

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

**BİLYALI DÖVME PROSESİNİN 50CRV4 ÇELİĞİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMUM PROSES
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Ali ELMAS

**Danışman
Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU**



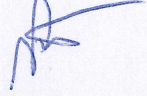
MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Ali ELMAS tarafından hazırlanan "**Bilyalı Dövme Prosesinin 50CrV4 Çeliğine Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum Proses Parametrelerinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması 18/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



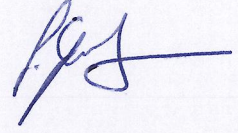
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Fatih KAHRAMAN
Dokuz Eylül Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Simge İRİZALP
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ali ELMAS



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	VII
TEŞEKKÜR.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1 Debriyaj Sistemi	3
2.2 Debriyaj Sisteminin Bileşenleri.....	4
2.2.1 Volan.....	5
2.2.2 Disk.....	6
2.2.3 Baskı	6
2.2.4 Rulman.....	7
2.3 Diyafram Yaylar.....	8
2.3.1 Yay Karakteristiğinin h_0/t Oranına Bağlı Fonksiyonu.....	10
2.3.2 Debriyaj Sisteminde Diyafram Yaylar	11
2.4.Bilyalı Dövme	13
2.4.1 Almen Test Yöntemi.....	16
2.4.2 Bilya tipleri ve özellikleri	19
2.4.3 Bilyalı Dövme Prosesini Etkileyen Parametreler	22
2.4.4 Literatür Araştırması.....	23
2.4 Barkhausen Yöntemi ve Kalıntı Gerilme Ölçümü	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37

3.1 Materyal.....	37
3.2 Yöntem	39
3.2.1 Kalıp içinde su verme	40
3.2.2 Yıkama ve yağ alma	41
3.2.3 Meneviş.....	42
3.2.4 Bilyalı dövme.....	43
3.2.5 Çekme testi	44
3.2.6 Mikroyapı incelemesi	45
3.2.7 Pürüzlülük ölçümü.....	46
3.2.9 MBN ölçümü	48
3.2.10 Yorulma Kaynaklı Kuvvet Kaybı Ölçümleri.....	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
4.1. Mikroyapı İncelemesi.....	52
4.2. Çekme Testi Sonuçları	53
4.3. Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları	59
4.4. Mikro sertlik Ölçüm Sonuçları.....	61
4.5 MBN Ölçüm Sonuçları.....	66
4.6 Yorulma kaynaklı kuvvet kaybı ölçümleri.....	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	Manyetik Akı
CRSF	Kalıntı bası gerilmesi bölgesi
CS MAX	Maksimum basma gerilmesi
d	Sıkışmış tabaka kalınlığı
De	Diyafram yay dış çap
Di	Diyafram yay iç çap
DSP	Double Shot Peened (İki kere bilyalı dövülmüş)
F	Yay kuvveti (N)
FSW	Friction Stir Welding (Sürtünme Karıştırma Kaynağı)
H	Manyetik Alan Şiddeti
h₀	Diyafram yay üzerinde kuvvet yokken ki serbest boy/ konik yüksekliği
KSV	Kalıp içerisinde su verme
l₀	Diyafram yayın serbest durumdaki toplam yüksekliği
MBN	Magnetic Barkhausen Noise (Manyetik Barkhausen Sinyali)
MIG	Gaz altı Ark Kaynağı
PI	Peening Intensity (Dövme Yoğunluğu)
Rms	Ortalama karekök
S	Yer değiştirme (mm)
SP	Shot Peening (Bilyalı Dövme)
SS	Yüzey gerilmesi
t	Kalınlık
TS MAX	Maksimum çekme gerilmesi
USP	Un-Shot Peened (Bilyalı dövülmemiş)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Aktarma organları arasında debriyajın konumu [1]	3
Şekil 2.2: Tek diskli diyafram yaylı baskının çalışma prensibi (Dönmez Debriyaj)...	4
Şekil 2.3: Debriyaj kompleksinin kesit görünümü ve alt parçaları (Dönmez Debriyaj)	5
Şekil 2.4: Volan (Dönmez Debriyaj).....	5
Şekil 2.5: Debriyaj Diski (Dönmez Debriyaj)	6
Şekil 2.6: Debriyaj Baskısı (Dönmez Debriyaj)	7
Şekil 2.7: Debriyaj Rulmanı (Dönmez Debriyaj)	8
Şekil 2.8: Debriyaj sistemlerinde kullanılan diyafram yay (Dönmez Debriyaj)	8
Şekil 2.9: Diyafram yayların ölçü terminolojisi [1].....	9
Şekil 2.10: Yay kuvveti karakteristiği [2].....	10
Şekil 2.11: (a) h_0/t fonksiyon olarak yay karakteristiği (t =sabit) - (b) h_0/t fonksiyon olarak yay karakteristiği (h_0 sabit) [2].....	10
Şekil 2.12: Çeşitli h_0/t oranına sahip diyafram yay karakteristiği ailesi [2]	11
Şekil 2.13: Bilyalı dövme işlemi uygulanan bir türbin pervanesi [5].....	13
Şekil 2.14: Bilyalı dövme işleminin şematik görünümü [4].....	14
Şekil 2.15: Bilyalı dövme sonrası meydana gelen kalıntı gerilme profili [9].....	16
Şekil 2.16: Almen testinde kullanılan şeritlerin boyutları	17
Şekil 2.17 Almen testi yapılış aşamaları. (A) Almen şeritlerinin tutucu kütüğe bağlanıp bilyalı dövülmesi (B) İşlem sonucu meydana gelen geometrik durum (C) Almen şeridinin Almen mastarına bağlanıp Almen değerinin okunması [10]	18
Şekil 2.18: Bilyalı dövme işleminde kullanılan farklı bilya tipleri (a) seramik (b) cam (c) paslanmaz çelik [7].....	20
Şekil 2.19: Nozul Basıncı - Almen yoğunluğu eğrisi [14]	24
Şekil 2.20: Nozul açısı-Almen yoğunluğu eğrisi [14]	24
Şekil 2.21: Nozul mesafesi-Almen yoğunluğu eğrisi [14]	25
Şekil 2.22: Bilya Hızı - Almen yoğunluğu eğrisi [15]	26
Şekil 2.23: Farklı koşullardaki bilyalı dövülmüş malzeme ile ana malzemenin S-N eğrisi kıyaslaması [16]	27
Şekil 2.24: Derinliğe bağlı kalıntı gerilme miktarı dağılımı [16].....	27

Şekil 2.25: Bilyalı dövülmüş ve dövülmemiş numunelerin S-N eğri kıyaslaması [17]	28
Şekil 2.26: Bilyalı dövme yoğunluğunun yorulma dayanımına etkisi [17].....	29
Şekil 2.27: Tavlanmış ve tavlانیp farklı şiddetlerde dövülmüş numunelerin S-N grafiği [18]	30
Şekil 2.28: Tavlanmış ve farklı bilyalı dövme şiddetleri ile dövülmüş Ç1020 malzemede oluşan gerilme dağılımları [18]	30
Şekil 2.29: Malzeme 1'e ait Almen yoğunluğu - Yorulma eğrisi grafiği [19]	31
Şekil 2.30: Malzeme 2'ye ait Almen yoğunluğu - Yorulma eğrisi grafiği [19]	32
Şekil 2.31: Malzeme içerisinde rastgele yönlenmiş alanlar ve dipoller [21].....	34
Şekil 2.32: Histeresis döngüsünde alan hareketlerinin gösterimi [22]	34
Şekil 2.33: (a) 180° ve 90°lik alan duvarları (b) basma ve çekme gerilmelerinin alan duvarları üzerindeki etkisi [23].....	35
Şekil 2.34: Histeresis eğrisindeki MBN sıçrantısı [12].....	35
Şekil 2.35 (a)Zamana bağlı voltajdaki değişikliğe ait sinyaller, (b) Uygulanan manyetik alana karşılık ortalama karekök değeri alınarak hesaplanan sinyal [12].....	36
Şekil 3.1: Testlerde kullanılan numune ölçüleri	38
Şekil 3.2: Testlerde kullanılan numuneler	38
Şekil 3.3: Diyafram yaya ait operasyon adımları	40
Şekil 3.4: (a) Isıl işlem fırını (b) Isıtılan parçanın şekillendirilip yağda su verme işlemi yapıldığı pnömatik pres (Dönmez Debriyaj)	41
Şekil 3.5: Yıkama ve yağ alma makinesi (Dönmez Debriyaj)	42
Şekil 3.6: Menevişleme Fırını (Dönmez Debriyaj)	43
Şekil 3.7: Bilyalı dövme makinesi (Dönmez Debriyaj).....	44
Şekil 3.8: Shimadzu Autograph AG-IS 100 kN çekme cihazı (CBÜ)	45
Şekil 3.9: Nikon Eclipse LV150N model mikroskop (CBÜ).....	46
Şekil 3.10: Mitutoyo SJ-301 marka profilometre (CBÜ)	46
Şekil 3.11: Diyafram yaylardaki yüzey pürüzlülük spektri (Dönmez Debriyaj)	47
Şekil 3.12: Mitutoyo HV-100 mikro sertlik test cihazı (Dönmez Debriyaj)	47
Şekil 3.13: MBN ölçüm cihazı (9 Eylül Üniversitesi).....	48
Şekil 3.14: Demanyetizer (Dönmez Debriyaj)	49
Şekil 3.15: Baskı ömür test cihazı (Dönmez Debriyaj)	50
Şekil 3.16: Aurotech performans test cihazı (Dönmez Debriyaj).....	51

Şekil 4.1: Bilyalı dövme işlemi yapılan numunenin (S230 bilya 8A) 1000 büyütme altındaki mikroyapı görüntüleri	52
Şekil 4.2: Bilyalı dövme yapılmamış ve farklı koşullarda bilyalı dövülmüş numunelerin ortalama akma mukavemeti kıyaslaması	55
Şekil 4.3: Bilyalı dövme yapılmamış ve farklı koşullarda bilyalı dövülmüş numunelerin ortalama çekme mukavemeti kıyaslaması	56
Şekil 4.4: Bilyalı dövme yapılmamış ve farklı koşullarda bilyalı dövülmüş numunelerin ortalama % uzama kıyaslaması.....	57
Şekil 4.5: S230 ve S170 bilya ile dövülmüş numunelerin pürüzlülük değerleri	59
Şekil 4.6: Dövme anında malzeme yüzeyinde oluşan çukurcuklar	60
Şekil 4.7: Mikrosertlik ölçümleri yapılan numuneler.....	62
Şekil 4.8: S230 bilya ile dövülmüş numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru oluşan sertlik grafiği.....	63
Şekil 4.9: S170 bilya ile dövülmüş numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru oluşan sertlik grafiği.....	64
Şekil 4.10: S230 ve S170 bilya ile dövülmüş numunelerin Almen yoğunluğu - MBN sinyali değişim grafiği.....	67
Şekil 4.11: 3000-6000-1000 çevrim Sonrası Debriyaj Baskılarında Meydana Gelen % Kuvvet Kayıpları.....	70

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Almen testinde kullanılan şeritlerin standartlarına göre özellikleri [4] ...	17
Tablo 2.2. Eğri yüksekliği-Almen yoğunluğu dönüşüm tablosu [11].....	19
Tablo 2.3. Bilya tipleri ve sınıflandırılması [4].....	22
Tablo 2.4. Bilya tiplerinin standartları ve sertlik değerleri [4].....	22
Tablo 3.1. 50CrV4 malzemesinin kimyasal kompozisyonu.....	37
Tablo 3.2. 50CrV4 malzemesinin mekanik özellikleri.....	37
Tablo 3.3. Oluşturulan deney grupları.....	39
Tablo 4.1. Çekme testi uygulanan deney gruplarının ortalama mukavemet değerleri	54
Tablo 4.2. Kesitten Vickers ölçümü yapılan gruptaki ortalama sertlik değerleri.	63
Tablo 4.3. Tüm deney gruplarında dekarbürize olmuş yüzey ile 0,25mm uzaklıktaki yüzey arasındaki sertlik farkı	65
Tablo 4.4. Farklı şartlarda dövülmüş numunelerde ölçülen RMS değerleri	66

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU' na, ve yüksek lisans eğitimim sırasında desteği ve kılavuzluğunu benden esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Hasan DEMİR'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında her türlü malzeme ve laboratuvar imkanlarını tahsis eden Dönmez Debriyaj firmasına, değerli yöneticim ve çalışma arkadaşım Sait DALKILIÇ'a, Metalurji ve Malzeme Mühendisi Muammer GÜVENCİ, ısıtım bölümü takım lideri Ömer HAŞİM'e ve tüm Dönmez Debriyaj çalışanlarına destekleri için teşekkür ederim.

Üniversite bünyesinde yapılan testlerin gerçekleştirilmesi esnasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Uğur MALAYOĞLU, Fatih BARIŞ, Gökhan EYİCİ' ye ve öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Bu çalışmamı, tüm eğitim hayatım boyunca desteği ile her zaman yanımda olan annem Emine ELMAS'a atfediyorum...

Ali ELMAS
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Bilyalı Dövme Prosesinin 50CrV4 Çeliğine Etkilerinin İncelenmesi ve Optimum Proses Parametrelerinin Belirlenmesi

Ali ELMAS

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU

Bu çalışma, farklı bilya tipi ve dövme yoğunluklarında dövülmüş diyafram yayların araç debriyaj sistemindeki etkisini görmek amacıyla yapılmıştır. Bu nedenle deney malzemesi olarak debriyaj sistemlerinde diyafram yay malzemesi olarak kullanılan 50CrV4 yay çeliği kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan numunelere farklı koşullarda bilyalı dövme işlemi uygulanmıştır. Bu koşullar S170 bilya ile 6, 8, 10, 12, 14 Almen ve S230 bilya ile 6, 8, 10, 12, 14 Almen olarak belirlenmiştir. Arzu edilen almen şiddeti nozul iş parçası arası mesafe, dövme süresi ve fırlatma açısı değişkenleri sabit tutulup, türbin basıncı ve bilya çapı değiştirilerek elde edilmiştir.

Farklı şiddetlerde bilyalı dövülmüş deney gruplarına mikro yapı analizi, çekme testi, yüzey pürüzlülük testi, mikro sertlik ölçümü, kalıntı gerilme miktarı ölçümü ve diyafram yay kuvvet kayıp testleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda bilyalı dövmenin çekme ve akma mukavemetinde iyileştirme meydana getirdiği görülmüştür. Gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde, numunelerdeki ısıl işlem sonrası meydana gelen dekarbürizasyon tabakasının azaldığı ve yüzeyden malzeme çekirdeğine doğru sertlik artışı meydana geldiği görülmüştür. Bilyalı dövülmüş malzemelerin yüzeylerinden yapılan pürüzlülük ölçümlerinde ise bilya boyutunun artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve almen şiddetinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Bilyalı dövme sonucu malzemelerde meydana gelen kalıntı gerilme miktarı Barbkhausen metodu ile ölçülmüştür. Almen şiddetinin artmasıyla kalıntı gerilme miktarının arttığı ve barkhausen ölçüm değerlerinin azaldığı görülmüştür. Son olarak deney numunelerine uygulanan bilyalı dövme koşulları diyafram yayı uygulanarak debriyaj sistemi üzerindeki etkiler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde optimum proses parametreleri debriyaj imalatı yapan Dönmez Debriyaj firmasında mühendislik değişikliği olarak öneriye sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Debriyaj, diyafram yay, bilyalı dövme, 50CrV4

2019, 79 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigation of Effects of Shot Peening Process on 50CrV4 Steel and Determination of Optimum Process Parameters

Ali ELMAS

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU

This study was carried out to examine the effect of shot peened diaphragm springs on vehicle clutch system at different shot type and Almen densities. For this reason, 50CrV4 spring steel which is used as diaphragm spring material in clutch systems is used as test material. For the samples, shot peening was performed in different conditions. These conditions were determined as 6, 8, 10, 12, 14 Almen with S170 balls and 6, 8, 10, 12, 14 Almen with S230 balls. The desired almen intensity was achieved by were kept constant between the nozzle and workpiece distance, peening time and throw angle while the turbine pressure and ball diameter were changed.

Microstructure analysis, tensile test, surface roughness test, micro hardness measurement, residual stress amount measurement and diaphragm spring force loss tests were performed to the groups which shot peened at different almen intensity. As a result of the tests , it was determined that the shot peening caused an improvement in tensile and yield strength. In the hardness measurements, it was observed that the decarburisation layer occurred after the heat treatment in the samples decreased and hardness increase from the surface to the material core. In the roughness measurements made from the surfaces of the shot peened materials, it was observed that the surface roughness increased with the increase of the shot size and the surface roughness increased with the increase of the almen intensity. The amount of residual stresses occurring on the shot peened materials results was measured by the Barhkhhausen method. It was observed that the amount of residual stress increased and the barkhausen measurement values decreased with the increase of Almen intensity. Finally, the effects of the shot peening conditions on the diaphragm spring and the effects on the clutch system were examined. As a result of the experiments, the optimum process parameters are presented to the proposal as the engineering change in Dönmez Debriyaj company which manufactures clutches.

Keywords: Clutch, diaphragm spring, shot peening, 50CrV4

2019, 79 pages

1. GİRİŞ

Dinamik ve değişken yükler altında çalışan makine elemanlarında yorulma mekanizması çok önemli bir rol oynamaktadır. Malzemenin statik yük altındaki çekme ve akma mukavemetinin oldukça altındaki gerilme değerlerinde dahi malzemenin yorulma hasarına uğraması mümkündür. Malzemenin yorulma ömrünün tespit edilmesi için yorulma testi yapılmaktadır. Malzemeye sabit bir frekansta değişken gerilmeler uygulanarak wöhler eğrisi adı verilen eğri elde edilerek ilgili malzemenin yorulma ömrü tespit edilmektedir.

Yorulma ömrünü etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bunlar; yüzey kalitesi, çalışma sıcaklığı, kalıntı gerilmeler, tane büyüklüğü gibi parametrelerdir. Kalıntı gerilmelerin zararlı etkilerinin yanında yorulma ömrünü arttırıcı rol oynaması endüstride bu konu hakkında çeşitli çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında da yorulma ömrüne katkısı olduğu bilinen “Bilyalı dövme” işleminin etkileri incelenmiştir.

Tez çalışması, ağır ticari araçlar için debriyaj baskısı, diski, rulmanı ve volanı üreten Dönmez Debriyaj desteği ile birlikte yürütülmüştür. Tezin ilk kısmında debriyaj sisteminin araç aktarma organları içerisindeki rolünden bahsedilmiştir. Temel olarak debriyajın çalışma prensibi ve debriyaj sistemini oluşturan ana malzemelerden bahsedilmiştir.

Tezin ana malzemesi olarak “diyafram yay” şeklinde adlandırılan malzeme kullanılmıştır. Bu sebeple diyafram yayların genel olarak ne olduğu, yay kuvvetinin ilişkili fonksiyonları ve debriyaj sisteminde kullanılan diyafram yaylar ve görevleri hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

Ardından, tezin deneysel kısmını oluşturan bilyalı dövme işlemi ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Bilyalı dövmenin endüstrideki uygulanış amacı ve bu işlemin malzemeler üzerindeki faydalı etkileri detaylı bir biçimde açıklamıştır. Bilyalı dövme işleminde kullanılan bilyalar hakkında bilgiler verilip, bilya tipinin ve özelliklerinin proses sonuçları üzerindeki etkileri açıklanmıştır.

Bilyalı dövme prosesinin çıktılarının ölçülebilmesi amacıyla “Almen testi” adı verilen testler yapılmaktadır. Almen testinde kullanılan ölçüm ekipmanları, bu ekipmanların standartları, boyutları ve hangi uygulamalarda kullanıldığı hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Ardından bilyalı dövme ile ilgili literatür çalışmaları incelenip, tez çalışmasına benzer ve farklı olan çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir.

Malzemeler üzerinde var olan kalıntı gerilmenin değerini ve miktarını ölçmeyi sağlayan birkaç yöntem vardır. Bu yöntemlerden biri olan “Barkhausen Yöntemi” detaylı olarak tanıtılmıştır. Barkhausen yönteminin tarihçesi, teorisi, hangi tür malzemeler için kullanılabileceği ve diğer mekanik özelliklerin MBS sinyallerini nasıl etkilediği daha önce yapılan çalışmalar örnek gösterilerek belirtilmiştir.

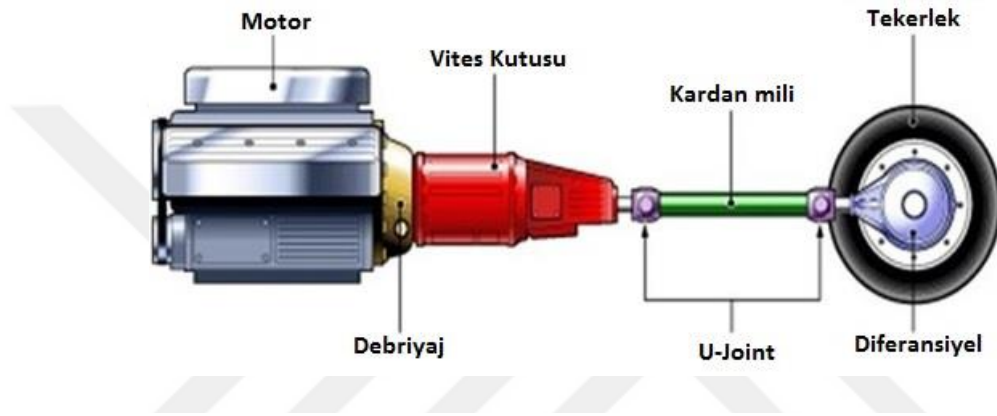
Tez çalışmasının materyal kısmında, çalışmanın deney malzemesi olup debriyaj baskılarında kullanılan diyafram yay malzemesi olarak kullanılan 50CrV4 çeliği tanıtılmıştır. 50CrV4 çeliğinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri paylaşılıp, deneylerde kullanılan numune boyutları ve hangi deneylerin yapılacağı konusunda bilgi verildikten sonra yöntem kısmına geçilmiştir. Yöntem kısmında diyafram yay üretim prosesinde yapılan ısıl işlem süreçlerinden bahsedilmiştir. Malzemeye uygulanan ısıl işlem parametreleri, proses sonucunda malzemede oluşan mekanik özellikler, ısıl işlem sonrası malzemeye uygulanan işlemler bu işlemlerin yapıldığı makine ve ekipman özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Bu tezin gerçekleştirilme amacı, debriyaj üretimi yapılan bir tesiste “diyafram yay” isimli ürüne yapılan “Bilyalı Dövme” işlemi için optimum proses parametrelerinin belirlenmesidir. Bu çalışma öncesinde mevcut proses, literatür araştırması sonucu elde edilen sonuçlar ve benzer uygulamalardaki parametreler baz alınarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen bu tez çalışması ile, bilyalı dövme işlemi için en uygun işlem parametreleri bilimsel ve deneysel veriler ışığında belirlenerek seri üretime uygun işlem parametrelerinin devreye alınması amaçlanmıştır.

2.GENEL BİLGİLER

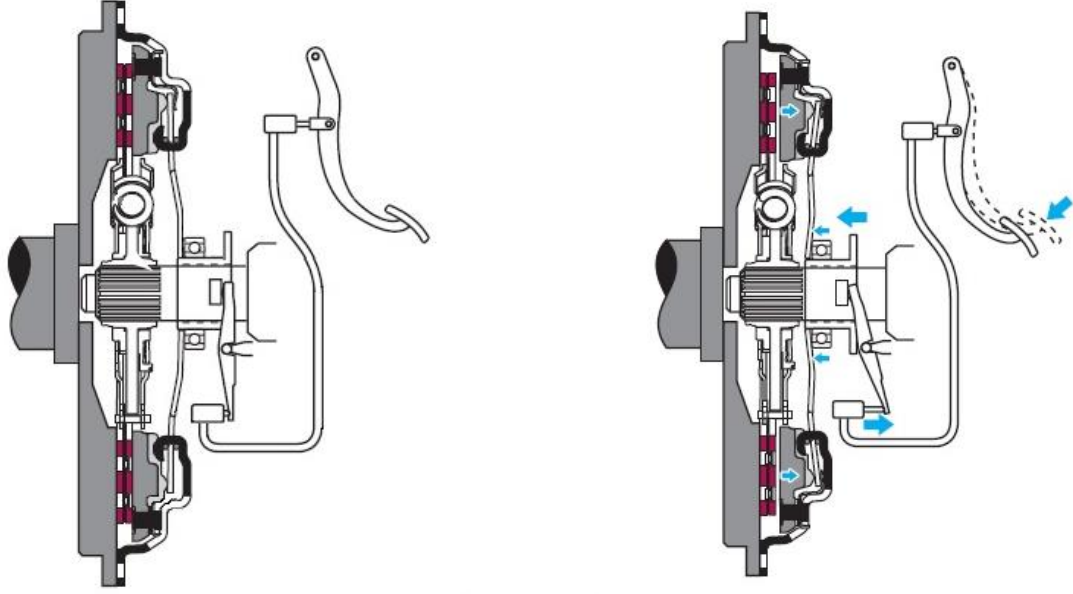
2.1 Debriyaj Sistemi

Temel olarak debriyaj, bir aracın motoru ile şanzımanı arasındaki aktarma organıdır. Şekil 2.1’de aktarma organları üzerinde debriyajın konumu gösterilmiştir. Debriyajın görevi, motoru durdurmaksızın döndürme hareketini vites kutusuna iletmek ya da istenildiği durumlarda bu hareketi kesmektir. Bu durum son kullanıcının (aracın şoförünün) debriyaj pedalına basması suretiyle gerçekleşmektedir.



Şekil 2.1: Aktarma organları arasında debriyajın konumu [1]

Aracın motorundaki hareketin, debriyaj üzerinden vites kutusuna aktarılması durumu kavramada olma durumu olarak adlandırılır. Şekil 2.2’de tek diskli ve diyafram yaylı baskının çalışması gösterilmiştir. Baskı kavrama durumunda volandan gelen dönel hareketi diske aktarır. Disk bu dönme hareketini, merkezinde bulunan göbek üzerindeki kanallar vasıtasıyla prizdirek adı verilen mil ile şanzımana iletir. Diyafram yay, debriyaj diskini volana sıkıştırarak kuvveti baskı plakasına aktarır. Böylece motor ile şanzıman arasındaki hareket iletimi gerçekleşmiş olur. Bu bağlantı kesilmek istendiğinde aracı kullanan kişinin debriyaj pedalına basması yeterlidir. Buda kavramada olmama (ayrılma) durumudur.



Şekil 2.2: Tek diskli diyafram yaylı baskının çalışma prensibi (Dönmez Debriyaj)

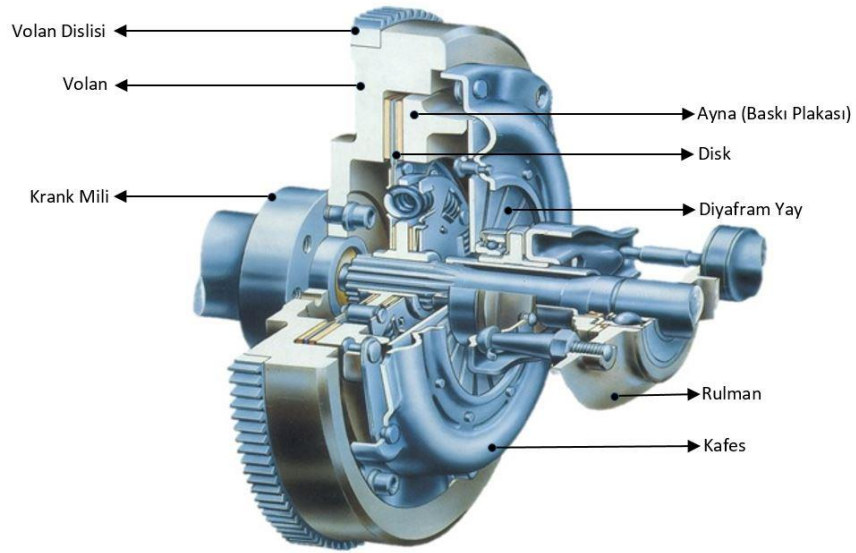
İçten yanmalı motorlarda meydana gelen ve aktarma organlarında bulunması istenmeyen en önemli kusurların başında vibrasyon gelmektedir. Debriyajın en önemli görevlerinden biri de bu vibrasyonu absorbe etmesidir. Debriyajın alt parçalarından kullanılan malzemelerin karakteristiği, debriyaj sisteminde kullanılan yaylar ve vibrasyon absorbe edici malzemeler sayesinde motordan vites kutusuna istenmeyen titreşimlerin aktarılması engellenmektedir.

2.2 Debriyaj Sisteminin Bileşenleri

Günümüz araçlarında çok farklı tiplerde debriyaj sistemleri kullanılmaktadır. Bunlar çalışma tiplerine, disk sayılarına, disk tiplerine, hareket iletim şekline göre kategorize edilebilmektedir. Ticari araçlarda yaygın olarak kullanılan itmeli tip, tek diskli bir debriyaj sisteminden örnek verecek olursak bir debriyaj;

- Volan
- Baskı
- Disk
- Rulman

Olmak üzere 4 temel bileşen ve bunların alt bileşenlerinden meydana gelir. Şekil 2,3'te gösterildiği gibi tüm alt parçaların birleşmesi ile debriyaj kompleksi meydana gelmektedir.



Şekil 2.3: Debriyaj kompleksinin kesit görünümü ve alt parçaları (Dönmez Debriyaj)

2.2.1 Volan

Araç motorundan gelen ilk hareket volan (Şekil 2,4) vasıtası ile debriyaj sistemine etki eder. Volan, krank miline bağlanarak motorla birlikte dönmektedir. Genellikle dökme demirden imal edilmektedir. Diskin baskı yaptığı sürtünme yüzeyi sayesinde kavrama anında motor hareketini diske iletir.



Şekil 2.4: Volan (Dönmez Debriyaj)

2.2.2 Disk

Disk (Şekil 2,5) temel görevi, baskı plakası ile volan yüzeyi arasında sürtünme kuvveti etkisi ile vites kutusu miline hareketin iletilmesi ya da sürtünme kuvvetinin kalkması ile hareket iletiminin kesilmesidir.

Bunun yanında, motordan gelen titreşimleri vites kutusuna iletilmesini engellemek ve vites geçişleri esnasında sarsıntısız bir kavrama gerçekleştirmek gibi önemli görevleri vardır. Bu sebeplerden dolayı diskin alt bileşenlerinin tüm disk sisteminde önemli görevleri vardır.



Şekil 2.5: Debriyaj Diski (Dönmez Debriyaj)

2.2.3 Baskı

Temel olarak baskı; baskı plakası (ayna), diyafram yay, kafes, mesnet halkası, kömür gibi temel parçalardan oluşmaktadır. Tüm bu alt bileşenlerin montajlanması baskı kompleksini oluşturur. Baskı, kafes üzerinden doğrudan volana bağlanmaktadır.

Diske uygulanan sürtünme kuvveti baskı (Şekil 2,6) sayesinde gerçekleşmektedir. Araç pedalına basıldığı zaman baskının parçası olan diyafram yayın yaylanma kuvveti, mesnet noktalarının tersi yönünde etkiyen kuvvetle baskı plakasına aktarılarak disk üzerine bir kuvvet uygular. Bu kuvvet sayesinde disk, baskı plakası ile volan arasında sıkıştığından kavrama gerçekleşir.

Baskının gerekli kuvveti sağlamasını sağlayan kritik parça diyafram yaydır. Bu tez çalışmasının deneysel faaliyetlerine konu olan diyafram yay, daha sonraki bölümlerde detaylı olarak anlatılacaktır.



Şekil 2.6: Debriyaj Baskısı (Dönmez Debriyaj)

2.2.4 Rulman

Daha önce debriyaj sisteminin çalışma prensibinde açıklandığı gibi disk üzerine uygulanan baskı kuvveti sayesinde kavrama ve ayırma durumu gerçekleşmekteydi. Bu baskı kuvvetinin oluşturulması için debriyaj pedalına basıldığı anda debriyaj çatalı vasıtasıyla baskının merkezinde bir itme-çekme hareketi gerçekleşir.

Debriyaj sistemi, çalışma mekanizması gereği krank miline doğrudan bağlı olduğundan araç motoru çalıştıkça sürekli dönen bir mekanizmadır. Dönme hareketi devam ederken debriyaj baskısının merkezine uygulanan itme-çekme kuvveti rulman (Şekil 2,7) sayesinde gerçekleşmektedir. Debriyaj sisteminde rulman, rulman kütüğü (döküm gövde), kafes vb. alt parçalardan oluşan bu sisteme 'rulman kompleksi' denilmektedir.



Şekil 2.7: Debriyaj Rulmanı (Dönmez Debriyaj)

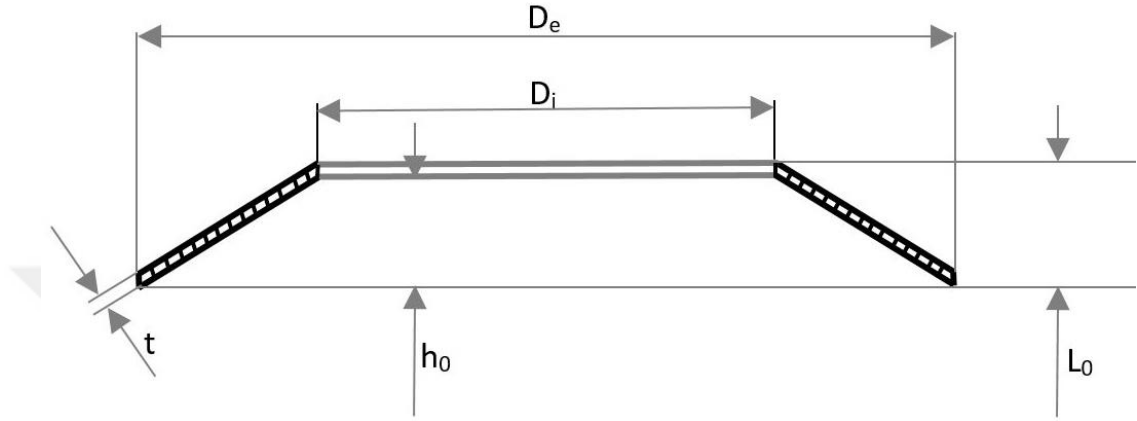
2.3 Diyafram Yaylar

Diyafram yay, uygulanan yüksek kuvvetlere karşın küçük şekil değişimleri istenen sistemlerde kullanılan bası yay çeşididir. Diyafram yaylar genellikle yay çeliği olarak adlandırılan (50CrV4) malzemeden imal edilmektedir. Şekil 2.8’de Dönmez Debriyaj bünyesinde üretilen diyafram yay parçası görülmektedir.



Şekil 2.8: Debriyaj sistemlerinde kullanılan diyafram yay (Dönmez Debriyaj)

Debriyaj sistemlerinde kullanılan diyafram yaylar yapı itibariyle Belleville yayı ya da disk yay olarak bilinen makine elemanının özel bir halidir. Dönmez debriyaj firmasında farklı çaplar ve ebatlarda diyafram yaylar üretilmektedir. Şekil 2.8’de görüldüğü üzere diyafram yaylarda esnekliğin artırılması amacıyla dış çaptan içe doğru radyal yarıklar bulunmaktadır [1].



Şekil 2.9: Diyafram yayların ölçü terminolojisi [1]

Şekil 2.9’da kesit görüntüsü verilmiş diyafram yay görülmektedir. Diyafram yayda kullanılan ölçülerin terminolojisi aşağıdaki şekildedir [1];

D_e = Dış çap (mm)

D_i = İç çap (mm)

t = Diyafram yayın kalınlığı (mm)

h_0 = Diyafram üzerinde kuvvet yokken ki serbest boy/konik yüksekliği (mm)

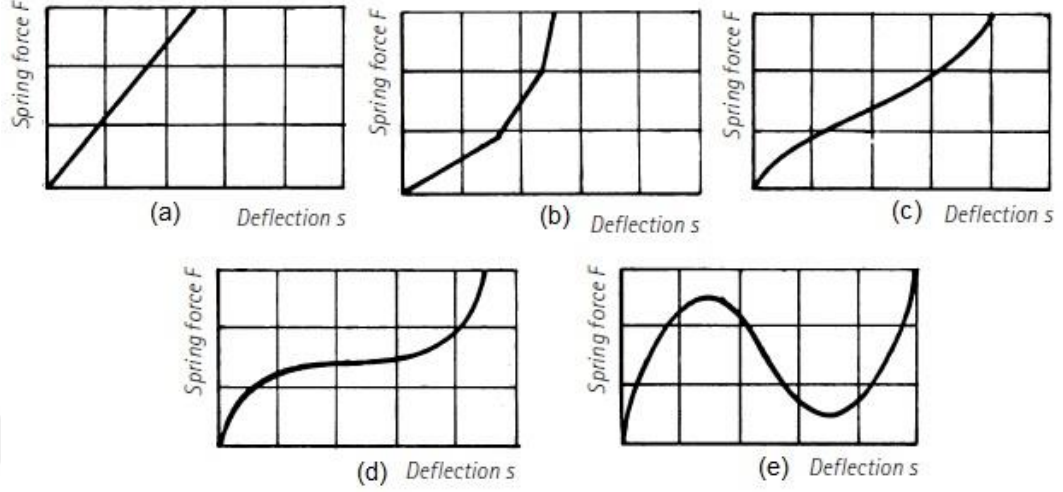
l_0 = Serbest durumdaki toplam yükseklik (mm)

F = Yay kuvveti (N)

S = Yer değiştirme (mm)

Şekil 2.10’da yay kuvveti karakteristiği görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi yay çeliği doğrusal karakteristik (a), kademeli karakteristik (b), azalan ve kademeli (c), azalan - yatay - kademeli (d) ve azalan-negatif-kademeli (e) olarak çok farklı biçimlerde kuvvet-yer değiştirme karakteristiğine sahiptir. Diğer hiçbir yay çeşidi, diyafram yayda olduğu gibi bir kuvvet-yer değiştirme

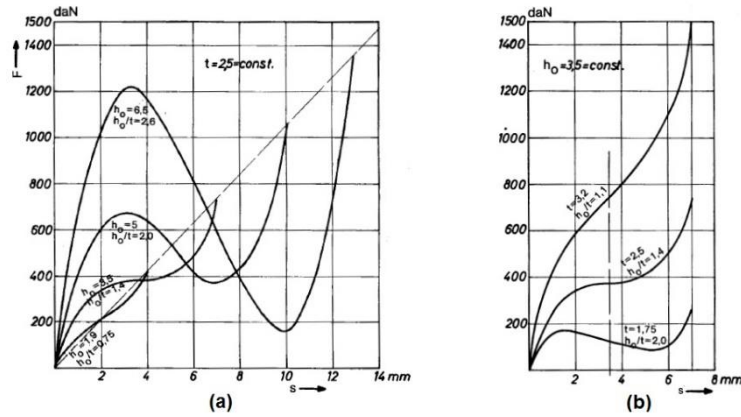
karakteristiğine sahip değildir. Bu kusursuz performans diyafram yayı makine dizaynında son derece esnek bir makine elemanı unsuru yapmaktadır.



Şekil 2.10: Yay kuvveti karakteristiği [2]

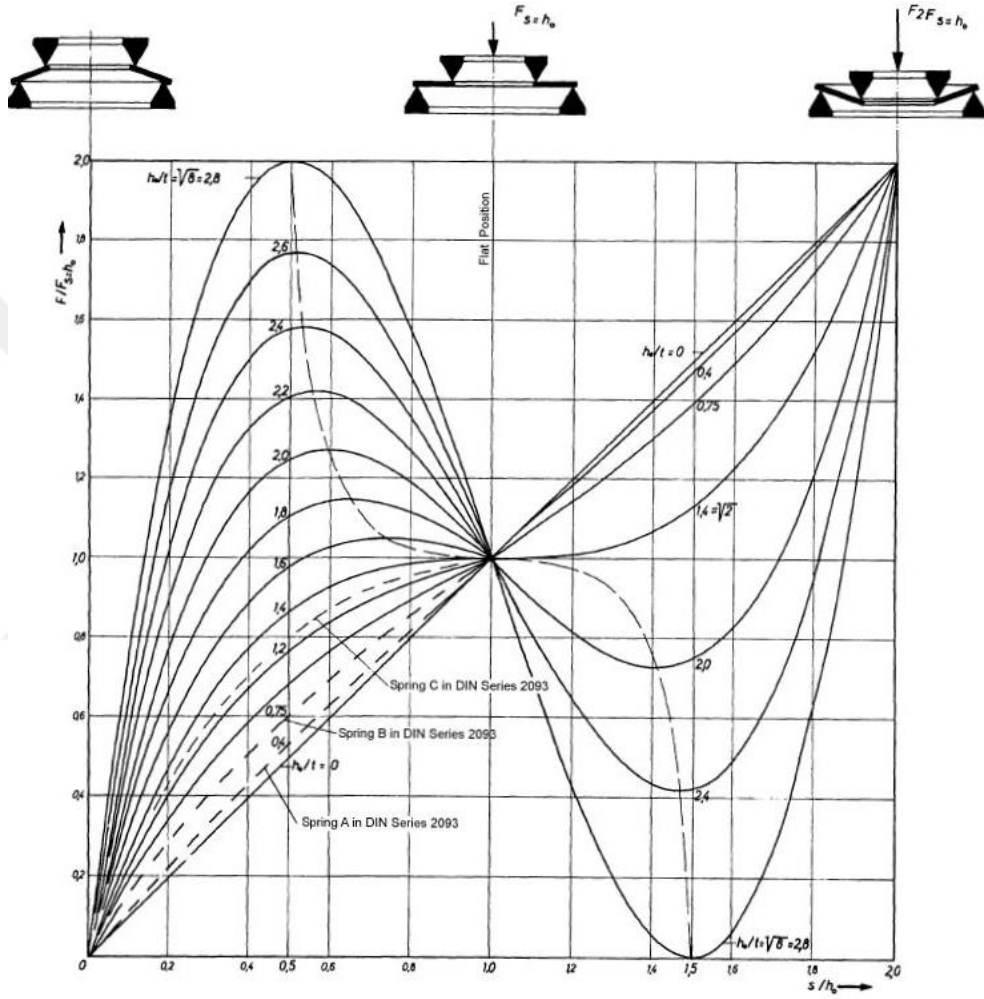
2.3.1 Yay Karakteristiğinin h_0/t Oranına Bağlı Fonksiyonu

Konik yüksekliği “ h_0 ” değerinin, diyafram yay kalınlığı “ t ” ye olan oranını değiştirerek, yay karakteristiğini geniş sınırlar içinde değiştirmek mümkündür. Aşağıdaki Şekil 2.11(a)’da t kalınlığı sabit tutularak h_0 yüksekliği değiştirilmiştir. Şekil 2.11(b)’de ise sabit bir h_0 değerinde kalınlık (t) değiştirilmiştir. Yay düzleşmeye başladığında bükülme noktası meydana gelmiştir ve hem Şekil 2.11(a) hem de Şekil 2.11(b)’de yay karakteristiği ile kesikli çizginin kesiştiği yerdedir.



Şekil 2.11: (a) h_0/t fonksiyon olarak yay karakteristiği (t =sabit) - (b) h_0/t fonksiyon olarak yay karakteristiği (h_0 sabit) [2]

Şekil 2.12 'de h_0/t oranının yay karakteristiği üzerine etkisi tekrar örneklendirilmiştir. Ayrıca bu grafikte yay kuvveti F , serbest yükseklik h_0 'a yönlendirilmektedir. Herhangi bir diyafram yay için, tüm eğriler istenilen h_0/t oranına göre arzu edilen eğri karakteristiğinden temin edilebilmektedir [2].



Şekil 2.12: Çeşitli h_0/t oranına sahip diyafram yay karakteristiği ailesi [2]

2.3.2 Debriyaj Sisteminde Diyafram Yaylar

Diyafram yaylar otomotiv sektöründe aktarma organı olan debriyajlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Diyafram yay kullanılmış bir debriyaj sisteminde ayırma işlemi (kavramadan çıkma), diyafram yayın parmak uçları üzerinden manivela hareketi yaparak mesnet noktasının tersi tarafına ilettiği kuvvet sayesinde baskı plakasını geri çekerek gerçekleşmektedir.

Eski tip debriyaj baskılarında helezon yaylı sistemler kullanılmaktadır. Yeni tip baskılarda kullanılan diyafram yayların, helezon yaylara göre birçok üstünlüğü vardır. Diyafram yaylardaki kuvvet, geleneksel bir helezon yayın performansının aksine sıkıştırma kuvvetinin azalmasıyla düşmektedir. Yani disk üzerindeki balatalar aşındıkça yay basıncı azalmayacak, aksine artacaktır. Böylece diyafram yay, balatanın aşınma mekanizmasını telafi ederek debriyaj sisteminin sürekli ayarlanması gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır.

Diyafram yayların diğer avantajları şu şekildedir;

- Debriyaj sistemi üzerinde minimum seviyede toplam uzunluğa sahiptir.
- Rotasyonel simetriye sahip olduğu için balansa sebep olmamaktadır.
- Yüksek hızlar, diyafram yayın işlevini etkilememektedir.
- Kuvvet iletimindeki kayıplar daha az ve stabildir.

Ayrıca bu teze konu olan bilyalı dövme işleminin, diyafram yayların yüzeye yakın bölgelerinde kalıntı gerilmeler oluşturduğu bilinmektedir. Bu kalıntı gerilmeler diyafram yayın kuvvet-yer değişirme (F-S) eğrisini önemli miktarda değiştirmektedir [3].

2.4.Bilyalı Dövme

Bilyalı dövme, şekil 2.13’de görüldüğü gibi belirli çapa sahip küre şeklindeki bilyaların malzeme üzerine bombardıman edilmek suretiyle fırlatılmasıdır. Metallerin yorulma ömrünü arttırmak ve gerilmeli korozyon direnci gibi özelliklerine karşı mukavemet kazandırmak amacıyla uygulanan mekanik yüzey işlemdir [4].



Şekil 2.13: Bilyalı dövme işlemi uygulanan bir türbin pervanesi [5]

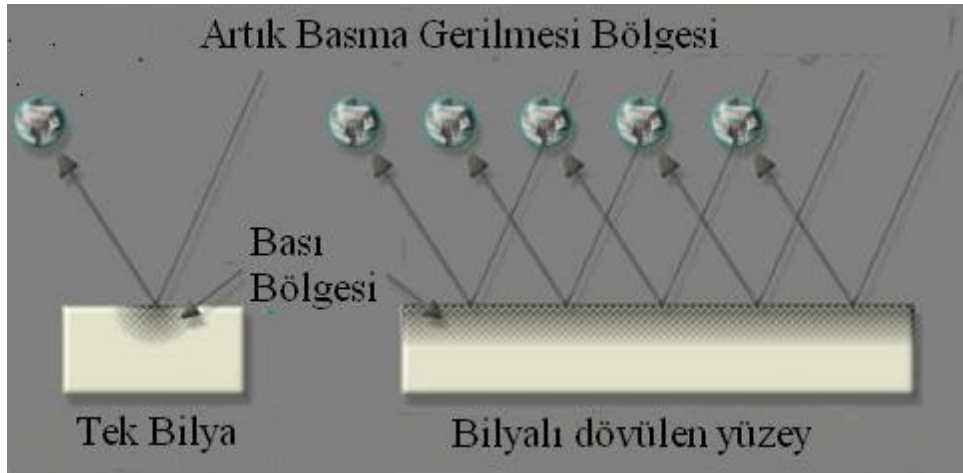
Bilyalı dövme işlemi endüstride birçok uygulama alanına sahiptir. Bunlardan en etkin olanı malzemelerin yorulma dayanımı arttırmaktır. Bununla birlikte gerilmeli korozyon hasarının azaltılmasına, gerilmeli korozyon sonucu meydana gelen çatlak ilerlemesinin yavaşlatılması ya da durdurulması gibi amaçlar için uygulanmaktadır [4].

Malzemelerde meydana gelen hasarların doğrudan malzemenin mekanik özellikleri ve yüzey özellikleri ile ilişkisi vardır. Bu sebeple malzemedeki meydana gelen hasar mekanizmaları incelendiğinde, bu hasarların malzemenin yüzeyinden iç kısımlara doğru geliştiği görülmektedir. Bu hasar mekanizmalarına karşı malzemeyi daha mukavemetli hale getirmek için tüm içyapı tanelerini küçültecek işlemler yapmaya gerek yoktur. Özellikle yorulma dayanımı arttırmak için malzemenin yüzey tabakasında oluşacak ince veya nano taneli yapıların, o malzemenin şeklini ve

kimyasal bileşimini değiştirmeye gerek kalmadan, yorulma dayanımının önemli miktarda arttırması beklenmektedir [6].

Malzemede meydana gelen yorulma kaynaklı hasarları önlemek ya da yorulma ömrünü arttırmak için bilyalı dövme yöntemi kullanılarak malzemede kalıntı bası gerilmesi oluşturulmaktadır. Bilyalı dövme işleminde parçanın hangi imalat metoduyla üretildiğinin bir önemi yoktur. Üretim yöntemi ya da metal malzemenin cinsine bakılmaksızın tüm makine parçalarına uygulanabilir olması bu işlemin avantajlarından biridir. Bunların yanında bilyalı dövme işlemi ince metal saçların istenilen formlara getirilmesi, yüzey sertleştirme, yüzey temizleme ve yüzeydeki gözeneklerin giderilmesi gibi farklı amaçlar için kullanılan ekonomik ve efektif bir yüzey işlemidir [7].

Bilyalı dövme işleminin yorulma ömrünü arttırmasındaki temel etmen malzemede meydana getirdiği kalıntı gerilmelerin varlığıdır. Belli boyutlarda olan küresel bilyaların malzeme yüzeyine bombardıman edilmesi sonucunda malzeme üzerinde çukurcuklar meydana gelmektedir (Şekil 2.14). Bu işlem sırasında birçok bilya kullanılmaktadır. Tek bir bilya hareketi incelenirse yüzeye çarpan bilyanın, malzeme üzerinde küresel bir oyuk oluşturması sebebiyle malzemede plastik olarak akma gerçekleştiği görülecektir [8].



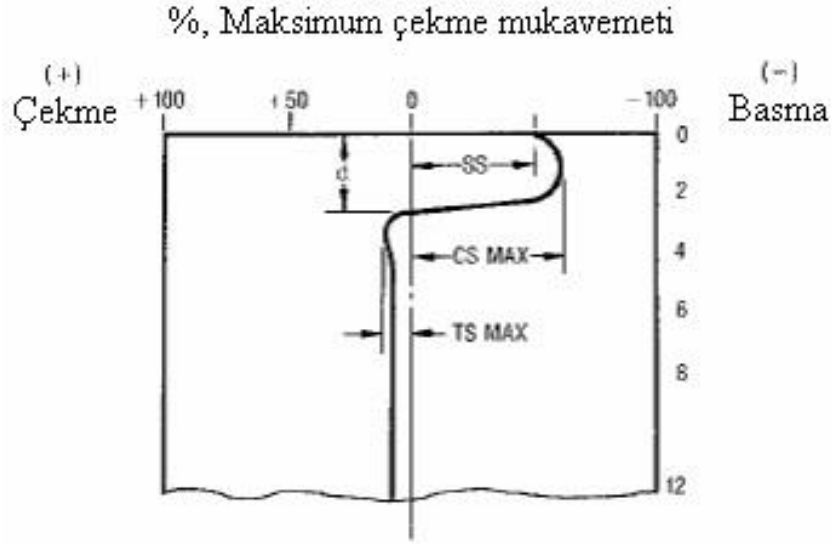
Şekil 2.14: Bilyalı dövme işleminin şematik görünümü [4]

Metallerde bilyalı dövme sonrası oluşan kalıntı gerilmeler malzemenin elastik sınırları içerisinde. Bu sebeple kalıntı gerilmeler, elastik gerilmeler olarak değerlendirilebilir. Yani kalıntı gerilmeler malzemenin akma noktası sınırının üzerine çıkamaz. Aksi takdirde bir başka plastik deformasyon söz konusu olacaktır. Yapılan çalışmalarda bilyalı dövme sonrası meydana gelen artık gerilmeler yaklaşık olarak malzemenin minimum akma dayanımının yarısı, maksimum olarak malzemenin akma dayanımı seviyelerindedir [8].

Bilyalı dövme işlemi sonucunda yüzeyde ve yüzeyin hemen altındaki etki altında kalan bölgelere kadar kalıntı bası gerilmesi meydana gelir. Malzemenin iç kesimlerinde ise (elastik olarak deforme edilmiş bölgeler) çekme gerilmesi meydana gelir. Bilyaların yüzeye bombardıman edilmesi sonucu deforme olan bölgelerde genişlemeye çalışacak, buna karşın yüzeyin altındaki elastik deforme olmuş bölgeler bu genişlemeyi engellemeye çalışacaktır. Sonuç olarak yüzeyde çukurcukların oluşmasına neden olan çekme gerilmesi, yüzey altındaki malzemeyi eski formuna getirmeye çalışan bası gerilmesi tarafından engellenecektir. Bunun sonucunda malzeme yüzeyinin altında kalıntı bası gerilmesi profili oluşmaktadır [4].

Bilyalı dövme işleminde, malzeme üzerinde meydana gelen kalıntı bası gerilmesinin büyüklüğü ve etki ettiği derinlik tahmin edilebilmektedir. Şekil 2.15 bilyalı dövme sonucu oluşan bir kalıntı gerilme profilini göstermektedir. Bu eğri incelendiğinde görülecektir ki maksimum basma gerilmesi dövülmüş yüzeyin hemen altında meydana gelmiştir. Burada;

SS	: Yüzey gerilmesi
CS MAX	: Maksimum basma gerilmesi
TS MAX	: Maksimum çekme gerilmesi
d	: Sıkışmış tabaka kalınlığı



Şekil 2.15: Bilyalı dövme sonrası meydana gelen kalıntı gerilme profili [9]

2.4.1 Almen Test Yöntemi

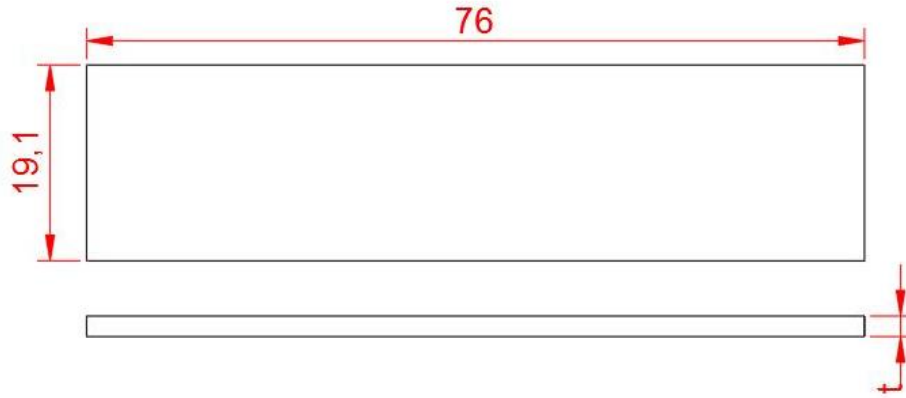
Mekanik yüzey işlemlerinin faydalı etkileri 1800'lü yıllarda yapılan çalışmalardan sonra ortaya çıkmıştır. Bu yıllarda malzemelerin yüzeyine yapılan işlemlerin yorulma mukavemetini ve korozyon direncini arttırdığı görülmüştür. Yapılan deneylerde, çelik bilyalar belli yüksekliklerden metallerin üzerine bırakılması ile yüzeyin sertliğinin arttığı ve yorulma ömrünün arttığı sonucuna varılmıştır.

Bilyalı dövme işleminin mekanik özelliklere faydalı etkisinin keşfedilmesinden sonra 1870'li yıllarda bilyaların basınçlı hava, buhar veya su ile yüzeylere püskürtülebileceği Tilgham tarafından keşfedilmiştir. General Motor'da çalışan John Almen, bilyalı dövme ile motor bileşenlerinin yorulma mukavemetlerini artırılabilirliğini ispatlamış ve kendi ismi verilen Almen şeritlerini geliştirerek bilyalı dövme işlemi sonuçlarının doğru yorumlanmasına ve bilyalı dövme işlemine etki eden bileşenlerin birbiriyle kıyaslanmasını sağlamıştır [4].

Almen levhaları, bilyalı dövme işleminin yoğunluğunu ölçerken kullanılan ince metal şeritlerdir. Bu şeritler bilyalı dövme işlemi yapmadan önce, dövme işlemi sonrası istenen Almen şiddetinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekil 2.16'da gösterilen ince bir metal şerit bir kütük üzerine sabitlendikten sonra bilyalı dövme işlemi gerçekleştirilir. İşlem sonrasında şeridin bir yüzeyinde basma gerilmeleri ile dövülmemiş tarafa doğru eğilme miktarının ölçülmesi sonucu Almen

yoğunluğu tespit edilir. Eğilme sonucu oluşan tarafsız eksene göre yükseklik farkı kumlama yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Bu test şeritleri SAE 1070 çeliğinden üretilip 45HRC civarında sertliğe sahiptir.

Genel olarak 3 tip Almen şeridi vardır (Tablo 2.1). Bunlar; orta yoğunluktaki değerleri ölçmek için kullanılan A tipi Almen şeridi, yüksek yoğunluktaki değerleri ölçmek için kullanılan C tipi Almen şeridi ve düşük yoğunluktaki değerleri ölçmek için kullanılan N tipi Almen şerididir. N tipi Almen şeridi ağırlıklı olarak cam ve seramik bilyalar ile kullanılır. C tip Almen şeritleri diğer Almen şeritlerinden daha kalın olup kullanım alanı daha azdır. A tip Almen şeridi ise en sık kullanılan test şeridi olup genellikle döküm bilyalar ile kullanılmaktadır. Bu şeritlerin en ve boy değerleri aynı olup kalınlıkları birbirinden farklıdır.



Şekil 2.16: Almen testinde kullanılan şeritlerin boyutları

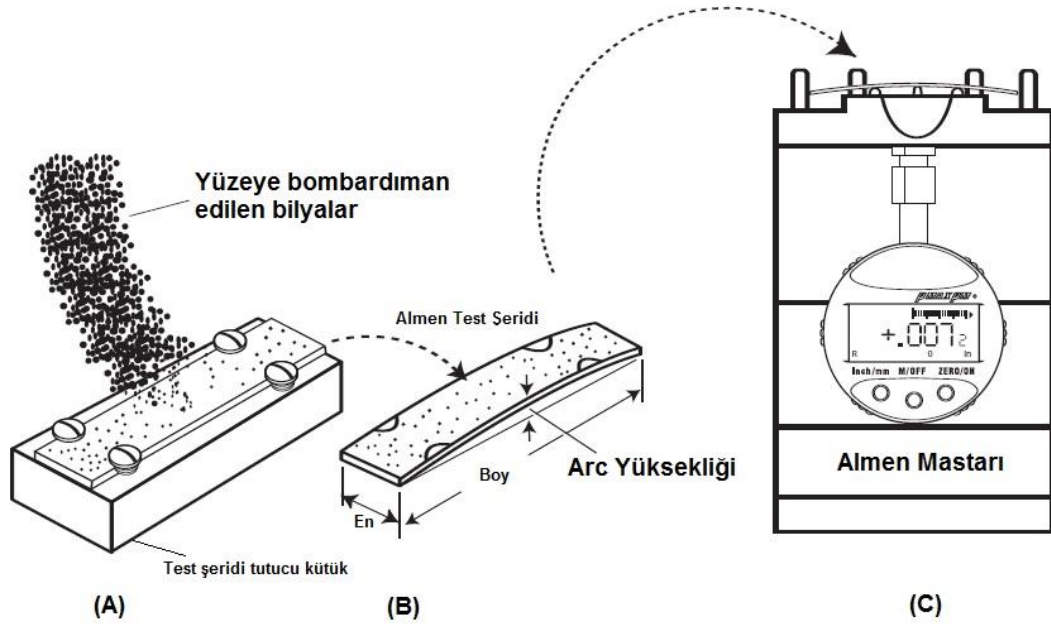
Tablo 2.1. Almen testinde kullanılan şeritlerin standartlarına göre özellikleri [4]

Şerit Tipi	Standart	Düzlemsellik (mm)	Sertlik (HRC)	Kalınlık-t (mm)
N	SAE AMS 2432	± 0.013	44-50	0,76
A	SAE J442	± 0.025	44-50	1,29
C	AMS-S 13165	± 0.038	45-58	2,39

Daha önceden belirtildiği gibi bilyalı dövme prosesi gerçekleştirilmeden evvel istenilen Almen yoğunluğunun belirlenmesi için uygun Almen şeridi tutucu kütük mekanizması üzerine bağlanır (Şekil 2.17 (A)). Ardından arzu edilen proses parametreleri içerisinde şeritlere bilyalı dövme işlemi uygulanır. Bilyalı dövme işlemi

sonucunda kütükten çıkarılan Almen test şeridinde deformasyon etkisiyle tarafsız eksene dik bir eğri yüksekliği oluştuğu görülür (Şekil 2.17(B)). Ardından test şeridi hassas bir şekilde, üzerine kuvvet uygulanmadan Almen masterına yerleştirilir (Şekil 2.17 (C)). Burada okunan eğri yükseklik değerinin Almen yoğunluğu karşılığı (Tablo 2.2) bulunarak bilyalı dövme işlemi sonucunda elde edilen Almen yoğunluğu tespit edilmiş olunur. Arzu edilen değerin elde edilememesi durumunda, Almen şiddetine etki eden parametreler değiştirilip test tekrarlanmalıdır.

Doğrudan eğri yüksekliğini, dolayısı ile Almen yoğunluğunu etkileyen bu parametreler bilyanın tipi, bilya sertliği, bilya büyüklüğü, fırlatma hızı, çarpma açısı, çarpma yüksekliği ve maruz kalma süresi gibi değişkenler olup, ileriki başlıklarda daha detaylı anlatılacaktır.



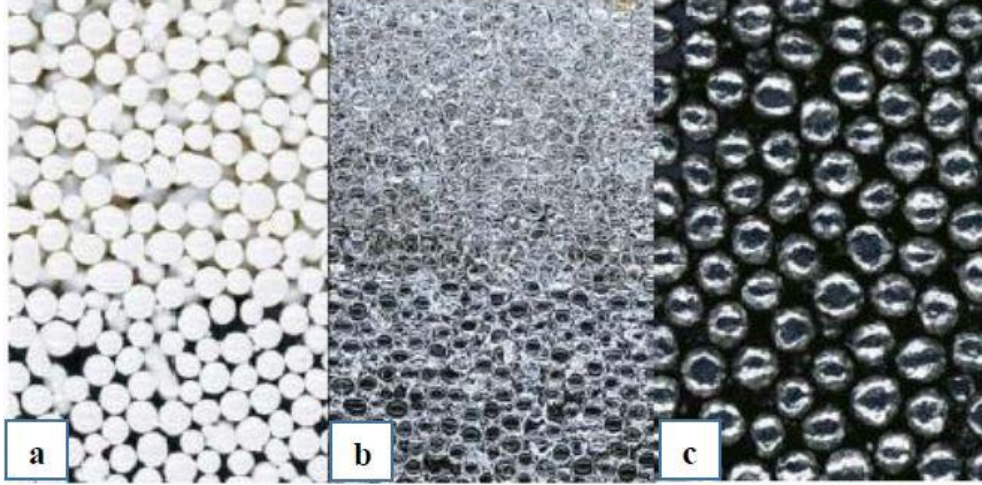
Şekil 2.17 Almen testi yapılış aşamaları. (A) Almen şeritlerinin tutucu kütüğe bağlanıp bilyalı dövülmesi (B) İşlem sonucu meydana gelen geometrik durum (C) Almen şeridinin Almen masterına bağlanılıp Almen değerinin okunması [10]

Tablo 2.2. Eğri yüksekliği-Almen yoğunluğu dönüşüm tablosu [11]

Bilyalı Dövme Almen yoğunluğu	Test Numunesi Tipi	Eğri Yüksekliği (mm)
4N	N	0,1
6N		0,15
8N		0,2
16N		0,4
18N		0,45
6A	A	0,15
8A		0,2
10A		0,25
12A		0,3
14A		0,35
16A		0,4
7C	C	0,18
9C		0,23
11C		0,28
21C		0,53
23C		0,58

2.4.2 Bilya tipleri ve özellikleri

Bilyalı dövme işleminde, dövme malzemesi olarak genellikle dökme demir ve çelik, paslanmaz çelik, cam, seramik ve çelik teller kullanılmaktadır. Bu bilyaların sertliği, geometrisi ve boyutları arasında farklar vardır. Şekil 2.18’de bilyalı dövme işleminde kullanılan bazı bilya tiplerinin resimleri gösterilmektedir.



Şekil 2.18: Bilyalı dövme işleminde kullanılan farklı bilya tipleri (a) seramik (b) cam (c) paslanmaz çelik [7]

Dökme demirden imal edilen çelik bilyaların sertlik değerleri 58-65 HRC civarında olup çok gevrek bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle çok çabuk kırılmaktadırlar. Ancak, sabit bilya çapında diğer bilya tipleri ile karşılaştırıldığında daha fazla dövme şiddeti sağlarlar. Dökme demir bilyaların ilk yatırım maliyetinin düşük olması tercih sebepleri arasında yer alır. Fakat kırılma hızının yüksek oluşu, prosesi kontrol altında tutmayı zorlaştırmakta, dövme kalitesini olumsuz etkilemekte ve ekipmanların bakım maliyetlerini arttırmaktadır. Bu etmenler de dökme demirden imal edilen bilyaların dezavantajları arasında yer almaktadır [9].

Çelik ve paslanmaz çelik bilyalar, bilyalı dövme işleminde en sık kullanılan bilya tipleridir. Bunun sebebi dökme demir bilyalardan daha az kırıldıklarıdır. Bu sebeple ömürleri dökme demir bilyalara kıyasla fazladır. Genellikle hurda metallerin elektrikli ocaklarında eritilip uygun sıcaklıkta su verme tanklarına dökülmesiyle imal edilir. Bu işlem sırasında eş zamanlı hava püskürtülmesi sebebiyle ergimiş biçimdeki metal yuvarlak ve küresel form kazanmaktadır. Ardından taneciklerin boyutunu standardize etmek amacıyla filtreden geçirilmektedir. Birbirine yakın boyutlarda olan taneciklere tekrar çeşitli ısı işlemleri uygulanarak istenilen sertliğe getirilmesi sağlanmaktadır. Bu işlem sonucunda bilyaların sertliği 40-50 HRC arasında olup, 55 HRC seviyesine kadar çıkabilmektedir. Bilyalı dövme işleminden en etkili sonucu almak için bilya malzemesinin en az iş parçası kadar sert olması gerekmektedir. Çelik bilyalar standartlarına göre S70 ile S930 arasında değişmektedir. Numaraların önündeki “S” bilyanın çelik olduğunu, ardından gelen numaranın on binde birin de

(10⁻⁴) bilyanın inç cinsinden çapını vermektedir. Örneğin S230 bilyanın çapı, 230x10⁻⁴ inç yani 584 µm 'dir [9, 12].

Cam bilyalar genellikle demir dışı malzemelerin, bilyalı dövme işleminde kullanılmaktadır. Dövme yoğunluğunun çok yüksek olmasının istenmediği (Almen N yoğunluğu gibi) proseslerde kullanım alanına sahiptir. Bilyaların sertlikleri 46-50 HRC civarındadır. Cam bilyalar küresel olarak en kusursuz geometriye sahip bilya çeşitleridir. Bu kusursuz küresellik ve diğer metalik bilyalara kıyasla ağırlıklarının daha düşük oluşu, fırlatma hızının havanın hızına daha yakın olmasına sebep olur. Bu durum sürtünme kayıplarının fazla oluşu nedeniyle hava ile çalışan püskürtme sistemleri için bir problemdir. Cam bilyalar, nozuldan çıktığı anda hava bariyerine çarptığından bir enerji kaybı ortaya çıkmaktadır. Buda bilya hızlarında ani bir azalmaya sebep olacaktır. Bu nedenle bilyalı dövme işleminde cam bilya kullanılacağı zaman nozul ile iş parçası mesafesini 50-90 mm'ye düşürmek, kinetik enerji kayıplarını azaltacağından faydalıdır. Ayrıca cam bilyaların öz kütlesi dökme demirin üçte biri civarında olduğundan, fırlatma basıncını arttırarak dövme yoğunluğu arttırılabilir.

Seramik bilyalar, kırılmaya dirençli ve güncel teknoloji ile üretilmiş olmaları sebebiyle bilyalı dövme proseslerinde kabul gören bir medya çeşididir. Toz metalürjisi ile üretilmektedirler. Seramik bilyaların çapları 0.2 mm ile 0.6 mm arasında değişmektedir. En yaygın kullanılan seramik bilya çeşidi camsı fazlı bir alüminyum oksit bağlayıcı ile zirkonyum oksittir [12].

Çelik tel bilyalar, isminden de anlaşılacağı üzere aynı çapta çelik veya paslanmak çelikten ekstrüze edilmiş tellerin eşit uzunluklarda kesilmesiyle imal edilmektedir. Bu işlem sonucunda meydana gelen silindirik geometriye sahip parçalar, sert bir yüzeye çarptırılarak geometrik olarak küresel forma yakın bir şekil kazandırılır. Bu işlemde kullanılan teller özel yöntemlerle ekstrüze edildiğinden ürün üzerinde hammaddeden kaynaklı kusurlar azdır. Kesik tel bilyaların ömrünün uzun olması, daha az toz ve çevre kirliliği oluşturması ve yüksek boyutsal bütünlükte olmasından dolayı çelik bilyaya kıyasla tercih edilebilmektedir. Ayrıca çinko ve bakır gibi farklı metallere kesilmiş tel çekimi yapmak da mümkündür. Boyut olarak bir inç'in binde biri (10⁻³) olarak tel çapını belirtmektedir. Yani CW-47 ile gösterilen bir çelik tel bilya 0.047" çapında bir telden imal edildiğini belirtmektedir.

Aşağıdaki Tablo 2.3’de bilyalı dövme işlemlerinden kullanılan bilya çeşitlerini, Tablo 2.4 ise bilyaların sertliklerini standartlarıyla birlikte göstermektedir.

Tablo 2.3.Bilya tipleri ve sınıflandırılması [4]

Bilya Tipleri		
Demir İçerenler	Çelik Bilya, Yuvarlatılmış kesme Tel, Paslanmaz Çelik Bilya	
Demirdışı Olanlar	Metalik Olanlar	Alüminyum, Çinko, Bakır, Bronz
	Metalik Olmayanlar	Cam, Kürecik Seramik Bilya

Tablo 2.4. Bilya tiplerinin standartları ve sertlik değerleri [4]

Bilya Tipi	Standart	Sertlik
Çelik Bilya	AMS 243/1 veya AMS 2431/2	45-52 HRC veya 55-62 HRC
Tel Kesme	AMS 2431/3 veya AMS 2431/8	45-52 HRC veya 55-62 HRC
Cam Bilya	AMS 2431/6	48-52 HRC
Seramik Bilya	AMS 2431/7	58-63 HRC

2.4.3 Bilyalı Dövme Prosesini Etkileyen Parametreler

Bilyalı dövme prosesinin çıktılarını etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametreler prosese etkidiği gibi doğrudan ürün üzerinde meydana gelen kalıntı gerilme değerlerini etkilemektedir. Daha önceden de belirtildiği gibi tek bir parametrenin değişiminin sonucunu, doğrudan Almen değerindeki fark olarak görmek mümkündür. Almen değerine etki eden parametreler iki ayrı grupta değerlendirilebilir. Bunlar (i) proses parametreleri ve (ii) malzeme parametreleridir.

- (i) Proses parametreleri
 - Bilya malzemesi, çapı ve şekli
 - Nozul basıncı
 - Bilyanın malzemeye çarpma açısı

- Dövme süresi
- Yüzey koruması
- Yeniden kumlama çevrimi
- Numune ile nozul arası mesafe

(ii) Malzeme parametreleri

- Kalıntı gerilme oluşumu
- Yüzey ve alt yüzey katmanlarının gerinim sertleşmesi
- Malzemenin içyapısındaki değişiklik
- Yüzeyde meydana gelen değişiklikler

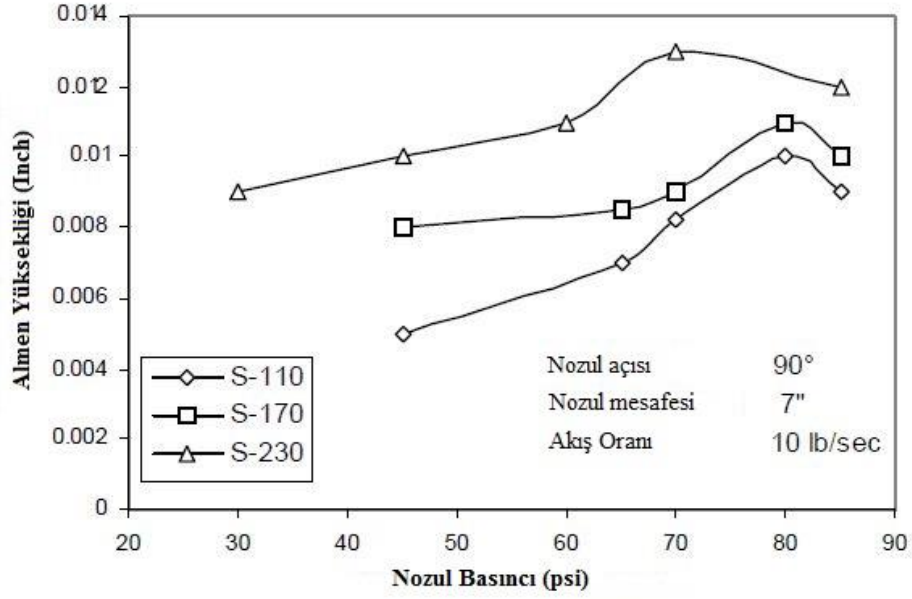
Bilyalı dövme işleminde Almen değerinin değişimi doğrudan dövme yoğunluğunu (peening intensity) etkilemektedir. Almen değerinin diğer bir ifadeyle dövme yoğunluğunun değişimini etkileyen parametreler sıralandığı gibidir. Dövme hızının düşmesiyle, bilya çapının küçülmesiyle ve bilyaların çarpma açılarının azalmasıyla (90°'nin altında) dövme yoğunluğu da düşmektedir [13].

Bu teze konu olan çalışmada tüm değişkenler sabit tutularak, sadece bilya boyutu ve nozul basıncı değiştirilerek Almen şiddetinin arzu edilen değere ayarlanması sağlanmıştır. Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde tüm bu proses parametreleri değiştirilerek farklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

2.4.4 Literatür Araştırması

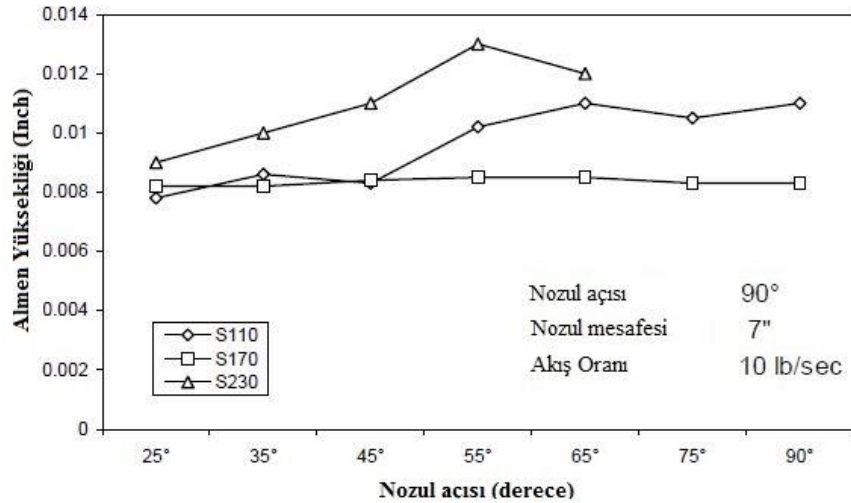
Mehmood ve ark. [14] mühendislik malzemelerinin yorulma ömrü üzerindeki bilyalı dövme etkisini inceledikleri çalışmada, nozul basıncının, bilya çapının, nozuldaki çıkan bilyaların iş parçasına çarpma açısının, nozul ile iş parçası arasındaki mesafenin ve dövme süresinin etkilerini deneysel çalışmalarla incelemişlerdir.

Şekil 2.19'deki grafikte gerçekleştirilen deneyler sonrasında nozul basıncının Almen yoğunluğu üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, nozul basıncının artırılmasının bilya hızlarında artışa bu sebeple daha çok enerjinin malzemeye transfer edilmesi sebebiyle Almen değerinin arttığını göstermiştir.



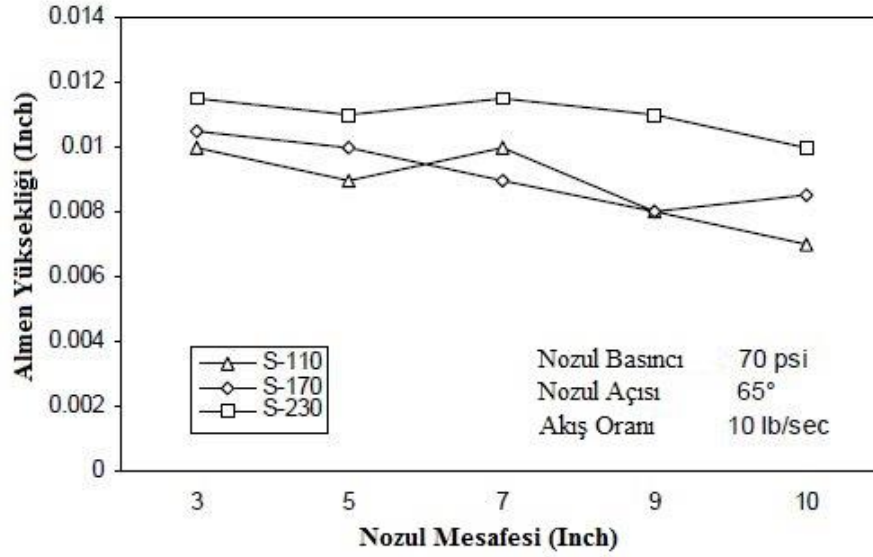
Şekil 2.19: Nozul Basıncı - Almen yoğunluğu eğrisi [14]

Bunun yanında bilya çapının artmasının kalıntı gerilme derinliğinin arttırdığını, ortalama yüzey pürüzlülüğünü azalttığını belirtmişlerdir. Şekil 2.20 ise bilyaların malzemeye çarpma açısının Almen yoğunluğu üzerindeki etkisini göstermektedir. Buradan, bilyaların malzemeye çarptığı açının Almen yoğunluğu üzerinde büyük etkiye sahip olduğu, küçük bilyalar için 55°'den, büyük bilyalar için 65°'den küçük olduğu açılarda kayda değer bir etki gözlemlenmiştir.



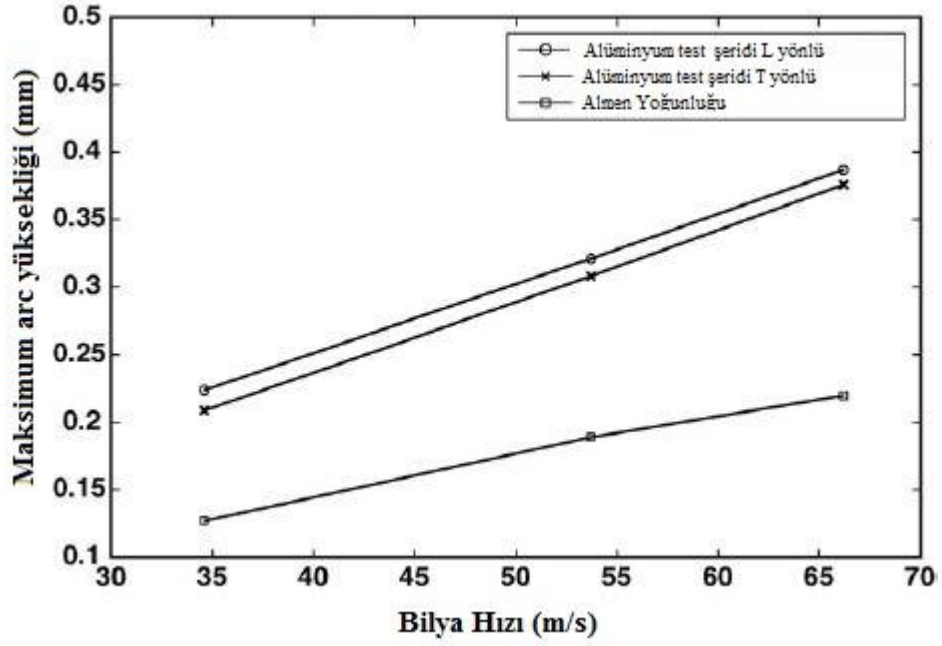
Şekil 2.20: Nozul açısı-Almen yoğunluğu eğrisi [14]

Şekil 2.21’de ise nozul ile iş parçası arasındaki mesafenin Almen yoğunluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, nozul ile iş parçası arasındaki mesafenin ilişkinin Almen yoğunluğu ile ters orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Yani nozul ile iş parçası arasındaki mesafe arttıkça Almen yoğunluğunda azalma meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 2.21: Nozul mesafesi-Almen yoğunluğu eğrisi [14]

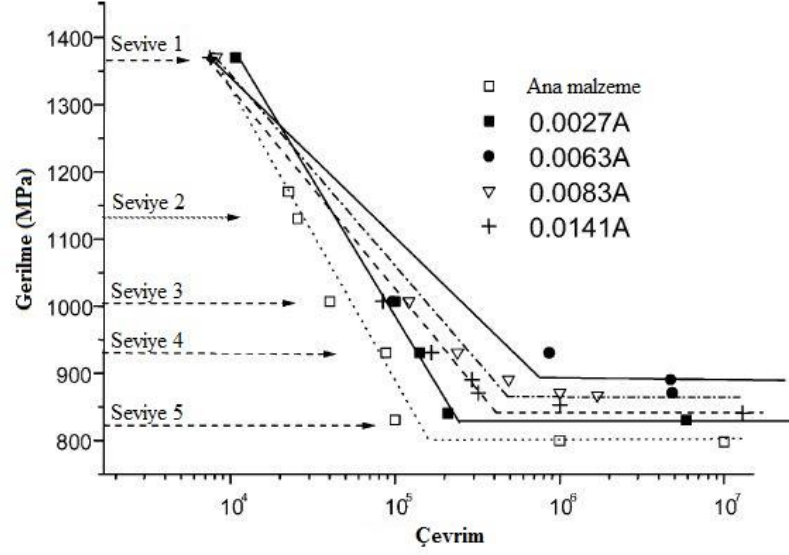
Miaoa ve ark. [15] bilyalı dövme ve baskılı dövme şekillendirme üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Al2024 test şeritleri üzerinde yaptıkları bu deneylerde dövme süresine göre doygunluk, yüzey örtüsü ve pürüzlülük arasındaki sayısal ilişkiyi deneysel olarak incelemişlerdir. Şekil 2.22’de görülen resimde bilyalı dövme işleminde kullanılan bilyaların hızı ile Almen yoğunluğu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Yapılan deneyler sonucunda bilya hızının artmasının Almen yoğunluğunu arttırdığı görülmüştür. Ayrıca bu deneyler sonucunda dövülmüş malzemede oluşan kalıntı gerilmelerin, malzemenin yorulma ömrünü arttırdığını saptamışlardır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün dövme yapılmış malzemelerin yorulma ömürleri üzerinde zararlı etkisi olduğundan bahsetmektedirler.



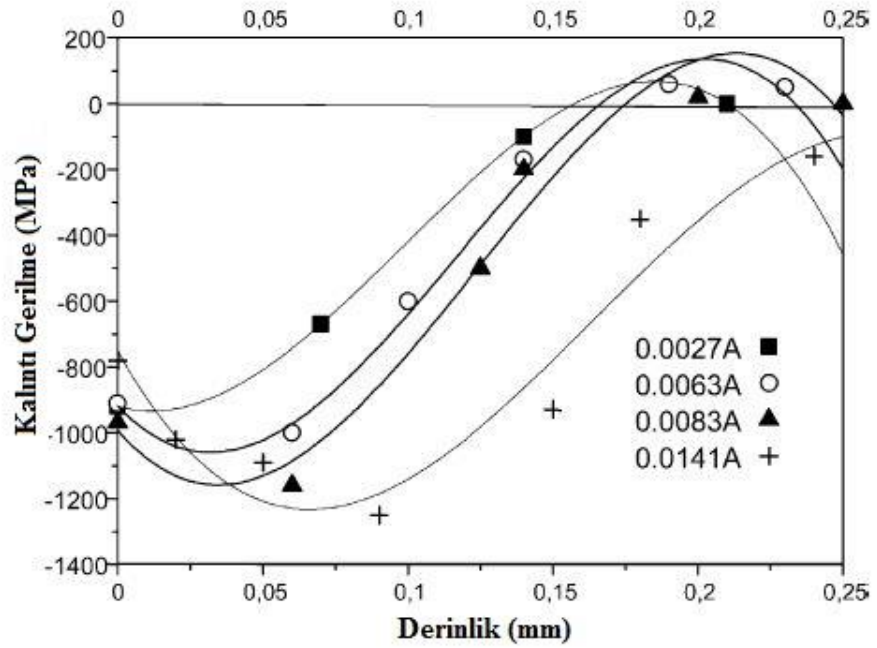
Şekil 2.22: Bilya Hızı - Almen yoğunluğu eğrisi [15]

Torres ve ark. [16] yaptığı araştırmada, uçakların iniş takımlarında kullanılan AISI 4340 çeliğinin yorulma ömrüne etkisi, dört farklı dövme ortamında yapılan deneylerle incelenmiştir. Bu farklı dövme ortamları 0.0027A (8psi), 0.0063A (13psi), 0.0083A (18psi), 0.0141A (45psi) olarak belirlenmiştir. Ardından numunelere yorulma testleri yaparak meydana gelen CRSF (kalıntı bası gerilmesi bölgesi) bir X ışını tensometresi ile hem yorulma testi öncesi hem de sonrası ölçmüşlerdir. Çalışmalarının sonucunda Almen yoğunluğundaki artışın maksimum kalıntı gerilme miktarında da artışa sebep olduğuna ve CRSF'nin genişlediğini görmüşlerdir. Şekil 2.23 farklı dövme ortamlarında bilyalı dövülmüş numunelerin S-N eğrilerinin kıyaslanması gösterilmiştir. Deney sonucu elde edilen grafik incelendiğinde bilyalı dövülmüş malzemelerin yorulma grafiğinde iyileşme gerçekleştiği görülmüştür. Buna karşılık yüzeydeki kalıntı gerilme miktarının neredeyse dövme koşullarından bağımsız olduğundan bahsetmektedirler. Şekil 2.24'de kalıntı gerilme değerinin farklı dövme koşullarında derinliğe göre değişimini göstermektedir. Deney sonucunda CRSF'nin 53 HRC sertliğindeki AISI 4340 için daha iyi bir yorulma ömrü sağladığı görülmüştür. Ayrıca bilyalı dövme işleminin orta ve yüksek çevrimli yorulma durumlarında çatlak başlangıç kaynaklarını CRSF'nin varlığı sayesinde yüzeyin altına ittiğini

belirtmişlerdir. Düşük çevrimde bilyalı dövme yapılmış ve yapılmamış numunelerin tümünde meydana gelen çatlakların yüzeyde meydana geldiğini saptamışlardır.

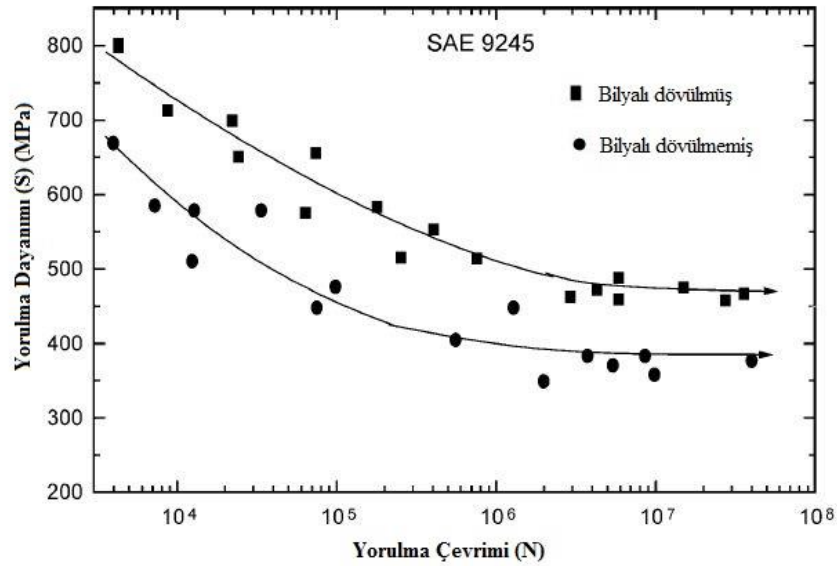


Şekil 2.23: Farklı koşullardaki bilyalı dövülmüş malzeme ile ana malzemenin S-N eğrisi kıyaslaması [16]

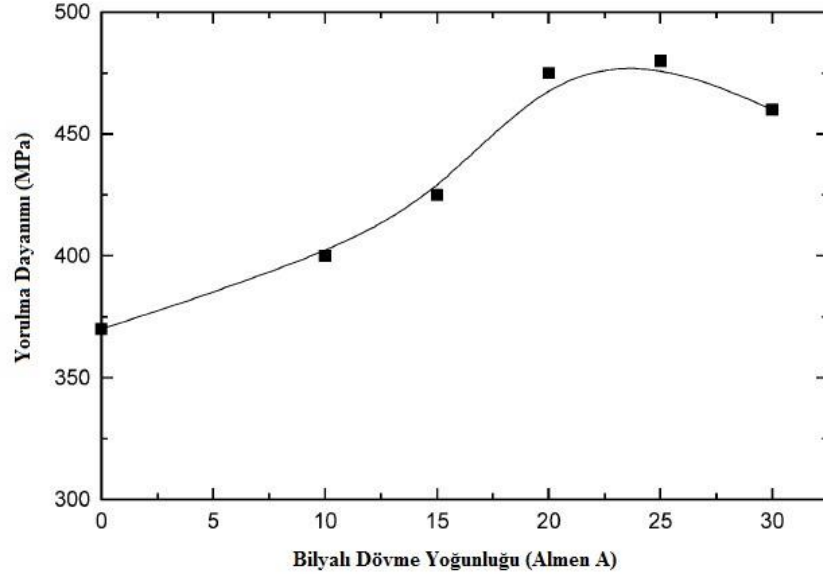


Şekil 2.24: Derinliğe bağlı kalıntı gerilme miktarı dağılımı [16]

Tekeli [17] endüstride yay üretmek amacıyla kullanılan SAE9245 çeliğine uygulanan bilyalı dövme işleminin yorulma ömrüne etkisini incelemiştir. Yorulma test numuneleri 850°C kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta yapının tamamen östenit olması için 20 dakika bekletilmiştir. Ardından su verme işlemi ile sertlik kazandırılmıştır. Daha sonra su verme işlemi sonrasında oluşan kalıntı gerilmeyi yok etmek için numuneler 500°C de menevişlenmiştir. Daha sonra bir grup numune S230 bilya ile dövme edildikten sonra bilyalı dövme yapılmış ve yapılmamış numuneler yorulma testine sokularak karşılaştırılmıştır. Şekil 2.25 bilyalı olarak dövülmüş ve dövülmemiş numunelerin S-N eğrilerini göstermektedir. Grafik üzerinden de görüleceği üzere deneyler sonucunda bilyalı dövme işleminin SAE9245 çeliğinin yorulma ömrünü %30 arttırdığını ve bu artışın sebebinin malzemenin yüzey katmanlarında oluşan kalıntı bası gerilmesinin sebep olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.26 dövme şiddetinin yorulma dayanımı üzerindeki etkisini gösteren grafik verilmiştir. Bu grafikten elde edilen sonuçlara göre ideal dövme yoğunluğunun 20-25 Almen olduğunu ve bu değerin üzerinde yapılan dövme işlemlerinin yorulma dayanımında azalma meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Bunun sebebi aşırı dövme işleminin yüzeyde çatlaklar meydana gelmesini sağlayarak kalıntı bası gerilmelerinin yüzeyden uzaklaştırmasıdır.

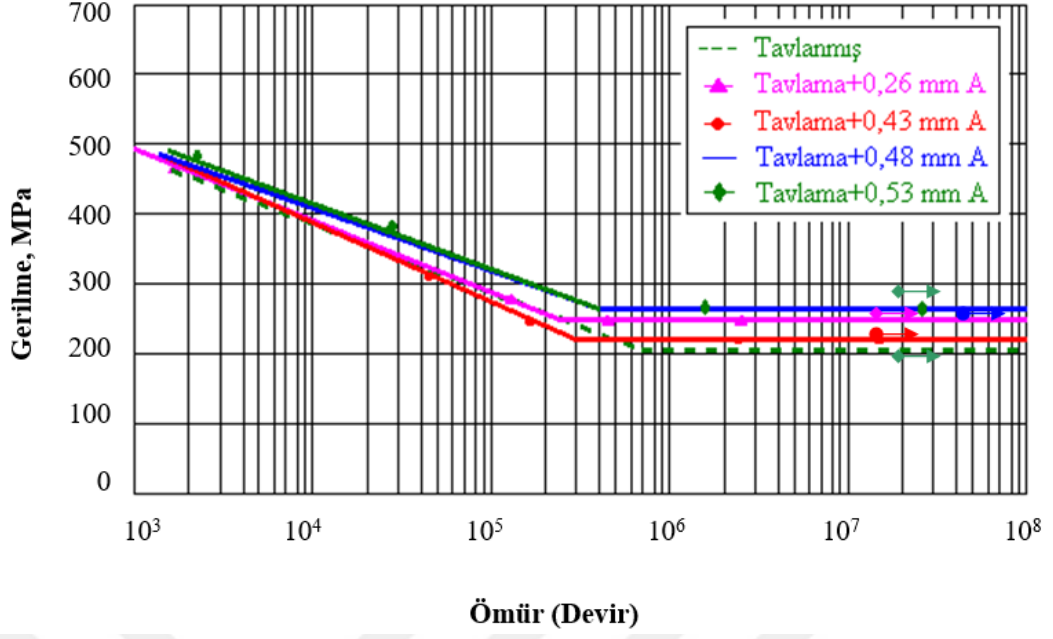


Şekil 2.25: Bilyalı dövülmüş ve dövülmemiş numunelerin S-N eğri kıyaslaması [17]

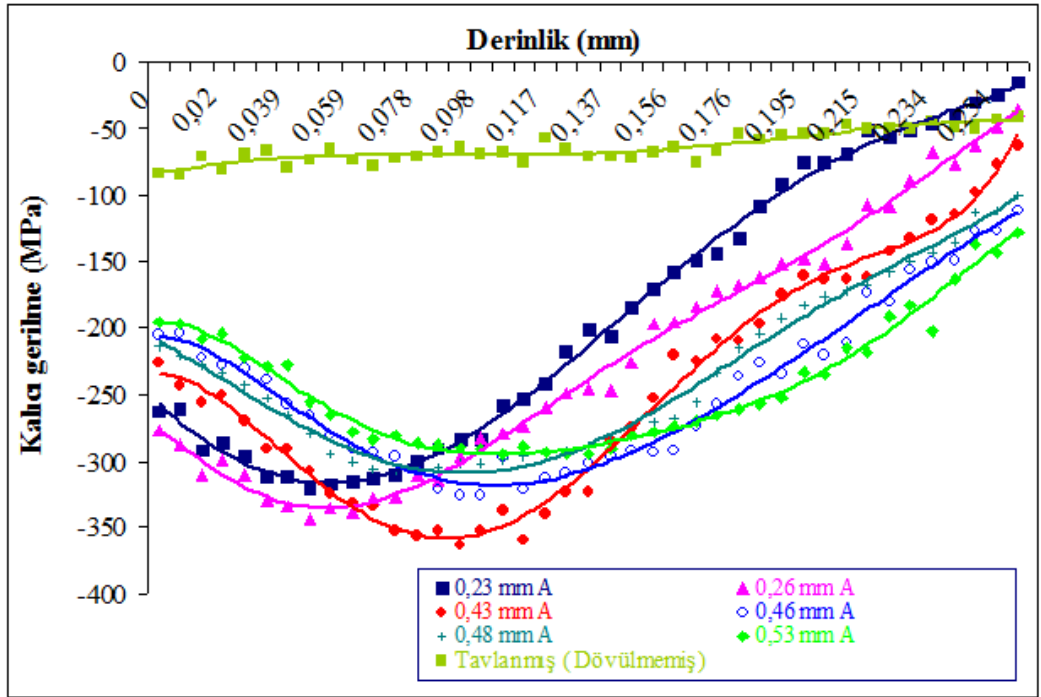


Şekil 2.26: Bilyalı dövme yoğunluğunun yorulma dayanımına etkisi [17]

Dülek ve ark. [18], bilyalı dövme işleminde dövme şiddetinin hangi değerinin parça yüzeyinde daha yüksek kalıntı bası gerilmesi oluşturacağını saptamak için çalışmalar yapmışlardır. AISI 1020 malzemesi tavlandıktan sonra dövülmeden, tavladıktan sonra dövülerek ve haddelendikten sonra dövülerek numunelere 9A ile 21 A arasındaki şiddetlerde bilyalı dövme yapmışlardır. Ardından meydana gelen kalıcı gerilme değerleri elektrokimyasal katman kaldırma tekniği ile incelenmiştir. Şekil 2.27 tavllanmış ve farklı şiddetlerde bilyalı dövülmüş numunelerde oluşan yorulma dayanım grafiğini vermektedir. Grafik incelendiğinde bilyalı dövme yapılmış numunelerin yorulma dayanımı 205 MPa'dan 265 MPa mertebesine çıktığı gözlenmiştir. Dolayısıyla bilyalı dövme işleminin yorulma dayanımında %29 luk bir artış meydana getirdiği görülmüştür. Ayrıca maksimum kalıntı bası gerilmelerinin 276 MPa ile 363 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca AISI 1020 malzemesine uygulanan bilyalı dövme şiddetlerinin artırılmasıyla yüzeyden daha derin bölgelerde basma gerilmeleri meydana geldiği saptanmıştır (Şekil 2.28). İlave olarak aşırı dövme işleminin yüzey tabakasına zarar verdiğinden ve plastik olarak deforme olan bölgeyi kaldırdığından kalıcı basma gerilmesini arttırmadığı belirlenmiştir.

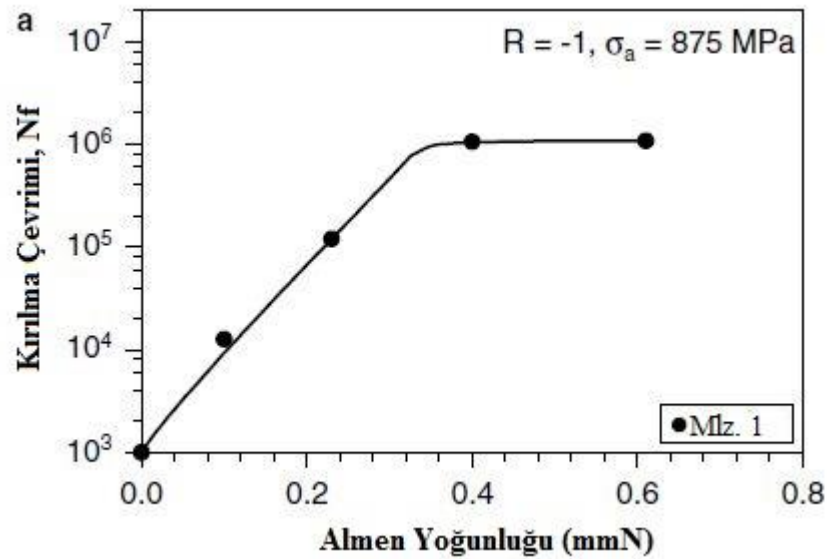


Şekil 2.27: Tavllanmış ve tavlama farklı şiddetlerde dövülmüş numunelerin S-N grafiği [18]

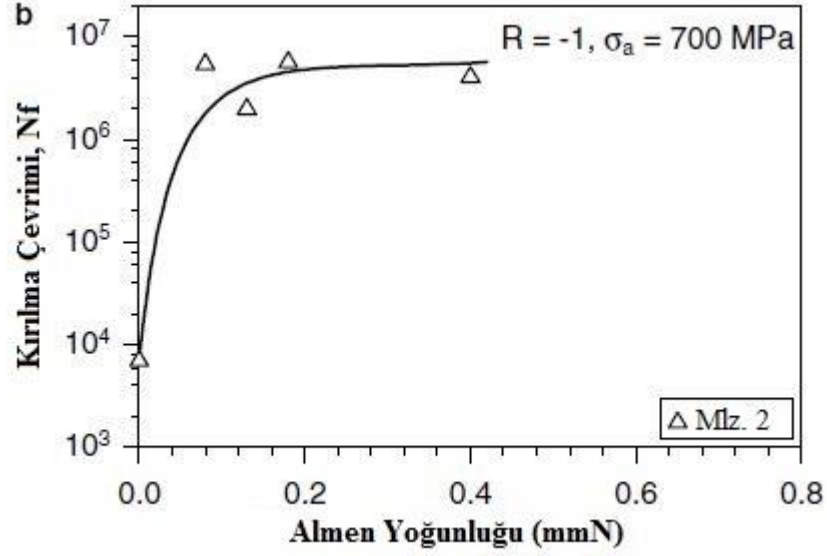


Şekil 2.28: Tavllanmış ve farklı bilyalı dövme şiddetleri ile dövülmüş Ç1020 malzemede oluşan gerilme dağılımları [18]

Lindemann ve ark. [19] lamelli TiAl alaşımlarında bilyalı dövme işleminin yorulma ömrü üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar yapmışlardır. İki farklı deney grubu hazırlamışlar ve malzemelere bilyalı dövme işlemi uygulamışlardır. Şekil 2.29 ve Şekil 2.30 malzeme 1 ve malzeme 2 ye ait Almen şiddetinin artmasıyla yorulma ömrünün değişim eğrisini vermektedir. Eğrilerden de açıkça görölmektedir ki bilyalı dövme işlemi yorulma ömrünü arttırmıştır. Bilyalı dövme işlemi TiAl alaşımlarının yüzey altlarında deformasyon meydana getirmiştir. Bu deformasyonun elastik olarak sınırlandırması kalıntı gerilmenin oluşumuna ve kayda değer bir sertlik meydana getirmiştir. Bu kalıntı gerilmelerin oluşu çatlak başlangıç noktalarını, yorulma mekanizmasının kontrol edildiği yapılar olan numunelerin iç bölgelerine itmektedir. Buda bilyalı dövme yapılmış parçaların yorulma ömründe kayda değer bir artışa neden olmaktadır. Ayrıca 650-750°C sıcaklıklarda yapılan tavlama işlemlerinde, bilyalı dövmenin neden olduğu yüzey sertleşmesinin kolayca yok olabildiği görüşmüştür. Bu sebeple bilyalı dövme, TiAl alaşımlarının mekanik performansını orta dereceli sıcaklıklarda arttırmaktadır. Yüksek çalışma sıcaklıklarındaki ürünlerde bu etki çok daha az olacaktır.



Şekil 2.29: Malzeme 1'e ait Almen yoğunluğu - Yorulma eğrisi grafiği [19]



Şekil 2.30: Malzeme 2'ye ait Almen yoğunluğu - Yorulma eğrisi grafiği [19]

Rouquette ve ark. [20] sıcaklığın, bilyalı dövme ile elde edilmiş kalıntı gerilme alanına etkisini araştırmak için bilyalı dövme operasyonunun içine ısıl mekanik etkileri de dahil eden bir sonlu eleman simülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Hız, yarıçap ve sertlik gibi diğer parametrelerin de etkileri sıcaklık ile ilişkili olarak çalışılmıştır. Bunun sonucunda özellikle yüksek hızlı bilyalı dövme işlemlerinde sıcaklığın kalıntı gerilme alanını kayda değer miktarda etkilediğini görmüşlerdir. Bilyaların çarpma hızını arttırmak daha fazla plastik deformasyona sebep olduğundan sonuç olarak sıcaklığı da arttırmıştır. Buda yüzeydeki dairesel gerilmeleri azaltmıştır. Ayrı bilya yarıçapının arttırılması daha büyük bir hacmin deforme olmasına ve sonuç olarak da daha büyük bir alandaki dairesel gerilmenin etkilenmesine sebep olmaktadır. Meydana gelen sıcaklığın metal için ciddi seviyelerde olmamasına rağmen (200°C) kalıntı gerilme bölgesinde değişiklik meydana getirdiği görülmüştür.

2.4 Barkhausen Yöntemi ve Kalıntı Gerilme Ölçümü

Endüstride kullanılan taşlama, bilyalı dövme, nitrasyon, karbürleme ve indüksiyon ile sertleştirme gibi çeşitli yüzey işlemleri veya ısıl işlemler malzeme içerisinde gerilmelerin oluşmasına ya da mikroyapısal değişikliklere neden olmaktadır. Malzeme içerisindeki bu değişiklikler malzemelerin dinamik mukavemetleri, yorulma dayanımları ve sürünme mekanizması gibi çalışma ömrüne

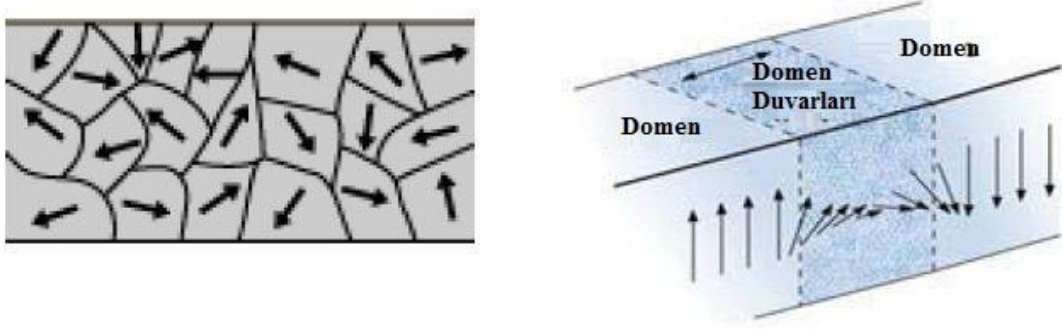
çok önemli etkisi olan parametreleri etkilemektedir. Çekme kalıntı gerilmelerinin malzemenin yorulma ömrü üzerinde negatif etkisi varken kalıntı bası gerilmelerinin malzemenin yorulma ömrünü arttırıcı etkisi vardır. Dolayısıyla bu değişkenlerin kontrol altında tutulup gözlemlenmesi gerekmektedir. Bu değerlerin ölçülmesi için endüstride tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri mevcuttur.

Manyetik Barkhausen Gürültüsü (MBN) 1919 yılında Prof. Heinrich Barkhausen tarafından keşfedilmiştir. Ancak bu yöntemin önemi ve endüstride kullanım alanı bulması 1980'li yılların başlarına dayanmaktadır. Günümüzde de tahribatsız muayene yöntemi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir.

MBN'nin uygulama alanları 3 temel grupta ele alınabilir [12].

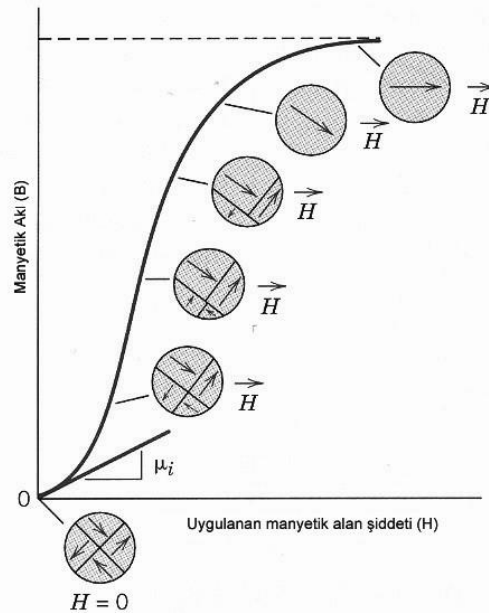
- Kalıntı gerilmelerin değerlendirilmesi; Elde edilen mikro yapısal değişiklikler makul miktarda değerlendirilebilir.
- Mikroyapılardaki değişimin değerlendirilmesi; Gerilmeye neden olan değişkenler kontrol altında olduğunda.
- Hem stres hem de mikroyapı koşullarının modifikasyonlarını içerebilecek yüzey kusurlarının, proseslerinin ve yüzey işlemlerinin incelenmesi.
 - Taşlama sırasında meydana gelen yanık gibi taşlama kusurlarının tespiti
 - Krom kaplama sonrasında meydana gelen yüzey kusurlarının tespiti
 - Çelik levha veya hadde merdaneleri gibi malzemelerdeki kalıntı yüzey gerilmesinin ölçümünde.

MBN; çelik, nikel ve kobalt gibi ferromanyetik malzemelerin içerisindeki manyetik dipoların hareket etmesi veya meydana gelen sıçrantılar sonrası ortaya çıkan ses sinyalleridir. Manyetik döngüye sahip ferromanyetik malzemeler içerisinde, manyetik enerjiyi azaltmak için alan duvarları tarafından birbirinden ayrılan ve birbirine göre zıt yönde mıknatıslanmış alanlar (Şekil 2.31) oluşur. Bu alanlar, ferromanyetik malzeme içerisinde mıknatıslanmanın homojen olarak dağıldığı bölgelerdir. Boyutları 100 mikronla birkaç mm arasında değişebilmektedir [21].



Şekil 2.31: Malzeme içerisinde rastgele yönlendirilmiş alanlar ve dipoller [21]

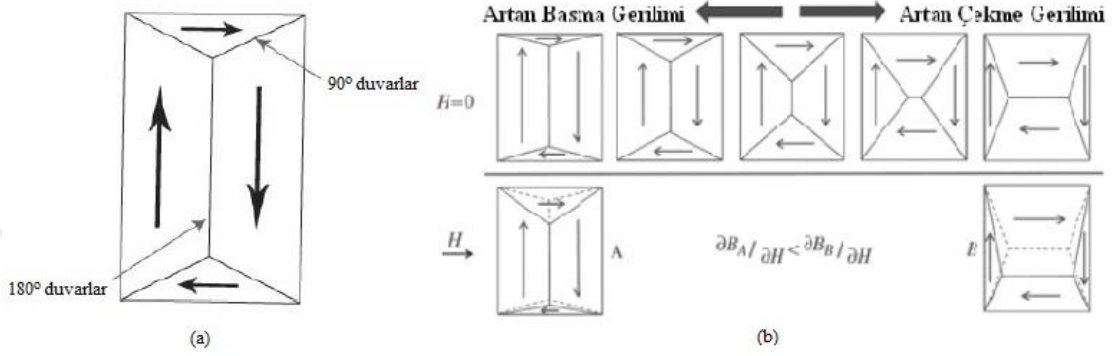
Ferromanyetik malzeme üzerine, manyetik alan şiddeti kademeli olarak artan bir kaynak uygulandığında, manyetik alan şiddeti sıfır iken birbirine göre dağınık halde bulunan manyetik dipoller kuvvet yönünde yönlenmektedirler. Bu esnada mıknatıslanma yönünde yeni alanlar meydana gelmekte ve mevcut alan duvarlarının hareket etmesiyle genişlemektedirler. Şekil 2.32’de görüldüğü gibi malzeme manyetik olarak doyma noktasına yaklaşırken, tek bir bölgeden meydana gelmektedir [22].



Şekil 2.32: Histeresis döngüsünde alan hareketlerinin gösterimi [22]

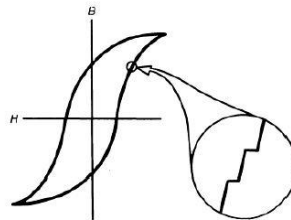
Ferromanyetik malzemelerde alan duvarlarının arasındaki açı genellikle 90° ya da 180° ’dir (Şekil 33 (a)). 180° açılı alan duvarlarının hareket kabiliyeti 90° olan

alan duvarlarına kıyasla daha fazladır. Bu sebeple, 180° olan alan duvarlarının MBN'ye etkisi daha büyüktür (Şekil 2.33). Malzeme üzerindeki gerilme tipi (çekme ya da bası gerilmesi) alan duvarlarının boyutunu etkiler ve alanlardaki boyutsal değişim, alan duvarlarının hareket kabiliyetini etkilemektedir. Teorik olarak çekme tipi kalıntı gerilmeler alan duvarlarının boyutunu artırırken kalıntı bası gerilmeleri düşürmektedir [12].



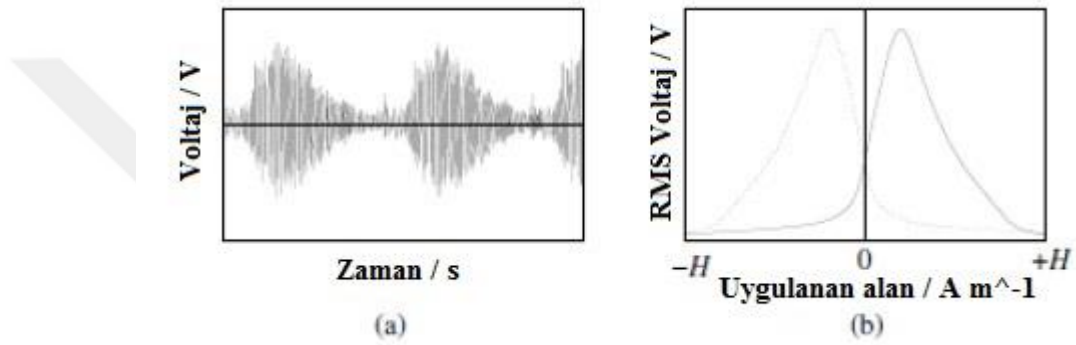
Şekil 2.33: (a) 180° ve 90° 'lik alan duvarları (b) basma ve çekme gerilmelerinin alan duvarları üzerindeki etkisi [23]

Ferromanyetik bir malzemeye manyetik bir alan etki ettiğinde, manyetik akı (B) ve manyetik alan şiddeti (H) arasında bir ilişki gözlemlenir. Bu ilişki histeresis eğrisi denilen eğrilerle açıklanır. Ferromanyetik malzemelerin histeresis eğrileri incelendiğinde manyetik alan şiddeti arttıkça eğrinin bazı bölgelerinde manyetik sıçrantılar gözlemlenir (Şekil 2.34). Bu sıçrantılar kalıntı gerilmeler ve dislokasyonlar gibi iç yapı kusurlarının alan duvarlarının hareketini zorlaştırdığından dolayı oluşmaktadır. Yani, manyetik alan şiddeti arttığında dislokasyonlar gibi engelleri aşan alanlar anlık olarak gerilim zıplamalarına neden olmaktadır.



Şekil 2.34: Histeresis eğrisindeki MBN sıçrantısı [12]

Meydana gelen bu sıçrantılar MBN olarak adlandırılır. Malzeme yüzeyine yakın bir bölgeye yerleştirilen bobin ile bu MBN sinyalleri algılanmaktadır. Algılanan bu sinyaller zamana bağlı voltaj değişiklikleridir. Yani ham sinyallerdir. (Şekil 2.35 (a)) Bu sinyal verileri belirli bir frekans aralığında süzdürülerek yükseltildikten sonra analiz edilmektedir. Analiz işleminde belli aralıklarla ham MBN sinyalinden anlık değerler alınarak ortalama karekök değeri (rms) hesaplatılır. Böylece uygulanan manyetik alana karşılık meydana gelen karekök değerinin grafiği çizilerek MNB profili çıkarılmaktadır (Şekil 2.35 (b)). MBN sinyalleri ile 10mm derinliğe kadar sinyal almak mümkündür.



Şekil 2.35 (a)Zamana bağlı voltajdaki değişikliğe ait sinyaller, (b) Uygulanan manyetik alana karşılık ortalama karekök değeri alınarak hesaplanan sinyal [12]

Literatürde yapılan çalışmalar göstermektedir ki okunan manyetik şiddet değerinin malzemenin sertliği, mikro yapısı, kalıntı gerilmelerin çeşidi gibi parametrelere göre değişkenlik göstermektedir. Genel bulgular sertliğin arttıkça MBN-rms sinyallerinin azaldığını, tane boyutu - MBN sinyal büyüklüğünün ters orantılı olduğunu ve tane büyüklüğü - MBN sinyalleri arasında Hall-Petch ilişkine benzer bir ilişki olabileceğini göstermektedir. Ayrıca malzeme içerisindeki kalıntı çekme gerilmelerinin MBN sinyalini arttırırken, kalıntı bası gerilmelerinin bu sinyal değerlerini düşürdüğünü söylenmektedir. [12, 21-22,24-25].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmanın ana malzemesi olarak, debriyaj sistemlerinde diyafram yay malzemesi olarak kullanılan DIN 50CrV4 malzemesi kullanılmıştır. Ana malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1’de, mekanik özellikleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. 50CrV4 malzemesinin kimyasal kompozisyonu

C	Si	Mn	P	S	Cr	V
0,47 - 0,55	Maks. 0,4	0,70 - 1,1	Maks. 0,035	Maks. 0,030	0,90 - 1,20	0,10 - 0,20

Tablo 3.2. 50CrV4 malzemesinin mekanik özellikleri

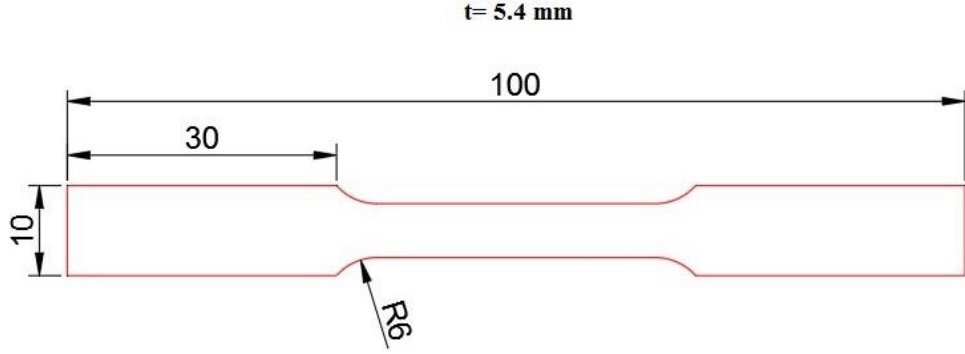
Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama	Sertlik (HB)
500	600 - 700	13	180 - 220

50CrV4 malzemesi Dönmez Debriyaj bünyesine levhasal formda gelmektedir. Ardından pres departmanında kesme ve şekil verme işlemlerinden sonra ısıtma işlem süreçleri tamamlanıp kullanıma hazır hale gelmektedir.

Isıtma işlem yapılan diyafram yaylar bu teze konu olan bilyalı dövme işlemine tabi tutulur. Genel bilgiler bölümünde de bahsedildiği gibi bilyalı dövme işleminin diyafram yayın yorulma ömrüne pozitif etkisi vardır. Böylece bilyalı dövme işlemi uygulanan diyafram yaylarda kuvvet kayıpları daha geç gözlenmektedir ve bu da doğrudan debriyaj sisteminin kullanım ömrüne yansımaktadır.

Bilyalı dövme işlem parametrelerinin debriyaj sistemindeki yorulma ömrünü hangi oranda etkilediğinin saptanması için farklı almen şiddetlerinde bilyalı dövülmüş numuneler yöntem kısmında belirtilen testlere sokulmuştur. Gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçlara göre seri imalat şartlarına engel oluşturmayan almen şiddeti ve bilya tipi diyafram yay üzerine uygulanarak debriyaj ömür testine sokulmuştur. Bu işlemler sonunda optimum proses parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 3.1’de ölçüleri verilen köpek kemiği şeklinde numuneler hazırlanarak testler yapılmıştır. Şekil 3.2’de hazırlanan numunelerin fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3.1: Testlerde kullanılan numune ölçüleri



Şekil 3.2: Testlerde kullanılan numuneler

Bilyalı dövme işleminde Almen değerini etkileyen birçok parametre olduğu önceki bölümlerde anlatılmıştı. Hazırlanan numuneler farklı Almen değerlerinde (6, 8, 10, 12 ve 14), iki farklı bilya çeşidi (S170 ve S230) ve bir şahit numune kullanılarak toplam 11 deney grubu oluşturulmuştur. Tablo 3.3 deney grupları ve numune adetleri

gösterilmektedir. 11. numune hiçbir işleme tabi tutulmayarak, bilyalı dövme işleminin etkisinin kıyaslanması amaçlanmıştır.

Tablo 3.3. Oluşturulan deney grupları

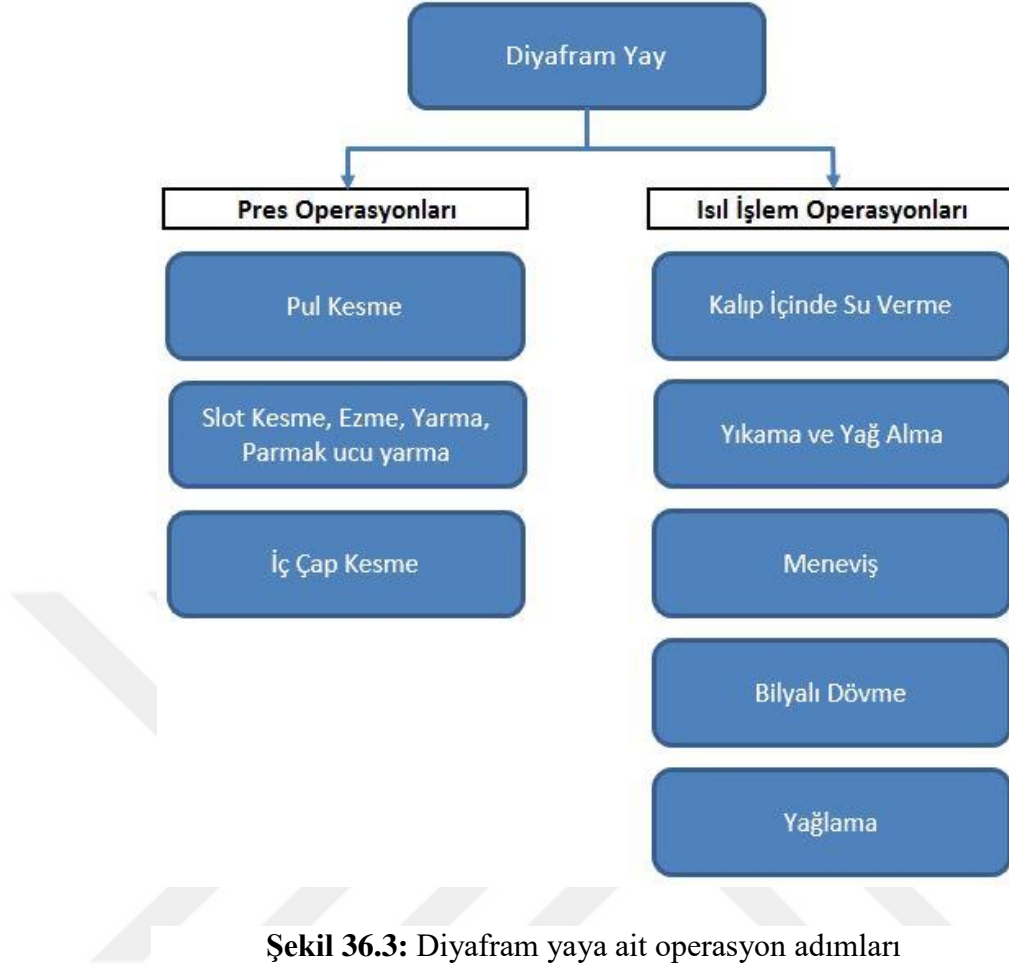
Grup No	Bilya Çeşidi	Almen Değeri	Numune Adet
1	S230	6	5
2	S230	8	5
3	S230	10	5
4	S230	12	5
5	S230	14	5
6	S170	6	5
7	S170	8	5
8	S170	10	5
9	S170	12	5
10	S170	14	5
11	-	-	5

3.2 Yöntem

Levhasal formdaki 50CrV4 malzemesi, Şekil 3.3’de gösterilen akış şemasında gösterildiği gibi diyafram yay yarı mamulüne dönüşmektedir. Deney numuneleri standartlara uygun olarak lazerli kesim yapılmıştır. Numuneler, diyafram yay üretiminde olduğu gibi tüm ısıl işlemleri uygulanmıştır. Böylece diyafram yayda elde edilen mekanik özellikler, numunelere kazandırılmaktadır.

50CrV4 çeliğine yapılan deneyler aşağıdaki şekildedir;

- Çekme Testi
- Pürüzlülük ölçümü
- Mikro yapı incelemesi
- Mikro sertlik ölçümü
- Kalıntı gerilme ölçümü (Barkhausen yöntemi ile)
- Debriyaj ömür testi



Şekil 36.3: Diyafram yaya ait operasyon adımları

3.2.1 Kalıp içinde su verme

Bu süreçte diyafram yayların yapısı tamamen östenit fazında olana kadar ısıtılıp, kalıp içerisinde yağda su verme işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem sonucunda diyafram yayların iç yapısında martenzit yapısının oluşması, sertlik ve mukavemet kazanması ve diyafram yay formu olan koniklik geometrisi kazanması sağlanmaktadır. Her diyafram yay malzemesinin kendine özgü su verme kalıbı ve proses parametreleri mevcuttur.

Diyafram yaylara yapılan bu ısıl işlem deney numunelerinin tümüne uygulanmıştır. Bu işlem için Şekil 3.4(a)'da gösterilen ısıl işlem fırını kullanılmıştır. Yaklaşık 900°C sıcaklığa kadar ısıtılan numuneler 10 dakika fırın içerisinde bekletilmektedir. Fırından çıkarılan numuneler Şekil 3.4(b)'de gösterilen Dönmez Debriyaj bünyesinde üretilen preste form kazandırılıp su verme işlemi gerçekleştirilmektedir.

6 kgf/cm² silindir basıncıyla şekillendirilen numunelere, 20 saniye boyunca kalıp içerisinde soğutma yağı uygulanmaktadır. Bu işlem sonucunda parçaların ortalama sertliği 58 HRC civarında olmaktadır.



Şekil 37.4: (a) Isıl işlem fırını (b) Isıtılan parçanın şekillendirilip yağda su verme işlemi yapıldığı pnömomatik pres (Dönmez Debriyaj)

3.2.2 Yıkama ve yağ alma

Kalıp içerisinde su verme (KSV) işleminde parçalar, yağda soğutuldukları için bu prosesten çıkan parçaların temizlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde temizleme işlemi yapılmadan gerçekleştirilen menevişleme işlemi sağlıklı olmamaktadır. KSV sonrası yıkama makinesinde uygun biçimde dizilen malzemeler, dolum tamamlandıca özel karışımli bir kimyasal yardımıyla Şekil 3.5’de görülen makinede yıkanıp yağdan arındırılmaktadır.



Şekil 3.5: Yıkama ve yağ alma makinesi (Dönmez Debriyaj)

3.2.3 Meneviş

Menevişleme (temperleme) düşük sıcaklıklarda yapılan, su verme işlemi sırasında oluşan gerilim ve gevrekliği ortadan kaldırarak parçaların mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanan bir ısıl işlem prosesidir.

KSV sonrası malzemelerde oluşan gergin yapı sebebiyle kırılma ve çatlama eğiliminde olan malzemeler çok zaman geçirmeden menevişleme işlemine tabi tutulmaktadır. Deney numuneleri Şekil 3.6'da gösterilen meneviş fırınında yaklaşık 400°C civarlarında 180 dakika bekletilmektedir. İşlem sonucunda malzemelerin sertliğinin 45 HRC civarında olması beklenmektedir.

Kullanılan meneviş makinesinin teknik özellikleri aşağıdaki şekildedir;

- Kapasite : 750 kg/h
- Isıtma Gücü : 85140 kcal/h
- Yakıt Cinsi : Rezistans
- Elektrik Gücü : 75 kW



Şekil 3.6: Menevişleme Fırını (Dönmez Debriyaj)

3.2.4 Bilyalı dövme

Bu teze konu olan bilyalı dövme işlemi Şekil 3.7’de gösterilen makine de gerçekleştirilmiştir. Bilyalı dövme işlemi etkileyen değişkenler nozul numune arası mesafe, nozul numune arası açı, malzeme çeşidi ve dövme süresidir. Bu değişkenler Dönmez debriyajın üretimde kullandığı değerler ile aynı olmasına dikkat edilmiştir.

Nozul-numune arası mesafe : 50 cm

Nozul-numune arası açı : 40°

Kullanılan malzeme : 50CrV4 (ısıtılmış – diyafram yay malzemesi)

Dövme süresi : 30 saniye

Sabit tutulmuştur.

Prosesi etkileyen en önemli faktör olan bilya tipi (S230 ve S170 bilya) ve türbin basıncı (70-85 psi) değiştirilerek arzu edilen Almen değerleri yakalanmıştır.



Şekil 3.7: Bilyalı dövme makinesi (Dönmez Debriyaj)

3.2.5 Çekme testi

Farklı bilyalı dövme şartlarında dövülmüş numunelerin mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Bilyalı dövme yapılmamış ve yapılmış numuneler Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde bulunan Shimadzu marka Autograph AG-IS 100 kN çekme cihazı (Şekil 3.8) yardımıyla çekilmiştir.



Şekil 3.8: Shimadzu Autograph AG-IS 100 kN çekme cihazı (CBÜ)

3.2.6 Mikroyapı incelemesi

Bilyalı dövme uygulanmış malzemenin mikroyapısında özellikle yüzeye yakın bölgelerde dokusunda değişiklik olup olmadığının gözlemleyebilmek için mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Her gruptan 10x10mm ebatlarında numune çıkartılıp bakalite alındıktan sonra zımparalama makinesinde numuneler zımparalanmıştır. Başlangıçta 60 numara zımpara ile numunelerin kaba talaşı alındıktan sonra sırasıyla 400, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalar ile zımparalama yapılmıştır. Her numune değişiminde numuneler 90° döndürülerek ortalama 5-10 dakika arası zımparalanmıştır.

Zımparalama işlemi tamamlandıktan sonra alümina sıvı yardımıyla keçe üzerinde parlatma işlemi yapılmıştır. Ardından %2 nital dağlayıcı hazırlanarak numuneler 10 saniye bu çözeltide dağlanıp hemen su ile durulanmıştır. Kurutma makinesi yardımıyla kurutulan numunelerin mikroyapı incelemesi Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde bulunan Şekil 3.9’da gösterilen Nikon marka Eclipse LV150N mikroskop yardımıyla yapılmıştır.



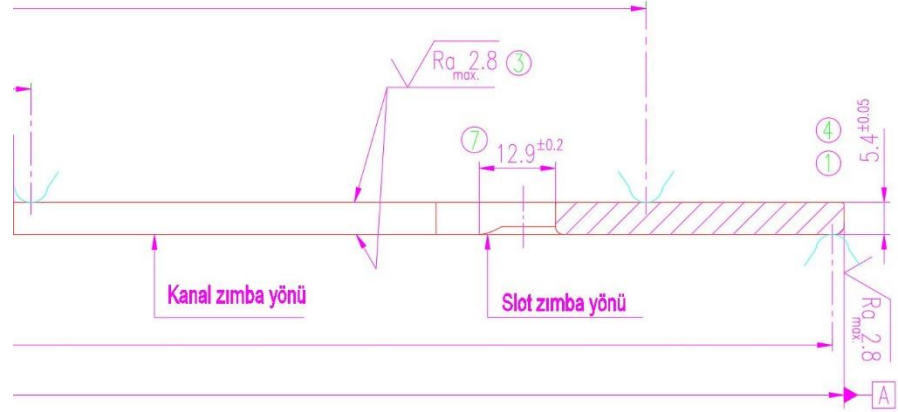
Şekil 3.9: Nikon Eclipse LV150N model mikroskop (CBÜ)

3.2.7 Pürüzlülük ölçümü

Yapılan deneylerde 2 farklı bilya tipi ve farklı hızlar kullanıldığından, bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediğinin saptanması amacıyla numunelere pürüzlülük ölçüm testleri yapılmıştır. Bu testler Şekil 3.10'da gösterilen Mitutoyo marka SJ-301 model profilometre ile gerçekleştirilmiştir. Dönmez debriyaj bünyesinde üretilen diyafram yayların bitmiş halinde yüzey pürüzlülüğü olarak $Rz_{max}=20$ değeri belirlenmiştir (Şekil 3.11). Dolayısıyla son işlem olan bilyalı dövme sonrasında diyafram yayların bu spekt dışına çıkmaması önemlidir.



Şekil 3.10: Mitutoyo SJ-301 marka profilometre (CBÜ)



Şekil 3.11: Diyafram yaylardaki yüzey pürüzlülük spekti (Dönmez Debriyaj)

3.2.8 Mikrosertlik ölçümü

Bilyalı dövme yapılan numunelerde yüzeye yakın bölgelerde kalıntı bası gerilmelerinden oluşan bölgenin sertliğe etkisi olup olmadığının anlaşılması amacıyla her deney grubuna mikro sertlik testi yapılmıştır.

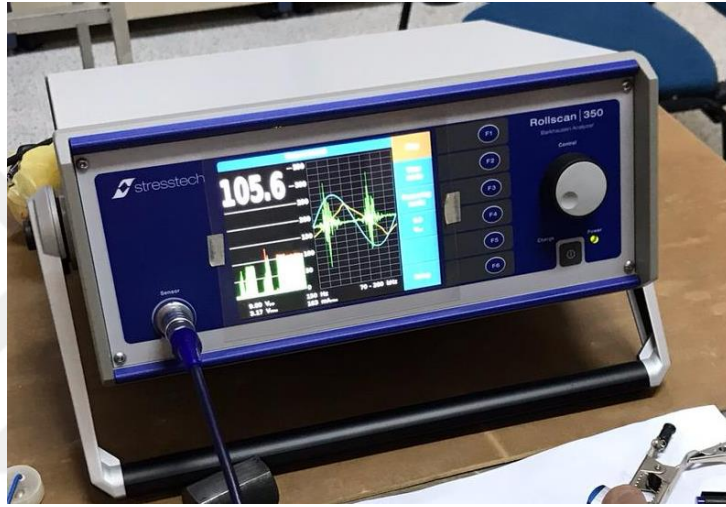
Mikroyapı incelemesi yapılan numunelere, bakalit üzerinde iken aşağıdaki Şekil 3.12’de gösterilen Mitutoyo marka Hv-100 model mikro sertlik cihazında sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerinden 1kg yük altında 5 saniye boyunca, yüzeyden 0.5mm içeriden başlayarak 0.2 mm aralıklarla sertlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.12: Mitutoyo HV-100 mikro sertlik test cihazı (Dönmez Debriyaj)

3.2.9 MBN ölçümü

Bilyalı dövmenin neden olduğu kalıntı gerilme miktarının büyüklüğünün tespiti için Şekil 3.13’de gösterilen Stresstech firmasının Rollscan 350 model cihaz kullanılmıştır. Testler 9 Eylül Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Bilyalı dövülmüş ve dövülmemiş malzemelerde meydana gelen eğri değişimini görebilmek için farklı manyetik gerilmelerde kalibrasyon yapıldı. Bunun sonucunda en optimum değer 10V manyetik gerilimi olduğu saptandı. Bu nedenle, ölçümlerde maksimum 200 Hz uyarıcı ve 10V manyetizasyon gerilimi kullanılmıştır.



Şekil 3.13: MBN ölçüm cihazı (9 Eylül Üniversitesi)

Kalıntı gerilme ölçümü yapılmadan önce numunelerin üzerindeki manyetikliğin alınması gerekmektedir. Aksi takdirde malzeme içerisinde indüklenmiş manyetik alan sonuçları etkilenmektedir. Bu sebeple tüm deney numuneleri ölçümden önce “Earth Chain” marka demanyetizer cihaz yardımıyla manyetik alandan arındırılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Demanyetizer (Dönmez Debriyaj)

3.2.10 Yorulma Kaynaklı Kuvvet Kaybı Ölçümleri

Dönmez debriyaj bünyesinde üretilen baskılar ömür test cihazına sokularak araç üzerinde çalışma sonrasında meydana gelen kuvvet kayıpları incelenmektedir. Debriyaj baskısının ömrünü etkileyen en önemli parametre diyafram yaydır. Diyafram yaylarda erken oluşan deformasyon ya da yorulma kaynaklı hasar mekanizmaları doğrudan baskının performansını etkilemektedir. Diyafram yayın yorulma ömrüne katkısı olan bilyalı dövme işleminin baskı ömrü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı şartlarda bilyalı dövme yapılmış debriyaj baskıları ömür test cihazına sokulmaktadır.

Bu işlem için Dönmez Debriyaj bünyesindeki baskı ömür test cihazı (Şekil 3.15) kullanılmıştır. Buraya bağlanan baskılar saniyede 1 kere debriyaja araç üzerindeki basmış gibi itme ve çekme hareketi yapmaktadır. Her baskının araç üzerinde çalışma darbe değerleri (rulman mesafesi) değişkendir. Bu değerler test cihazına girildikten sonra girilen mesafe kadar diyafram yayı itme ve çekme hareketi uygulanmaktadır. Genellikle test bir ya da bir buçuk milyon çevrim boyunca tekrarlanmaktadır.



Şekil 3.15: Baskı ömür test cihazı (Dönmez Debriyaj)

Debriyaj baskısı, ömür test cihazına bağlanmadan önce ve 1.5 milyon çevrim sonrasında performans test cihazına bağlanmaktadır. Performans test cihazında baskının çalışma performans kriterleri olan;

- Pedal kuvveti
- Baskı kuvveti
- Ayırma miktarı
- Paralelsizlik
- Rulman kuvveti
- Aşınmış baskı kuvveti gibi sonuçlara ulaşılmaktadır.

Farklı şartlarda bilyalı dövülmüş diyafram yaylı baskılar, yorulma cihazına bağlanmadan önce, 600 bin, 1.2 milyon ve 1.5 milyon çevrim sonrası Aurotech marka test cihazına (Şekil 3.16) bağlanarak baskı kuvvetleri ölçülerek yorulma sonrası meydana gelen kuvvet kaybı hesaplanmaktadır. Bu değer yanında yukarıda belirtilen kriterlerin sonuçları da tek bir grafik üzerinde gösterilen rapor ile sonuçlandırılmaktadır.

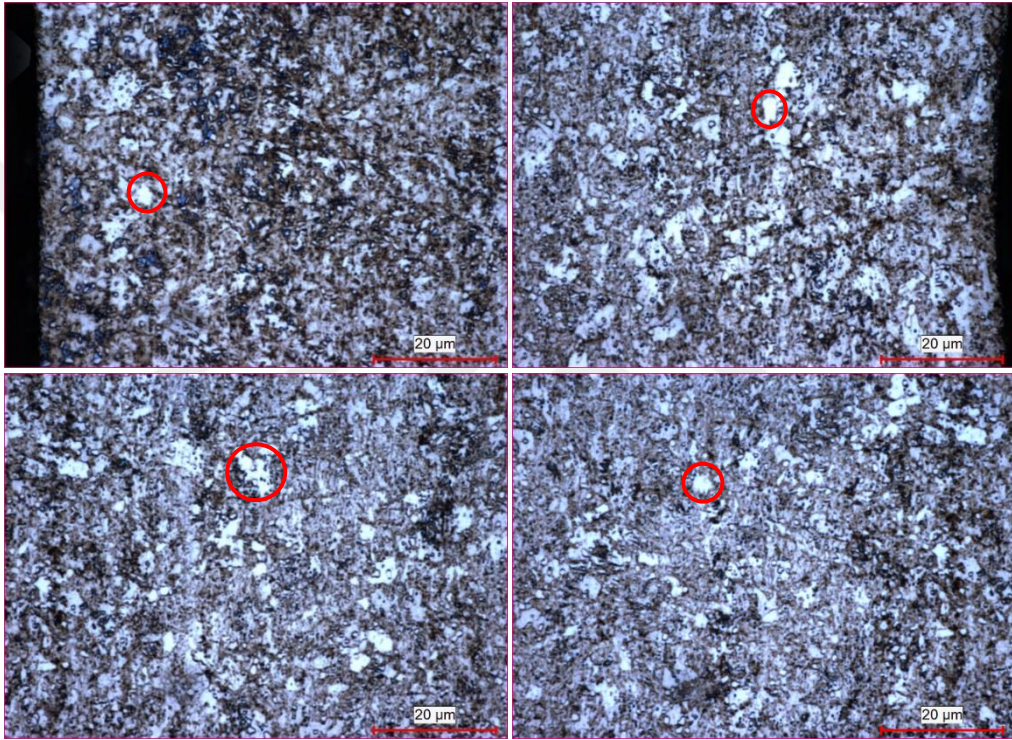


Şekil 3.16: Aurotech performans test cihazı (Dönmez Debriyaj)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.1’de bilyalı dövme işlemi yapılan numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. 10 farklı şartta (S230 ve S170 bilya ile ve 6, 8, 10, 12 ve 14 Almen) bilyalı dövme işlemi yapılan numunelerin mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Numuneler, mikroskop altında 1000 büyütmede, dövme yüzeyinden merkeze doğru görüntüler alınmıştır.



Şekil 4.1: Bilyalı dövme işlemi yapılan numunenin kesitinden alınan (S230 bilya 8A) 1000 büyütme altındaki mikroyapı görüntüleri

İnceleme sonucunda ısıtılma işlemi gören 50CrV4 çeliği içerisinde temperlenmiş martenzit yapısı gözlemlenmiştir. En yüksek büyütme oranında (1000x) incelenen tüm deney grup numunelerinde benzer içyapı görülmüştür. Literatürde düşük karbonlu çelik numuneler ile yapılan mikro incelemelerin aksine, yapının tamamen martenzit olmasından kaynaklı yüzeyin hemen altındaki bölgede, tanelerde morfolojik olarak net bir değişim gözlenmemiştir. Ayrıca Şekil 4,1’deki kırmızı yuvarlak içerisinde belirtilen bölgeler kalıntı östenit bölgesini göstermektedir. Isıl işlem esnasında östenit

sıcaklığındaki malzemeye hızlı soğutma uygulanarak martenzit içyapısı oluşturulmaya çalışılır. Ancak östenit fazı oda sıcaklığına kadar yapıda kalarak martenzite dönüşemediği durumlar da olabilir. Bunun neticesinde yapı içerisinde martenzite dönüşemeyen kalıntı östenit diye belirttiğimiz bölgeler oluşmaktadır [26]. Bu bölgeler, östenit fazının yumuşak yapısından dolayı çeliğin mukavemetini olumsuz etkileyip, kesit içerisinde düşük sertlik ölçümlerine neden olmaktadır. Yapılan incelemede yapı içerisinde kalıntı östenit bölgelerinin varlığı görülmektedir.

Avcu [27] bilyalı dövme parametrelerinin AA7075 T6 Alüminyum alaşımının yüzey altı özelliklerine etkilerini incelediği çalışmada bilya boyutu ve püskürtme basıncı parametrelerinin yüzeyin hemen altındaki bölgenin mikroyapı ve sertlik özelliklerini nasıl etkilendiğini incelemiştir. Çalışma sonucunda püskürtme basıncının ve bilya boyutunun artmasıyla mikro yapısal değişime uğrayan bölgenin derinliğinin arttığını ve derinliğe bağlı sertlik değerlerinde artış olduğunu görmüştür. Ayrıca numuneler üzerinden SEM ile görüntüler alarak, dövülen yüzeyde bilyaların neden olduğu çukurları ve mikro çatlakları tespit etmiştir.

Wang ve ark. [28] düşük karbonlu ticari bir çelik malzeme üzerinde deneyler yapmışlardır. Bu deneylerde malzeme yüzeyine bilyalı dövme ile plastik deforme ettikten sonra numunelerin kesit görüntülerini mikroskop altında incelemiştir. İncelemeleri sonucunda dövülen yüzeyden çekirdeğe doğru belirli kalınlıkta bir bölgenin bilyalı dövme etkisiyle tanelerinde uzamalar gerçekleştiğini görmüşlerdir. Bu bölgedeki tane boyutunun ana matristeki tane geometrisinden farklı olduğu görülmektedir. Bu durum bilyaların malzeme üzerindeki soğuk dövme etkisini ispatlar niteliktedir.

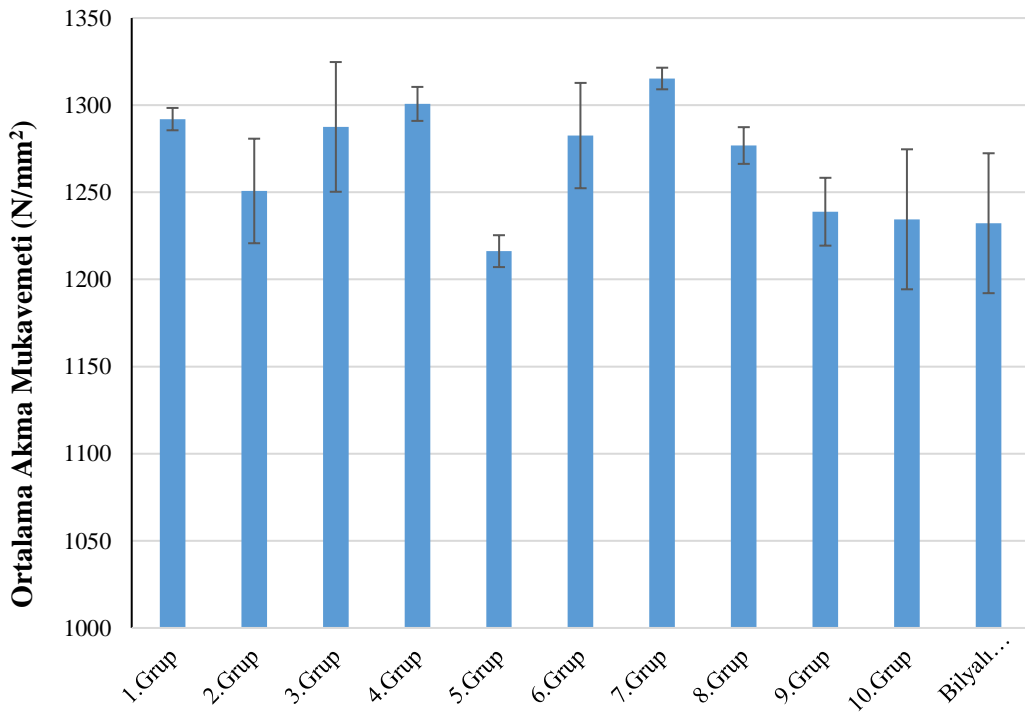
4.2. Çekme Testi Sonuçları

Bilyalı dövme işlemi yapılmamış ve farklı şartlarda bilyalı dövülmüş olmak üzere toplam 11 deney grubu ve her deney grubundan 3 numune ile çekme testleri sonuçları Tablo 4,1'de gösterilmiştir. Çekme testi sonucu elde edilen her bir mekanik özelliğin (Çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama oranı) ortalama değerleri ayrı ayrı grafiklerde incelenmiştir. Çekme testi sonuçları incelendiğinde her grup içinde tekrarlanabilen veriler elde edildiği görülmektedir.

Tablo 4.1. Çekme testi uygulanan deney gruplarının ortalama mukavemet değerleri

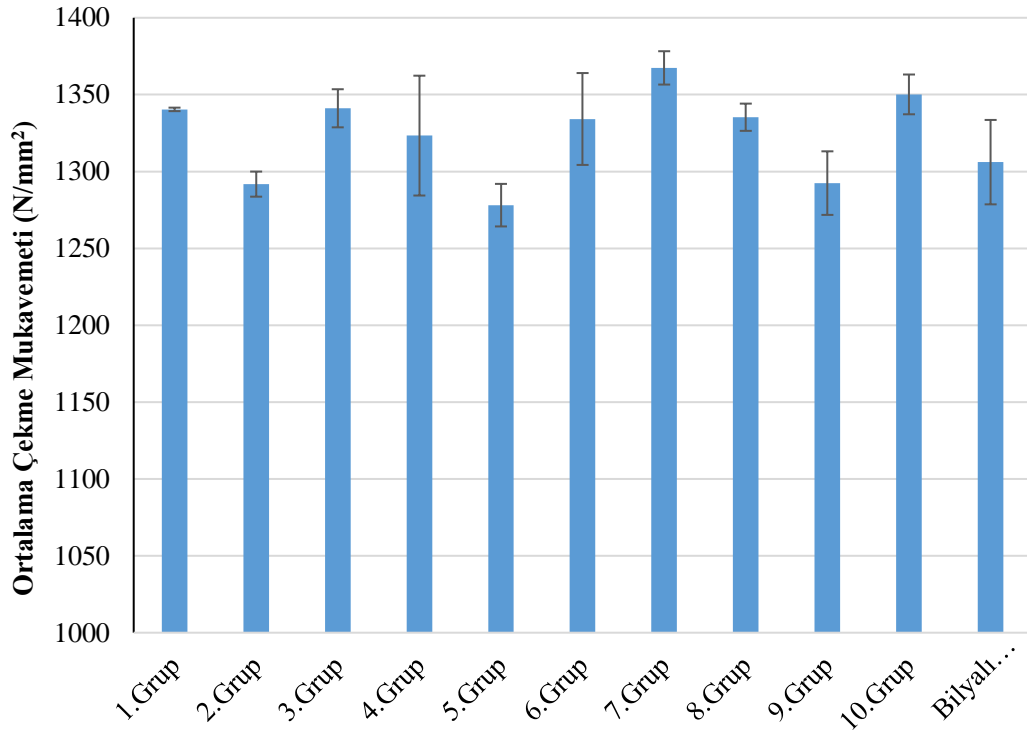
Grup No	Bilya Tipi	Almen Şiddeti	Numune No	Akma mukavemeti [N/mm ²]	Ortalama Akma mukavemeti [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Ortalama Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Toplam % Uzama [%]	Ortalama Toplam % Uzama [%]
1.Grup	S230	6	1.Numune	1301,02	1292,00	1338,94	1340,41	20,55	20,05
			2.Numune	1286,65		1341,70		20,58	
			3.Numune	1288,34		1340,59		19,02	
2.Grup	S230	8	1.Numune	1216,16	1250,77	1280,34	1291,80	19,32	19,61
			2.Numune	1246,84		1296,37		20,37	
			3.Numune	1289,32		1298,69		19,14	
3.Grup	S230	10	1.Numune	1316,61	1287,53	1324,41	1341,13	19,61	20,35
			2.Numune	1311,00		1344,94		21,16	
			3.Numune	1234,99		1354,04		20,27	
4.Grup	S230	12	1.Numune	1289,41	1300,73	1274,28	1323,36	18,12	19,37
			2.Numune	1313,21		1369,62		20,58	
			3.Numune	1299,56		1326,18		19,41	
5.Grup	S230	14	1.Numune	1210,48	1216,24	1271,58	1278,11	19,11	20,16
			2.Numune	1229,15		1297,35		20,60	
			3.Numune	1209,08		1265,40		20,76	
6.Grup	S170	6	1.Numune	1248,93	1282,57	1297,09	1334,17	20,52	20,76
			2.Numune	1322,22		1370,25		21,09	
			3.Numune	1276,55		1335,16		20,66	
7.Grup	S170	8	1.Numune	1314,52	1315,31	1363,88	1367,40	20,69	20,71
			2.Numune	1323,27		1382,09		21,34	
			3.Numune	1308,14		1356,23		20,11	
8.Grup	S170	10	1.Numune	1263,72	1276,85	1325,02	1335,31	20,88	21,01
			2.Numune	1289,50		1346,65		20,99	
			3.Numune	1277,33		1334,25		21,16	
9.Grup	S170	12	1.Numune	1261,08	1238,86	1319,15	1292,46	19,86	20,67
			2.Numune	1213,67		1268,79		21,01	
			3.Numune	1241,83		1289,43		21,15	
10.Grup	S170	14	1.Numune	1291,00	1234,51	1365,45	1350,16	20,15	20,10
			2.Numune	1211,41		1333,81		20,30	
			3.Numune	1201,11		1351,21		19,84	
Bilyalı Dövme Yapılmamış Grup			1.Numune	1256,14	1262,26	1332,86	1342,76	21,65	21,20
			2.Numune	1216,44		1314,21		21,48	
			3.Numune	1314,21		1381,22		20,46	

Şekil 4.2 çekme testi sonucu elde edilen ortalama akma mukavemetlerinin, farklı şiddetlerde bilyalı dövme şartlarına göre değişim sonuçlarını vermektedir. Test sonuçlarına göre elde edilen standart sapma değerleri de grafikte gösterilmiştir. Standart sapma oranlarının grafiklerde görüldüğü gibi düşük oluşu, testlerin doğruluğunun yüksek olduğu şeklinde yorumlanabilmektedir. Maksimum ortalama akma mukavemeti 1315 N/mm² olarak S170 bilya ve 8 Almen şiddeti uygulanan numunede gözlemlenmiştir.



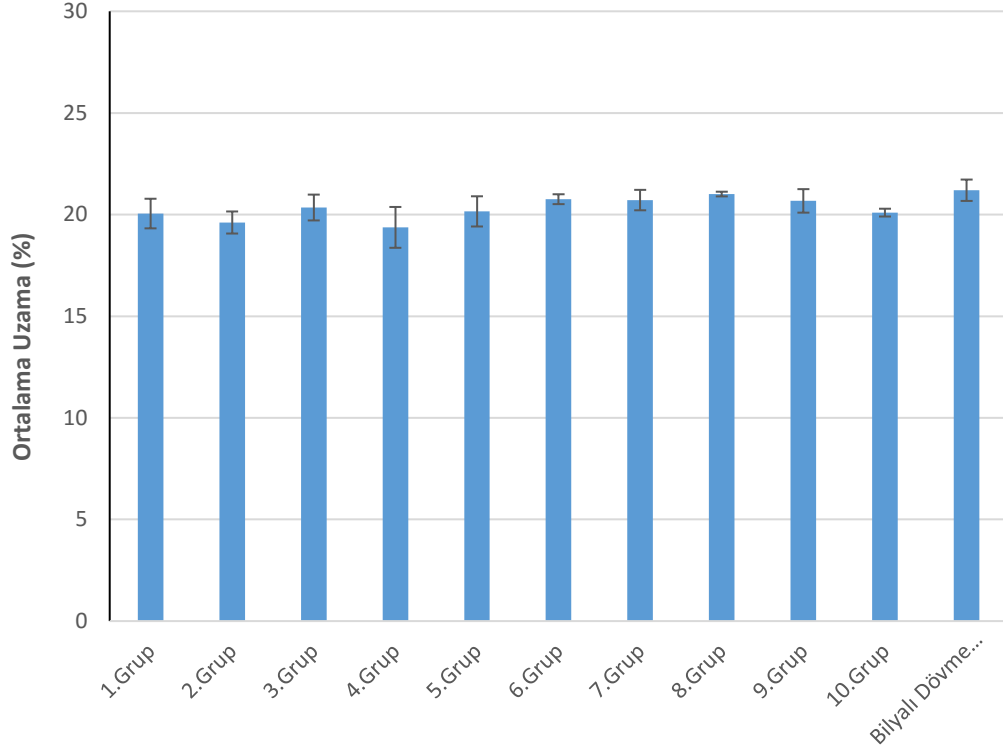
Şekil 4.2: Bilyalı dövme yapılmamış ve farklı koşullarda bilyalı dövülmüş numunelerin ortalama akma mukavemeti kıyaslaması

Genel olarak bilyalı dövme işleminin akma mukavemetine olumlu etkisi olduğu söylenebilmektedir. Özellikle 1.grup (S230 bilya – 6A), 4.grup (S230 bilya – 12A) ve 7. Gruplarda (S170 – 8A) akma mukavemetinde ortalama %3,5’lik bir artış meydana gelmiştir. S230 bilya ile yapılan deneylerde 12A değerinden sonra akma mukavemetinde keskin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, literatür çalışmalarında bahsedildiği gibi bilyalı dövmenin aşırı uygulanmasının yorulma ömrüne zararlı etkilerini kanıtlar nitelikte olmaktadır. Bu duruma gerekçe olarak artan yüzey pürüzlülüğü gösterilebilir.



Şekil 4.3: Bilyalı dövme yapılmamış ve farklı koşullarda bilyalı dövülmüş numunelerin ortalama çekme mukavemeti kıyaslaması

Şekil 4.3 çekme testi sonucu elde edilen ortalama çekme mukavemetlerinin, farklı şiddetlerde bilyalı dövme şartlarına göre değişim sonuçlarını vermektedir. Ortalama çekme mukavemetleri de incelendiğinde akma mukavemetlerine paralel olarak bazı gruplarda bilyalı dövmenin olumlu, bazı gruplarda olumsuz etkisi olduğu görülmektedir. S230 bilya ile yapılan deneylerde 10A ve 12A değerlerinin akma ve çekme mukavemetine katkısının optimum noktada olduğu ancak 14A değerinde yapılan bilyalı dövmenin malzemenin hem akma hem de çekme mukavemetine negatif etkisi olduğu bariz olarak görülmektedir. S170 bilya ile yapılan deneylerde ise 8A ve 14A şiddetlerde yapılan bilyalı dövme işleminin ortalama çekme dayanımı arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.4: Bilyalı dövme yapılmamış ve farklı koşullarda bilyalı dövülmüş numunelerin ortalama % uzama kıyaslaması

Şekil 4.4 çekme testi sonucu elde edilen ortalama % uzama mukavemetlerinin, farklı şiddetlerde bilyalı dövme şartlarına göre değişim sonuçlarını vermektedir. Grafikten açıkça anlaşılacağı üzere bilyalı dövme işlemi genel itibariyle tüm numunelerin % uzama değerlerini arttırmıştır. Akma ve çekme mukavemetlerinin aksine 4. Grup numunelerinde (S230 bilya 12A) % uzama değerinin, bilyalı dövülmemiş malzemeden düşük olduğu görülmektedir. Aynı şekilde bu grupta akma mukavemetinin en fazla iyileştiği gruplardan biri olmuştur. Dolayısıyla malzeme mukavemetinde meydana gelen artışın % uzama değerinde düşüş meydana getirmesi olağan bir durum olarak yorumlanmaktadır. % uzama değerlerinin azalması bu gruptaki mukavemet artışının neden olduğu bir sonuçtur.

Kumar ve ark. [29] kaynak yapılmış AISI 304 paslanmaz çelik malzemesine bilyalı dövme uygulayarak, bilyalı dövmenin çekme mukavemetine etkisini incelemişlerdir. Kaynak yapılmış malzeme üzerine 0.6 mm çapında 6A şiddetinde bilyalı dövme uygulamışlardır. Ardından, çift bilyalı dövme için 1A yoğunluğunda mikro-bilyalı dövme işlemi uygulamışlardır. Yapılan deneyler sonrasında bilyalı

dövme işleminin, numunelerin çekme gerilmesini iyileştirdiğini görmüşlerdir. Çift bilyalı dövme işleminin ise çekme gerilmesini arttırmasına rağmen bariz bir artış yaratmadığını ancak numunelerin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiğini görmüşlerdir.

Sledz ve ark. [30] bilyalı dövme işleminin çeşitli çelik levhalar üzerinde mekanik özelliklere etkisini inceleyen çalışma yapmışlardır. Numune olarak 1.0530, 1.4301, 1.8159 ve 30HGSA standartlarında çelik malzemelere bilyalı dövme öncesi ve sonrası çekme ve yorulma testi yapmışlardır. Test sonuçları göstermektedir ki bilyalı dövme işlemi 1.0530 malzemesinin çekme gerilmesinde azalmaya neden olurken 1.4301 ve 1.8159 malzemelerinin çekme gerilmelerinde yüksek oranda olmasa da arttırdığını gözlemlemişlerdir. 30HGSA malzemesinin çekme gerilmesinde bir değişim meydana gelmemiştir. Ayrıca bilyalı dövme işlemi tüm numunelerin % uzama değerlerini düşürdüğünü görmüşlerdir. Ardından numunelere yorulma testi yaparak, bilyalı dövmenin yorulma ömründe pozitif etkisi olduğunu incelemişlerdir. Mekanik özelliklerdeki bu gelişmenin sebebinin bilyalı dövme işleminin neden olduğu yüzey katmanlarındaki artık bası gerilmelerin oluşumu olarak belirtmişlerdir.

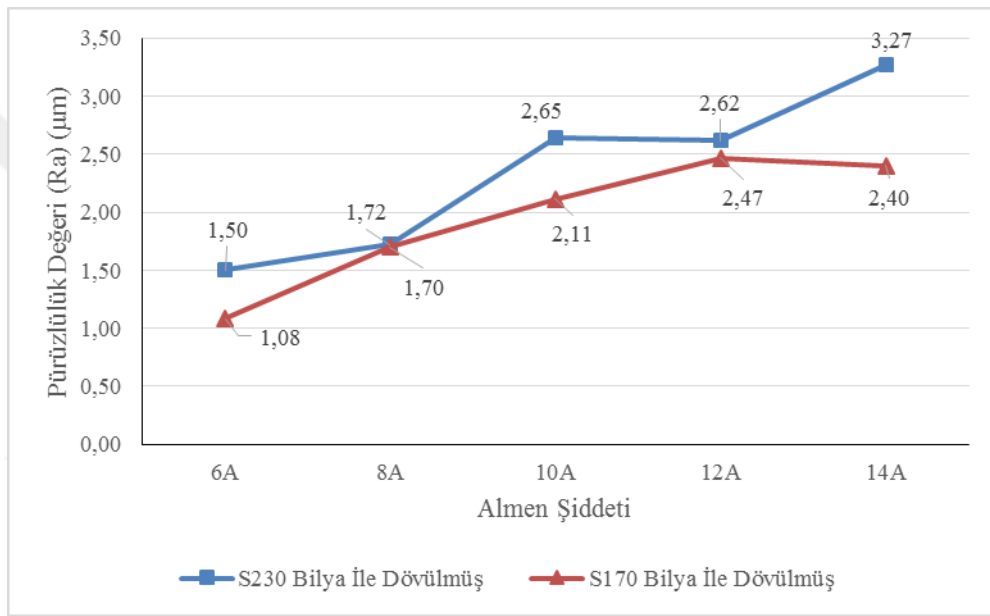
Salman ve ark. [31] Alüminyum 6071-T6'nın kaynak bölgesine uygulanan bilyalı dövme işleminin mekanik özelliklere etkisini inceleyen çalışma yapmışlardır. Ana malzeme, bilyalı dövülmüş ana malzeme, TIG kaynağı yapılmış malzeme, TIG kaynağı yapıp dövme yapılmış malzeme gibi birden fazla deney grupları oluşturmuşlardır. Deney numuneleri 0.9 mm çapındaki çelik bilya ile 5 bar basınç altında 20m/s çarpma hızıyla bilyalı dövme yapılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki bilyalı dövülmüş malzemelerin çekme ve akma mukavemetlerinde bir iyileşme olmuştur. Akma dayanımlarında FSW (Friction stir weld) deney grubunda % 11.5, TIG kaynaklı deney grubunda %4 mukavemet artışı meydana gelmiştir.

Özetle, bilyalı dövme işleminin malzemenin mukavemetini arttırdığı söylenebilmektedir. Farklı Almen şiddetlerinde bilyalı dövmenin ise mekanik özelliklere farklı etkiler yarattığı açıktır. Çekme ve akma mukavemet değerleri incelendiğinde S230 bilya ile 10-12A şiddetlerinde uygulanan bilyalı dövme işlemi ile S170 bilya ile 8-14A şiddetlerinde yapılan bilyalı dövmenin optimum noktada mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmektedir. Bunun temel sebebi, bilyalı dövme işlemi tarafından meydana gelen kalıntı gerilmelerin malzemenin mekanik

özelliklerine olumlu katkısıdır. Yüzey katmanlarında meydana gelen kalıntı bası gerilmeleri sayesinde sıkıştırma etkisi ile yorulma çatlakları kolaylıkla yayılamamaktadır.

4.3. Pürüzlülük Ölçüm Sonuçları

Farklı şartlarda bilyalı dövülmüş malzemelerin yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde her iki bilya çeşidinde de (S230 ve S170 bilya) Almen şiddeti ile yüzey pürüzlülüğü arasında ilişki olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5: S230 ve S170 bilya ile dövülmüş numunelerin pürüzlülük değerleri

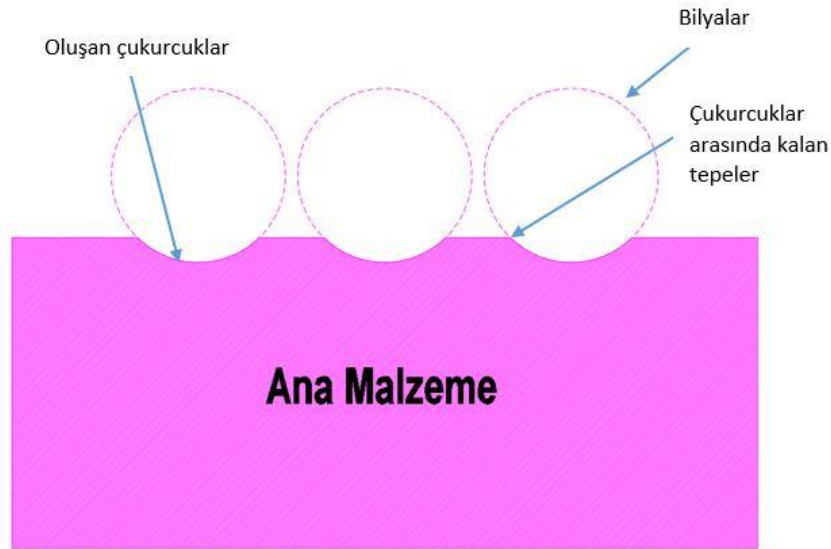
Şekil 4.5, S230 ve S170 bilya ile dövülmüş numunelerde meydana gelen pürüzlülük grafiğini vermektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere S230 bilya ve 6A şiddetinde dövülmüş grubun ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) 1,5µm iken en yüksek şiddette dövülen grubun (14 Almen) 3,27 µm'dir. S170 bilya ile dövülen numunelerde ise pürüzlülük değeri 1,08 µm ile 2,47 µm arasında değişmektedir.

Sonuçlardan anlaşılan, daha düşük şiddetlerde bilyalı dövülmüş numunelerde, bilyaların oluşturduğu çukurların derinliği daha düşüktür. Dövme şiddeti arttıkça bilyaların yüzeylerde oluşturduğu çukurların derinlikleri daha da arttığından dolayı

pürüzlülük değeri daha fazla artmaktadır. Her iki bilya tipinde dövülmüş numunelerde de benzer pürüzlülük eğrisi elde edilmiştir.

S170 bilya ile dövülmüş numuneler ile S230 bilya ile dövülmüş numuneler kendi arasında kıyaslandığında aynı Almen şiddetine sahip iki farklı bilyanın malzeme üzerinde farklı pürüzlülük değerleri oluşturduğu görülmektedir. Çap olarak daha küçük olan S170 bilyalar, aynı Almen şiddetinde yüzeyde daha düşük çapta derinlik oluşturmalarına bağlı olarak pürüzlülük değerleri daha düşük görülmektedir.

Pürüzlülük grafiği incelendiğinde 9. Grup (S170 bilya-12 Almen) ile 10. Grup (S170 bilya-14 Almen) arasında lineer gidişin tersi yönde bir eğim gözlenmiştir. Yani Almen şiddetinin artması ile artan yüzey pürüzlülüğü en yüksek yoğunluktaki dövme şiddetinde, bir önceki şiddete oranla daha pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. Malzeme yüzeyinde oluşan çukurlar arasında kalan tepeler, yeni bilyaların o bölgeye çarpmasıyla sivri konumunu kaybetmektedir (Şekil 4.6). Almen şiddetinin artmasıyla oluşan tepelerin yüksekliği azalacağı için yüzey pürüzlülüğünün azalması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.6: Dövme anında malzeme yüzeyinde oluşan çukurcuklar

Singh ve ark. [32] RS561 (nitrojen östenitik çelik) numuneler üzerinde küresel cam bilyalar ile 1A, 3A, 4.5A ve 6A şiddetinde bilyalı dövme uygulamışlardır. Yapılan deneyler sonucu Almen yoğunluğunun artmasıyla, yüzey pürüzlülüğünün arttığını

görmüşlerdir. Bilyalı dövme yapılmayan numunelerin yüzey pürüzlülüğü 2.9 μm iken 6 Almen ile dövme yapılan numunenin birinci bilyalı dövme sonrası yüzey pürüzlülüğü 3.37 μm olmuştur. Aynı numune grubu ikinci defa dövme edildiğinde bu değerin 3.02 μm 'ye düştüğü gözlenmiştir. Bu çalışma ile çift bilyalı dövme işleminin pürüzlülüğü azalttığı da deneysel olarak gösterilmiştir.

Abood ve ark. [33] Alüminyum 2024-T4 malzeme üzerinde çeşitli süreler boyunca (5, 10, 15, 20 ve 30 dakika) bilyalı dövme uygulayarak malzemede meydana gelen mekanik özellikleri ve yüzey pürüzlülük değerlerini incelemiştir. 5 dakika dövme edilmiş alüminyum 2024 numunesinin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) 2 μm iken 30 dakika dövme edilmiş numunenin yüzey pürüzlülüğü 3.6 μm civarına çıkmaktadır.

Konuyla ilgili literatürde yapılan benzer çalışmalarda da benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür [31, 34-35]. Yüzey pürüzlülüğü, yorulma dayanımına etki eden önemli bir parametredir. Dolayısıyla kontrol altında tutulması önemlidir. Ayrıca imalat parçalarında istenilen pürüzlülük parametreleri ile istenilen mekanik özellikler arasında ilişki kurulması da önemli rol oynamaktadır.

4.4. Mikro sertlik Ölçüm Sonuçları

Her iki tarafı da bilyalı dövülmüş numunelerden enine kesit alınarak bakalite alınmıştır (Şekil 4.7). Bakalite alınan numuneler kesit boyunca bilyalı dövülmüş kenardan başlanıp 300 μm mesafeye kadar 50 μm aralıklarla, 300 μm mesafeden malzemenin çekirdek bölgesine kadar 200 μm aralıklarla Vickers sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur. Ölçüm sonuçları Tablo 4.2'de paylaşılmıştır.



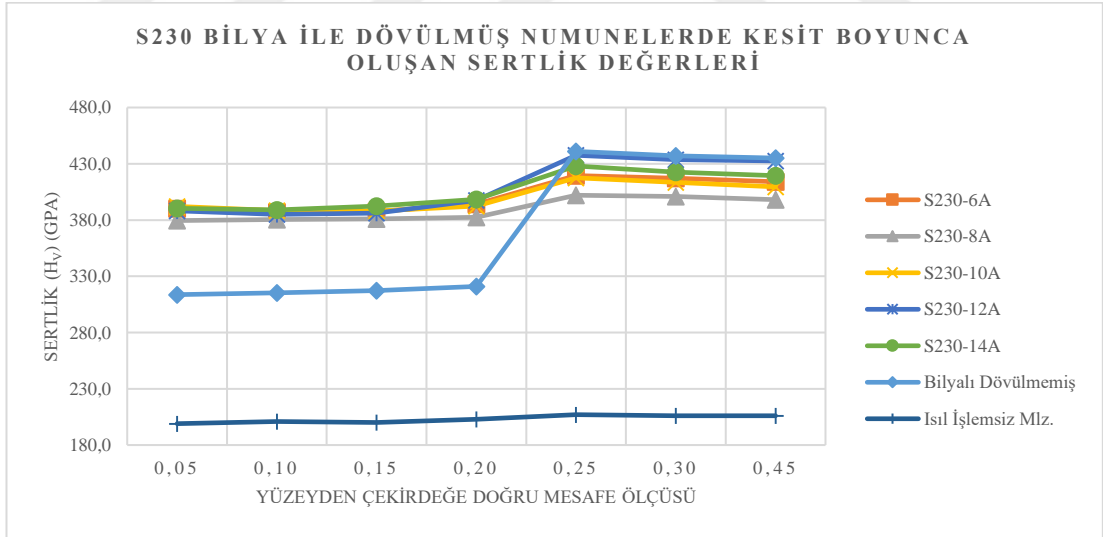
Şekil 4.7: Mikrosertlik ölçümleri yapılan numuneler

Ölçüm sonuçları açıkça göstermektedir ki bilyalı dövme yapılmış yüzeyden itibaren 50 mikron uzaklıktaki bir bölgeden alınan sertlik ölçüm değeri, ana matrise göre daha düşük bir sertlik değeri vermektedir. Bu durum beklenen bir sonuç değildir. Konunun alt detaylarına inildiğinde, ısıl işlem kaynaklı bir problem olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumun kaynağının 50CrV4 malzemesine yapılan ısıl işlemler esnasında oluşan dekarbürizasyon durumu olduğu saptanmıştır.

KSV operasyonunda fırın içerisinde östenit bölgeye kadar ısıtılan parçaların, fırınların atmosfer kontrollü olmaması ve bu sebeple koruyucu bir gaz kullanılmamasından dolayı yüzeylerinde dekarbürizasyon meydana gelmektedir. Yani, çelik östenit sıcaklığında iken ortamda bulunan oksijenin varlığı ve ortamdaki karbon miktarının, malzemedeki karbon miktarından az oluşu bu durumu tetiklemektedir. Dekarbürize olmuş katmanın kalınlığı tam olarak bilinmemekle birlikte yüzeyden itibaren 250 mikron derinliğe kadar etki ettiği tahmin edilmektedir.

Tablo 4.2. Kesitten Vickers ölçümü yapılan gruplardaki ortalama sertlik değerleri

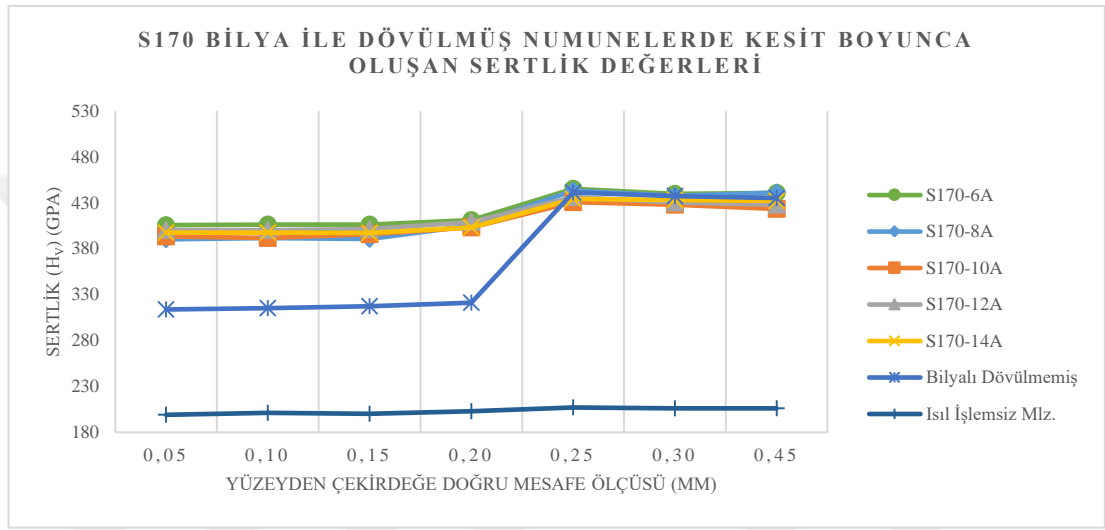
Mesafe (mm)	Sertlik Değerleri (HV)											
	S230-6A	S230-8A	S230-10A	S230-12A	S230-14A	S170-6A	S170-8A	S170-10A	S170-12A	S170-14A	Bilyalı Dövülmüş	Isıl İşlemsiz Mlz.
0,05	390,0	379,5	392,0	388,0	390,5	405,5	390,0	393,0	400,0	397,5	313,7	199,0
0,10	387,0	380,5	388,5	385,0	389,0	406,0	391,5	391,5	400,0	397,5	315,2	201,0
0,15	387,5	381,0	388,0	386,0	392,5	406,0	390,5	395,5	401,0	397,0	317,3	200,0
0,20	394,0	382,5	392,5	397,5	398,5	411,0	405,0	403,0	409,0	403,0	321,0	203,0
0,25	419,5	402,0	417,5	437,5	428,0	445,0	443,0	430,5	436,0	434,0	441,0	207,0
0,30	417,0	401,0	413,5	433,5	422,5	439,5	437,5	427,5	430,0	433,0	437,0	206,0
0,45	414,0	398,0	409,5	432,5	419,5	440,5	441,0	423,0	427,5	432,0	435,0	206,0
0,65	413,0	390,5	408,0	430,0	411,0	442,0	440,0	421,5	428,0	426,5	461,3	208,0
0,85	415,5	392,0	408,0	432,0	415,5	440,0	440,0	426,0	429,0	426,5	454,7	213,0
1,05	410,0	392,5	406,5	433,0	417,0	441,0	440,5	426,5	428,0	429,0	458,7	206,0
1,25	412,5	390,0	407,0	435,0	415,0	439,5	440,0	427,0	431,0	431,0	460,3	218,0
1,45	414,0	391,5	409,0	434,0	417,5	439,0	439,0	423,0	429,5	430,5	464,0	210,0
1,65	415,0	389,5	412,0	434,0	417,5	441,0	438,0	426,5	431,5	428,0	463,0	208,0
1,85	413,5	393,0	412,0	436,0	415,0	441,0	436,0	428,0	428,5	430,0	461,0	209,0
2,05	412,0	390,0	410,0	434,0	416,5	438,5	438,0	428,0	427,5	429,0	459,3	206,0
2,25	410,5	391,0	411,5	435,0	417,5	440,5	440,0	427,0	430,0	430,0	461,3	210,0
2,45	414,0	392,0	408,5	436,5	417,5	441,0	437,0	428,5	428,5	429,0	462,3	208,0
2,65	414,5	393,5	413,0	436,0	419,5	441,0	440,0	426,5	428,0	430,5	457,3	209,0
2,85	411,5	392,5	409,5	439,0	416,0	441,5	440,5	426,0	429,0	429,0	459,3	210,0



Şekil 4.8: S230 bilya ile dövülmüş numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru oluşan sertlik grafiği

Şekil 4.8, S230 bilya ile dövülmüş numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru oluşan sertlik grafiğini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, tüm deney gruplarında benzer eğri karakteristiğine rastlanmıştır. Buradan anlaşılan, bilyalı

dövme işlemi numune yüzeylerinde dekarbürizasyon olmasına rağmen yüzeylerde bir sertlik artışı sağlamaktadır. Çünkü yüzeyden 250 mikron içerideki tüm sertlik değerleri, ana matristen daha serttir. Benzer durum S170 bilya ile dövülmüş numunelerin mikro sertlik grafiğinde de görülmüştür (Şekil 4.9). Numuneler aynı şarjda ısıl işlem olmasına rağmen ana matrislerde 20HV kadar sertlik farkları olduğu görülmektedir. Bu oranda sertlik farkı oluşmasının seri imalat şartlarında önemsiz derecede olduğu söylenebilir.



Şekil 4.9: S170 bilya ile dövülmüş numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru oluşan sertlik grafiği

Literatürde yapılan çalışmaların bulguları, bilyalı dövmenin yüzeyden itibaren sertliği arttırdığı ve malzemenin çekirdek bölgesine yaklaştıkça bu sertliğin git gide azaldığı yöndedir [32, 35-38]. Dekarbürize olmuş yüzeylerden dolayı buna benzer bir eğri görülememiştir. Ancak bilyalı dövmenin dekarbürize olmuş bölgenin etkisini azalttığı düşünülmektedir. Çünkü ısıl işlem proseslerinin tümünden geçen ancak bilyalı dövme yapılmayan numunelerin kesitten sertlikleri incelendiğinde, yüzeyden 50 mikron uzaklıkta sertlik değeri ile 250 mikron uzaklıktaki sertlik değeri arasındaki farkın daha fazla olduğu görülmüştür.

Bu durumun daha iyi anlaşılması adına aşağıdaki Tablo 4.3 oluşturulmuştur. Tablo 4.3’de Tüm deney gruplarının ve bilyalı dövme işlemi yapılmamış üç grubun

yüzeyden 50 µm ve 250 µm uzaklıktaki sertlik değerleri kıyaslama yapılması adına verilmiştir.

Tablodan anlaşılacağı üzere, bilyalı dövme işlemi yapılmayan numunelerde yüzeyden 50 µm ile 250 µm arasındaki sertlik farkı %45 civarındadır. Bilyalı dövme yapılmış numunelerde ise bu oran ortalama %9 civarındadır. Ortaya çıkan bu farklılık, bilyalı dövme işleminin dekarbürize olmuş tabakanın etkisini kısmen yok ettiğini, yüzeyde oluşan yumuşak tabakanın kısmen elimine edebileceğini göstermektedir.

Tablo 4.3. Tüm deney gruplarında dekarbürize olmuş yüzey ile 0,25mm uzaklıktaki yüzey arasındaki sertlik farkı (H_v)

Grup No	Yüzeyden Çekirdeğe Uzaklık		
	0,05 mm	0,25 mm	% Fark
S230 - 6A	390	419,5	7,6
S230 - 8A	379,5	402	5,9
S230 - 10A	392	417,5	6,5
S230 - 12A	388	437,5	12,8
S230 - 14A	390,5	428	9,6
S170 - 6A	405,5	445	9,7
S170 - 8A	390	443	13,6
S170 - 10A	393	430,5	9,5
S170 - 12A	400	436	9,0
S170 - 14A	397,5	434	9,2
Bilyalı dövülmemiş Grup 1	315	438	39,0
Bilyalı dövülmemiş Grup 2	315	472	49,8
Bilyalı dövülmemiş Grup 3	311	459	47,6

Zupanc ve ark. [35] Bilyalı dövme yapılmış 7075-T651 Alüminyum alaşımının yüzey bütünlüğünü incelemiştir. Yapılan çalışmada, bilyalı dövmenin yüksek dayanımlı 7075-T651 alaşımına bilyalı dövme uygulayarak bu işlemin yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik, kalıntı gerilme ve yorulma dayanımına etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, numunelere 8A ve 12A olmak üzere iki farklı yoğunluk şiddetinde bilyalı dövme yapılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki bilyalı dövme yapılmış yüzeyin sertliği, ana malzeme sertliğine göre %20-25 civarında artmıştır.

Bilyalı dövmenin yüzeyden 350 mikronluk bir alana etki ettiğini ve 12A şiddetinde bilyalı dövme edilen numunenin sertliğinin 8A ile dövme edilene kıyasla daha yüksek olduğu bulgusuna varmışlardır.

Singh ve ark. [32] RS561 (azotlu östenitik çelik) numuneler üzerinde küresel cam bilyalar ile 1A,3A,4.5A ve 6A şiddetinde bilyalı dövme uygulamışlardır. Bilyalı dövme yapılmamış (USP) malzeme sertliği 250HV iken, bilyalı dövme yoğunluğuna bağlı olarak sertlik 332 ila 396 HV aralığında değişmektedir. Çalışma sonucunda Almen yoğunluğunun artmasıyla sertlik değerinin ve deformasyon etkisiyle sertleşen tabakanın kalınlığının arttığı ispatlanmıştır.

4.5 MBN Ölçüm Sonuçları

Kalıntı gerilme miktarının tayini için kullanılan MBN yöntemiyle ölçülen numunelerin sonuçları incelendiğinde aşağıdaki tablodaki sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4.4). Farklı şiddetlerde bilyalı dövülmüş numunelerin (S230 Bilya-6A,8A,10A,12A,14A ve S170 Bilya-6A,8A,10A,12A,14A) yüzeylerinden MBN ölçümleri yapılmıştır.

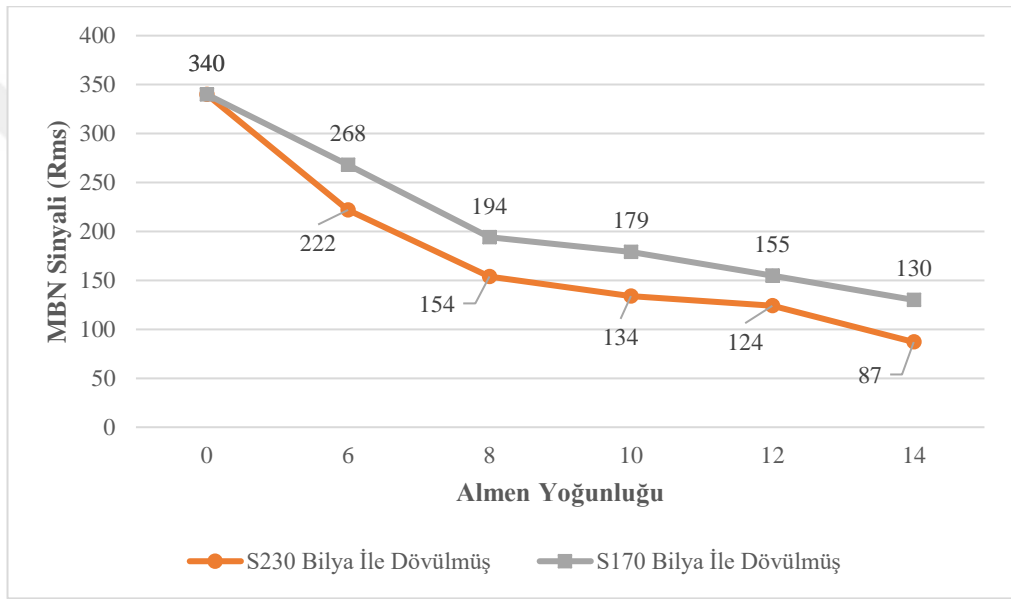
Tablo 4.4. Farklı şartlarda dövülmüş numunelerde ölçülen RMS değerleri

Grup No	Bilya Tipi	Almen Şiddeti	MBN sinyali (RMS)
1.Grup	S230	6	222
2.Grup	S230	8	154
3.Grup	S230	10	134
4.Grup	S230	12	124
5.Grup	S230	14	87
6.Grup	S170	6	268
7.Grup	S170	8	194
8.Grup	S170	10	179
9.Grup	S170	12	155
10.Grup	S170	14	130
Bilyalı Dövülmemiş Numune			340

Ölçüm sonuçlarına bakıldığı zaman MBN sinyallerinden alınan değerlerin ortalama karekökü hesaplatılarak elde edilen RMS sinyal değerinin, literatürde daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik gösterdiği görülmüştür [39-41]. Bilyalı dövme işlemindeki Almen yoğunluğu arttıkça numune yüzeyinden ölçülen kalıntı bası

gerilmeleri artacaktır. Numunelerdeki yoğunluğun artması ile RMS sinyalinin azalması teorik olarak beklenen bir olgudur. Çünkü 180°'lik domen duvarlarının hareket kabiliyetinin azalmasından dolayı MBN sinyalleri de azalan bir değer verecektir [12].

Şekil 4.12, S230 ve S170 bilya ile dövülmüş numunelerin Almen yoğunluğu – MBN sinyal genliği (RMS) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere her iki bilya tipinde de ölçülen sinyal eğrisi, Almen yoğunluğunun artmasıyla kısmen lineer biçimde azalmaktadır.



Şekil 4.10: S230 ve S170 bilya ile dövülmüş numunelerin Almen yoğunluğu - MBN sinyali değişim grafiği

Oluşan grafiklere bakarak, S230 bilya kullanımının S170 bilyaya kıyasla malzeme üzerinde daha fazla kalıntı gerilme yarattığı söylenebilmektedir. Örneğin 50CrV4 malzemesi için, 10A değerindeki üretim şartlarında S230 bilya bulunmadığında S170 bilya ile 14A değeri eşdeğer kalıntı gerilme miktarı oluşturacaktır. Ancak bu durum sadece kalıntı gerilme miktarının gözetildiği noktalarda kullanılmalıdır. Çünkü yüzey pürüzlülüğü, sertlik, mukavemet ve yorulma özellikleri değişkenlik gösterebilmektedir.

Elde edilen bu değerler sadece kalıntı gerilme tabakasının var oluşu ve ortalama şiddetinin tahmini için fikir vermektedir. Bu değerlerin tam karşılığının bulunması için derinliğe bağlı olarak, katman kaldırarak ya da delik delme metodunu kullanılarak XRD yöntemi ile kalıntı gerilme miktarları ölçülmelidir. Elde edilecek değerlerin MBN sinyali ile karşılaştırılması daha somut ve mutlak sonuçlar verecektir.

Literatür çalışmalarında barkhausen ve XRD yöntemi ile kalıntı gerilme değerlerinin ölçülerek birbiri ile örtüştürüldüğü çalışmalar mevcuttur. Savaş [12] “Bilyalı dövme yapılmış malzemelerin yüzeylerindeki kalıntı gerilmelerin barkhausen yöntemi ile görüntülenmesi” adlı tez çalışmasında 7A, 8A, 9.8A ve 12.3A yoğunluğunda bilyalı dövülmüş malzemelerin yüzeylerinden MBN yöntemi ile ölçüm yapmıştır. Sonuçlarda, artan Almen şiddeti ile paralel olarak azalan RMS sinyal değerleri ölçülmüştür. Ayrıca gerçekleştirdiği çalışmada numunelerden XRD yöntemiyle de ölçümler alarak iki yöntemin korelasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, MBN yöntemi efektif ve pratik bir yöntem olup bilyalı dövme parametrelerinin değerlendirilmesinde önemli rol oynayabilmektedir. Ancak MBS yönteminin çözünürlüğünün yüksek olmasına rağmen (1A fark), yüksek yoğunluklarda ölçüm yapmak istenildiğinde yani daha yüksek kalıntı gerilmelerin ölçümünde bu hassasiyet azalmaktadır. Bunun için ölçüm yapmadan önce sinyallerin kalibre edilmesi ve denemeler ile verilerin toplandıktan sonra cihazın kalibre edilmesi daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek için önemlidir.

Blaow ve ark. [39] kaynak edilmiş sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelik plaka üzerine bilyalı dövme yaparak kalıntı gerilme miktarını barkhausen yöntemi ile ölçmüşlerdir. Numuneler MIG kaynağı yapıldıktan sonra kaynak dikişi MBN yöntemi ile ölçülmüştür. Kaynak dikişinde ısı tesiri altındaki bölgede MBN sinyalinin maksimum değerde (600 birim), kaynak dikişinde 450 birim, ana metalde 300 birim ölçülmüştür. Daha sonra bu numunelere bilyalı dövme yapılmıştır. Bilyalı dövme sonucunda ise ölçülen ısı tesiri altındaki bölgenin MBN sinyalinin 300 birime düştüğü gözlenmiştir. Bunun sebebi, kaynak sonrası oluşan çeki gerilmelerinin, shot dövme sonrası elimine ederek kalıntı bası gerilmeleri oluşturulmasıdır.

4.6 Yorulma Kaynaklı Kuvvet Kaybı Ölçümleri

Bu aşamaya kadar yapılan testlerin sonuçları doğrudan yorulma dayanımına etkisi olan alt kırılımlardır. Yani; yüzey pürüzlülüğünün, mikro sertliğin, mekanik özelliklerin, kalıntı gerilmelerin tümünün yorulma dayanıma etkisi vardır. Fakat hangi parametrenin ne kadar etkili olacağı bilinmemektedir. Ancak, bu aşamaya kadar yapılan testler bizlere fikir vermede yardımcı olmaktadır.

Örneğin çekme ve basma mukavemetlerindeki sonuçları baz alınırsa;

- S230 bilya ile 10A ile 12A şiddetinde bilyalı dövülmüş grup
- S170 bilya ile 8A ile 10A şiddetinde bilyalı dövülmüş grup değerlendirilmelidir.

Yüzey pürüzlülük değerleri baz alınırsa;

- S230 bilya ile 6A şiddetinde bilyalı dövülmüş grup
- S170 bilya ile 6A şiddetinde bilyalı dövülmüş grup değerlendirilmelidir.

MBN sonuçlarından elde edilen değerler baz alınırsa;

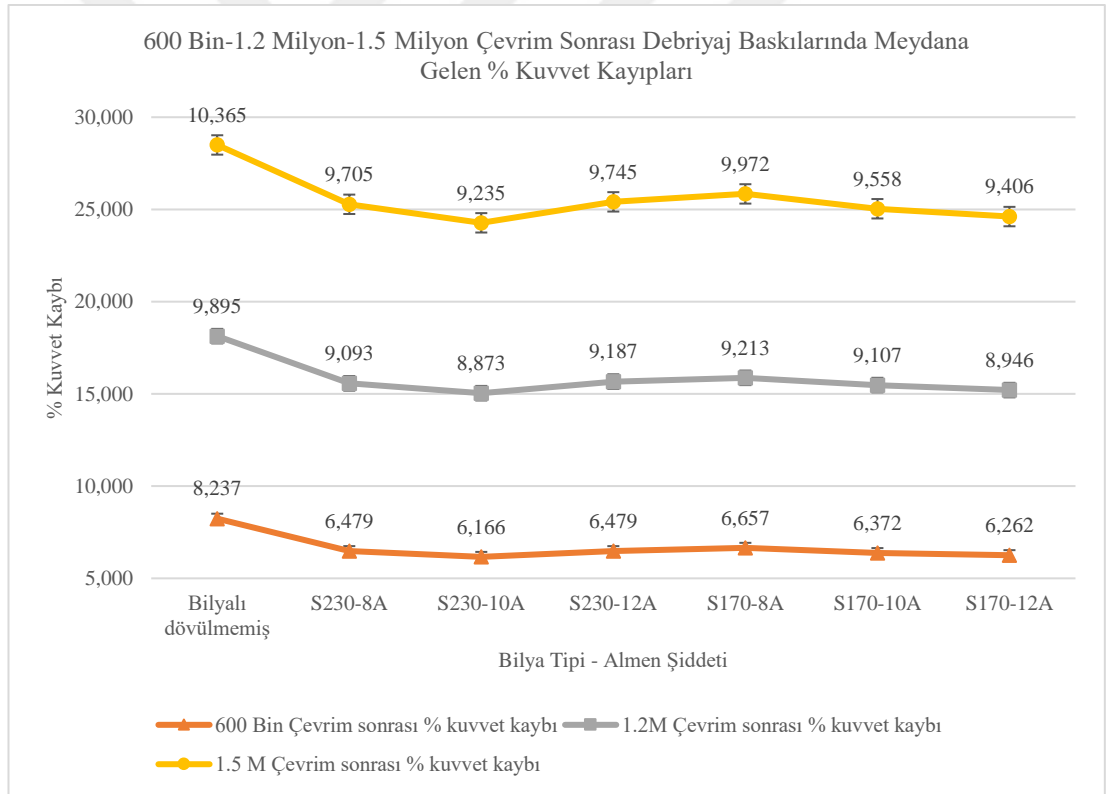
- S230 bilya ile 14A şiddetinde bilyalı dövülmüş grup
- S170 bilya ile 14A şiddetinde bilyalı dövülmüş grup değerlendirilmelidir. (S170 bilya ile 14A yoğunluğunda bilyalı dövme yapmak için dövme süresinin artırılması gerekmektedir. Buda seri üretimde ekstra zaman kaybı anlamına gelmektedir.)

Mikrosertlik değerleri baz alındığında ise aynı şarjdan çıkan numunelere farklı şartlarda bilyalı dövme yapılırsa bile benzer iç yapı sertliğinde oldukları görülmektedir. Ayrıca daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi dekarbürize olmuş tabaka, tüm bilyalı dövme işlemlerinde aynı oranda elimine edilmiştir. Dolayısıyla mikrosertlik değerleri baz alınarak optimum bir proses parametresi belirlenmemektedir.

Yapılan tüm testler, otomotiv debriyaj sisteminde diyafram yay malzemesi olarak kullanılan 50CrV4 çeliğine uygun bilyalı dövme proses parametrelerini saptamak için yapılmıştır. Dolayısıyla tüm bu testlerin etkileri, diyafram yay üzerinde yorulma kaynaklı kuvvet kaybı sonucunda ölçülebilecektir. Bu sebeple S230 bilya ile

8A,10A,12A ve S170 bilya ile 8A,10A,12A şiddetlerinde bilyalı dövülmüş diyafram yaylı debriyaj baskıları yorulma testine sokulmuşlardır.

Debriyaj baskılarının, yorulma testi öncesi kuvvet değerleri ölçülmüştür. Ardından 600 bin, 1.2 milyon ve 1.5 milyon çevrim çalıştırıldıktan sonra tekrar kuvvet değerleri ölçülmüştür. Böylece kaç çevrim sonunda %kaç kuvvet kaybı gerçekleştiği gözlenmiştir. Şekil 4.11 yorulma testi öncesi debriyaj baskı kuvvetleri ile 600 bin-1.2 milyon ve 1.5 milyon çevrim sonrası debriyaj baskılarında meydana gelen % kuvvet kayıplarını vermektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere S230 bilya ile 10A şiddetinde yapılan bilyalı dövme şiddetinde en az kuvvet kaybı yaşanmıştır. Ardından S170 bilya ile 12A değerinde yapılan bilyalı dövme işlemi en az kuvvet kaybı yaşatan bilyalı dövme koşulu olarak görülmektedir.



Şekil 4.11: 3000-6000-1000 çevrim Sonrası Debriyaj Baskılarında Meydana Gelen % Kuvvet Kayıpları

Grafik incelendiğinde, 1.5 milyon çevrim sonrası meydana gelen % kuvvet kaybının yaklaşık %60'ının 600 bin çevrim sonrası meydana geldiği görülmektedir.

Yorulma test cihazında debriyaj baskısının saniyede 1 defa çevrim yaptığı daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Yani 600 bin çevrimin tamamlanması için yaklaşık 7 gün, 1.2 milyon çevrimin tamamlanması için yaklaşık 14 gün, 1.5 milyon çevrimin tamamlanması için yaklaşık 17 güne ihtiyaç vardır.

Konunun daha iyi anlaşılması adına bilyalı dövme yapılmamış ve en az kuvvet kaybı yaşayan debriyaj baskısını (S230 Bilya-10A) ele alalım. Bilyalı dövme yapılmamış debriyaj baskısında oluşan kuvvet kaybı 1.2 milyon çevrim sonra bile %9,89'dur. Yani % kuvvet kaybı, S230 bilya ile 10A şiddetinde dövülmüş baskının 1.5 milyon çevrim sonrası meydana gelen kuvvet kaybından bile fazladır (%9.23) . Buda demek oluyor ki, bilyalı dövülmüş debriyaj baskısının ömrünün 17 gün olduğu kabul edilirse, bilyalı dövülme yapılmamış baskının ömrünün 13 gün civarlarında olduğu söylenebilmektedir. Bu durum da %30 daha uzun ömürlü debriyaj baskısı şeklinde yorumlanabilmektedir. Çünkü laboratuvar test ortamında saniyede 1 kere debriyaja basma hareketi yapılmaktadır. Oysaki araç üzerinde çalışan debriyaj, laboratuvar ortamındaki kadar yoğun çalışmayacak ve kullanım ömrü 17 gün değil de çok daha uzun olacaktır (Çalışma yükü, kullanım biçimi, kullanım oranı v.b. değişkenlere bağlı olarak).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, debriyaj sistemlerinde diyafram yay malzemesi olarak kullanılan 50CrV4 malzemesine yapılan bilyalı dövme işleminin mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir. Bilyalı dövme işleminin temel olarak malzemelerde yorulma mukavemetini arttırmak amacıyla yapıldığı bilinmektedir. Ancak yorulma mukavemetine etkileyen parametrelerin ayrı ayrı etkilerinin değerlendirilmesi önemlidir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasının amacı, Dönmez Debriyaj bünyesinde üretilen diyafram yay malzemesine yapılan bilyalı dövme işlemi için optimum proses parametrelerinin tespit etmektir. Böylece bilyalı dövme prosesi en doğru değerlerde yapılarak, debriyaj baskısının kullanım ömrü artırılabilir. Bu sebeple bilyalı dövülmemiş numuneler ile farklı bilya tipi ve yoğunluklarda dövülmüş numuneler çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Bu testler; mikro yapı incelemesi, çekme testi, yüzey pürüzlülük ölçümü, mikro sertlik ölçümü ve kalıntı gerilme miktarı ölçümüdür. Ardından tüm bu kırılımların son etkisini görmek amacıyla diyafram yay malzemesi farklı şartlarda bilyalı dövülerek ömür testine sokularak meydana gelen kuvvet kayıpları değerlendirilmiştir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması ile elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Bilyalı dövme işlemi, malzemenin yüzey tabakasında kalıntı bası gerilmesi oluşturmakta olup bu kalıntı gerilmeler yorulma mekanizması kaynaklı hasarlar için direnç oluşturmaktadır.
- Bilyalı dövme işlemi, malzemenin akma ve çekme mukavemetlerini genel itibari ile arttırırken % uzama değerlerini düşürmektedir.
- Bilya çapı arttıkça, malzeme yüzeyinde oluşan çukurcukların büyüklüğü arttığından yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.
- Dövme yoğunluğu (Almen şiddeti) arttıkça, yüzeye bombardıman edilen bilyaların aktardığı kinetik enerji arttığından deformasyon daha da büyümektedir. Buda dövme yoğunluğu arttıkça yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmaktadır.
- Numunelere yapılan ısıl işlem esnasında atmosfer kontrollü fırın olmayışı dekarbürizasyona neden olmaktadır. Ancak bilyalı dövme işlemi dekarbürize

olmuş katmanın etkisini azaltmaktadır. Bilyalı dövülmemiş malzemenin yüzeyden 50 mikron uzaklıktaki noktanın sertliği, 250 mikron uzaklıktaki yapının sertliğinden ortalama %45 daha azdır. Bilyalı dövülmüş numunelerde bu oran ortalama %9'dur. Bu sonuç bilyalı dövme işleminin, yüzey katmanlarındaki sertlik artışından dolayı dekarbürizasyon etkisini kısmen azalttığını göstermektedir.

- Bilyalı dövme işleminde Almen şiddetinin artmasıyla kalıntı gerilme miktarı artmaktadır. Buda MBN sinyallerinde düşüş göstererek kendini belli etmektedir. S230 bilyanın oluşturduğu kalıntı gerilme büyüklüğü, S170 bilya ile oluşturulan kalıntı gerilmeden daha büyüktür.
- S230 bilya ile 10A şiddetinde dövülmüş diyafram yaylı baskıda en az kuvvet kaybı meydana gelmektedir. Bilyalı dövme işlemi, debriyaj baskılarında kullanılan diyafram yay ömrünü yaklaşık %30 oranla arttırmaktadır.
- Isıl işlem görmüş 50CrV4 malzemesi için en optimum proses parametresi 78 psi nozul basıncı altında 30 saniye boyunca bilyalı dövülerek elde edilen 10A yoğunluğudur.
- S170 bilya ile 14A yoğunluk elde etmek için sabit tutulan 30 saniye süresi yeterli gelmemektedir. Bu değerlerde bilyalı dövme yapmak isteniyorsa 60 saniye boyunca numuneler dövülmelidir.

Bu tez çalışması aşağıda sıralanan öneriler ışığında geliştirilmeye açıktır,

- Mikroyapısal değişimleri daha net görmek adına ısıl işlemsiz numuneler ya da daha yüksek büyütme oranında bir elektron mikroskobu kullanılabilir.
- Isıl işlem kaynaklı dekarbürize olmuş katman kalınlığı net olarak tespit edilerek bilyalı dövmenin etkisi daha sayısal gözlenebilir.
- Çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama miktarının daha sağlıklı ölçülebilmesi için numunelerin mekanik özelliklere etki eden değişkenlerden arındırılması gerekmektedir (Minimum kusurla gerçekleştirilmiş ısıl işlem ya da ısıl işlemsiz numuneler).
- MBN yöntemi ile kalıntı gerilme miktarı ölçülen numuneler XRD yöntemi ile de ölçülerek, sonuçlar ilişkilendirilebilir. Böylece MBN sonuçları daha da anlamlı değerler olacaktır.

- Farklı şartlarda bilyalı dövülmüş numuneler standart yorulma testine sokularak, bilyalı dövmenin wöhler eğrisi üzerinde yorulma ömrüne etkisi gözlemlenebilir.



KAYNAKLAR

1. Özbakiş, M. Debriyaj Sistemlerinde Kullanılan Diyafram Yayların Karakteristiğinin İncelenmesi ve Optimizasyonu, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon İmalat Anabilim Dalı, İzmir, 2008, 68 s. (Yüksek Lisans Tezi)Ünal, O. Bilyalı Dövme İşleminin Tane Boyutuna Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 2011, 85 s. (Yüksek Lisans Tezi).
2. Technical report of Haussermann, The Physics of Diaphragm Springs, <https://www.haussermann.com/technical-information.html>, 12/05/2019Yılmaz, S.S., Ünlü, B.S., Varol, R. Borlama ve Bilyalı Dövmenin Demir Esaslı T/M Malzemelerde Aşınma ve Mikro yapı Özelliklerine Etkisi. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi. 2008, 4(1), 1-8.
3. Purohit,R., Khitoliya,P., Koli,D. Design and Finite Element Analysis of an Automotive Clutch Assembly. Procedia Materials Science. 2014 ,6, 490-502.
4. Ünal, O. Bilyalı Dövme İşleminin Tane Boyutuna Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 2011, 85 s. (Yüksek Lisans Tezi).
5. What is Shot Peening, <https://www.johndesmond.com/blog/metals/what-is-shot-peening>, 20/05/2014.
6. Yıldırım, Y., Avcu, E., Ölmez, Ş., Demir, İ., Güven, A.T., Sınmazçelik, T. Yay Çeliğine Uygulanan Farklı Peening İşlemlerinin ve Bilye Boyutunun Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. 15th International Materials Symposium, 15-17 Ekim, 2014, Denizli
7. Yılmaz, S.S., Ünlü, B.S., Varol, R. Borlama ve Bilyalı Dövmenin Demir Esaslı T/M Malzemelerde Aşınma ve Mikro yapı Özelliklerine Etkisi. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi. 2008, 4(1), 1-8.
8. Varol, R., 2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyalı Dövme Parametrelerinin Etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 1990, 127 s. (Doktora Tezi).
9. Başaran, A. Toz Metal Parçalara Isıl ve Mekanik Yüzey İşlemlerin Birlikte Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Iparta, 2007, 173 s. (Doktora Tezi).

10. The Shot Peener magazine, Cilt 23 / Sayı 2, 2009.
11. Jain, A. A Database For Shot Peening Parameters and Desired Residual Stress Distribution, International Conference on Shot Peening and Blast Cleaning, 2001.
12. Savaş, S. Monitoring Variation of Surface Residual Stresses in The Shoot-Peened Steel Components By Magnetic Barkhausen Noise Method. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2010, 97 s. (Yüksek Lisans Tezi).
13. Pandey, R.K., Deshmukh, M.N. Shot Peening And Its Impact on Fatigue Life of Engineering Components. International Conference on Shot Peening and Blast Cleaning. Department of Applied Mechanics, Indian Institute of Technology, Delhi, India.
14. Mehmood, A., Hammouda, M. M. I. Effect of Shot Peening on the Fatigue Life of 2024 Aluminum Alloy. Failure of Engineering Materials & Structures. 2007, 1-12.
15. Miaoa, H.Y., Demersb, D., Larosea S., Perrona, C., Lévesque, M. Experimental study of shot peening and stress peen forming. Journal of Materials Processing Technology. 2010, 210, 2089-2102.
16. Torres, M.A.S., Voorwald, H.J.C., An evaluation of shot peening, residual stress and stress relaxation on the fatigue life of AISI 4340 steel. International Journal of Fatigue. 2002, 24, 877-886..
17. Tekeli, S. Enhancement of fatigue strength of SAE 9245 steel by shot peening. Materials Letters. 2002, 57, 604-608..
18. Dülek, E., Orman, Ş., Karataş, Ç., Sarıtaş, S. Bilyalı Dövme Parametrelerinin Ç1020 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisi ve Oluşan Kalıcı Gerilmenin Katman Kaldırma Yöntemi ile Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2005, 20(3), 289-295.
19. Lindemann, J., Buque, C., Appel, F. Effect of shot peening on fatigue performance of a lamellar titanium aluminide alloy. Acta Materialia. 2006, 54, 1155- 1164.
20. Rouquette, S., Rouhaud, E., Francois, M., Roos, A., Chaboche, J.L. Coupled thermo-mechanical simulations of shot impacts: Effects of the temperature on the residual stress field due to shot-peening. Journal of Materials Processing Technology. 2009, 209, 3879-3886.

21. Yelbay, H.İ. Tahribatsız Yöntemlerle Kalıntı Gerilim Ölçümündeki Gelişmeler. 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, Nisan, 2008, İstanbul
22. Davut, K., Gür, H.C. Manyetik Barkhausen Gürültüsü Yöntemi ile Çeliklerde Tahribatsız İçyapı Karakterizasyonu. 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, Nisan, 2008, İstanbul
23. Kaleli, T., Yelbay, H.İ., Gür, C.H. Kaynak İşlemi Nedeniyle Oluşan Kalıntı Gerilmelerin Mikro-Manyetik Teknikle Tahribatsız Olarak Ölçülmesi.X. KAYNAK TEKNOLOJİSİ ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ, 17-18 Kasım, 2017, Ankara (Bildiriler Kitabı)..
24. Taş, S. Çeliklerde X-Işınları Yöntemi ile Artık Östenit ve İndentasyon Yöntemi ile Artık Gerilme Tayini. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 82 s. (Yüksek Lisans Tezi).
25. Arslan, E. Nondestructive characterization of bearing steels by magnetic barkhausen noise technique. Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2017, 127 s. (Yüksek Lisans Tezi).
26. Özgeneci, Z. The Effect Of Retained Austenite And Carbide Distribution On The Wear Resistance Of Bearing Steel, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2017, 83 s. (Yüksek Lisans Tezi).
27. Avcu, E. Bilyalı Dövme Parametrelerinin AA7075 T6 Alüminyum Alaşımının Yüzey Altı Özelliklerine Etkileri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 2018, 6(4), 741-752.
28. Wang, Z.B., Tao, N.R., Li, S., Wang, W., Liu, G., Lu, G., Lu, K. Effect of surface nanocrystallization on friction and wear properties in low carbon steel. Materials Science and Engineering. 2003, A352, 144-149.
29. Kumar, P., Oberoi, J.S., Jaswanti, Gaurav, K. A Study of Shot Peening on Tensile of Welded Stainless Steel 304. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2013, 2(1), 118-120.
30. Sledz, M., Bak, L., Stachowicz, F., Zielecki, W., Analysis of the effect of shot peening on mechanical properties of steel sheets used as screener sieve materials. Journal ofPhysics:ConferenceSeries. 2013.

31. Salman, H.K., Khethier, A.M., Mohammed, A.A.H. Effect Of Shot Peening On The Mechanical Properties For Welded Joints Of Aluminium Alloy 6061-T6. 2nd International Conference on “ New Directions In Multidisciplinary Research & Practice”, May 2015.
32. Singh, L., Khan, R.A., Aggarwal, M.L. Effect of shot peening on hardening and surface roughness of nitrogen austenitic stainless steel. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2010, 2(5), 818-826.
33. Abood, A.N., Saleh, A.H., Salem, R.K., Kadhim, G.A., Abdullah, Z.W. Strain Life of Shot Peening AA 2024-T4. *Journal of Materials Science Research*. 2013, 2(1), 113-123.
34. Liu, W., Dong, J., Zhang, P., Zhai, C., Ding, W. Effect of Shot Peening on Surface Characteristics and Fatigue Properties of T5-Treated ZK60 Alloy. *Materials Transactions*. 2009, 50(4), 791-798.
35. Zupanc, U., Grum, J. Surface Integrity of Shot Peened Aluminium Alloy 7075-T651. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*. 2011, 57(5), 379-384.
36. Wang, H., Yuan, X., Wu, K., Xu, C., Jiao, Y., Wang, G., Luo, J. Effect of high energy shot-peening on the microstructure and mechanical properties of Al5052/Ti6Al4V lap joints. *Journal of Materials Processing Tech*. 2018, 255, 76-85.
37. Xu, C., Sheng, G., Wang, H., Jiao, Y., Yuan, X. Effect of high energy shot peening on the microstructure and mechanical properties of Mg/Ti joints
38. Li, K., Spartacus, G., Dong, J., Cao, P., Shin, K. Effect of ultrasonic shot peening on microstructure and properties of 301SS. *Materials And Manufacturing Processes*. 2017, 32(16), 1851-1855.
39. Blaow, M.M., Shaw, B.A. Magnetic Barkhausen Noise for Reliable Detection of the Heat Affected Zone in Welded Ship Steel Plate. 40th Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 2014.
40. Rossini, N.S., Dassisti, M., Benyounis, K.Y., Olabi, A.G. Methods of measuring residual stresses in components. *Materials and Design*. 2012, 35, 572-588.
41. Kleber, X., Barroso, S.P. Investigation of shot-peened austenitic stainless steel 304L by means of magnetic Barkhausen noise. *Materials Science and Engineering A*. 2010, 527, 6046-6052.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali ELMAS
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1992
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : alielmas.ae@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Çınarlı Teknik Lisesi, Elektrik – Elektronik Bölümü, 2010
Lisans : Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 2015
Yüksek Lisans: Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2019

Mesleki Deneyim

Dönmez Debriyaj Sanayi ve Tic. A.Ş. 2016-halen

Yayımları

Saklakoğlu, N., Saracık, A., Elmas, A., İrizalp, S.G. HCl Çözeltisinde AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Gerilim Korozyon Çatlama Davranışı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2018, 18, 1203-1208.