaşımları

Alüminyum, mühendislik ihtiyaçlarına bağlı olarak farklı elementlerle alaşımlar oluşturmaktadır. Dövme alüminyum alaşımların sınıflandırılmasında alaşım içerisinde bulunan alaşım elementleri dikkate alınmaktadır. Bu alaşım elementleri bakır, magnezyum, silisyum, çinko ve manganezdır (Odabaş, 2007; Rambabu ve diğ., 2017). Dövme alüminyum alaşımlarının gösteriminde Şekil 2.1’de gösterildiği gibi dört rakamlı sistem kullanılmaktadır. Dövme alüminyumlar ısıtıl işlemler veya pekleşme ile mekanik özellikleri geliştirilebilir (Tablo 2.3) (Davis, 1993; Rambabu ve diğ., 2017).



şekil 2.1. Dövm alüminyum alaşımları ve gösterimleri (Odabaş, 2007)

1XXX serisi alüminyum alaşımları ticari alanda saf olarak nitelendirilen alaşımlardır. Sondan iki rakam alüminyum alaşımının yüzde kaç saf olduğunu belirtir. AA1050 alüminyum alaşımı %99,5 saflıkta, sık kullanılan ve ticari saflıkta bir alüminyum alaşımıdır (Cayless, 2013; Davis, 1993, 1999).

Tablo 2.3. Dövm alüminyum alaşımlarına uygulanan ve mekanik özellikleri geliştiren yöntemler (Davis, 1993; Rambabu ve diğ., 2017)

Dövm Alüminyum Alaşımları	Alaşım İçeriği	Uygulanabilen Yöntem
1XXX	Al	Pekleşme
3XXX	Al-Mn	Pekleşme
4XXX	Al-Si	Pekleşme
5XXX	Al-Mg	Pekleşme
8XXX	Al-Fe, Al-Fe-Ni	Pekleşme
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırma, Pekleşme
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırma, Pekleşme

Tablo 2.3. (Devam) Dövm alüminyum alaşımlarına uygulanan ve mekanik özellikleri geliştiren yöntemler (Davis, 1993; Rambabu ve diğ., 2017)

7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırma, Pekleşme
8XXX	Al-Sn	Yaşlandırma, Pekleşme

2.1.3. AA1050 Alüminyum Alaşımı

AA1050 alüminyum alaşımları iyi korozyon direnci ve yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, oldukça iyi yüzey yansıtmasına sahip olmasıdır. Aynı zamanda yüksek sünekliğe sahip olan bu alaşımın mekanik dayanımı oldukça düşüktür. %99,5 saflıkta olan alaşımın kimyasal kompozisyonu Tablo 2.4’ te yer almaktadır (URL-1, 01.07.2022).

Tablo 2.4. AA1050 alaşımının ağırlıkça kimyasal kompozisyonu (URL-1, 01.07.2022)

Elementler	Mn	Fe	Cu	Mg	Si	Zn	Ti	Al
İçerik (%)	0-0,05	0-0,4	0-0,05	0-0,05	0-0,05	0-0,07	0-0,05	99,5

Ticari olarak temin edilen ve herhangi bir işleme tabi tutulmayan AA1050 alaşımının mekanik özelliklerine ait bilgiler Tablo 2.5.’te yer almaktadır. Tablo 2.5. incelendiğinde alaşımın mekanik dayanımının diğer alüminyum alaşımlarına kıyasla düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle AA1050 alaşımının kullanım günümüz endüstrilerinde kimyasal uygulamaların ekipmanlarında, egzotermik kimyasal tozlarda, lamba reflektörleri, gıda endüstrisine ait konteynerlerde, kablo sarımlarının dış zar kaplamalarında kullanılmaktadır (URL-1, 01.07.2022).

Tablo 2.5. AA1050 alaşımının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri (URL-1, 01.07.2022)

Mekanik Özellikler	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama	Sertlik (HB)
Değerler	85	100	%12	34

2.2. Bilyalı Dövme

Bilyalı dövme yöntemi plastik deformasyon yöntemlerinden biridir. Bu yöntem temelde basınçla gönderilen bilyaların malzeme yüzeyine çarptırılması sonucu malzeme yüzeyi ve yüzey altı mikroyapısında birtakım değişikliklere sebep olur. Bu mikroyapısal değişiklikler malzemenin mekanik özelliklerinde de değişikliklere neden olmaktadır. Genel olarak metal ve alaşımlarına uygulanan bu yöntem sonucunda yüzey ve yüzey altı sertliğinde artış görülmektedir. Ayrıca bu yöntem ile kalıntı basma gerilmesi

oluşturulduğundan mikro çatlakların büyümesi engellenir ve bu sayede uygulanan malzemenin yorulma direncinde gelişim sağlanmaktadır (Azar ve diğ., 2010).

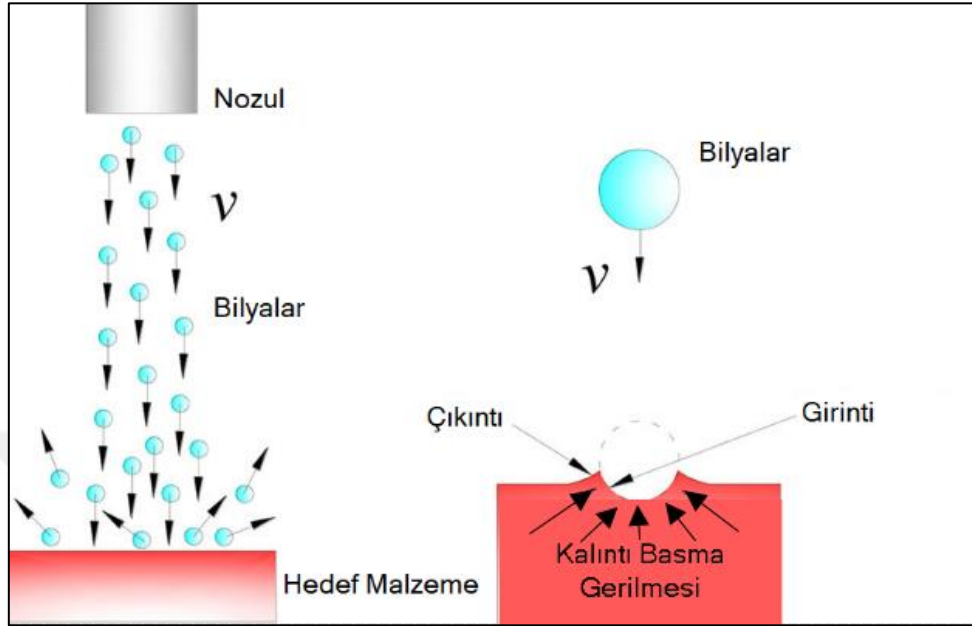
Bilyalı dövme yöntemi basınç, ilerleme hızı, nozul mesafesi gibi birçok parametreden etkilenmektedir (Jamalian ve Field, 2019). Bununla birlikte temel olarak basınçlı hava yardımıyla yüzeye uygulanacak bilyaların malzemesi ve boyutları uygulamalarda farklılık gösterebilir. Ayrıca seçilen bilyalar uygulanacağı yüzeye farklı örtme oranlarında uygulanabilir. Bu değişkenler de yöntemin parametrelerindendir (Jamalian ve Field, 2019; Maawad, 2013).

Yüzeyine bilyalı dövme işlemi uygulanan malzemelerin yüzey pürüzlülüğü genel olarak artmaktadır. AlMangour ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada eklemeli imalat ile üretilen paslanmaz çelik malzemeye uygulanan bilyalı dövme işleminin pürüzlülük değerini iyileştirdiği tespit edilmiştir (AlMangour ve Yang, 2016). Bu çalışmanın dışında Rodopoulos ve arkadaşlarının bilyalı dövdüğü 2024 alüminyum alaşımında ise yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki değişim uygulama süresine ve işlem öncesi yüzey pürüzlülük değerlerine göre farklılık göstermektedir (Rodopoulos ve diğ., 2003).

Bilyalı dövme yöntemi Şekil 2.2’de şematik olarak gösterilmiştir. Nozuldan basınçlı şekilde gönderilen bilyalar malzeme üzerine hızlıca çarparak deformasyon yaratmaktadır (Avcu ve diğ., 2021; Eckersley, 1990; Kumar ve diğ., 2013; Luo ve diğ., 2017).

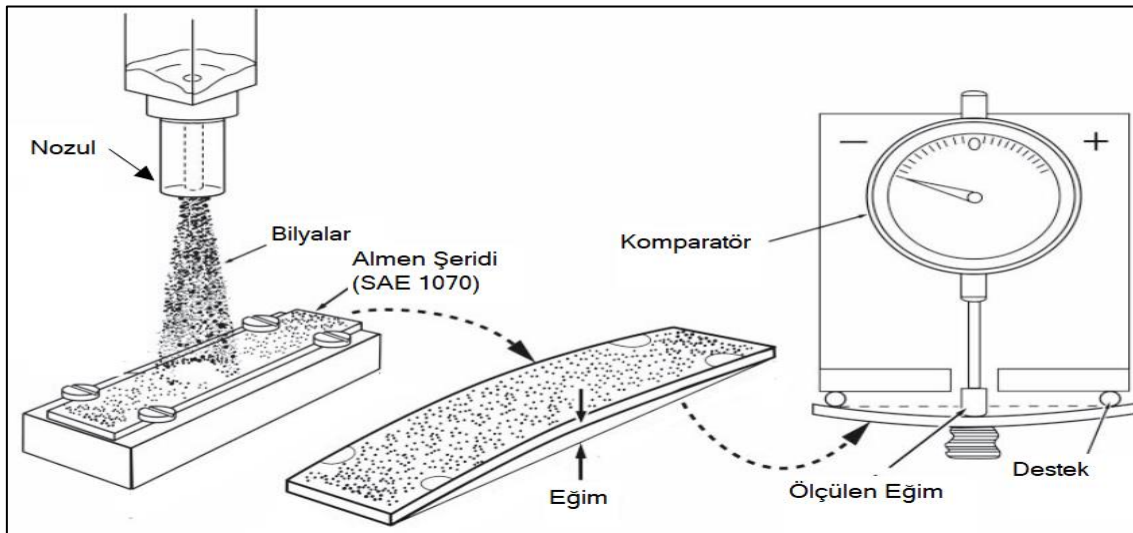
Bilyalı dövme yöntemi işleminde kullanılan parametrelere (aşırı basınç, bilya kütlesi, nozul mesafesi ve nozul parça arasındaki açıya) bağlı olarak yüzey deforme olur yüzey pürüzlülüğü etkilenmektedir. Bu sebeple yöntem parametreleri malzemeden istenilen mekanik özelliklere ve mikroyapıya uygun olarak seçilmelidir. Bilyaların malzeme yüzeyine olan etkisi kinetik enerji ile ilişkilidir (Dai ve Shaw, 2007; Parker, 2001). Bilya kütlesi ve basıncın artmasının yanı sıra hedef malzeme ve nozul arasındaki mesafenin kısılması da malzeme yüzeyine etkileyen enerjinin artmasına neden olur (Wagner, 2003). Bilyalı dövme yönteminin şiddeti Almen yöntemi kullanılarak ölçülmektedir. Şekil 2.3.’te görülen düzenekte Almen test şeritleri SAE 1070 yay çeliğinden imal edilmekte olup belirlenen bilyalı dövme parametrelerine göre dövülmektedir. Bu şeritlerin eğimleri komparatör yardımıyla ölçülmektedir. Bu ölçümlerden sonra tespit edilen sehim değerleri

ölçülerek bilyalı dövme yönteminin şiddeti bulunmaktadır (Mohamed ve diğ., 2020; Parker, 2001; Unal, 2016).



Şekil 2.2. Malzeme yüzeyine uygulanan bilyalı dövme yöntemi (Wang ve diğ., 2020)

Şiddet hesaplanırken dövme yoğunluğu göz önünde bulundurularak üç farklı (N, A ve C) Almen şeridi arasından seçim yapılır. 6A (0,15 mmA) şiddete kadar N şeridi, 6A ila 24A (0,6 mmA) şiddet aralığında A şeridi, 24A üzerindeki bilyalı dövme şiddetleri için C şeridi kullanılmaktadır. Tablo 2.6’da Almen şiddetleri ve sehim değerleri yer almaktadır (Jain, 2001).



Şekil 2.3. Bilyalı dövülen Almen şeridine ait sehimin ölçülmesi (Sarabi, 2017)

Tablo 2.6. Bilyalı dövme şiddetlerine karşılık gelen sehim değerleri (Jain, 2001)

Bilyalı Dövme Şiddeti	Almen Şeridi	Sehim
4 N	N	0,10 mm
6 N		0,15 mm
8 N		0,20 mm
16 N		0,40 mm
18 N		0,45 mm
6 A	A	0,15 mm
8 A		0,20 mm
10 A		0,25 mm
20 A		0,50 mm
24 A		0,60 mm
7 C	C	0,18 mm
9 C		0,23 mm
11 C		0,28 mm
21 C		0,53 mm
23 C		0,58 mm

2.3. Dövülen Malzemelerin Makro Mekanik Özellikleri

Malzeme yüzeyinde istenen mekanik dayanım davranışları bilyalı dövme yöntemi ile geliştirebilir. Malzemelerin makro mekanik davranışları (akma ve çekme dayanımı vb.) başta dislokasyon hareketlerinin kısıtlandırılması ve yoğunlaştırılması devamında ikizleme gibi mikroyapıda meydana gelen değişimlerin sonucudur (Wagner, 2003). Malzemelerin dövme sonucu makro mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri inceleyen çalışmalar aşağıda Tablo 2.7’de özetlenmiş olup çalışma detayları devamında açıklanmıştır.

Tablo 2.7. Literatürde yer alan makro mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ve sonuçları

Yazar	Yıl	Çalışılan Malzeme	Kullanılan Dövme Yöntemi	Mekanik Test Yöntemi	Temel Bulgular
Almangour ve ark. (AlMangour ve Yang, 2016).	2016	X5CrNiCuNb17-4 (1.4542)	Bilyalı dövme 70-140 µm çapında, 380 kPa basınçta, 30 s süre ile cam bilya.	Çekme Testi, ASTM E8/E8M-13a standartı.	Akma noktasında %2 oranında artış tespit edilmiştir.

Tablo 2.7.(Devam) Literatürde yer alan makro mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ve sonuçları

Yazar	Yıl	Çalışılan Malzeme	Kullanılan Dövme Yöntemi	Mekanik Test Yöntemi	Temel Bulgular
Tao ve ark. (Tao ve Gao, 2022).	2021	2060-T8 Al-Li alaşımı	Bilyalı dövme, 75m/s hızla, 0.2 mmA şiddetinde, 100% örtme oranında, seramik bilya.	Elektromekanik çekme testi cihazı, gerinme oranı $10^{-5} s^{-1}$	Akma noktasında %16,15 çekme noktasında %11,83 oranında artış, Mikro yapıda tane incilmesi ve Uzamada %43 azalma tespit edilmiştir.
Farrahi ve ark.(Farrahi ve diğ., 2020).	2019	A356 Al alaşımı	Bilyalı dövme ve aşırı (Yoğun) bilyalı dövme, bilyalı dövme için 14 A şiddetinde 100% örtme oranı, aşırı bilyalı dövme için 18 A şiddetinde 1000% örtme oranında ve S230 bilya çapı.	Çekme Testi, ASTM E8/E8M-13a standardı.	Aşırı bilyalı dövme sonucunda akma ve çekme noktalarında sırası ile %16,2 ve %11,3 oranında artış, Uzamada %25 artış tespit edilmiştir.
Jing ve ark. (Jing ve diğ., 2021).	2021	7050 Al. alaşımı	Lazer şok dövme	Elektro-hidrolik test cihazı, gerinme hızı 0.01 mm/s	7050 Al. alaşımı için artan enerji girdisinde akma noktasının arttığı ancak enerji girdisinin giderek artması sonucunda akma noktasının azaldığı, Çekme mukavemetinin ise en çok işlem görmemiş olan Al. alaşımında elde edildiği, yüzde uzama incelendiğinde ise dövme sonrası uzamanın dövme şiddeti ile ters orantılı şekilde azaldığı tespit edilmiştir.
Jing ve ark. (Jing ve diğ., 2021).	2021	316L paslanmaz çelik	Lazer şok dövme	Elektro-hidrolik test cihazı, gerinme hızı 0,01 mm/s	316L paslanmaz çelik malzemesinde ise akma ve çekme mukavemetlerinin bilyalı dövme şiddeti ile doğru orantıda arttığı, Uzamanın ise azaldığı tespit edilmiştir.
Sun ve ark.(Sun ve diğ., 2018).	2017	2319 Al. alaşımı	Lazer şok dövme	Hidrolik çekme testi cihazı, gerinme oranı $10^{-3} s^{-1}$, çekme oranı 1,5 mm/dk	2319 Al. alaşımının dövme sonrası akma noktası %72 arttığı, çekme noktasının 247 MPa'dan 240 Mpa'a düştüğü, yüzde uzama ise %12,3'ten %6'ya düştüğü tespit edilmiştir.

Tablo 2.7.(Devam) Literatürde yer alan makro mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ve sonuçları

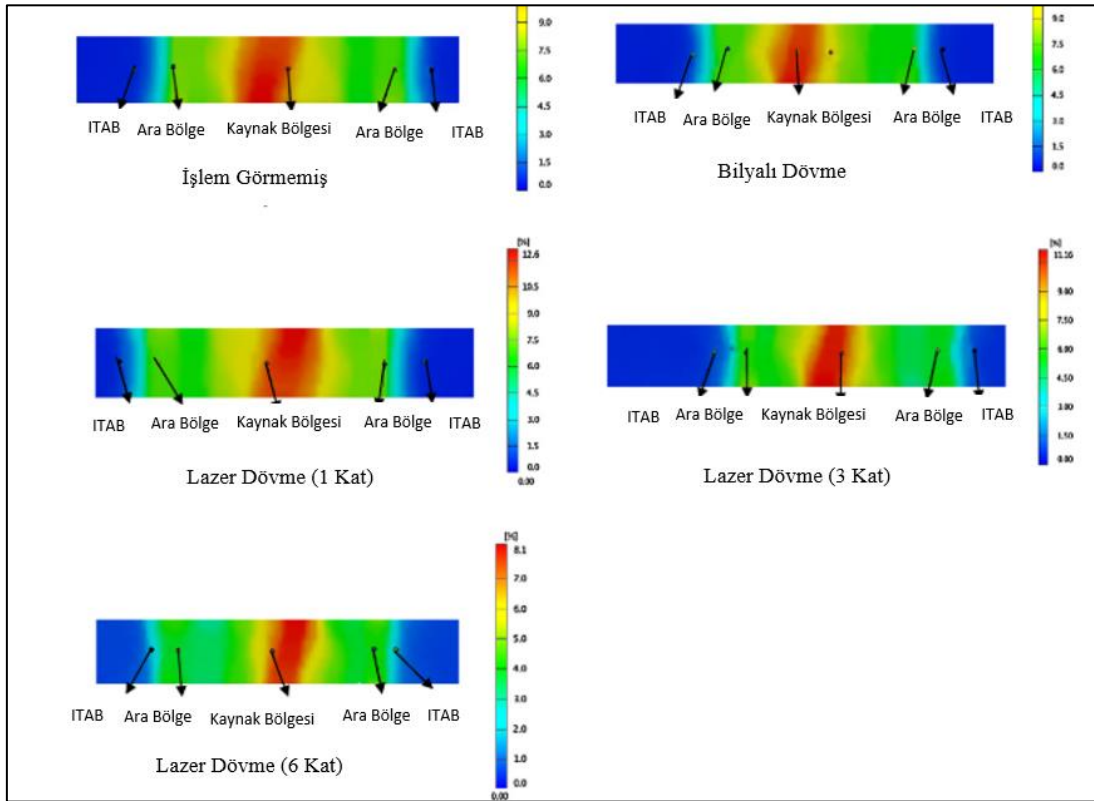
Yazar	Yıl	Çalışılan Malzeme	Kullanılan Dövme Yöntemi	Mekanik Test Yöntemi	Temel Bulgular
Alberto ve ark.(Orozco-Caballero ve diğ., 2021).	2021	RR1000 Ni. alaşımı	Bilyalı dövme, yüzeye dik olarak, 0,165-0,191 mmA şiddetinde 200% örtme oranında çelik bilya.	DIC (DaVis 8.3) 16x16 piksel, çekme testi gerinme oranı $10^{-4} s^{-1}$	DIC yöntemiyle kayma gerilmelerinin kalıntı basma gerilmelerine olan etkisi yüzey ve yüzey altındaki uzamalar ile kıyaslanmıştır.
Liu ve ark. (Liu ve diğ., 2020).	2019	Saf alüminyum	Bilyalı dövme, GCr15 çelik bilya, 40 m/s hızla, 2 mm çapında 5 dk süre ile.	Elektro mekanik çekme testi cihazı, gerinme oranı $5.6 \times 10^{-4} s^{-1}$	Akma noktasının %90-95 oranında arttığı, çekme noktasının hemen hemen aynı kaldığı ve yüzde uzamanın azaldığı tespit edilmiştir.
Dhakal ve ark. (Dhakal ve Swaroop, 2020).	2019	6061-T6 Al. alaşımı	Lazer Şok Dövme	Hidrolik çekme testi cihazı, gerinme oranı $10^{-3} s^{-1}$	4 GW/cm ² , 6 GW/cm ² enerjilerinde yapılan deneylerde dövülmemiş malzemeye göre akma noktalarının sırası ile %8 ve %14 oranında azaldığı çekme noktasının 4 GW/cm ² için 8 Mpa, 6 GW/cm ² için 3 MPa arttığı sünekliğin ise artan enerji ile doğru orantılı arttığı tespit edilmiştir.
Jamalian ve ark. (Jamalian ve Field, 2019).	2018	TRC AZ31 Mg. alaşımı	Bilyalı dövme, sırası ile 0,4, 1,59, 2,38, 3,18 mm çaplarında 0,06, 0,14 MPa, 0,22 MPa basınçlarında 50 mm nozul mesafesi ve 100% örtme oranı.	Çekme testi, gerinme oranı $10^{-3} s^{-1}$	Çalışmada sırasıyla basınç, bilya kütlesi ve bilya çapının mekanik özelliklerde değişikliklere neden olduğunu ortaya koymuştur. İşlem görmeyen malzemeye göre daha yüksek akma ve çekme değerlerine ulaşılmış ancak sünekliğin azaldığı tespit edilmiştir.
Hatamleh ve ark. (Hatamleh, 2008a).	2007	7075-T7 Al. alaşımı	Lazer dövme ve bilyalı dövme, 0,59 mm çapında cam bilyalar, 0,012 A şiddetinde 200% örtme oranında.	Hidrolik çekme cihazı, 200 kN yükte ve 0,1 mm/dk yükleme hızında	1 ve 3 çevrimde lazer dövme, lazer ve bilyalı dövme, bilyalı dövme altında akma, çekme ve yüzde uzama sonuçları paylaşılmıştır. En yüksek mukavemet değerleri 3 çevrimde lazer dövme uygulanan malzemede elde edilmiştir.

Tablo 2.7.(Devam) Literatürde yer alan makro mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ve sonuçları

Yazar	Yıl	Çalışılan Malzeme	Kullanılan Dövme Yöntemi	Mekanik Test Yöntemi	Temel Bulgular
Nasilowska ve ark. (Nasilowska ve diğ., 2019).	2019	5754 Al. alaşımı	Bilyalı dövme, 0,5 mm çapında paslanmaz çelik bilyalar ve 0,3 MPa basıncında.	Çekme testi, 100 kN yükte	Bilyalı dövülen malzeme ana malzeme ile kıyaslandığında akma noktasının %20, elastisite modülünün %29 arttığı tespit edilmiştir.
Chen ve ark. (Chen ve diğ., 2021).	2020	Saf bakır	Ultrasonik dövme	Çekme testi, 0,03 mm/sn yükleme hızda	Yöntem süresi değişken parametre olarak seçilmiştir. 120 saniye uygulanan dövme işlemi sonucunda çekme mukavemeti %17 artmıştır.
Xu ve ark. (Xu ve diğ., 2021).	2021	TC2 Ti. alaşımı (Ti4Al1.5Mn)	Ultrasonik dövme	Çekme testi	3 farklı Almen şiddetinde yapılan test sonuçlarına göre şiddet arttıkça mekanik özelliklerin arttığı tespit edilmiştir. 0,360 mmA şiddetinde çekme mukavemetinin %6,23 arttığı deney sonucu olarak kaydedilmiştir.
Hatamleh ve ark. (Hatamleh, 2008b).	2008	2195 Al. alaşımı	Lazer şok dövme ve bilyalı dövme, bilyalı dövme 0,059 mm çapında cam bilyalar, 0,008-0,012 A şiddetinde, 200% örtme oranında	DIC ve çekme testi, 200 kN yükte 0,1 mm/dk hızda 5-20 pikselde.	6, 3, 1 kere olmak üzere 3 farklı lazer yöntemini yanı sıra bilyalı dövme yöntemi ile 4 farklı deney parametresinin sonucunda her durumda ana malzemeye kıyasla mekanik özelliklerin geliştiği sayısal verilerle açıklanmıştır. DIC yöntemi kullanılarak 4 farklı parametre için çekme testi esnasındaki farklı bölgelerin gerilme haritaları çıkartılmıştır.

Hatamleh ve ark. AA2195 alüminyum alaşımı parçaları sürtünme kaynağı ile birleştirmiş ardından farklı parametreler kullanarak lazer şok dövme uygulanmış ve DIC ile çekme testi yapmışlardır. Bilyalı dövme ile kaynak sonrası en son çekirdeklenmenin olduğu kaynak bölgesinde yer alan kaba taneli çekirdeklerin inceltilmesi ve kalıntı gerilmelerin mekanik özelliklere olan etkisinin geliştirilmesi hedeflenmişlerdir. Isıl tesir altındaki bölgede (ITAB) kopma öncesi gerilme en azken kaynak bölgesindeki uzama en fazla olduğu tespit etmişlerdir (Hatamleh, 2008b). Çalışmaya ait DIC sonuçları Şekil 2.4'te verilmiştir. Tao ve arkadaşlarının 2060-T8 alüminyum alaşıma seramik bilyalar ile 0,2 mmA şiddetinde ıslak bilyalı dövme uygulamışlardır. Su ile ıslatılan bilyaların

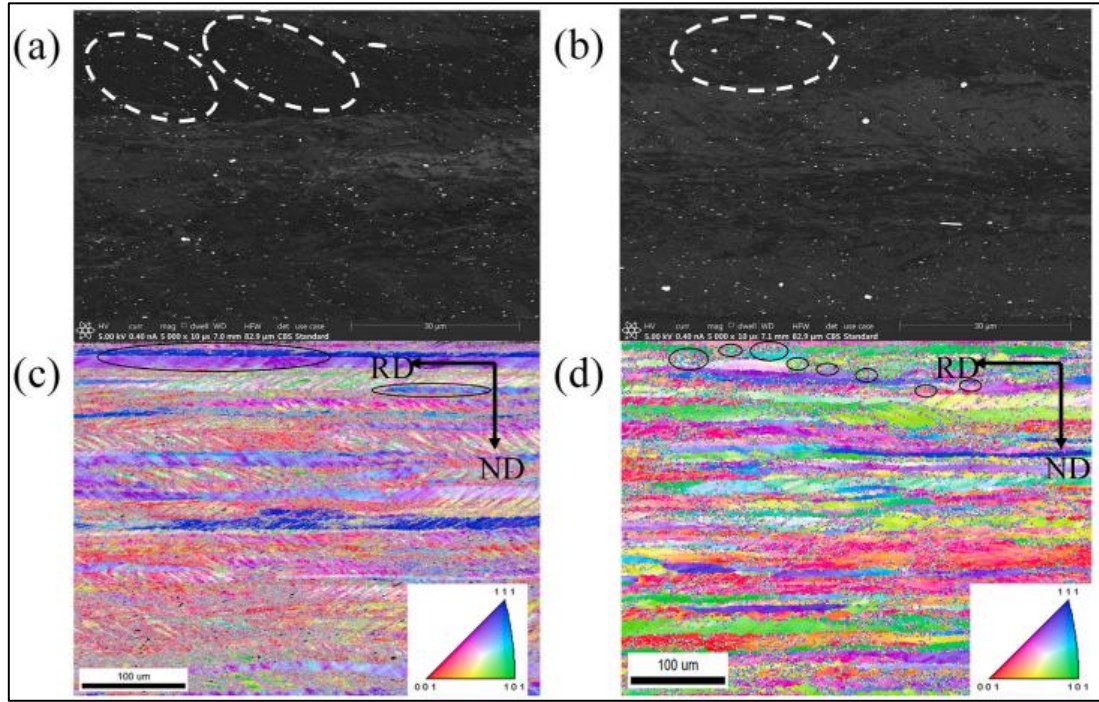
kullanılmasının nedenleri normal bilyalı dövme yöntemine göre ısı etkileri ve yüzey pürüzlülük değerlerini azaltmasıdır.



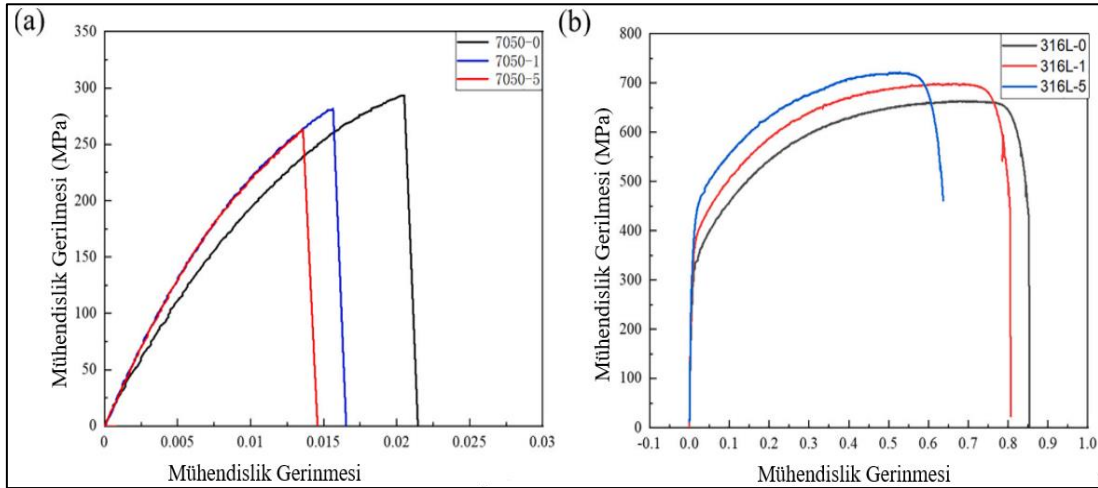
Şekil 2.4. İşlem görmemiş, bilyalı dövülmüş ve farklı parametrelerde lazer dövülmüş AA2195 alüminyum alaşımının gerinme değerleri DIC yöntemi ile gerinim haritaları (Hatamleh, 2008b)

Bilyalı dövülen 2060 alüminyum alaşımına çekme testi uygulanması sonucunda malzemenin mekanik özelliklerinin arttığını ve sünekliğin azaldığını tespit etmişlerdir. Malzemede meydana gelen bu değişikliklerin malzemenin tane boyutunun incelmesi ve dislokasyon yoğunluğunun artması sonucu oluştuğunu ortaya koymuşlardır (Tao ve Gao, 2022). Şekil 2.5'te ilgili çalışmanın SEM-EBSD sonuçları yer almaktadır. Farrahi ve arkadaşları, A356 alüminyum alaşımını 14A ve 18A yoğunlukta bilyalı dövme ve aşırı bilyalı dövme uygulamış ve 18A şiddeti için en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ile akma ve çekme noktasında %11,3 ve %16,2 artış tespit etmiştir (Farrahi ve diğ., 2020). Bunun sebebinin yüzeyde oluşan mikro çatlaklardan kaynaklandığını saptamışlardır. Ayrıca malzemelerde tane incelmesi her iki parametre içinde gözlenmemişlerdir. Yüzeyin 1 mm altına kadar pekleşme mekanizmasının etkisi tespit etmişlerdir. Ardından bu parametreler

316L çelik malzemeye uygulanmış ve artan enerji girdisini ile akma ve çekme dayanımının Şekil 2.6'da görüldüğü gibi geliştiği tespit etmişlerdir (Jing ve diğ., 2021).



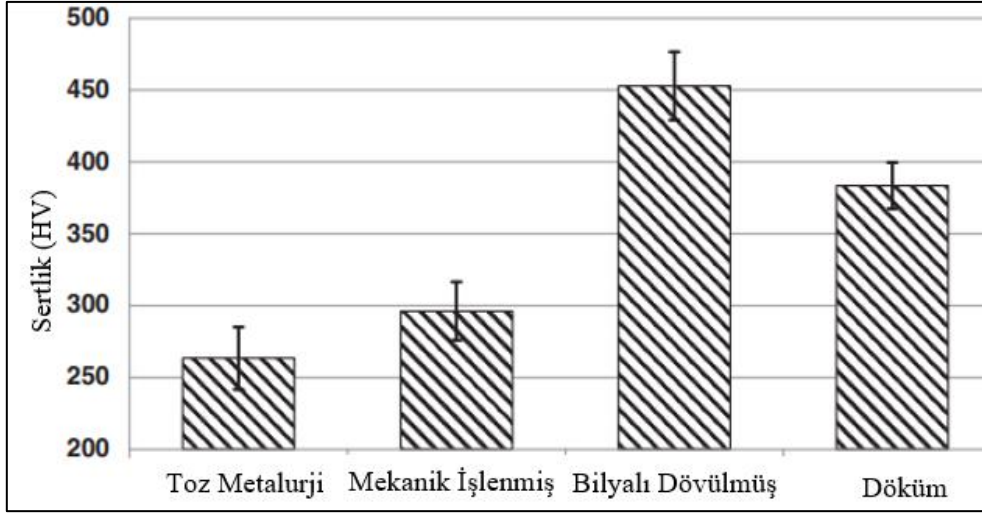
Şekil 2.5. 2060-T8 alüminyum alaşımasının dövme öncesi SEM-EBSD görüntüleri (a, c) ve dövme sonrası (b, d) SEM-EBSD görüntüleri (Tao ve Gao, 2022)



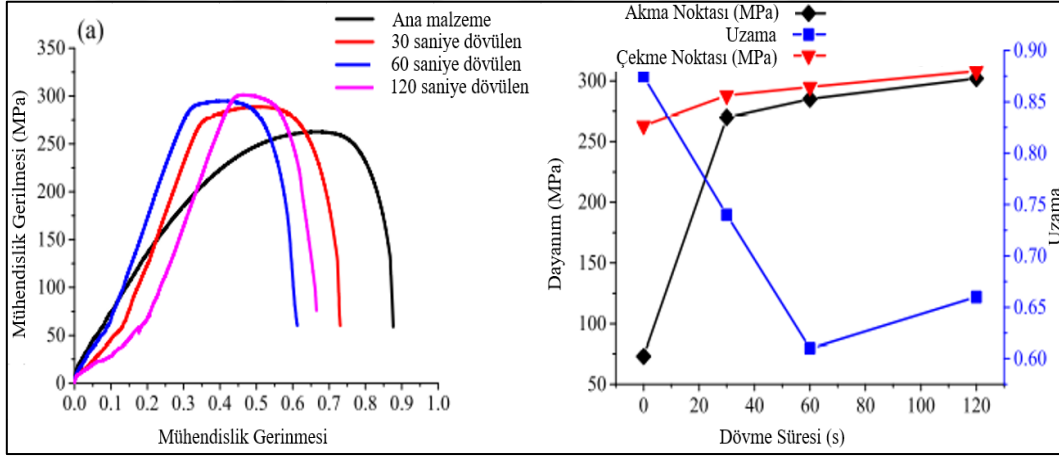
Şekil 2.6. a) AA7050 alüminyum alaşımı ve b) 316L paslanmaz çeliğe uygulanan lazer şok dövme sonrası akma ve çekme mukavemetleri (Jing ve diğ., 2021)

Sun ve arkadaşlarının AA2319 alüminyum alaşıma uyguladığı lazer dövme sonrası tane boyutunun küçülerek 59,7 μm değerinden 46,7 μm değerine indiği tespit etmişlerdir. Bunun sonucunda malzemenin akma mukavemeti %72 oranında artmıştır. Aynı zamanda

yüzeyden 1,2 mm derinliğe kadar deformasyona bağlı olarak pekleşme gözlenmiştir. Dövülen malzemelerin yüzde uzama değerinde düşüş tespit edilirken, malzemenin çekme noktasında kayda değer bir değişim görülmemiştir (Sun ve diğ., 2018). Hatamleh ve arkadaşlarının yapmış olduğu başka bir çalışmada 7075-T7 alüminyum alaşımına lazer şok, bilyalı, lazer şok ve bilyalı dövme kombinasyonu uygulanarak bu yöntemler ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. En yüksek mukavemet değerleri lazer dövme ile elde edilmiştir. En yüksek yüzey sertliği (144 HV) bilyalı dövme yönteminde elde edilse de dislokasyon yoğunluğunun lazer dövme yönteminde daha yüksek değerlerde olması sebebiyle akma ve çekme dayanımlarının geliştirilmesinde daha etkin rol oynadığı tespit edilmiştir (Hatamleh, 2008a). Nasilowska ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada 5754 alüminyum alaşımının bilyalı dövme uygulaması sonrası mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda bilyalı dövülen malzemelerde akma noktasının %20 oranında geliştiği raporlanmıştır (Nasilowska ve diğ., 2019). Nasiowska ve arkadaşlarından farklı olarak Dhakfal ve arkadaşları 6061-T6 alüminyum alaşımı ile yapmış olduğu çalışmada akma dayanımında %14 düşüş tespit etmiştir. Buna bağlı olarak süneklik değerinde %5,8 iyileştirme elde edilmiştir. Ayrıca lazer şok dövme yönteminin parametrelerinin 6 GW/cm²'den 16 GW/cm²'ye çıkarılması durumunda malzemenin çekme dayanımının %47 oranında arttığını belirtmiştir (Dhakal ve Swaroop, 2020). Almangour ve arkadaşları eklemeli imalat ile elde edilen X5CrNiCuNb17-4 (1.4542) paslanmaz çelik malzemeye uygulanan bilyalı dövme işleminin pekleşme ve tane incelmeye neden olduğu böylece mekanik özellikleri geliştirdiğini ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda eklemeli imalat uygulanan malzemelerin aşırı plastik deformasyon altında mekanik özelliklerinin geliştirilebileceğini tespit etmişlerdir. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi döküm, eklemeli imalat ve bilyalı dövme sonrası elde edilen sertlik değerleri grafik haline getirilerek bilyalı dövme sonucunda elde edilen üstün özelliklerin tespiti gerçekleştirmiştir (AlMangour ve Yang, 2016). Chen ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada saf bakır malzeme kullanarak farklı süreler altında bilyalı dövme yönteminin malzemeye olan etkisini araştırmıştır. Yapılan çalışmalarda akma ve çekme dayanımlarında artış gözlenmiş, bu artışının yanı sıra 60 s ve 120 s arasında yapılan uygulamalarda uzama yüzdesinin de geliştiğini tespit etmişlerdir (Şekil 2.8). Bu değişimin nedeninin, 120 s ile dövme sonucu elde edilen en yüksek yüzey sertlik değerinden kaynaklandığı düşünülmüştür (Chen ve diğ., 2021).



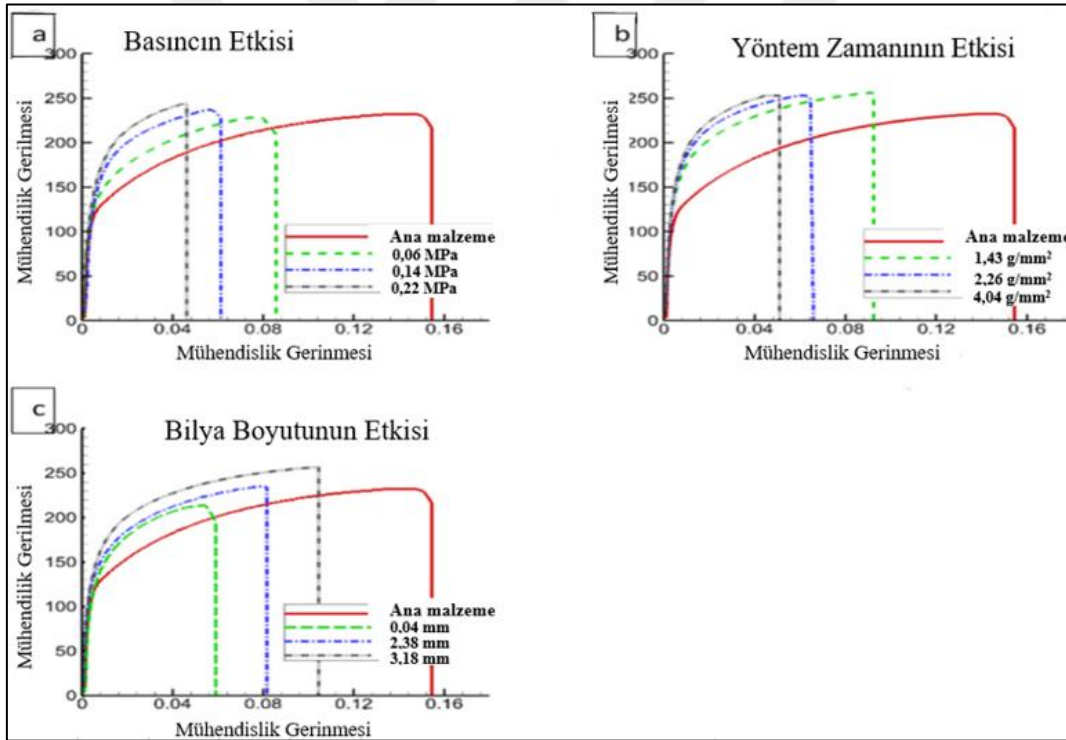
Şekil 2.7. 17-4 paslanmaz çeliğin yöntemlere göre mikro sertlik davranışı (AlMangour ve Yang, 2016)



Şekil 2.8. Saf bakıra uygulanan bilyalı dövme süresinin mekanik özelliklere etkisi (Chen ve diğ., 2021)

Jamalian ve arkadaşlarının ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemi (TRC) ile üretilmiş AZ31 magnezyum alaşımına farklı basınç, farklı kütle yoğunluğu, farklı bilya çapı ve tavlama sıcaklıklarında bilyalı dövme işlemi uygulamıştır. Bu çalışma ile bilya çapının, dövme basıncının ve uygulama süresinin artması sonucunda malzemeye uygulanan kinetik enerjinin arttığı bu nedenle deformasyon miktarının da artacağı belirtilmiştir. Elde edilen mikroyapısal analizler sonucunda basınç ve birim alana düşen bilya yoğunluğunun tane yapısına doğrudan etkisi görülmüştür. Bilya çapına bağlı olarak yapılan değerlendirme ise artan bilya çaplarının daha derin bir kalıntı gerilme tabakası oluşturduğu ancak tane yapısında incelmeye gibi mekanizmalara neden olmadığı tespit edilmiştir (Jamalian ve Field, 2019).

Yukarıda irdelenen çalışmalarda sıklıkla kullanılan ve geleneksel bir deney yöntemi olarak nitelendirilebilecek çekme testi ile makro mekanik özelliklerin saptandığı gözlemlenmiştir. Çekme testlerinde genel olarak silindirik olmayan, düz deney parçaları kullanılmıştır. Dövme yöntemleri arasında bilyalı dövme, ultrasonik dövme, lazer şok dövme vb. yöntemler yer almasına rağmen deneyler çoğunlukla bilyalı dövme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar arasında en yüksek geliştirme saf alüminyum ile yapılan çalışmada gözlenmiştir. Bu malzemenin akma dayanımında %95 iyileşme sağlanabilmiştir (Liu ve diğ., 2020). Yöntem parametreleri ve malzemeye bağlı olarak elde edilen mekanik iyileştirmeler farklılık gösterebilmektedir. Buradan yola çıkarak uygulanan dövme yönteminin ve kullanılan parametrelerin istenilen mekanik özelliklerin elde edilmesinde kilit rol oynayacağı ileri sürülebilir. Ayrıca dövme parametrelerinin ve malzemelere ait özelliklere göre belirlenmesi de önem taşımaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. AZ31 magnezyum alaşımına uygulanan bilyalı dövme yönteminin parametrelerinin etkisi a) basınç etkisi, b) zamanın etkisi, c) bilya çapı etkisi (Jamalian ve Field, 2019)

2.4 Dövülen Malzemelerin Mikro Mekanik Özellikleri

Malzemelerin mikro mekanik özellikleri malzemelerin mekanik davranışları üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu etkiler malzemenin gerinme başta olmak üzere yüzde

uzamasını ve kalıntı gerilmeyi etkilemektedir. Dövülen malzemelerin mikro mekanik özelliklerinin (nanoindentasyon sertliği, elastisite modülü vb.) değişiminin saptanması için kullanılan nanoindentasyon yöntemi ile yapılan çalışmalar aşağıda Tablo 2.8’da özetlenmiş olup çalışma detayları devamında açıklanmıştır. Nanoindentasyon yöntemi üzerine yapılan çalışmalarda batıcı uç (Berkovich) kullanılarak malzeme yüzeyi ve kesitinden alınan sertlik izleri kullanılmaktadır.

Tablo 2.8. Literatürde yer alan mikro mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ve sonuçları

Yazar	Yıl	Çalışılan Malzeme	Kullanılan Dövme Yöntemi	Mekanik Test Yöntemi	Temel Bulgular
Liu ve ark. (Liu ve diğ., 2022).	2022	DD6 Ni alaşımı	Bilyalı dövme, 0,15 mmA şiddetinde, 200% örtme oranında, seramik 150 µm çapında bilyalar	Nanoindentasyon, 100 mN yükte, 10 s, Berkovich uçlu	Yüzeyin altından 37,8 µm, 98,8 µm, 120,7 µm, 1017 µm derinliklerinden gerekli kuvvet-deplasman eğrileri alınmış ve 37,8 µm değeri için sertliğinin en yüksek olduğu ve yer değiştirmenin en az olduğu tespit edilmiştir. 37,8 µm yüzey altında elde edilen indentasyon sertliği %31 arttığı tespit edilmiştir.
Wang ve ark. (Wang ve diğ., 2022).	2021	NiTi alaşımı	Lazer şok dövme	Nanoindentasyon	Malzemeye uygulanan lazer şok dövme uygulamasının 3J ve 5J enerjisinde farklı derinliklerdeki sertlik değerleri ana malzeme ile kıyaslanmış ve malzemede yüzey altından 220 µm kadar etki sertlik değişimi tespit edilmiştir. Sertlik değişimi %25-30 arasında gelişme göstermiştir.
Wei ve ark. (Wei ve diğ., 2021).	2021	T2 Saf Bakır al.	Lazer şok dövme	Nanoindentasyon, 1 mm aralıklarla G200, KLA Tencor cihazı ile gerçekleştirilmiştir.	Yüzeyin 300 µm ve 1500 µm altında dövme sonrası sertlik ve elastisite modül değişimi gösterilmiş, Yük-derinlik (veya deplasman veya yer değişimi) grafiği sonucunda %50 tekrarlı lazer ile dövülen malzemede 2,74 GPa sertlik değeri elde edilmiş olup işlem görmeyen numunede sertlik değeri 1,86 GPa’dır. %70 değeri için enerji yoğunluğundan ötürü deformasyon tespiti yapılmıştır. %70 tekrarlı lazer ile dövülen numunelerde sertlik değeri 2,44 GPa değerine düşmektedir.

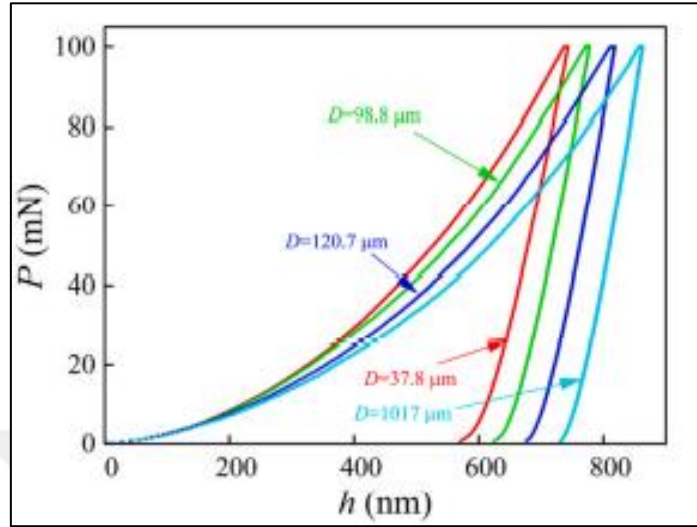
Tablo 2.8. (Devam) Literatürde yer alan mikro mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ve sonuçları

Yazar	Yıl	Çalışılan Malzeme	Kullanılan Dövme Yöntemi	Mekanik Test Yöntemi	Temel Bulgular
Feng ve ark. (Feng ve diğ., 2019).	2018	Düşük alaşımlı çelik	Bilyalı dövme, 0,09-0,20 mm çapında paslanmaz çelik bilyalar, 0,69 MPa fırlatma basıncı altında 0,5-1-1,5 saat	Nanoindentasyon, 2000 μ N maksimum yükte, 400 μ N/s yükleme oranında, 5 s süreyle her test parçasına 8 kere uygulanmıştır.	Yüzeyin 80 ve 160 μ m derinliklerin alınan sonuçları karşılaştırılmış ve 1,5, 1, 0,5 saat süre ile dövülen malzemenin sertlik değerinin 4,6 GPa'dan (dövülmemiş) 7,2 GPa'ya çıktığı tespit edilmiştir.
Pappa ve ark. (Pappa ve diğ., 2021).	2021	1.8159 (51CrV4)	Bilyalı dövme	Nanoindentasyon, 800 mN maksimum yükte Berkovich kullanılmıştır.	Ana malzeme grubu ile dövülen malzemenin yüzeyinin sertlik değerleri incelenmiş olup dövülen malzemenin mikro mekanik özelliklerinin geliştiği tespit edilmiştir.

Liu ve arkadaşları DD6 nikel alaşımına bilyalı dövme uygulamış sonrasında farklı yüzey altı derinliklerinde nanoindentasyon sertlik değerlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda Şekil 2.10'da yer alan kuvvet - mesafe (P-h) eğrisi elde edilmiştir. Yüzeyden yüzey altı bölgelere inildikçe aşırı plastik deformasyon (APD) etkisinin azaldığı ve yüzeyden 37,8 μ m derinlikte en yüksek yüzey sertlik değerinin elde edildiği anlaşılmıştır (Liu ve diğ., 2022). Wang ve arkadaşları tarafından Ni-Ti alaşımına farklı parametrelerde uygulanan lazer şok dövme sonrası nanoindentasyon sertlikleri karşılaştırılmıştır. İki farklı lazer dövme enerjisi (3J ve 5J) uygulanan malzemelerde lazer dövme sonuçlarında yüzey ve yüzey altında yakın indentasyon sertlik değerleri tespit edilmiştir. 5J uygulanan lazer dövme işlemi sonrası malzeme yüzeyinde çatlaklar tespit edilmiştir (Wang ve diğ., 2022).

Wei ve arkadaşlarının T2 saf bakıra uygulanan farklı lazer şok dövme parametreleri sonucunda elde edilen P-h grafikleri yardımıyla yüzey ve yüzey altı sertlik değerleri ve elastisite modülü tespit edilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda %50 tekrar oranında sertlik değerinin en iyi sonuçlar verdiği (%47 artış) ancak %70 tekrar oranında yüzeyin hasar görerek sertlik değerinde düşme yaşandığı tespit edilmiştir. Örtme oranının artması

sonucunda enerji girdisi de arttırdığı için en yüksek kalıntı gerilme %70 örtme oranında 225 MPa olarak tespit edilmiştir (Wei ve diğ., 2021).

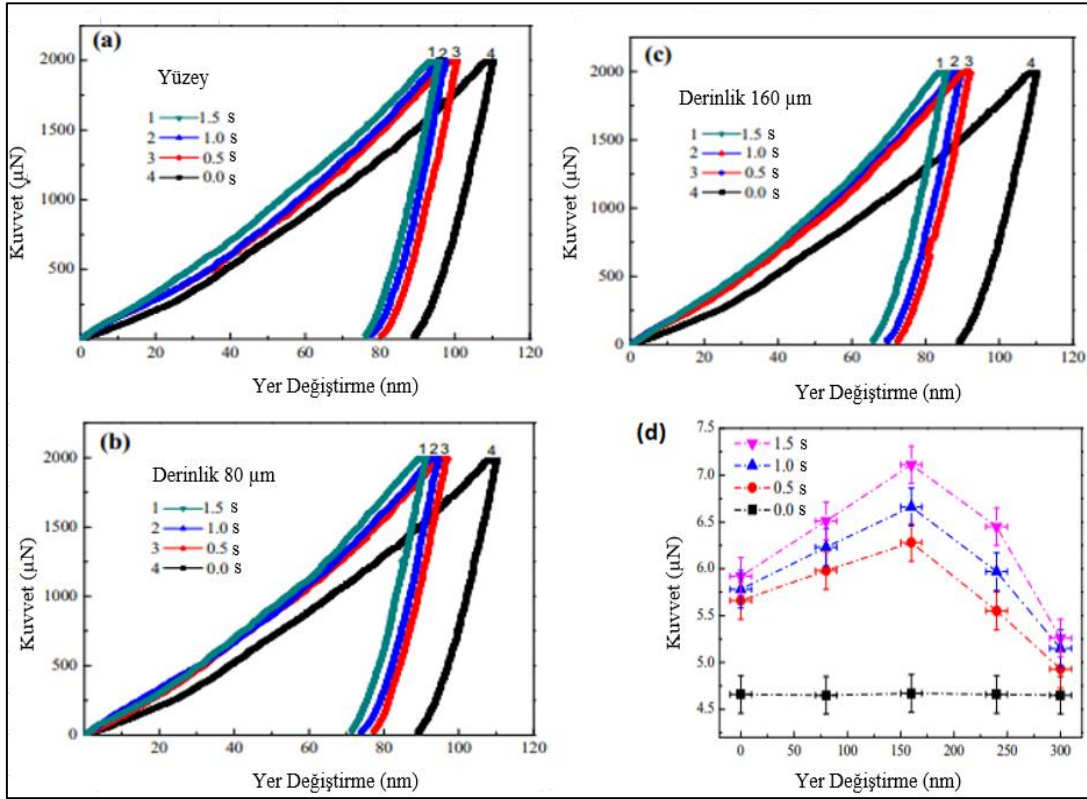


Şekil 2.10. DD6 nikel alaşımının bilyalı dövme sonrası P-h grafiği (Liu ve diğ., 2022)

Yapılan çalışma sonucunda %50 tekrar oranında sertlik değerinin en iyi sonuçlar verdiği (%47 artış) ancak %70 tekrar oranında yüzeyin hasar görerek sertlik değerinde düşme yaşandığı tespit edilmiştir. Örtme oranının artması sonucunda enerji girdisi de arttırdığı için en yüksek kalıntı gerilme %70 örtme oranında 225 MPa olarak tespit edilmiştir (Wei ve diğ., 2021). Feng ve arkadaşları ince taneli düşük alaşımlı çeliğe bilyalı dövme uygulamıştır. Sonrasında malzemelerde 300 μm derinliğe kadar olan nanoindentasyon sertlik değerinin değişimini incelemişlerdir. Deneylerde batıcı uç olarak Berkovich uç tercih edilmiştir. Ardından bilyalı dövme işleminde süre değişken parametre olarak belirlenerek ve P-h grafiği ile nanoindentasyon sertlik değerlerini elde etmişlerdir (Şekil 2.11). Tüm yüzey altı derinlik değerlerinde sertlik değerlerinin en uzun süre ile bilyalı dövülen parçalarda meydana geldiği tespit edilmiştir (Feng ve diğ., 2019). Diğer bir çalışmada Pappa ve arkadaşları DIN EN 10086 yay çeliğine aşırı (yoğun) bilyalı dövme uygulamıştır. Yüzeyden yüzey altı bölgelere kadar P-h grafiği elde ederek malzemede mikro mekanik özelliklerin yüzeyden yüzey altı bölgelere inildikçe azaldığını tespit etmişlerdir. (Pappa ve diğ., 2021).

Dövülen malzemelerin mikro mekanik özelliklerinin saptanması için nanoindentasyon yöntemine başvurulduğu yukarıdaki çalışmalarda gözlemlenmiştir. Nanoindentasyon

yöntemi ile yapılan çalışmalarda genel olarak Berkovich ucun malzemeye 5 s ila 10 s süre ile kademeli olarak artan yükler altında malzeme yüzeyine uygulanarak ölçümler yapılır.



Şekil 2.11. İnce taneli düşük alaşımlı çelik malzemeye uygulanan bilyalı dövme işlemi sonrasında elde edilen; a-c) derinliklere göre P-h grafikleri, d) indentasyon sertliklerinin karşılaştırılması (Feng ve diğ., 2019)

Sonrasında batıcı ucun malzemede oluşturduğu iz alanının hesaplanması sonucunda P-h grafiklerinin, indentasyon sertlik değerlerinin ve elastisite modülünün tespit edilmesi sağlanmıştır. Uygulamalarda farklı yük değerlerinin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bilyalı dövme sonrası yüzey ve yüzey altında elde edilen indentasyon sertlik değerlerinde artış gerçekleştiği çalışma sonuçlarında tespit edilmiştir. Malzemelerin dövme sonrası mikro mekanik özelliklerinde gerçekleşen gelişme malzemenin elastik davranışında da farklılık göstermesine neden olmaktadır. Elastisite modülünde meydana gelen değişikliklerin nümerik tespiti nanoindentasyon yöntemi ile incelenebilmektedir. Çalışmaların genelinde yaklaşık olarak %25-30 arasında sertlik artışı tespit edilmiştir. Elde edilen sertlik ve elastisite değerleri dövme parametrelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Dövülen malzemeye yöntem esnasında etki eden enerji ve enerji yoğunluğuna bağlı olarak malzemelerin indentasyon sertliğini ve elastisite modülünün geliştirilebildiği

ancak belli enerji değerlerinin üzerinde malzemenin mikro mekanik özelliklerinin düşmeye başladığı tespit edilmiştir.

Tez kapsamında bilyalı dövülen AA1050 alaşım numunelerin ve dövülmemiş numunelerin mekanik dayanım değişimleri incelenmiş ve mikroyapısal analizlerin sonucunda sebepler ışığında açıklanmıştır. Bilyalı dövme yönteminin literatürdeki yeri incelenmiş ve her ne kadar bu yöntemin mekanik özelliklere etkisi araştırılmış olmasına rağmen araştırmalar malzemelerin mekanik özelliklerinden olan kalıntı basma gerilmelerinin ve yüzey sertliğinin ilerisine geçmemiştir.



3. MALZEME VE METOT

3.1 Malzeme

Alüminyum alaşımları birçok mühendislik uygulamasında sıklıkla tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir. Özellikle içerisinde birçok katkı elementi içeren AA7075 gibi bazı seriler yüksek mekanik özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte ısı iletken, elektrik iletkenliği gibi ihtiyaçlar için saf veya safa yakın alüminyum alaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alaşımlar ise diğer alüminyum alaşımlarına kıyasla düşük mekanik özellik göstermektedir. Saf veya yüksek saflıkta alüminyum alaşımların en büyük eksikliği olan mekanik özelliklerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada ticari olarak saf kabul edilen AA1050 alüminyum alaşımı tercih edilmiştir.

3.1.1. AA1050 Alüminyum Alaşımının Hazırlanması

Tez çalışmasında AA1050 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. AA1050 alaşımının hedef malzeme olarak kullanılmasının nedenleri; malzemenin %99,5 saflıkta olması, yaşlandırma vb. tekniklerle mekanik özelliklerinin geliştirilememesi ve işlem görmemiş alaşımın mekanik dayanımının düşük olmasıdır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri aşağıda Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de belirtilmiştir.

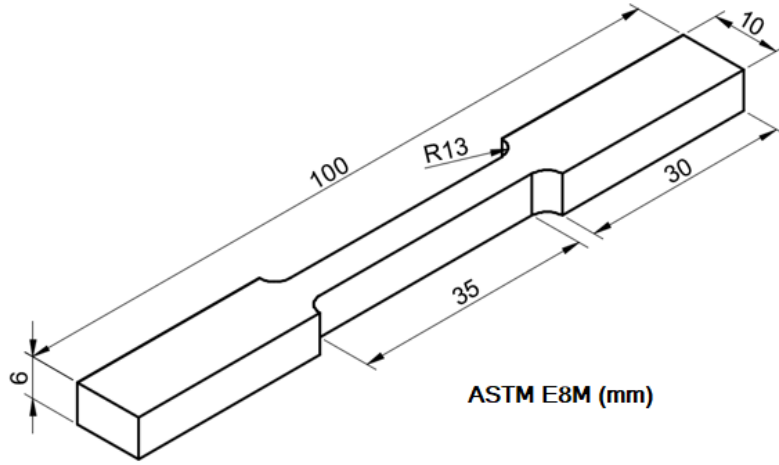
Tablo 3.1.AA1050 alüminyum alaşımının yüzde kimyasal kompozisyonu

Elementler	Al	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Si	Zn
% Değer	99,56	0,259	0,001	0,004	0,003	0,01	0,12	0,008

Tablo 3.2. AA1050 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri

Özellikler	Yoğunluk (kg/m ³)	Erime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Sertlik (HV)
Değer	2,71	650	71	85	101	27

AA1050 alaşımları 6 mm kalınlığında 500 mm x500 mm plaka malzeme olarak Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasından temin edilmiştir. AA1050 alüminyum alaşımı malzemeler Turkuaz Elektromekanik firmasında dik işleme merkezli CNC kontrollü tezgah kullanılarak ASTM E8M standartlarında olan ölçülere işlenmiş olup numune ölçüleri Şekil 3.1’de yer almaktadır.



Şekil 3.1. AA1050 alüminyum alaşımı test parçalarının boyutları

3.1.2. Bilyalar

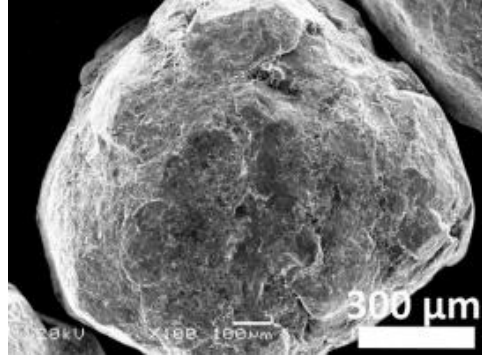
Bilyalı dövme işleminde kullanılacak bilyalar paslanmaz çelik olarak seçilmiştir. Paslanmaz çelik bilyalar demir (Fe) elementinin malzeme yüzeyinde birikmesinin en az seviyede olması istendiği uygulamalarda kullanılmaktadır. Cam bilyaların yerine de kullanılan paslanmaz çelik bilyaların uygulamalarda tekrar kullanılabilmesi önemli bir avantajdır. Bu sebeplerden ötürü paslanmaz çelik bilyalar kullanılmış olup, bilyalar Fetaş Metalurji A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Temin edilen paslanmaz çelik bilyaların ticari ismi S60 Chronital olup standartı SAE J444 S330'dur. Bilyaların, fiziksel özellikleri ve kimyasal içeriği Tablo 3.3'de ve SEM görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.3. S60 Chronital bilyaların kimyasal ve fiziksel özellikleri (Avcu, 2018)

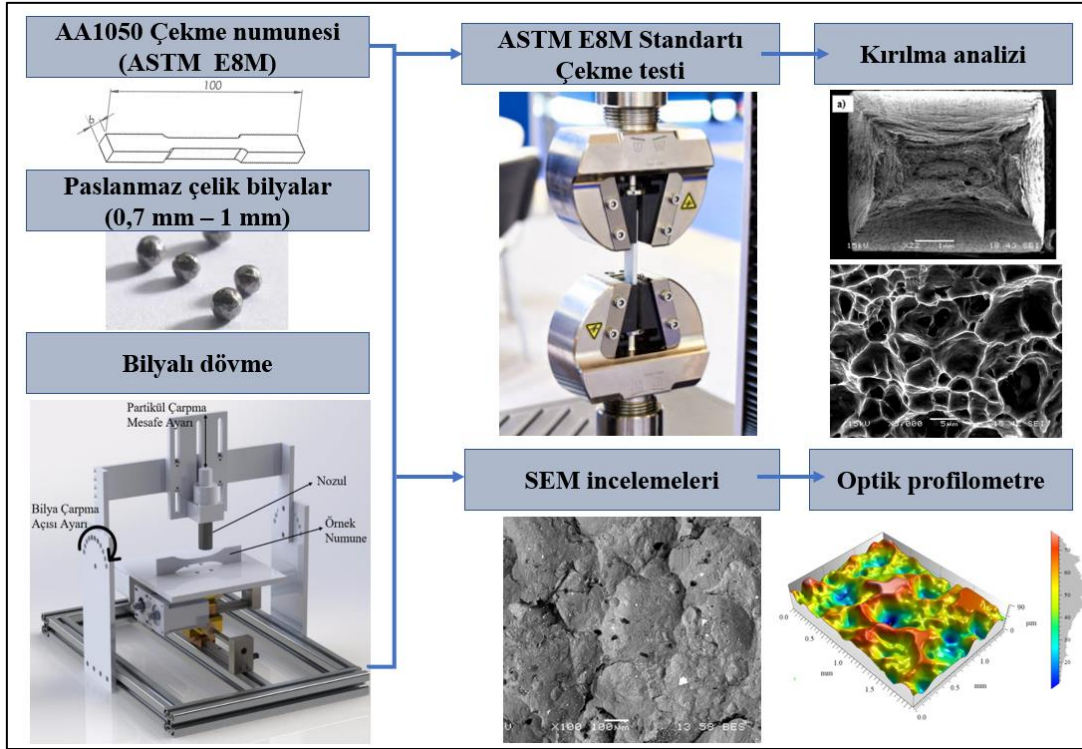
Element	C	Cr	Ni	Si	Mn
% Değer	0,10-0,13	18,0-19,0	8,0-10,0	<3,0	<2,0
Özellikler	Sertlik (HV)	Spesifik yoğunluk (gr/cm ³)		Özgül ağırlık (kg/cm ³)	
	450	4,7		7,9	

3.2. Metot

Hazırlanan AA1050 alaşımının mekanik özellikleri makro ve mikro olmak üzere iki farklı grupta incelenmiştir. Farklı basınçlarda bilyalı dövülen ve dövülmeyen malzemelerin mikroyapısal özellikleri incelenmiş ve mekanik dayanımın gelişmesine neden olan mekanizmalar araştırılmıştır. Metottaki yöntem ve işlem sırası Şekil 3.3'te belirtilmiştir.



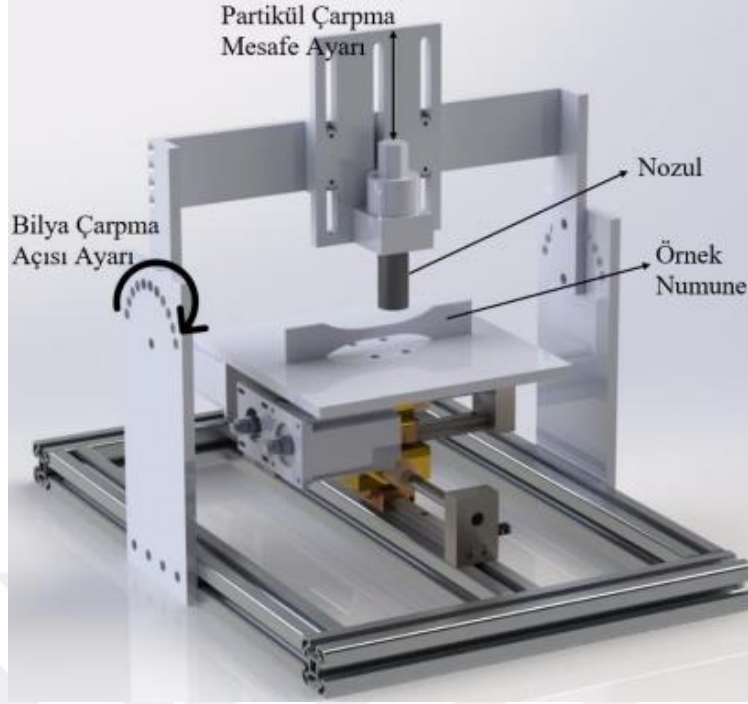
Şekil 3.2. S60 paslanmaz çelik bilyaların SEM görüntüsü (Avcu, 2018)



Şekil 3.3. Çalışma akış şeması

3.2.1. Bilyalı Dövme

Çalışma kapsamında uygulanacak bilyalı dövme işlemi Kocaeli Üniversitesi Ford Otosan Meslek Yüksekokulu, Yüzey İşlemleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4'te şematik olarak gösterilen özel tasarım bilgisayarlı nümerik kontrol (CNC) destekli bilyalı dövme cihazı ile 1 Bar ve 5 Bar olmak üzere iki farklı parametrede dövme işlemi gerçekleştirilmiştir olup diğer parametreler (nozul açısı, nozul mesafesi, bilya çapı, bilya malzemesi vb.) sabit tutulmuştur. Tablo 3.4'te uygulanan bilyalı dövme yöntemine ait parametreler yer almaktadır.



Şekil 3.4. Bilyalı dövme cihazı (Yıldıran Avcu, 2019)

Tablo 3.4. Bilyalı dövme yöntem parametreleri

Bilya türü	S60 Chronital	
Bilya çapı (mm)	0,7 - 1,00	
Bilya sertliği (HV)	450	
Püskürtme basıncı (bar)	1	5
Çarpma açısı (°)	90	
Süre (dk)	5	

3.2.2. Çekme Testi

AA1050 alaşımına uygulanan farklı parametrelerde uygulanan bilyalı dövme işlemi sonrası malzemenin mekanik özelliklerini tespit etmek için çekme testi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan çekme testi cihazı Kocaeli Üniversitesi bünyesinde yer alan Instron 4411 modeli olup çekme-basma kapasitesi 5 kN'dur (Şekil 2.5). Çekme testi 5mm/dk sabit hızda gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri işlem görmemiş, 1 bar ve 5 barda bilyalı dövülen numunelerde üçer tekrarla tekrarlanmış ve ortalamalar alınmıştır. Toplamda elde edilen 9 adet çekme testi verisi bilgisayar ortamında grafik haline getirilmiş ve ofset metodu kullanılarak akma dayanımları tespit edilmiştir.



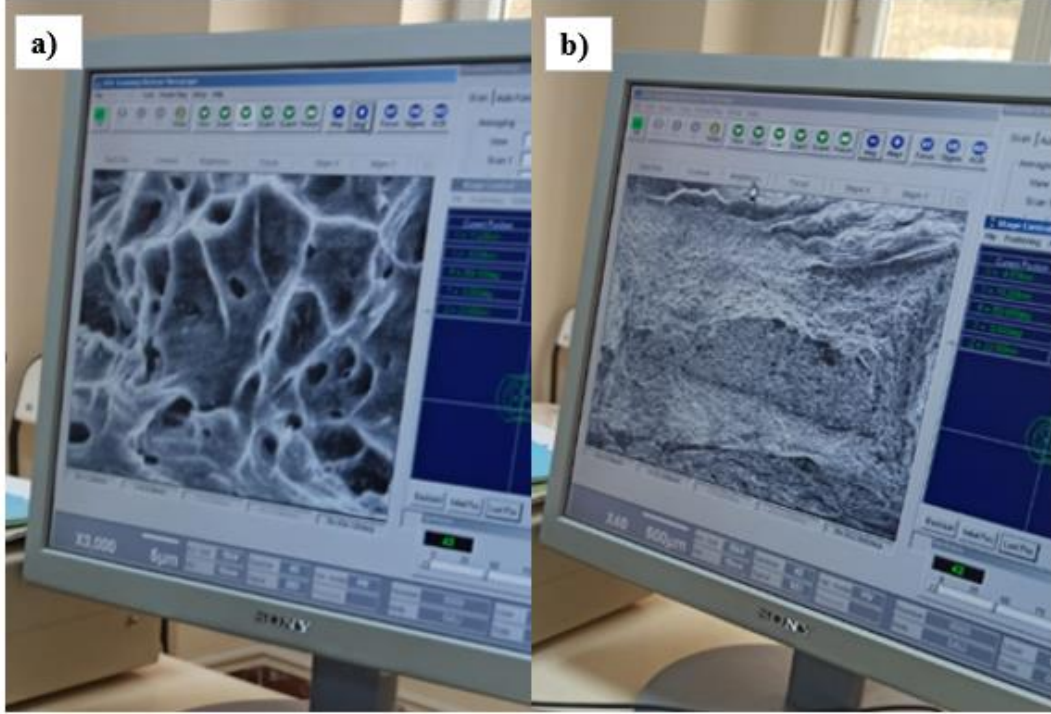
Şekil 3.5. Çekme cihazı

Bu metotta elastik bölgede doğrusal gerilme-gerinme artışına %0,2 paralelinden aynı eğim ile başka bir doğru çizilmiştir. 2 doğrunun birbirini kestiği nokta olan akma noktası bu şekilde tespit edilmiştir. Grafik verileri kullanılarak akma ve çekme dayanımlarının yanı sıra yüzde uzama, rezilyans ve tokluk değerleri de hesaplanmıştır. Bu değerler mühendislik gerilme ve gerinme grafiğinin altında kalan alanların hesaplanmasıyla bulunmuştur.

3.2.3. Kırılma (Fraktografi) Analizi

Farklı basınçlarda dövülen ve işlem görmemiş numunelerin çekme testi sonrası kırılma yüzeylerinin analizi yapılmıştır. Çalışmada JEOL JSM-6060LV model taramalı elektron

mikroskobu kullanılmıştır. Çalışmada farklı ölçeklerde büyütme oranları kullanılmış olup analizler Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kırılma yüzeyinin analizi a) mikro ölçekli, b) makro ölçekli

İşlem görmemiş ve bilyalı dövülmüş numunelerin çekme testi sonrası kırılma yüzeyleri 25X ila 3000X büyütme oranlarında incelenmiştir. Her bir numune için 20 adet görüntü alınmıştır.

3.2.4. Yüzey Pürüzlülük Haritalaması

Bilyalı dövülen ve işlem görmemiş numunelerin yüzey pürüzlülükleri Şekil 3.7’de gösterilen Sakarya Üniversitesi bünyesinde olan Huvitz marka üç boyutlu optik profilometre cihazı ile ölçülmüştür. Ölçüm sonucu elde edilen veriler MountainsLab programıyla haritalandırılmıştır. 1 bar ve 5 barda bilyalı dövme işlemi uygulanan numunelerin yüzeyinde oluşan pürüzlülük değerleri ve haritaları oluşturulmuştur. Bu sayede numune yüzeylerinin pürüzlülük değerleri ortak skalada irdelenmiştir. Ortak skala üzerinde numunelerin tepe ve çukur oluşumları arasındaki fark renklendirilmiştir.



Şekil 3.7. Optik profilometre (Huvitz)

3.2.5. Yüzey Morfolojisi

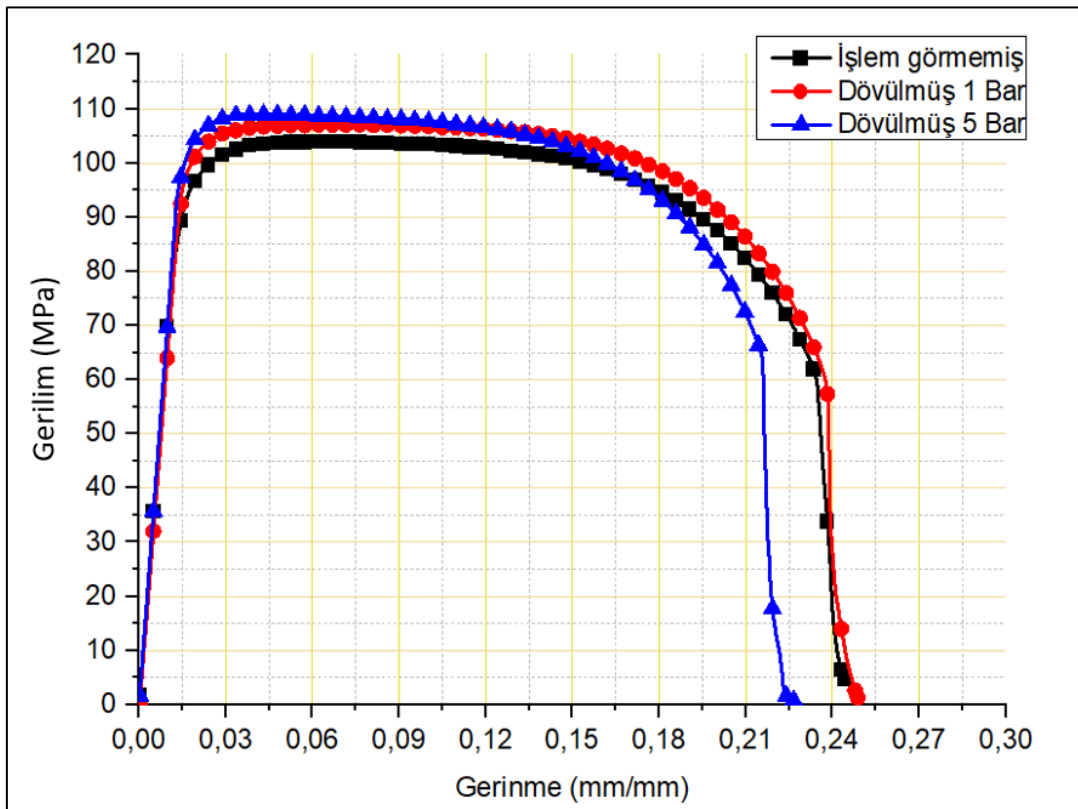
Bilyalı dövme işleminin mikroyapısal özelliklerde meydana getirdiği değişimlerin tespiti için Sakarya Üniversitesi bünyesinde yer alan JEOL JSM-6060 LV model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. SEM cihazı ile farklı parametrelerde bilyalı dövülmüş numunelerin yüzey morfolojileri 100x ila 1000x büyütme değerleri ve arasında incelenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

AA1050 alüminyum alaşımının işlem görmemiş ve bilyalı dövülmüş numunelerin makro ve mikro mekanik özelliklerinde meydana gelen gelişmeler mikroyapısal özelliklerdeki değişimlerle açıklanmıştır.

4.1. Çekme Testi Sonuçları

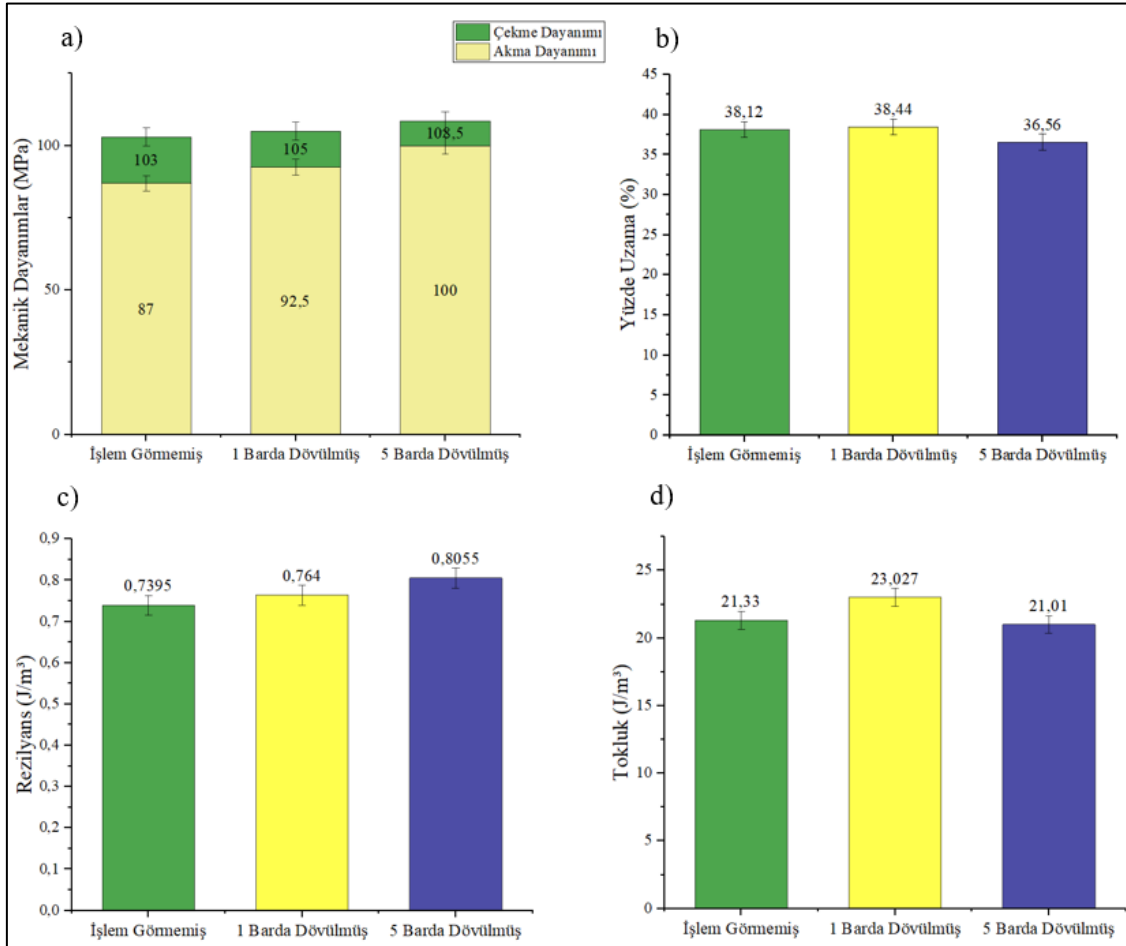
Çekme testleri sonucunda işlem görmemiş numune, 1 bar ve 5 bar basınç altında dövülen numunelerin gerilim-gerinim grafikleri Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.1. Çekme testi sonuçları

Elde edilen gerilim-gerinim eğrilerine ofset metodu uygulanarak numunelerin akma dayanımları elde edilmiştir. Elastik bölgedeki doğrusal verilere %0,2 ötelenmiş paralel bir doğru çizilmiş ve çekme eğrisinin plastik bölgeye geçişinde kesiştiği nokta olanakma noktası tespit edilmiştir. Bu metot sonucunda işlem görmemiş numune için akma dayanımı 87 MPa ve çekme dayanımının ise 103 MPa olduğu görülmüştür. Bilyalı dövülen numunelerden, 1 bar basınç altında dövülen numunelerin akma dayanımının 92,5 MPa, çekme dayanımının ise 105 MPa, 5 bar basınç altında dövülen numunelerin ise

akma dayanımının 100 MPa, çekme dayanımının ise 108,5 MPa değerine çıktığı tespit edilmiştir. Sonrasında numuneler için yüzde uzama, rezilyans modülü ve tokluk değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Çekme testi verileri kullanılarak hesaplanan a) mekanik dayanımlar, b) yüzde uzama değerleri, c) rezilyans değerleri ve d) tokluk değerleri

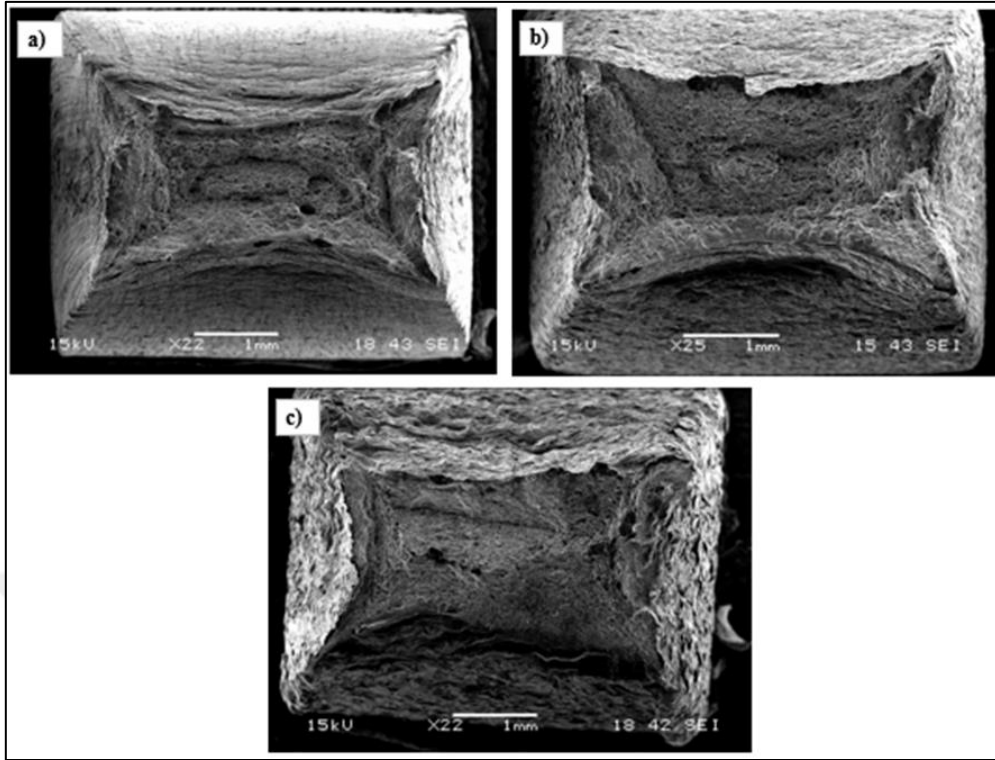
Şekil 4.2’de incelendiğinde, 5 barda dövülen malzemenin mukavemet değerlerinin diğer numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra 1 Barda dövülen malzemenin gelişen mukavemet değerlerinin yanı sıra sünek davranışının da geliştiği tokluk değerlerinden anlaşılmaktadır. 1 barda dövülen numunelerde oluşan kalıntı basma gerilmeleri sonucu mikro çatlakların ilerlemesinin kısıtlanması malzemenin kırılmasını geciktireceği beklenmektedir. Aynı bakış açısıyla yüzde uzama değerleri de incelendiğinde 5 barda dövülen numunenin gerek yüzde uzama değeri gerekse tokluk değeri incelendiğinde malzemenin gevrek davranışının arttığını göstermektedir. Buna

bağlı olarak rezilyans değeri 5 barda dövülen numune için en yüksektir. Bu değer akma dayanımının gelişmesinin sonucudur.

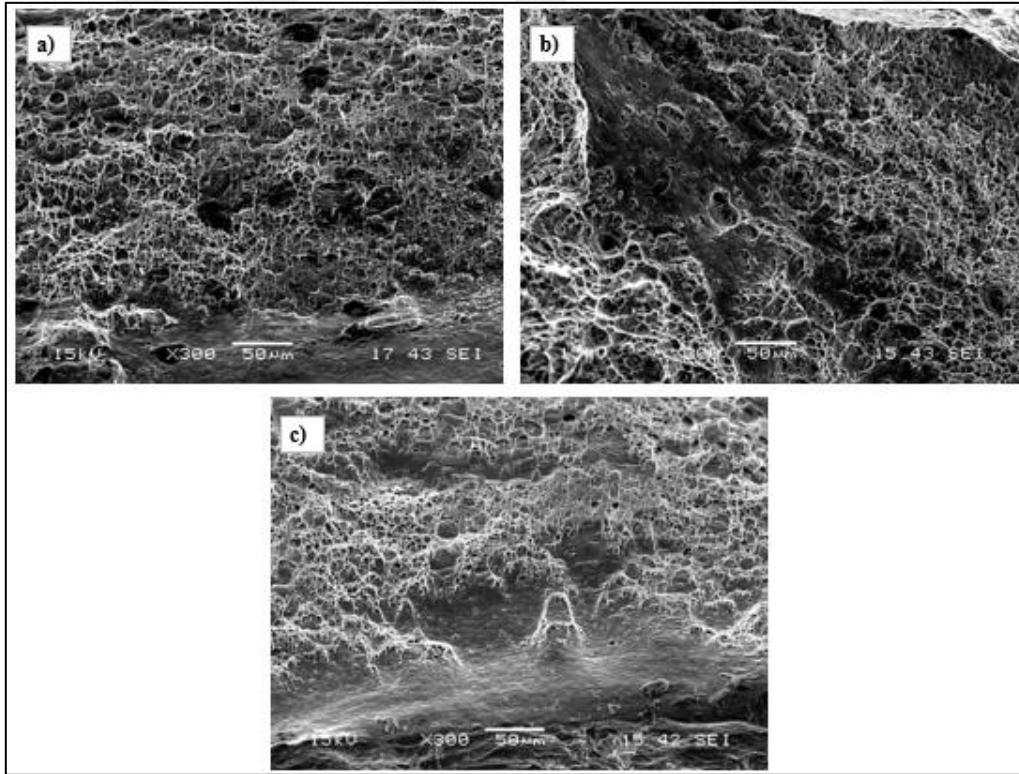
Farrahi ve ark. A356 alüminyum alaşımına 2 farklı şiddette bilyalı dövme uygulamış ve malzemenin akma dayanımını %16 oranında geliştiğini çekme dayanımının ise işlem görmemiş numuneye göre daha az geliştiğini tespit etmişlerdir (Farrahi ve diğ., 2020). Jamalian ve ark. yapmış olduğu çalışmada TRC AZ31 alaşımına uyguladıkları aşırı bilyalı dövme sonrası artan mekanik özelliklerle beraber malzemenin sünekliğinde düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir (Jamalian ve Field, 2019). Şekil 4.1 incelendiğinde 5 bar için sünekliğin düştüğü görülmektedir. Bunun sebebinin malzemenin bilyalı dövme sonrası gevrekleşmesi ve yüzey morfolojisi ile beraber incelendiğinde dövmenin basıncının artması sonucunda malzeme yüzeyinde çatlak oluşumlarının ve malzeme kopmalarının gerçekleşmesidir. Bu sebeplerden ötürü tokluk değerinde düşme yaşandığı düşünülmektedir. 1 barda bilyalı dövülen numunede ise aşırı plastik deformasyon olmaması ve 5 barda dövülen numuneye göre yüzeyde çatlakların meydana gelmemesi göz önünde bulundurulduğunda bilyalı dövme sonrası oluşan kalıntı basma gerilmeler ve yüzey altı çatlaklarının azalması sebebiyle tokluk değerinin arttığı ve sünekliğin az da olsa geliştiği düşünülmektedir.

Çekme testi sonrası oluşan kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

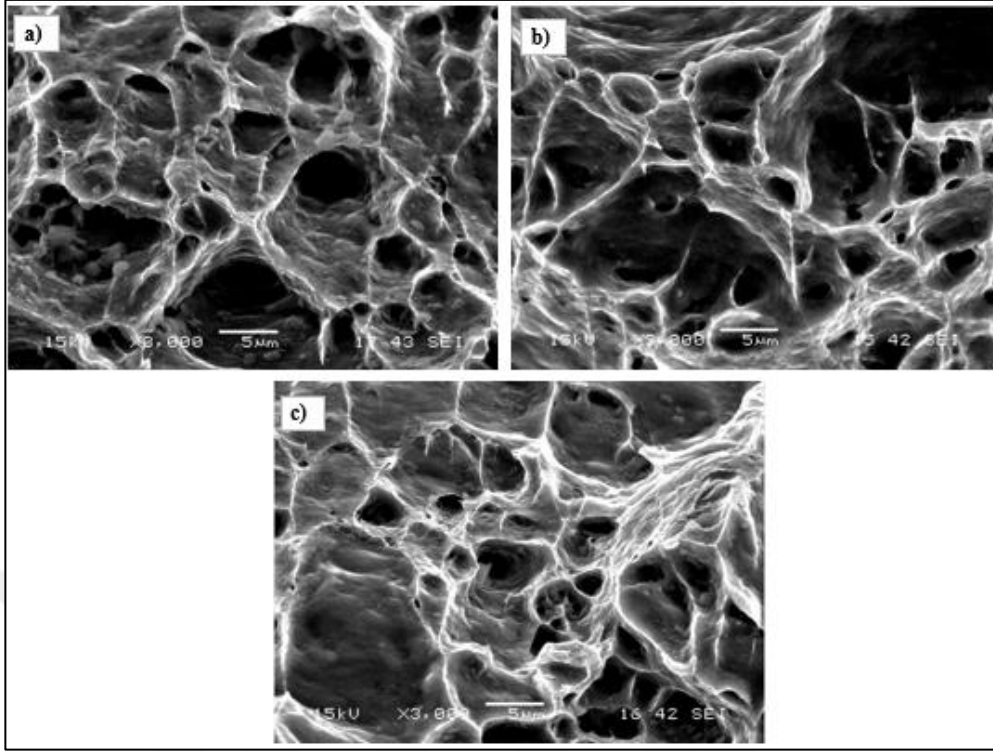
Şekil 4.3 incelendiğinde numunelerin kırılma yüzeyinde kopma öncesi yüksek plastik deformasyona maruz kalarak boyun verdiği görülmektedir. Şekil 4.4'te ise kırılma bölgesinde küçük boşlukların meydana geldiği görülmektedir. Devamında Şekil 4.5'te boşluklar daha detaylı gösterilmiş olup boşlukların birleşmeye başladığı görülmektedir. Bu bilgiler ışığında numunelerin kırılma mekanizmasının konik çanak kırılma olduğu tespit edilmiştir. Konik çanak kırılma mekanizması Şekil 4.6'da açıklanmıştır. Sünek malzemelerde görülen bu mekanizma kuvvetin etkisiyle boyun verme (plastik deformasyon) sonrası malzemenin iç yapısında oluşan küçük boşlukların amanla büyüyerek birleşmesi ve malzemede kopmanın gerçekleşmesi ile son bulan kırılma mekanizmasıdır.



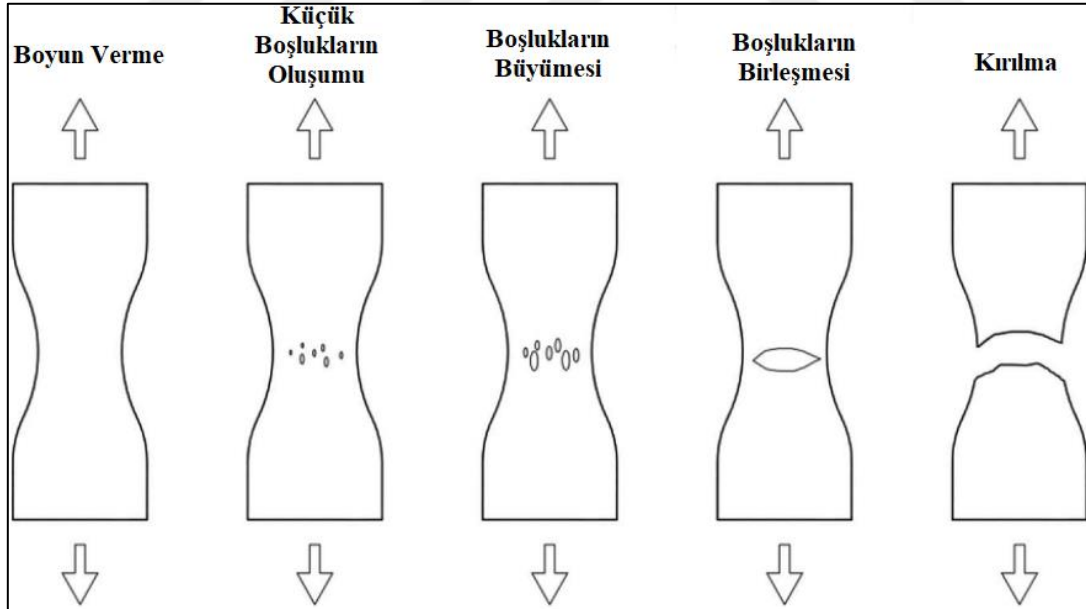
Şekil 4.3. Kırılma yüzeyleri düşük ölçekli büyütme değerinde a) işlem görmemiş numune, b) 1 barda dövülmüş numune, c) 5 barda dövülmüş numune



Şekil 4.4. Kırılma yüzeyleri orta ölçekli büyütme değerinde a) işlem görmemiş numune, b) 1 barda dövülmüş numune, c) 5 barda dövülmüş numune



Şekil 4.5. Kırılma yüzeyleri yüksek ölçekli büyütme değerinde a) işlem görmemiş numune, b) 1 barda dövülmüş numune, c) 5 barda dövülmüş numune



Şekil 4.6. Konik çanak kırılma (Kossakowski, 2012)

4.2. Yüzey Pürüzlülüğü ve Topografyası

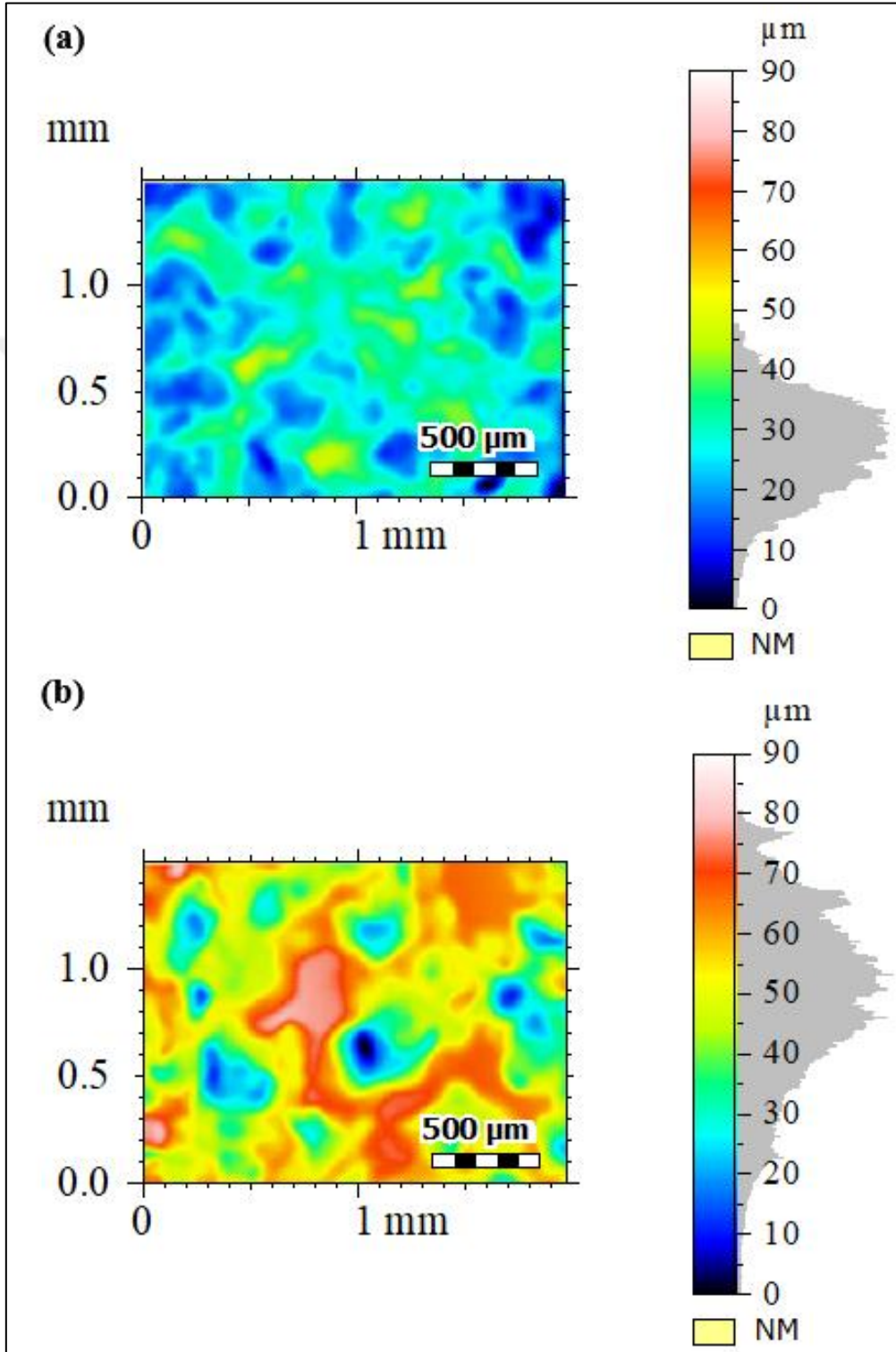
Bilyalı dövme işlemi sonrasında malzemelerin alansal yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 1 barda ve 5 barda bilyalı dövülen numunelerin alansal yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 4.7’de sunulmaktadır. 1 barda ve 5 barda bilyalı dövülen numunelerin Şekil 4.8’de yüzey topografyaları ve Şekil 4.9’da 3B topografya haritaları görülmektedir. Şekil 4.7’de verilen 1 barda ve 5 barda bilyalı dövülmüş numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde 5 barda bilyalı dövülen numunelerin tüm alansal pürüzlülük değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

(a) ISO 25178 - Primary surface				(b) ISO 25178 - Primary surface			
F: None				F: None			
S-filter (λ s): None				S-filter (λ s): None			
Height parameters				Height parameters			
Sq	7.476	μm		Sq	13.74	μm	
Ssk	-0.1765			Ssk	-0.3807		
Sku	2.735			Sku	2.907		
Sp	20.72	μm		Sp	30.70	μm	
Sv	27.01	μm		Sv	50.27	μm	
Sz	47.73	μm		Sz	80.97	μm	
Sa	6.096	μm		Sa	10.97	μm	

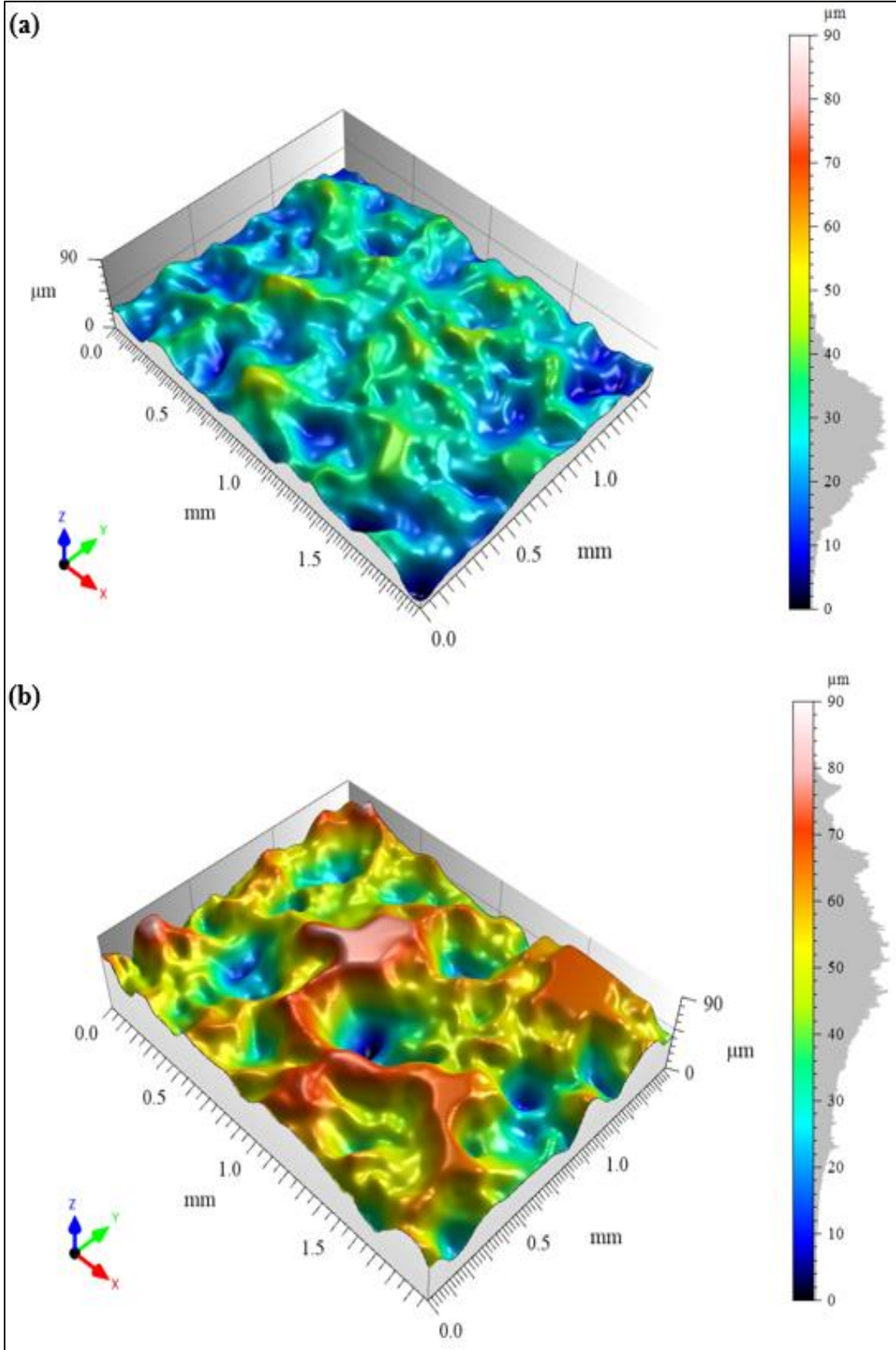
Şekil 4.7. a) 1 barda ve b) 5 barda bilyalı dövülmüş numunelerin alansal pürüzlülük değerleri

Şekil 4.7’de yer alan veriler incelendiğinde 1 barda bilyalı dövülen numune yüzeyinin alanı boyunca oluşan ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 6,096 μm , 5 barda bilyalı dövülen yüzeyinin alanı boyunca oluşan ortalama pürüzlülük değeri 10,97 μm olduğu görülmektedir. Sa değerleri arasında oluşan bu fark bilyalı dövme yöntemi esnasında uygulanan basınç değerlerinden kaynaklanmaktadır. Numunelerin en yüksek tepe değerleri (Sp) incelendiğinde 5 bar için 30,72 μm , 1 bar için 20,72 μm değeri tespit edilmiştir. üç boyutlu optik profilometre cihazı ile ölçülen ve elde edilen verilere göre MountainsLab programıyla haritalandırılan yüzey durumları Şekil 3.8 ve 3.9’da görülmektedir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 incelendiğinde bilyalı dövülen numune yüzeyinde meydana gelen tepe ve çukur oluşumları eş ölçekte irdelenmiştir. Şekillerde kırmızı bölgeler tepeleri, mavi bölgeler ise çukurları göstermektedir. 5 barda bilyalı dövülen numunede yüzey deformasyonun daha yüksek oranda olduğu görülmektedir. 5 barda bilyalı dövülen numunenin çukur derinlikleri 50 μm civarında iken 1 Barda bilyalı

dövülen numune içinse çukur derinliği 27 μm civarındadır. Wei ve ark. yapmış olduğu çalışmalarda saf bakır malzemesine lazer dövme uygulaması olup dövme şiddetinin artması soncunda yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmişlerdir (Wei ve diğ., 2021).



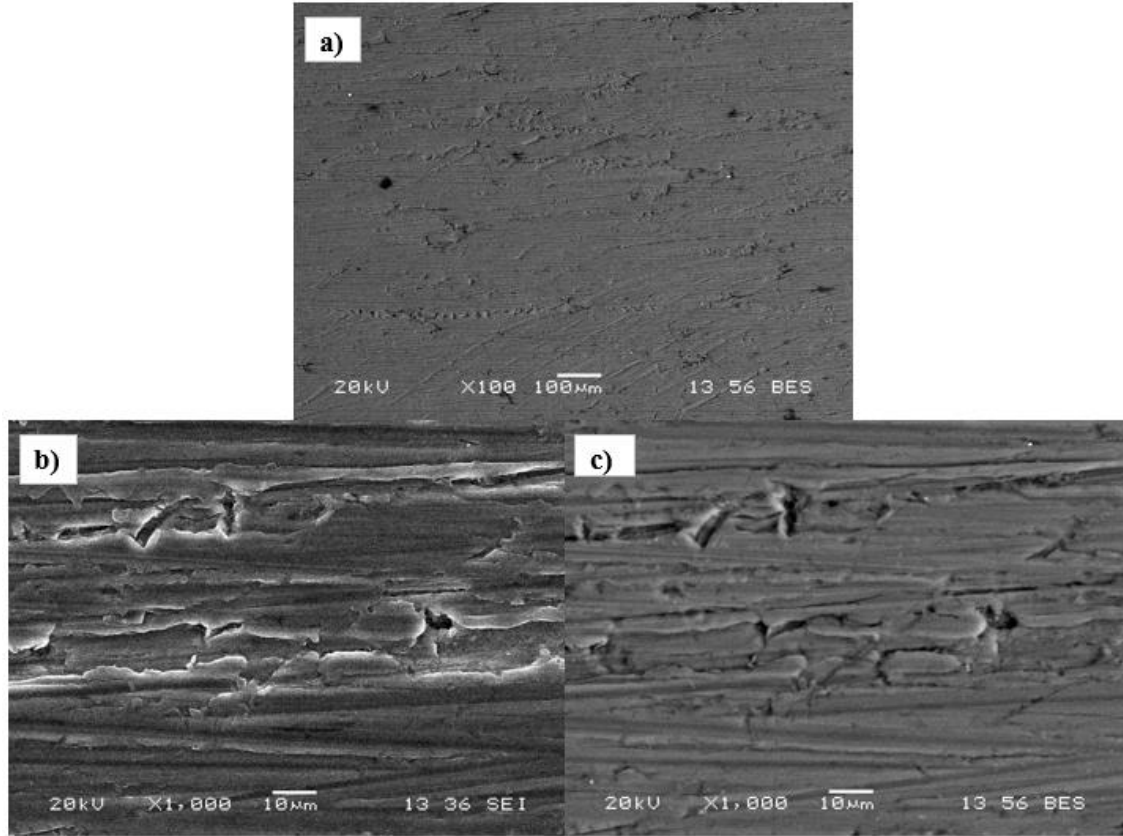
Şekil 4.8. a) 1 barda ve b) 5 barda bilyalı dövülmüş numunelerin yüzey topografyaları



Şekil 4.9. a) 1 barda ve b) 5 barda bilyalı dövülmüş numunelerin 3b topografya haritaları

4.3. Yüzey Morfolojileri

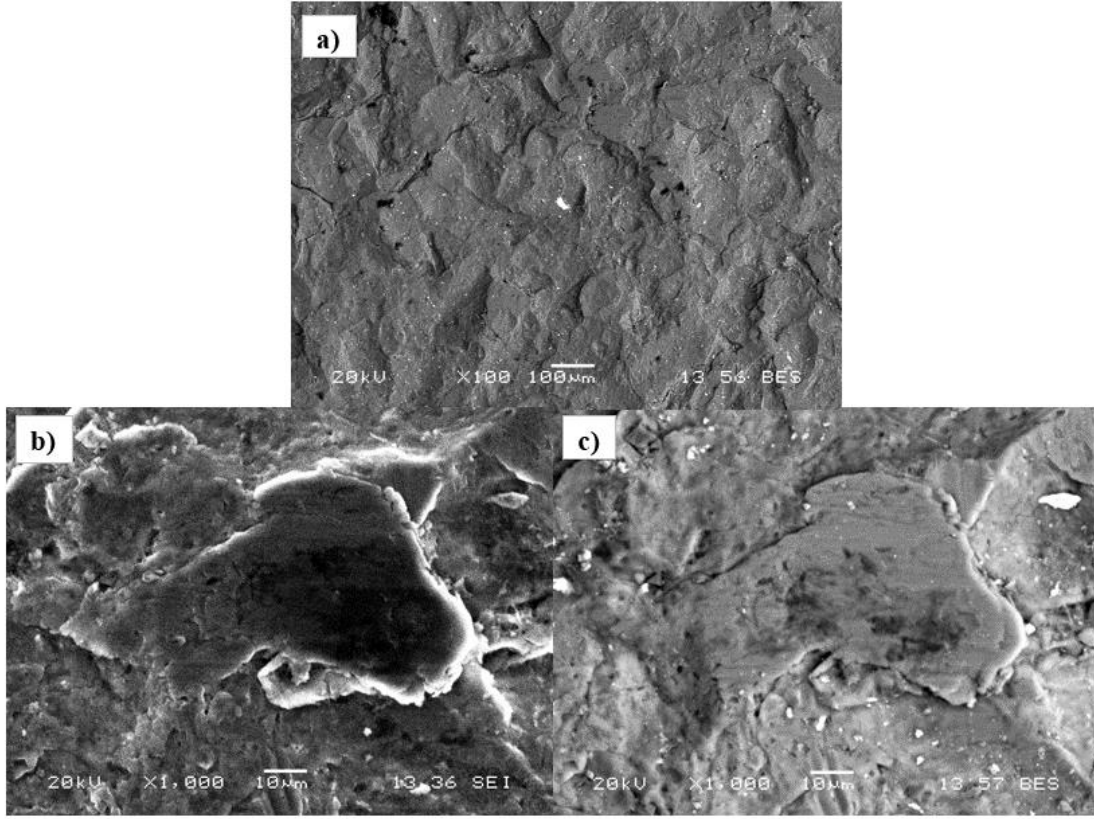
İşlem görmemiş numune, 1 barda ve 5 barda bilyalı dövülmüş numunelerin yüzey morfolojileri sırasıyla Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12’te verilmiştir. Yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı ile 50X ile 1000X büyütme değerlerinde alınmıştır.



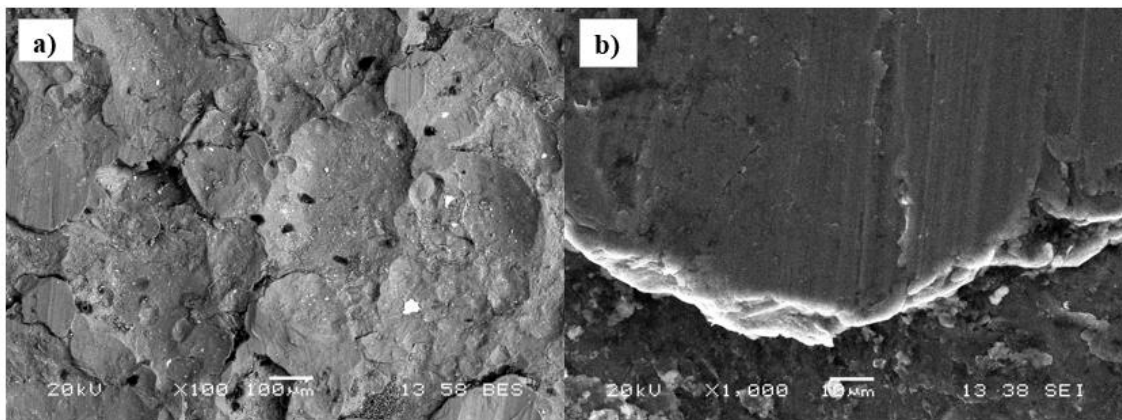
Şekil 4.10. İşlem görmemiş numunenin yüzey mikroyapısı a)100X, b)1000X, c) 1000X büyütme oranlarında

Şekil 4.10’da işlem görmemiş numunenin yüzey topografyası incelendiğinde malzeme yüzeyinin genel anlamda üretime bağlı olarak yönlendirilmiş yapısı ve yüzeyin düz olduğu görülmektedir. Şekil 4.11 ve 4.12 incelendiğinde bilyalı dövme sonrası AA1050 alaşımı numunelerin yüzeyinde plastik deformasyon görülmektedir. Şekil 4.11’de belirtilen 1 barda bilyalı dövülen numunenin yüzeyi ile Şekil 4.12’de belirtilen 5 barda bilyalı dövülen numunenin yüzeyi beraber incelendiğinde 1 barda bilyalı dövülen numunede bilyaların etkisiyle oluşan çukurlaşmaların 5 barda bilyalı dövülen numuneye göre daha az olduğu görülmektedir. 5 barda dövülen numunenin yüzeyinde çatlak oluştuğu Şekil 4.12’de görülmektedir. Aynı zamanda 5 barda dövülen numunenin yüzeyindeki

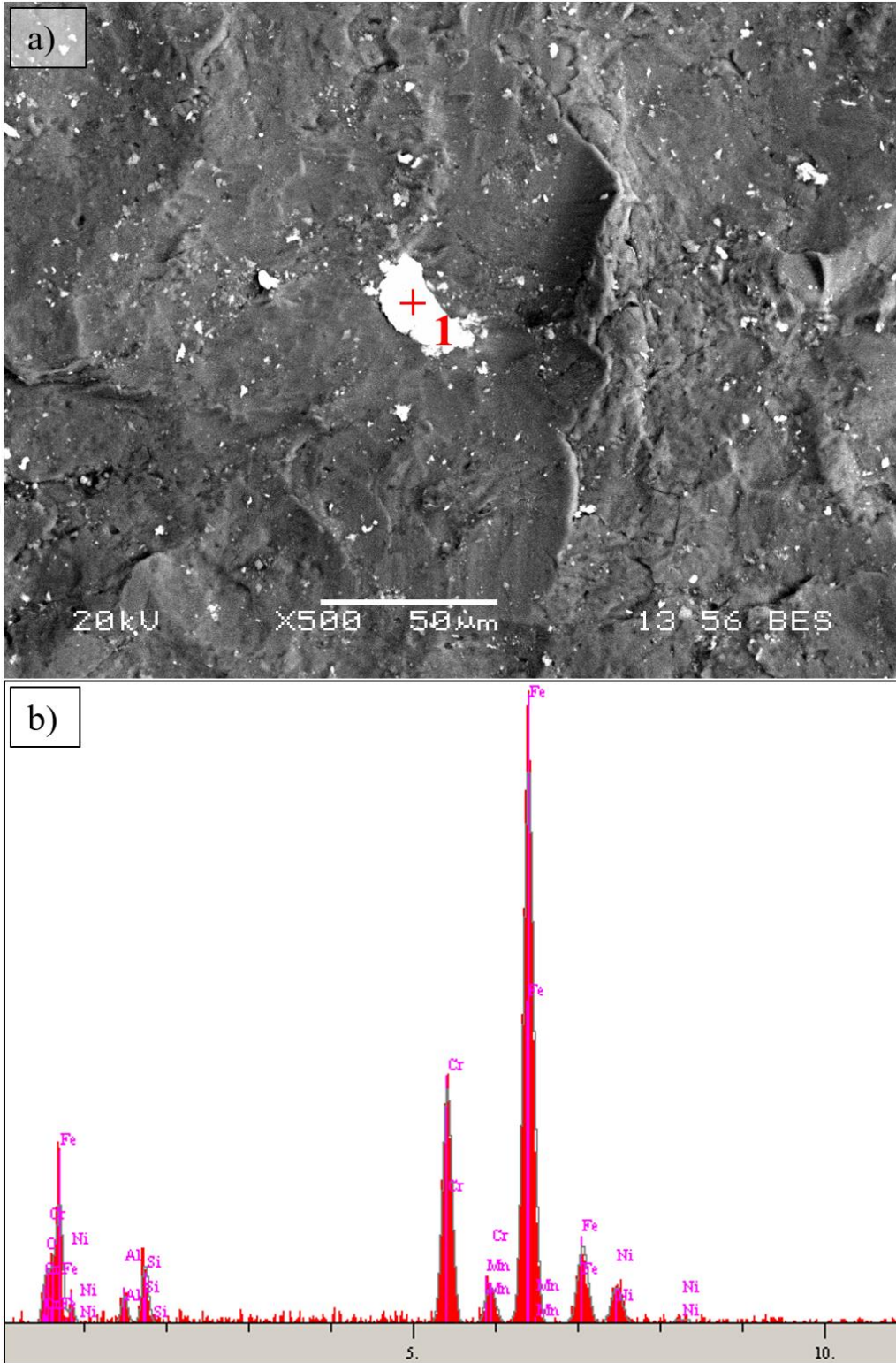
deformasyonun daha yüksek oranda olduğu gör÷lmektedir. Nitekim bir önceki bölümde belirtilen 5 barda döv÷len numunenin 3 boyutlu topografya harita sonuçları bunu desteklemektedir.



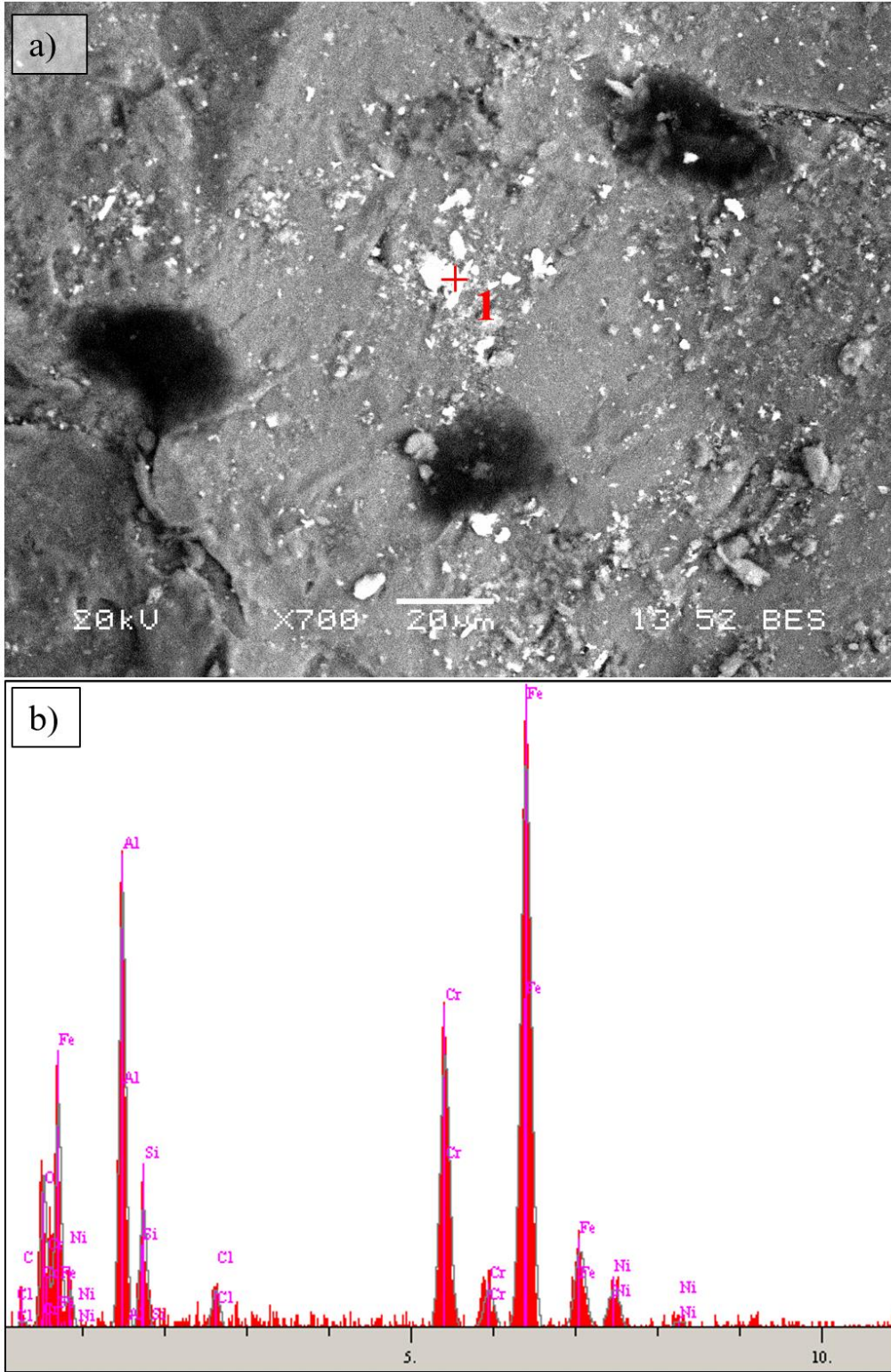
Şekil 4.11. 1 barda bilyalı döv÷lmüş numunenin yüzey mikroyapısı a)100X, b)1000X, c) 1000X büyütme oranlarında



Şekil 4.12. 5 barda bilyalı döv÷lmüş numunenin yüzey mikroyapısı a)100X, b) 250X, c) 1000X büyütme oranlarında



Şekil 4.13. 1 barda bilyalı dövülen numunenin yüzeyine saplanan bilya parçaları



Şekil 4.14. 5 barda bilyalı dövülen numunenin yüzeyine saplanan bilya parçaları

Şekil 4.12-b incelendiğinde numunenin yüzeyinden malzeme koptuğu görülmektedir. Her iki numunede de (1 bar ve 5 barda dövülen) kırılan bilyaların numune yüzeyine

saplandığı görülmektedir. 1 ve 5 barda bilyalı dövülen numunelerin yüzeylerine saplanan bilyalar ve enerji dağılım spektroskopisi (EDS) analizleri sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te belirtilmiştir.

Şekil 4.13-a'da 1 bar püskürtme basıncı ile dövülen numune yüzeyinin SEM görüntüsü verilmiştir. Görüntüde kontrastın olduğu noktaya EDS analizi gerçekleştirilmiştir. EDS sonuçlarına (Şekil 4.13-b) göre bu bölgede bilyalı dövme esnasında paslanmaz çelik bilyaların saplandığı belirlenmiştir. EDS analizi sonucunda; %71 demir (Fe), %16 oranında krom (Cr) tespit edilmiştir. EDS analiz sonuçları parlak bölgelerin paslanmaz çelik bilyalar olduğu anlaşılmaktadır. Paslanmaz çelik bilyaların sertliğinin uygulandığı malzemenin sertliğine göre daha yüksek olması sebebiyle numune yüzeyine saplandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda uygulama boyunca malzeme yüzeyine çarpıp tekrardan kullanılan bilyaların yuvarlıklarını kaybetmeleri ve çarpmanın etkisiyle hatlarının keskinleşmesi de bu etkiyi arttırdığı söylenebilir. Şekil 4.14-a'da 5 bar bilya püskürtme basıncı ile bilyalı dövülen yüzeyde de benzer kontrastın olduğu noktalar incelendiğinde parlak bölgelerin %56 oranında demir (Fe) ve %15 oranında krom (Cr) içerdiği analiz edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada AA1050 alüminyum alaşımı numuneler farklı basınç parametreleri altında bilyalı dövme yöntemine tabi tutulmuştur. Bilyalı dövülen numuneler ve işlem görmemiş numuneler çekme testlerine tabi tutulmuştur. Çekme testleri sonrası numunelere ait mühendislik gerilme-gerinme eğrileri elde edilmiş ve bu eğri kullanılarak mekanik dayanımlar, yüzde uzama, rezilyans ve tokluk değerleri saptanmıştır. Çekme testi sonrası kırılan numune yüzeylerinin SEM görüntüleri alınmış ve kırılma mekanizmaları incelenmiştir. Ayrıca bilyalı dövmenin yüzey topografyasına olan etkisi optik profilometre cihazı kullanılarak MountainsLab programı yardımıyla incelenmiştir. İşlem görmemiş ve bilyalı dövülmüş numunelerin yüzey morfolojisi SEM cihazı yardımıyla incelenmiştir. Bu sayede bilyalı dövme ve şiddetinin yüzeyin morfolojisi, topografisi ve malzemenin mekanik özelliklerine etkisi irdelenmiştir.

1 ve 5 bar basınçla bilyalı dövülen numunelerde çekme testi sonrası sırasıyla akma dayanımında sırasıyla %6,3 ve %15 oranında gelişme görülmüştür. Ayrıca 1 bar basınçla dövülen numunenin süneklik davranışında gelişme tespit edilmiştir. Bunun sebebinin yüzey altı yapısındaki mikro çatlakların ilerlemesinin bilyalı dövme etkisi ile kısıtlanmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bilyalı dövülen malzemelerin yüzey ve yüzey altı sertliği pekleşme ve kalıntı basma gerilmelerinin etkisiyle artmaktadır. Aynı zamanda tane yapısının incelmesi sonucunda dislokasyon hareketleri kısıtlanmaktadır. 5 bar basınçla dövülen numunede ise aşırı plastik deformasyona maruz kalan yüzeyde meydana gelen malzeme kopmaları ve çatlakların sünekliği azalttığı sonucuna varılmıştır. Yüzey morfolojileri açısından irdelendiğinde 5 bar basınçla bilyalı dövülen numunenin malzeme yüzeyine olan etki daha yüksek olması nedeniyle 1 bar basınçla bilyalı dövülen numuneye göre daha yüksek pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Tepe ve çukur farkları bu durumu desteklemektedir. Yüzey morfolojisi açısından da 5 bar basınçla bilyalı dövülen numunenin yüzeyine çok sayıda bilya saplandığı tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda saf ve safa yakın malzemelerin mekanik dayanımlarını geliştirmek için kullanılan yöntemlerin sınırlı olması sebebiyle bilyalı dövme uygulanarak bu malzemelerin mekanik dayanımlarının geliştirilebileceği görülmüştür. Hali hazırda mekanik dayanımlarının geliştirilmesi açısından ısıtma işlemi uygulanamayan bu malzemelerin kendilerine has özellikleri de korunması gereken uygulamalarda alaşım

elementi eklenemeyecektir. Bu sebeple saf ve safa yakın malzemelerin dayanımının mekanik yüzey işlemleri ile geliştirilebilmesi önem taşımaktadır. Bu bakış açısıyla gerçekleştirilen çalışmada sınırlı sayıda literatür çalışması saptanmış ve çalışmanın sonucunda saf ve safa yakın malzemelerin dayanım gerektiren uygulamalarda da kullanılabileceği görülmüştür. Bu sayede dayanım gerektiren uygulamalar için saf ve safa yakın malzemelerde bilyalı dövme yönteminin tercih edilebilmesi sağlanmış olacaktır.

Bu çalışmanın devamında malzemelerin bilyalı dövme sonrası sünek ve gevrek davranışlarının daha detaylı incelenmesi amacıyla DIC sistemli çekme testlerinin yapılabileceği ve indentasyon sertlik haritalamaları yapılarak yüzey ve yüzey altı sertlik değerlerinin bilyalı dövme sonrası ne oranda değiştiğinin gözlenmesi literatüre daha detaylı bilgi verecektir.

KAYNAKLAR

- AlMangour, B., Yang, J.-M. (2016). Improving the surface quality and mechanical properties by shot-peening of 17-4 stainless steel fabricated by additive manufacturing. *Materials & Design*, 110, 914-924.
- Avcu, E. (2018). Bilyalı Dövme Parametrelerinin AA7075 Alüminyum Alaşımının Yüzey Altı Özelliklerine Etkileri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 6(4), 741-752.
- Avcu, Y. Y., Gönül, B., Yetik, O., Sönmez, F., Cengiz, A., Guney, M., Avcu, E. (2021). Modification of surface and subsurface properties of AA1050 alloy by shot peening. *Materials*, 14(21), 6575.
- Azar, V., Hashemi, B., Yazdi, M. R. (2010). The effect of shot peening on fatigue and corrosion behavior of 316L stainless steel in Ringer's solution. *Surface and Coatings Technology*, 204(21-22), 3546-3551.
- Bagheri, S., Guagliano, M. (2009). Review of shot peening processes to obtain nanocrystalline surfaces in metal alloys. *Surface Engineering*, 25(1), 3-14.
- Cayless, R. (2013). Alloy and temper designation systems for aluminum and aluminum alloys.
- Chen, H., Guan, Y., Zhu, L., Li, Y., Zhai, J., Lin, J. (2021). Effects of ultrasonic shot peening process parameters on nanocrystalline and mechanical properties of pure copper surface. *Materials Chemistry and Physics*, 259, 124025.
- Dai, K., Shaw, L. (2007). Comparison between shot peening and surface nanocrystallization and hardening processes. *Materials Science and Engineering: A*, 463(1-2), 46-53.
- Davis, J. R. (1993). Aluminum and aluminum alloys. ASM international.
- Davis, J. R. (1999). Corrosion of aluminum and aluminum alloys. Asm International.
- Dhakal, B., Swaroop, S. (2020). Effect of laser shock peening on mechanical and microstructural aspects of 6061-T6 aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 282, 116640.
- Eckersley, J. (1990). Effect of Shot Peening Process Controls on Consistent Treatment. In *Surface Engineering* (pp. 417-427). Springer.
- Farrahi, G. H., Jafarzadeh, H., Esmaeili, M. A. (2020). Experimental Analysis on the Material Properties of A356. 0 Aluminum Alloy Surface Nanostructured by Severe Shot Peening. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29(1), 143-154.

- Feng, X.-w., Xie, J., Xue, W.-y., Shen, Y.-f., Wang, H.-b., Liu, Z.-y. (2019). Microstructure and nanoindentation hardness of shot-peened ultrafine-grained low-alloy steel. *Journal of Iron and Steel Research International*, 26(5), 472-482.
- Georgantzia, E., Gkantou, M., Kamaris, G. S. (2021). Aluminium alloys as structural material: A review of research. *Engineering Structures*, 227, 111372.
- Hatamleh, O. (2008a). The effects of laser peening and shot peening on mechanical properties in friction stir welded 7075-T7351 aluminum. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 17(5), 688-694.
- Hatamleh, O. (2008b). Effects of peening on mechanical properties in friction stir welded 2195 aluminum alloy joints. *Materials Science and Engineering: A*, 492(1-2), 168-176.
- Jain, A. (2001). A database for shot peening parameters and desired residual stress distribution. *International Conference on Shot Peening and Blast Cleaning*, 181-189
- Jamalian, M., Field, D. P. (2019). Effects of shot peening parameters on gradient microstructure and mechanical properties of TRC AZ31. *Materials Characterization*, 148, 9-16.
- Jing, Y., Fang, X., Xi, N., Feng, X., Huang, K. (2021). Investigation of microstructure and mechanical properties evolution in 7050 aluminum alloy and 316L stainless steel treated by laser shock peening. *Materials Characterization*, 182, 111571.
- Kaufman, J. G., Rooy, E. L. (2004). Aluminum alloy castings. Properties, Processes and Applications, ASM International.
- Kossakowski, P. G. (2012). Influence of initial porosity on strength properties of S235JR steel at low stress triaxiality. *Archives of Civil Engineering*, 58(3), 293-308.
- Kumar, H., Singh, S., Kumar, P. (2013). Modified shot peening processes, A review. *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, 5(1), 12-19.
- Kvackaj, T. (2011). Aluminium Alloys: Theory and Applications. BoD–Books on Demand.
- Liu, M., Zheng, Q., Wang, X., Xu, C. (2022). Characterization of distribution of residual stress in shot-peened layer of nickel-based single crystal superalloy DD6 by nanoindentation technique. *Mechanics of Materials*, 164, 104143.
- Liu, Y., Cao, Y., Zhou, H., Chen, X., Liu, Y., Xiao, L., Huan, X., Zhao, Y., Zhu, Y. (2020). Mechanical Properties and Microstructures of Commercial-Purity Aluminum Processed by Rotational Accelerated Shot Peening Plus Cold Rolling. *Advanced Engineering Materials*, 22(1), 1900478.

- Lumley, R. (2010). Fundamentals of aluminium metallurgy: production, processing and applications. Elsevier.
- Luo, P., Wang, Z., Wu, G., Wang, Y., Cheng, M. (2017). Literature review on state of the art in shot peening in the last decade (2006–2015). *Advanced High Strength Steel and Press Hardening: Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced High Strength Steel and Press Hardening (ICHSU2016)*.
- Maawad, E. K. S. (2013). Residual Stress Analysis and Fatigue Behavior of Mechanically Surface Treated Titanium Alloys:(Vom Promotionsausschuss Der Technischen Universität Clausthal Im Jahr 2012 Als Dissertation Angenommene Arbeit). Helmholtz-Zentrum Geesthacht.
- Mazzolani, F. (1994). Aluminium alloy structures. *CRC Press*.
- Mohamed, A.-M. O., Farhat, Z., Warkentin, A., Gillis, J. (2020). Effect of a moving automated shot peening and peening parameters on surface integrity of Low carbon steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 277, 116399.
- Nasiłowska, B., Bogusz, P., Skrzeczanowski, W. (2019). The influence of shot peening on structure and mechanical properties of 5754 aluminium alloy joints welded with TIG method. *Procedia Structural Integrity*, 23, 583-588.
- Odabaş, C. (2007). Alüminyum ve alaşımlarının Kaynağı. Askaynak Yayınları.
- Orozco-Caballero, A., Jackson, T., Da Fonseca, J. Q. (2021). High-resolution digital image correlation study of the strain localization during loading of a shot-peened RR1000 nickel-based superalloy. *Acta Materialia*, 220, 117306.
- Pappa, M., Savaidis, G., Michailidis, N. (2021). Stress-Shot-Peened Leaf Springs Material Analysis through Nano-and Micro-Indentations. *Materials*, 14(17), 4795.
- Parker, G. (2001). Encyclopedia of materials: science and technology.
- Rambabu, P., Eswara Prasad, N., Kutumbarao, V., Wanhill, R. (2017). Aluminium alloys for aerospace applications. *Aerospace materials and material technologies*, 29-52.
- Rodopoulos, C., Romero, J., Curtis, S., De los Rios, E., Peyre, P. (2003). Effect of controlled shot peening and laser shock peening on the fatigue performance of 2024-T351 aluminum alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 12(4), 414-419.
- Sun, R., Li, L., Zhu, Y., Guo, W., Peng, P., Cong, B., Sun, J., Che, Z., Li, B., Guo, C. (2018). Microstructure, residual stress and tensile properties control of wire-arc additive manufactured 2319 aluminum alloy with laser shock peening. *Journal of Alloys and Compounds*, 747, 255-265.
- Tao, X., Gao, Y. (2022). Effects of wet shot peening on microstructures and mechanical properties of a 2060-T8 aluminum-lithium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 832, 142436.

- Unal, O. (2016). Optimization of shot peening parameters by response surface methodology. *Surface and Coatings Technology*, 305, 99-109.
- URL-1: <https://www.thyssenkrupp-materials.co.uk/aluminium-1050.html> (Ziyaret Tarihi:1 Temmuz 2022)
- Wagner, L. (2003). Shot peening. John Wiley & Sons.
- Wang, C., Lai, Y., Wang, L., Wang, C. (2020). Dislocation-based study on the influences of shot peening on fatigue resistance. *Surface and Coatings Technology*, 383, 125247.
- Wang, H., Keller, S., Chang, Y., Kashaev, N., Yan, K., Gurevich, E. L., Ostendorf, A. (2022). Effect of laser shock peening without protective coating on the surface mechanical properties of NiTi alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 896, 163011.
- Wei, B., Xu, J., Cheng, Y. F., Wu, J., Sun, C., Wang, Z. (2021). Microstructural response and improving surface mechanical properties of pure copper subjected to laser shock peening. *Applied Surface Science*, 564, 150336.
- Xu, Q., Cao, Y., Cai, J., Yu, J., Si, C. (2021). The influence of ultrasonic shot peening on the surface roughness, microstructure, and mechanical properties of TC2 thin-sheet. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 384-393.
- Yıldıran Avcu, Y., Yetik, O., Guney, M., Iakovakis, E., Sınmazçelik, T., & Avcu, E. (2020). Surface, subsurface and tribological properties of Ti6Al4V alloy shot peened under different parameters. *Materials*, 13(19), 4363.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Bala B., Sönmez F., Yıldırım Avcu Y., Abakay E., Karakulak E., Avcu E., Bilyalı Dövülmüş AA1050 Alüminyum Alaşımının Çekme Davranışının İncelenmesi, 3. *Uluslararası Hasankeyf Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*, Batman, 17-18 Aralık 2022.



ÖZGEÇMİŞ

Berker BALA, ilk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2012 yılında Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği İngilizce lisans programına başladı ve 2017 yılında mezun oldu. 2019 yılında Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bünyesinde göreve başladıktan sonra T.C. Milli Savunma Bakanlığı Tersaneler Genel Müdürlüğü bağlısı Gölcük Tersanesi Komutanlığında Mühendis Üsteğmen rütbesiyle görevine devam etmektedir.

