



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BİLYELEME YÖNTEMİYLE
ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK BORULARIN
AŞINMA DAVRANIŞLARI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Musa ÖZYAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Aralık-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Musa ÖZYAMAN tarafından hazırlanan "BİLYELEME YÖNTEMİYLE ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK BORULARIN AŞINMA DAVRANIŞLARI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ" adlı tez çalışması 01/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Murat DİLMEÇ

Danışman

Yrd.Doç.Dr. Ahmet CAN

Üye

Yrd.Doç.Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

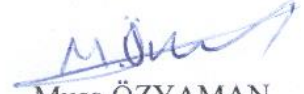
Prof. Dr. Ahmet COŞKUN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Musa ÖZYAMAN

Tarih: 01.12.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLYELEME YÖNTEMİYLE ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK BORULARIN AŞINMA DAVRANIŞLARI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Musa ÖZYAMAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

2017, 81 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN
Doç. Dr. Murat DİLMEÇ
Doç. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

Bu çalışmada, otomotiv, havacılık ve özellikle savunma sanayi içerisinde yer alan av tüfeği imalatı sektöründe, tüfek namlularının imalatında kullanılan AISI 4140 çelik malzemesi araştırma konusu olarak seçilmiştir.

Literatürde “Ballising-Bilyeleme” olarak adlandırılan soğuk plastik şekillendirmenin malzeme üzerinde oluşturduğu kalıcı ölçüsel değişimler, yüzey pürüzlülüğü, mikrosertlik ve buna bağlı değişen aşınma davranışı etkisi incelenmiştir. Bu sebeple ezerek parlatma yöntemlerinden biri olan bilyeleme (ballising) işlemi malzemeye bitirici proses olarak uygulanmıştır. Farklı başlangıç iç çaplarına sahip numunelere bilyeleme işlemi uygulanmıştır. Uygulama sonunda bilyeleme işleminin malzemenin yüzey pürüzlülüğüne, yüzey sertliğine, iç ve dış çap ölçülerine ve aşınma davranışına etkisi incelenmiştir.

Aşınma deneyi olarak numunelere erozyon aşınması yapılmıştır. Deney tesisatı olarak ASTM G76-95 standart test metoduyla uyumlu olacak şekilde özel olarak tasarlanmış düzenek kullanılmıştır. Deneyler belli bir çarpma açısı ve hızı altında, kuru ve basınçlı hava ile aşındırıcı SiC partiküllerin numune yüzeylerine çarptırılması ile yapılmıştır. Deneyler sonunda aşınmanın etkisini belirlemek için numunelerin ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Yapılan bilyeleme işleminin oluşturduğu plastik deformasyon miktarı arttıkça mikrosertlik değerlerinin arttığı buna bağlı olarak aşınma miktarının azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 4140, Bilyeleme (Ballising), Erozyon Aşınması, Soğuk Şekillendirme.

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOR AND MECHANICAL PROPERTIES OF BALLISED STEEL PIPES.

Musa ÖZYAMAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet CAN

2017, 81 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Ahmet CAN

Doc. Dr. Murat DİLMEÇ

Doc. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

In this study, AISI 4140 steel material which is used in automotive, aviation and especially production of rifle barrels in hunting gun manufacturing sector in defense industry was chosen as research subject.

Permanent dimensional changes, surface roughness, micro-hardness and relatively changed wear behavior in material due to cold forming which is called as “ballising” in literature was investigated. Because of that, ballising process which is one of the compressive burnishing methods was applied on the material as finishing process. A number of samples which have different inner starting diameters were prepared for the ballising process. At the end of the application, effects of ballising process on surface roughness, surface hardness, inner and outer diameter sizes and wear behavior were investigated.

Erosive wear tests on samples were conducted as wear experiment. A specially designed rig in accordance with ASTM G 76-95 standard testing method was used. Experiments were carried out by blasting of erosive SiC particles to the surfaces of the samples with dry and pressurized dragging air under a constant angle and impact velocity. After the experiments, in order to evaluate the effects of wear, the weight losses of the samples were measured. It is observed that with the increase of the plastic deformation due to applied ballising process, micro hardness increased, as a result wear amount decreased.

Keywords: AISI 4140, Ballising, Cold Forming, Erosive Wear.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesiyle tezin her aşamasında bana yön veren ve yardımcı olan değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN'a teşekkür ederim.

Deney numunelerinin hazırlanmasında makine ve personel desteği sağlayan Lazer Silah Sanayi yetkililerine, aşınma deneylerinin yapılmasında kendi imal ettiği deney düzeneğini bizlere kullanma imkanı sağladığı için sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAĞCI hocama, numunelerin mikrosertlik ölçümlerinde cihazın kullanılmasındaki yardımlarından dolayı sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE hocama teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan ve maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Musa ÖZYAMAN
KONYA-2017



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Literatür Taraması.....	3
2.2. Plastik Şekil Verme	12
2.3. Plastik Şekil Vermenin Esasları.....	13
2.3.1. Soğuk şekillendirme	13
2.4. Parça Yüzeylerine Yapılan Deformasyon İşlemleri	18
2.4.1. Giriş	18
2.4.2. Talaşsız imalat & soğuk şekil verme	18
2.4.3. Delik yüzey bitirme işlemlerinin malzemenin mikro yapısına etkisi	20
2.4.4. Delik yüzey bitirme işlemlerinin malzemenin mikrosertliği üzerine etkisi..	21
2.4.5. Delik yüzey bitirme işlemlerinin pürüzlülüğüne etkisi.....	22
2.4.6. Bilyeli parlatma.....	24
2.4.7. Makaralı parlatma	27
2.4.8. Bilye ve makaralı parlatmanın malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ve sertliği üzerine etkisi	28
2.4.9. Bilyeleme (Ballising)	34
2.5. Aşınma	44
2.5.1. Aşınmanın tanımı.....	44
2.5.2. Aşınma türleri	46
2.6. Islah Çelikleri.....	50
2.7. Literatür Analizi.....	52
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	53
3.1. Malzeme.....	53
3.2. Numune Hazırlama	53
3.3. Numunelere Bilyeleme İşleminin Uygulanması.....	54
3.4. Çekme Testi	55
3.5. Bilyelenen numunelerin mikrosertliklerinin ölçülmesi	57
3.6. Aşınma Deneyleri	58
3.6.1. Deney düzeneği.....	58
3.6.2. Aşınma deney numunelerinin hazırlanması.....	59
3.6.3. Numune tutucu düzeneği	60
3.6.4. Nozul çapının seçilmesi	61
3.6.5. Çarpma hızı ve açısı.....	62

3.6.6. Deney prosedürünün işleyişi.....	62
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	64
4.1. Girişim Miktarının İtme Kuvveti Üzerine Etkisi.....	64
4.2. Bilyeleme İşleminin İç ve Dış Çap Üzerine Etkisi	65
4.3. Bilyeleme İşleminin Mikrosertlik Üzerine Etkisi.....	67
4.4. Bilyeleme İşleminin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi.....	69
4.5. Bilyeleme İşleminin Aşınma Üzerine Etkisi	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
5.1 Sonuçlar	74
5.2 Öneriler	75
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- Ra : Aritmetik ortalama sapma
Rp : Pürüzlülükte derinlik noktası
Rv : Pürüzlülükte tepe noktası
 μm : Mikrometre
HV : Vickers sertliği
N : Newton
 F_{max} : Maksimum kuvvet
 ε : Birim şekil değişimi
K : Mukavemet katsayısı
n : Pekleşme üsteli
 \emptyset : Çap
HRC : Rockwell sertliği
 U_{min} : Minimum girişim
 ν : Poisson oranı
 σ_0 : Akma gerilmesi
R : Başlangıç delik çapı
E : Elastisite modülü
f : Geçiş sayısı
 ρ : Dislokasyon yoğunluğu
b : Burgers vektörü
 σ_p : Plastik deformasyon vektörü
 σ_L : Sürtünme gerilmesi
G : Kayma elastik modülü

Kısaltmalar

- TSE : Türk Standartları Enstitüsü
SiC : Silisyum karbür
CNC : Bilgisayar sayısal kontrol
AISI : Amerikan demir ve çelik enstitüsü
LAB : Lazer yardımıyla parlatma

1. GİRİŞ

Teknik bakımdan bir makine veya üründe bulunması gereken en önemli özellik; içerisinde kullanılan malzemenin doğru seçilmiş olması ve imalatının yanı sıra yüzey modifikasyonunun da uygun şekilde yapılmasına bağlı olarak, uzun ömürlü ve verimli olarak görevini yapması, kullanılan süre boyunca aşınmadan ve bozulmadan dayanmasıdır.

Düşük alaşımlı orta karbonlu çelikler son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisi ve savunma sanayinde önemli ölçüde kullanım alanı bulmuştur. Bu çeliklerden biri olan AISI 4140 çeliği makine imalat sanayinde oldukça yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Bu çeliğin en önemli özelliklerinden biri de içerdiği Cr ve Mo alaşım elementlerinden dolayı su verme sonrasında mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özellikleri bir arada sağlayabilmesidir. Bu gibi özelliklerinden dolayı çalışmada 4140 çeliği tercih edilmiştir.

Teknolojide metal malzemelerin şekillendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılır ve bu yöntemlere bağlı olarak malzemelere belirli özellikler kazandırılır. Yassı mamul, tel, boru gibi ürünler soğuk veya sıcakta uygulanan haddelme, derin çekme, ekstrüzyon, presleme, dövme gibi işlemlerle imal edilmektedir.

Metalik malzemelerde soğuk deformasyonla şekillendirmenin kullanım alanları geniştir. Ezerek parlatma işlemi bu alanlardan birini oluşturmaktadır. Bu işlem genellikle bitirici işlem olarak kullanılmaktadır. Diğer yüzey bitirme işlemlerinde genellikle parçadan talaş koparmak suretiyle parlatma yapılırken yüzeyde keskin köşeler bırakılmaktadır. Ama ezerek parlatma işlemlerinde iş parçasını uygulanan bir kuvvet altında ezerek plastik deformasyona uğratılmaktadır. İşlem sonunda parçada ölçü ve biçim tamlığı sağlanmakta, aynı zamanda yüzey pürüzlülüklerini azaltarak keskin köşe oluşumlarını engellemektedir. Bununla birlikte yüzey sertliğinde, yorulma ömründe, erozyon ve korozyon direncinde artış meydana gelmektedir(Dinçkurt, 2009). Bu çalışmada da ezerek parlatma yöntemlerinden biri olan bilyeleme (ballising) yöntemi kullanılmıştır.

Aşınma; malzemenin yüzeylerinin biçimine, sisteme etki eden sıcaklık, hız, çalışma süresi, kayma yüzeyleri arasındaki temas etme basıncı, aşındırıcıların yüzeyle temas durumları, sertlik vb. gibi birçok parametreden oluşmaktadır. Aşınma üzerine birçok çalışma yapılmış ve belli sonuçlar elde edilmiş olmasına rağmen aşınma işlemi karmaşık bir olay olduğundan dolayı aşınma miktarını tahmin edecek bir bağıntı henüz

keşfedilememiştir. Temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişimlerin çokluğu nedeniyle pratikte birden fazla aşınma hali ortaya çıkmaktadır. Adhesif, abrasif, yorulma, mekanik korozyon ve erozyon aşınması en çok karşılaşılan aşınma türleridir (Bağcı, 2010).

Bu aşınma türlerinden erozyon aşınması, belirli bir hıza sahip olan katı parçacıkların bir yüzeye çarparak yüzeyin üst tabakasından parça koparmak suretiyle malzeme kaybı meydana getirmesi sonucu oluşan bir durumdur. Erozyon aşınmasının kendi içerisinde birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunlar erozyon-korozyon, erozyon-kavitasyon, termal erozyon, yağma, yıkama ve katı parçacık erozyonundan oluşmaktadır. Katı parçacık erozyonu içlerinde en yaygın olarak kullanılan ve kullanımı son yıllarda giderek artan bir proses haline gelmektedir. Katı parçacık erozyon aşınmasında çarpma hızı ve açısı, parçacık tipi, şekli ve boyutu, aşındırıcı parçacıkların sertliği ve akış oranı, hedef malzeme özellikleri ve çevresel parametreler en önemli parametrelerdir (Bağcı, 2010).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Taraması

Literatür araştırmasının yapıldığı bu bölümde 4140 çeliklerinin genel özellikleri ve bu konularda yapılmış akademik çalışmalara yer verilmiştir. Daha sonra bilyeleme işlemi ile ilgili çalışmalar ve aşınma ile ilgili literatüre yer verilmiştir.

Bilyeleme, bir delikte üstün yuvarlaklık, iyileştirilmiş yüzey kalitesi ve artırılmış boyutsal hassasiyetle sonuçlanan, büyük çaplı bir bilyenin, küçük çaplı bir delikten zorlanarak geçirildiği bir soğuk şekillendirme işlemidir.

Subaşı (2006) çalışmasında, sertleştirme işlemi uygulanarak farklı sertlik değerleri elde edilmiş AISI 4140 çelik malzemesinin yorulma dayanımının kalıcı gerilmeye etkisini katman kaldırma (elektro-kimyasal) yöntemi kullanarak incelemiştir. Numuneler 40, 45, 50 HRC sertlik değerlerine getirilerek deneylere tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda tornalanmış, 40, 45, 50 HRC sertlik değerindeki numunelerin yorulma dayanımları sırası ile 463, 783, 792, 739 MPa olarak bulunmuştur. Yorulma dayanımı en iyi 45 HRC sertlik değerindeki numunede çıkmıştır. Numunelerin yüzeyinde, kalıcı gerilme ölçümleri sonucunda kalıcı çekme gerilmeleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler sırası ile 210, 169, 299, 203 MPa olarak ölçülmüştür.

Kesti (2009) bu çalışmada, AISI 4140 çeliğin su verme ortamı ve farklı temperleme sıcaklıkları sonucunda malzemedeki değişimleri deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışma için çekme, darbe ve metalografik deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler, hiçbir ısıl işlem görmeyecek olan deney numuneleri, sadece normalizasyon ısıl işlemine tabi tutulacak deney numuneleri, sadece sertleştirme işlemine tabi tutulacak deney numuneleri ve sertleştirme sonrasında temperleme işlemine tabi tutulacak deney numuneleri olarak 4 gruba ayrılmıştır. Yapılan ısıl işlemler sonucunda bu numuneler çekme ve darbe deneylerine tabi tutulmuş ve mikro yapıları incelenmiştir. Deney sonucunda su verme ortamına göre ve farklı temperleme sıcaklıklarına göre AISI 4140 çeliğinin mekanik ve mikro yapı özellikleri araştırılmıştır. Aynı su verme ortamları için farklı temperleme sıcaklıkları sonuçları arasındaki farkları ile farklı su verme ortamlarının aynı temperleme işlemleri sonundaki farkların karşılaştırılması yapılmıştır.

Öncel (2011) çalışmasında, AISI 4140 çeliğine iyon nitrasyon ve indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi uygulamış ve yorulma dayanımlarını incelemiştir. Yorulma deneyleri için 450 °C' de 18 saat ve 19,5 saat iyon nitrülleme işlemi uygulanmış

numuneler ile 850 °C’ de indüksiyonla yüzeyi sertleştirilmiş numuneler hazırlanmıştır. Yüzey sertleştirme sonucu hazırlanan numuneleri dönen eğmeli yorulma deneyine tabi tutulmuştur. Deneyleerin sonucunda iyon nitrürleme ile yüzey sertleştirme işleminin indüksiyonla yüzeyi sertleştirilen numunelere göre yorulma dayanımı açısından daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Giglio ve Lodi (2009) çalışmalarında, delik yüzeyinde istenilen kalıcı gerilme değerlerini elde edebilmek için genel olarak havacılık yapılarında kullanılan soğuk genişletilerek parlatılan delik üzerindeki optimum radyal girişim ve optimum mandrel şeklini hesaplamaya olanak sağlayan metotları sunmuşlardır. Bu metot, kalıcı gerilme alanını tespit etmek için ayrıntılı bir sonlu eleman analizi sonucunda, daha önce sunulan kapalı-şekil metodu esas alınarak istatistiksel tekniklerle planlanarak ve değerlendirilerek geliştirilmiştir. Bu metot, ihmal edilebilir kalıcı radyal gerilmeye maruz kalan delik yüzey bölgesini düşürmeye ve ayrıca bütün delik yüzeyinde kalıcı çevresel basma gerilmesini elde etmeye olanak sağlamaktadır. Soğuk genişletilerek optimize edilen parlatılmış delik ve tekrarlı yüklere maruz kalmış bağlantılar bulunan havacılık parçaları üzerinde deneysel bir aksenal yorulma testi, yorulma ömründe önemli gelişmeleri göstermiştir.

Lai, vd. (1993) bu çalışmada, önceden delinmiş bir deliğe bilyeleme işlemi kullanılarak kalıcı gerilme oluşturulmuştur. Kırılma mekaniği kullanılarak değerlendirilen delik çevresindeki kalıcı gerilme yüzeyde basma şeklinde bulunmuş ve deliğin ucundan 3,5 mm uzakta maksimum çekme gerilmesine ulaşılmıştır. Basma gerilmesi, delik yüzeyinde oluşan çatlağın en uç noktasındaki gerilim yoğunluk faktöründe bir düşmeye sebep olmuştur. Bilyelenen ve bilyelenmeyen deliklerdeki yorulma testleri şunları göstermiştir; kalıcı basma gerilmesi, bilyelenen deliğin yüzey pürüzlülüğündeki iyileşmeyle birlikte, yorulma ömründe önemli bir artışla sonuçlanmıştır. Delik ile top arasında % 3,5 lik bir girişimle, minimum iki kat artış olmuştur. Bu ayrıca göstermiştir ki; yorulma performansı, bilyelenen deliğin tam ve parçalanmamış veya yarılmamış olmasına bağlı olmuştur. Delik yarıldığı zaman, basma gerilmesi dağılımı değiştirmiş ve delik yüzeyinde çekme gerilmesini artırmıştır. Bu gerilme durumu, yarılmış olan bilyelenmiş deliğin yorulma ömründeki düşmeyle kendini göstermiştir.

Lai vd (1992) bu çalışmada, kalıcı gerilmenin, bilyelenen bir deliğin yorulma performansı üzerine etkisini araştırmışlardır. Sıklık arttıkça, beklenildiği gibi, yorulma ömrünün arttığı görülmüş fakat bilyelenen delik kırıldığında ise, yorulma ömrü,

neredeysi aynı yüzey pürüzlülüğüne sahip, bilyeleme işlemi yapılmamış bir numunenin yorulma ömrünün altına düşmüştür. Bilyelenen delik yüzeyindeki kalıcı gerilmeleri değerlendirmek için kırılma mekaniği yaklaşımı kullanılarak kalıcı gerilme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; delik bütün halde kaldığında deliğin çevresinde basma kalıcı gerilmesi oluşmuş ama delik parçalandığı zaman basma gerilmesinin yerini çekme gerilmesi almıştır. Bulunan bu sonuçlar ile yorulma testinin sonuçları karşılaştırıldığı zaman birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Lai ve Nee (1993) yapmış oldukları çalışmada, tekrarlı olarak bilyelenmiş bir deliğin özelliklerini incelemişlerdir. Bilyelenmiş bir deliğin yüzey düzgünlüğü, 3 kez bilyeleme işleminin ardından, % 97 ye kadar iyileştirme sağladığı görülmüştür. 6 kez bilyeleme işleminin ardından 0,04 ten 0,05 μm 'e kadar ortalama pürüzlülük oranına ulaşabilmişlerdir. Bütün iyileşmeler ilk geçişte sağlandığı için deliğin çapsal değişiklik, yüzey sertliği, düzgünlük ve yorulma performansı gibi özellikleri ilk bilyelemeden sonra neredeyse sabit kaldığı gözlemlenmiştir.

Tee vd (1997) yaptıkları bu çalışmada, bilyeleme yoluyla kalıcı gerilme oluşturdukları numunelerle, ısı işlem yoluyla küreselleştirilmiş ve normalleştirilmiş ham Rochling T4 çeliğinden yapılmış bir delik yüzeyini incelemişlerdir. . %1-2-3 oranında girişimle bilyelenmiş bir delik yüzeyi üzerinde, delik eksenini doğrultusunda ve radyal yönde aşınma deneyleri yapmışlardır. Aşınmaya karşı dayanıklılık artışının; aşınma türü, delikle bilye arasındaki yüzde girişim ve deney malzemesinin mekanik özellikleri gibi birkaç farklı değişkene bağlı olduğu bulunmuştur. Aşınmaya karşı direnç seviyesi, % 2 delik girişimi uygulandığında ve sertleşmiş yüzey, ham ve bilyelenmiş malzemeler kullanılarak aksenal aşınma türüne maruz kaldığında maksimuma ulaşmıştır. Normalleşmiş malzeme için, en yüksek aşınma direnci seviyesine, dairesel aşınma türü altında, % 3 delik girişimi ile ulaşılmıştır. Normalleşme, malzemenin sertleşmesini artırmasına rağmen, aşınmaya karşı ham haldeki malzemelerde bilyelemeye göre daha iyi yarar sağlamamıştır. Bilyeleme ile büyük plastik deformasyon meydana gelmiş olsa da aşınma direncinde % 56' ya kadar bir iyileşme gözlenmiştir.

Can (2016) bu çalışmasında, soğuk şekillendirilmiş (Bilyelenmiş) CuSn5 burçlarının aşınma davranışlarını incelemiştir. CuSn5 burç, çelik bir borunun içerisinde santrifüj döküm yöntemiyle imal edilmiştir. Bilyeleme için 5 μm dan 500 μm luk girişim kullanılmıştır. Pin-in-disk tipi tribometre kullanılarak, abrasif aşınma testleri yapılmıştır. Sürtünme süresi ve bilyeleme girişiminin (soğuk şekillendirme oranı)

CuSn5 burçların abrasif aşınma özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, bilyeleme girişiminin itme kuvvet üzerindeki etkisi, iç-dış çapın boyutsal farklılığının etkisi, yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik ve aşınma direnci üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Boyutsal farklılığın, mikro sertliğin ve aşınma direncinin bilyeleme girişiminin artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Buna ek olarak, bilyelenmiş burçların aşınma direnci, bilyelenmemiş burçların aşınma direncine göre oldukça yüksek bulunmuş ve aşınma direnci, bilyeleme girişim seviyesine bağlı olan soğuk şekillendirme oranının artmasıyla artış göstermiştir.

Gopalakrishna vd. (2010) yapmış oldukları bu çalışmada, yorulma ömrünün artırılmasının deneysel sonuçlarını ve yaygın olarak kullanılan uzay alaşım Al-2024'teki soğuk genişletilmiş deliklerin kalıcı gerilmelerini ortaya koymaktadır. Deliklerin soğuk genişletilmesi için iki teknik düşünülmüştür. Karşılaştırma yapmak için kullanılan bu tekniklerin birincisi konik pim tekniği ile split-sleeve ve ikincisi bilye tekniği ile split-sleeve tekniğidir. Bunlardan birincisi yüzey temasını gerektirir ve ikincisi genişleme sırasında çizgi temasına sahiptir. Teknikler, genişletilmiş deliklerdeki yorulma ömründeki artışa dayanarak, genişlemeye bağlı olan kalıcı gerilmeler ile karşılaştırılmıştır. Delikler, her iki teknikte de INSTRON çekme testi makinesi kullanılarak % 2, % 3, % 4, % 5, % 6 oranında genişletilmiştir. Her iki teknik de genişletilmiş deliklerin yorulma ömrünü arttırırken, konik pim tekniği bilye tekniği ile elde edilen sonuçtan % 200 daha fazla yorulma ömrü artışı sağlamıştır. Oluşan kalıcı gerilmeler, 0,2 mm ölçme uzunluğundaki gerinim ölçer ile ölçülmüştür. Her iki teknikte de kalıcı gerilmeler, genişleme artışı ile % 5'e kadar artmış ve daha sonra % 6' lık genişleme için azalmıştır. % 5' lik genişlemenin yorulma ömründeki artış, sırasıyla bilyeli ve konik yöntem için 1,88 kat ve 5,3 kat daha yüksek olmuştur. Koniklik yöntemindeki iyileşme, genişletilmemiş deliklerden daha büyük olmuştur. Geride kalan gerilmelerin, her iki teknikte de delikten uzaklaştıkça azaldığı gözlenirken, bilye tekniği, konik pim tekniğinden daha düşük kalıcı gerilmelere neden olmuştur.

Lai, vd. (1990) bu çalışmada, bilyelemenin, tekli vuruş, çoklu vuruş otomasyonunda ve diğer kesme takımları ile birlikte tekli-vuruş işleminde olduğu gibi uygulama alanlarını ele almışlar ve ince deliklerin genişletilmesinde ve sıkı-geçme eklemlerin oluşturulmasında kullanılan bilyeleme örneklerini incelemişlerdir. Bilyeleme ile soğuk şekillendirilmiş deliklerin basınç analizi üzerinde çalışma yapmışlardır. Girişimin, elastik ve plastik bölgeler üzerindeki etkisini ve yararlı kalıcı gerilmenin

ortaya çıkmasını teorik olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, bilyeleme işleminin yorulma ömrü üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

Wang, vd. (1998) yapmış oldukları çalışmada, bilyeleme işleminin, pürüzlülük ve kalıcı basınçla alakalı parametrelerini araştırmayı hedeflemişlerdir. Bilyelenen yüzeyi karakterize etmek için 3 boyutlu yüzey değerlendirme tekniklerini ve bu yüzey üzerindeki kalıcı basıncı hesaplamak için ring cut-off metodunu kullanmışlardır. Bu deneysel metot ve analiz yöntemi, bilyelenen malzemenin et kalınlığı ve sıkışma miktarı, yüzey pürüzlülüğünün ve kalıcı gerilmenin önemli nedenlerinden biri olduğunu göstermiştir. Delikten geçen topun hızının, pürüzlülük ve kalıcı gerilme üzerinde çok küçük bir etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir.

Nee ve Venkatesh (1982) bu çalışmada, bilyeleme işlemi için uygulanan kuvveti azaltmak için farklı kayganlaştırıcılar kullanmışlardır. Kuvvetler, gerilim ölçer bir dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Yüzey deformasyonlarını elektron mikroskopu taraması yardımıyla incelemişlerdir. Bilyelenen bir deliğin çapının tahmininde matematiksel bir model ileri sürülmüş ve deneysel gözlemlerden elde edilen sonuçlarla tutarlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, bilyeleme işleminin endüstride kullanımında, istenilen belirli bir çapı elde etmek için gerekli değişkenleri hesaplamada matematiksel modelin kullanımının hızlilik sağlayacağı sonucuna varmışlardır.

Fattouth (1989) yapmış olduğu bu çalışmada iki farklı sonuca ulaşmıştır. Birincisi, malzeme özellikleri, girişim, işlenecek parçanın dış çapının iç çapına oranı ve yüzey düzeltmedeki bilyeleme hızı, dairesellik, sertlik ve bilyelenen deliğin son çapı gibi çeşitli işlem değişkenlerinin etkilerini incelemektir. İkincisi, maksimum bilyeleme kuvveti ve deliğin son büyüklüğü ile işlem değişkenlerini bağdaştıran deneysel bir ilişki geliştirmeyi amaç edinmektir. Bu çalışmada elde edilen test sonuçları, girişim değerinin, bilyelenen yüzeyin fonksiyonel özelliklerini etkileyen kritik bir etken olduğunu göstermiştir. Topun çapı, girişim ve çekme akma gerilmesi, bilyeleme kuvvetini yöneten en önemli değişkenler olduğunu göstermiştir.

Lai ve Siew (1995) bu çalışmada, üç soğuk şekillendirme sürecinin, bilye püskürtme (shot peening), ıslak kuşlama (wet blasting) ve bilyeleme deliklerin yorulma ömrünü nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Assab 760 çeliğinin 3mm kalınlığında çekme numuneleri üzerindeki yorulma testleri, % 1-3,3 arasında girişim ile bilyeleme, deliklerin yorulma ömrünü yaklaşık % 60 ile % 220 oranında arttırdığını göstermiştir. 138 kPa' dan 414 kPa' a kadar basınçta bilye püskürtme için, iyileşme % 30 dan % 100 e kadar olmuştur. Fakat 69 kPa' dan 690 kPa' a kadar basınçta ıslak

kumlama ile % 10 ile % 50 arasında iyileşme olmuştur. Soğuk işlem prosesleri sonucunda deliklerin etrafındaki kalıcı gerilmeler bir kırılma mekaniği yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışılan üç prosesin de deliklerin yüzeylerinde sıkıştırılmış kalıcı gerilme alanı oluşturduğu görülmüştür. Basma gerilmesinin, bilye püskürtme ve ıslak kumlanmış deliklerde basınçla ve bilyelenmiş deliklerde ise girişimle arttığı gözlemlenmiştir. İncelenen basınç ve girişim aralığı içinde kalıcı gerilme ölçümleri, ıslak kumlamada en düşükken, bilyelemede en fazla olduğu tespit edilmiştir.

Hassan (1997) bu deneysel çalışma için basit bilyeli ve makaralı parlatma araçları kullanmıştır; bu araçlar tasarım ilkelerinde oldukça benzerdir. Parlatma kuvvetinin ve paso sayısının piyasada bulunan alüminyum ve pirincin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerindeki etkisiyle birlikte takım performansı incelenmiştir. Sonuçlar, demir dışı metaller dikkate alınarak hem bilyeli parlatma hem de makaralı parlatma uygulamasıyla yüzey pürüzlülüğünde iyileşme ve yüzey sertliğinde artışların elde edildiğini göstermiştir.

Hamadache vd. (2006) yaptıkları bu çalışmadaki amaçları, yapısal Rb40 çeliğin bilyeli ve makaralı parlatma tekniğini kullanarak, plastik deformasyon için mekanik bir cihaz geliştirmek ve ilgili pürüzlülüğün, sertlik ve aşınma direncinin gelişimini araştırmaktır. Özellikle başlangıçtaki yüzey kalitesi 3 μm ' ye yakinken makaralı parlatma işleminin en iyi pürüzlülük sonuçlarını sağladığı, buna karşılık sertlik açısından, bilyeli parlatmada daha iyi sonuç bulunmuştur. Belirleyici parametreleri, paso sayısı ve uygulanan kuvvet olan, belirli bir çalışma düzeni içinde optimum pürüzlülük ve sertlik elde edilmiştir. Pürüzlülük kriteri düşünüldüğünde, sertlik temelinde 3 paso tavsiye edilmesine rağmen paso sayısının 2 ile sınırlandırılmasını tavsiye etmişlerdir. Makaralı veya bilyeli parlatma ile işlenen Rb40 çeliğinin üst katmanları tatmin edici bir aşınma direnciyle birlikte taşlanmış bir yüzey gibi davranış sergilemiştir.

Dinçkurt (2009) bu çalışmasında, makaralı parlatma işleminin sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyonunu ele almıştır. Yüzey pürüzlülüğünün ihmal edildiği modelleme çalışmalarında, tek makaralı parlatma takımının dalma ve yuvarlanma hareketlerinin uygulamalarında başarılı olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün dikkate alındığı modelleme çalışmalarında ise model elemanlarının biçimce bozulmaları sebebiyle makaranın dalma hareketinden sonraki hareketleri modele uygulanamamıştır. Sonuç olarak bu tez çalışması ile günümüzde taşlama, honlama gibi yüzey bitirme proseslerine alternatif

olan makaralı parlatma işleminin modellenmesine, özellikle yüzeydeki pürüzlülük değişimlerinin irdelenmesine farklı bir görüş olarak ortaya konulmuştur. Yüzey pürüzlülüğündeki değişimin görülmesi açısından yapılan modelde kısmi olarak başarılı olunmuş ve gelecekte modelleme üzerinde yapılacak iyileştirmeler ile proses parametrelerinin belirlenmesinde daha iyi sonuçlar elde edilerek zaman ve iş gücü sarfiyatının azaltılabileceği görülmüştür.

Has (2007) bu çalışmada, ANSYS ve MSC Superform sonlu elemanlar yazılımlarında gerçekleştirilen iki ve üç boyutlu bilyeli parlatma benzetimlerinde parça yüzeyi ve kalınlığı boyunca oluşan artık gerilme dağılımını incelemiş ve geliştirilen sayısal modelin doğrulanması için literatürden temin edilen sınırlı deneysel veriler ile karşılaştırma yapmıştır. Ti6Al4V alaşımının elastik-plastik malzeme modeli kullanılarak gerçekleştirilen benzetimler sonrasında, yüzeyde ve kalınlık boyunca alınan artık gerilme verilerinde, deney verileriyle eğilimler açısından benzerlik; en büyük ve en küçük değerlerde ise sapmalar gözlemlenmiştir. Özellikle, kısa sürede yapılan iki boyutlu benzetimler, deneysel verilerden farklı olarak X yönündeki (paralel) artık gerilme pozitif (çekme) değerinde elde edilmiştir. Üç boyutlu analizlerde ise yüzeydeki ve yüzeyin hemen altındaki değerler çok yakın bulunmuş, derine inildikçe deneysel verilerle aradaki sapma miktarı büyümüştür. Sınır koşullarının daha sağlıklı temsil edildiği büyük modeller kullanıldığı zaman, gerçeğe çok yakın sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir.

Tian ve Shin (2006) çalışmalarında, yeni bir hibrit parlatma işlemi olan lazer yardımıyla parlatma (LAB) işlemini deneysel olarak incelenmiştir. LAB sırasında, parçanın yüzey katmanı, kontrol edilebilir lazer ile geçici olarak yumuşatılmış ve hemen geleneksel parlatma aparatıyla parlatılmıştır. LAB ve geleneksel parlatma deneyleri, lazer gücünün parlatma sonuçlarındaki etkisini incelemek için sırasıyla tavllanmış ve sertleşmiş AISI 4140 olan MP35N numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. LAB da geleneksel parlatmaya göre daha fazla plastik deformasyon olduğu için parlatmadan önce yapılan, parçanın geçici olarak yumuşatılması sayesinde, bu deneylerde görülmüştür ki; geleneksel yöntemle kıyaslandığında LAB çok daha pürüzsüz yüzeyler, yüksek yüzey sertlikleri ve benzer kalıcı gerilmeleri oluşturabilmektedir.

Akkurt ve Ovalı (2009) bu çalışmada, ezme ve diğer yöntemler ile elde edilen yüzey karakteristiklerinin değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Delik iç yüzeylerinin dairesellikleri Al 6061 alüminyum alaşımı malzemedeki hazırlanmış olan numuneler üzerinde incelenmiş ve yöntemler karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları, delik

daireliliğinin önemsendiği işlemlerde ezme yönteminin tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir. Ayrıca elde edilen yüzey sertlikleri karşılaştırıldığında Al 6061 alüminyum alaşımı malzeme için ezme yönteminin diğerlerine göre üstün olduğu sonucuna varmışlardır.

Başak ve Göktaş (2009) çalışmalarında, Alüminyum alaşımı Al 7075 T6 malzemesi üzerinde, parlatma aparatı ile farklı parlatma parametreleri (devir sayısı, ilerleme, paso sayısı ve basınç kuvveti) kullanılarak parlatma yapmışlardır. Sonrasında, Al 7075 T6 malzemeleri üzerinde yüzey pürüzlülüğünü ve yüzey sertliğini etkileyen parlatma parametrelerini tartışmışlardır. Deney sonuçlarını kullanarak parlatma işlemi için en iyi parametreleri elde etmek için bulanık mantık modelini kullanmışlardır. Bulanık model tahminleri, yüzey pürüzlülüğü için en uygun değerlerin 200 N basınç kuvveti ve iki takım pasosu ile 0,1 mm/dev' lik bir ilerleme olduğunu göstermişlerdir. Çalışmaların sonunda bulanık modelden elde edilen sonuçlarla deneylerden elde edilen sonuçların son derece uyumlu olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Flores vd. (2009) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, AISI H13 takım çeliği ve 4140 çeliğinin erozif aşınma davranışını kumlu püskürtme tipi düzenek ile incelemişlerdir. 6 farklı sertlik seviyesine sahip numuneler (595 HV' de tavllanmış) üretilmiştir. Sonra püskürtme hava basıncı 0,689 ve 1,38 bar, 70 ile 100 m/s aralığındaki çarpma hızıyla ve çeşitli partikül büyüklükleriyle, 10° den 90° dereceye kadar çarpma açısıyla numuneler test edilmiştir. Aşındırıcı madde olarak silis kumu kullanılmıştır. Farklı sertlik seviyelerindeki numunelerin etki açısına karşılık erozyon deneyi sonucunda 3 önemli aşınma durumu tespit etmişlerdir. Bunlardan birincisi, 10° ve 20° derece çarpma açıları için, düşük sertlik seviyelerinde aşınma miktarı daha fazla olmuştur. İkincisi, 30° ve 40° derece çarpma açıları için sertlik artırılmasına rağmen önemli değişiklikler olmamıştır. Üçüncü olarak ise, 60°, 75° ve 90° derece çarpma açıları için, aşınma miktarının, yüksek sertlik seviyelerinde daha fazla olduğu görülmüştür.

Dikmen (2010) yapmış olduğu çalışmada, AISI 4140, AISI 1050 ve AISI 8620 çelikleri için soğutma ortamının aşınma davranışı üzerine etkisini incelemiştir. Bu çelik türleri farklı ortamlarda (yağ ve su) soğutularak Pin-on-Roller aşınma sisteminde aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Aşındırıcı elaman olarak nitrürlenmiş GG30 malzemesi kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sabit zamanda, farklı devir ve yükler altında yapılmıştır. Aşınma miktarı sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Her bir çelik türü için soğutma ortamının etkisi, aşınma miktarı ve sürtünme katsayısı bakımından

karşılaştırma yapılmıştır. Numunelerin aşınma dirençleri farklı olduğu için AISI 4140 çeliğindeki aşınma miktarının AISI 1050 ve AISI 8620 çeliklerine göre daha az fakat sürtünme katsayısının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca aşınma davranışına etki eden parametreler (yüzey sertliği, devir/dk ve uygulama kuvveti), taguchi metodu kullanılarak incelenmiştir. Sırasıyla yüzey sertliği, uygulama kuvveti ve devir/dk parametrelerinin aşınma davranışı üzerinde etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Bozali (2015) yapmış olduğu çalışmada, AISI 4140 çeliğinden imal edilmiş namlunun yüzeyini borlama işlemine tabi tutarak malzemenin aşınma davranışlarını incelemiştir. Borlanmış numunelerin mikroyapıları, tabaka kalınlıkları ve derinliğine bağlı olarak sertlik değerleri ölçümü yapılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda borür tabakasının kalınlık ve sertlik değerlerinin, sıcaklık ve süre ile arttığını, borür tabakası kırılma tokluğu değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Özkader (2015) yapmış olduğu çalışmada, ısıtılma işlemi AISI 4140 çeliğinin abrasiv aşınma özelliği üzerine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla silindirik halde temin edilmiş AISI 4140 çelik malzemeden aşınma, sertlik ve çekme test numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerin bir kısmı kontrol grubu olarak hiçbir işleme tabi tutulmamış, geri kalanlara ise yumuşatma, normalizasyon ve sertleştirme tavlama uygulanarak 4 gruba ayrılmıştır. Tüm numunelere sertlik, çekme ve aşınma deneyleri uygulanmıştır. Aşınma deneylerinde uygulanan yükün aşınma miktarına etkisini belirlemek amacıyla üç farklı yük uygulanmıştır. Ayrıca zımpara tane büyüklüğünün de aşınma miktarına etkisini araştırmak amacıyla 120, 180, 360 numaralı zımparalar kullanılmıştır. Taze zımpara boyu ile aşınma miktarı arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla da 80 mm, 120 mm, 160 mm olmak üzere 3 farklı zımpara çalışma çapı kullanılmıştır. Deney sonucunda sertleştirme ve normalizasyon ısıtılma işlemi AISI 4140 malzemenin sertliğini, çekme dayanımını ve aşınma direncini artırdığını, yumuşatma tavlama işlemi ise bu değerleri düşürdüğü tespit edilmiştir. En yüksek aşınma, yumuşatma tavlama uygulanan, 5N yük ve 120 numara zımpara ile 160 mm çalışma çapında deney yapılan numunede elde edilmiştir. En düşük aşınma ise sertleştirilmiş numunede 2N yük ve 360 numara zımpara ile 80 mm çalışma çapında yapılan deneyde gözlemlenmiştir. Ayrıca yük ile aşınma miktarı arasında doğrusal bir ilişki olduğu, taze zımpara boyundaki artışın aşınma miktarını artırdığı tespit edilmiştir.

Fouad ve El Batanouny (2011) çalışmalarında, AZ31 magnezyum alaşımının aşınma davranışına yüzey işleminin etkisini incelemişlerdir. Dövme magnezyum alaşımı AZ31 numuneleri üzerinde aşınma testi yapmışlardır. Test numuneleri, dökme

alaşımındaki gibi veya farklı yüzey işlemlerinden geçmiş haddelenmiş alaşım gibi farklı koşullara sahiptir. Yüzey işlemlerine bilye ile parlatma (ball burnishing), dövme (swaging) ve bilye püskürtme (shot peening) işlemleri dahil edilmiştir. Bilye püskürtme, diğer parametreler sabit tutulurken, 0,1 ve 0,3 bar iki ana basınç yükü altında yapılmıştır. Test sonucunda, basınç 0,3 barda iken en kötü aşınma sonuçları dökme numunede gözlenmiştir. Fakat bilye püskürtmeli numune, 0,1 bar basınçta bütün numuneler arasında en fazla aşınmanın gerçekleştiği numune olmuştur. Sertlik testleri sonucunda, dövülmüş (swaged) numunenin tüm numuneler arasında en yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür.

TSE kurumunun yeni düzenlemelerle 10.04.2013 tarihinde yeniden güncelleyip yayınladığı TS 870 standartları, av tüfeği imalatı yapan her firmadan bu şartları sağlanması istenmektedir. Bu şartları sağlamayan firmalara imalat izni verilmemektedir. Bu standartların boyut muayenesi kısmında “Namlu iç yüzeyi en fazla $Ra = 0,4 \mu m$ yüzey pürüzlülüğüne sahip olmalıdır” şartı bulunmaktadır (TSE, 2013). Yapılan çalışmanın bir amacı da bu standart şartının bilyeleme yöntemi ile daha kolay sağlanabileceğinin gösterilmesidir.

2.2. Plastik Şekil Verme

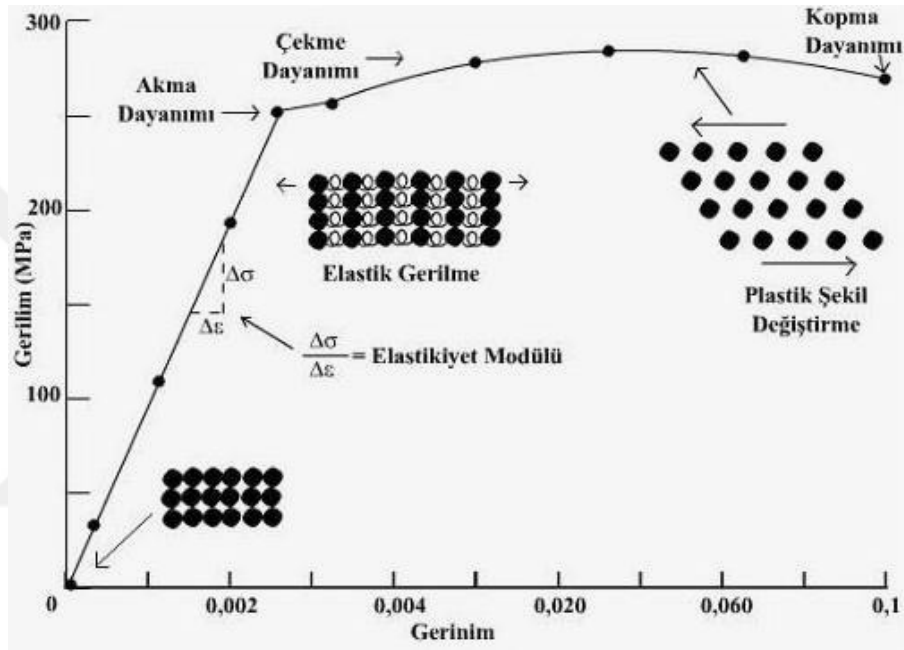
Bir katı cismin şeklini başka bir şekile dönüştürmek için kuvvet uygulandığında cismin kütle ve yapısında değişiklik meydana gelmiyorsa bu şekillendirmeye plastik şekil verme denir (Çapan, 1999). Plastik şekil verme tarihin bilinen en eski devirlerine kadar uzanmaktadır. Çok sayıda spesifik plastik şekil verme yöntemi mevcuttur. Dövme yöntemi insanlığın varoluşuyla kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. Tel çekme ve haddeleme gibi prosesler orta çağda kullanılan şekillendirme yöntemlerindedir. Plastik şekil verme yöntemlerinin çoğunun ana kurallarının değişime uğramamasına rağmen, ayrıntılar ve teçhizatlar büyük değişimler ve gelişmeler yaşanmıştır. Teçhizatların boyutu, gücü ve hızları artmış olup günümüzde bilgisayar kontrollü sistemler oldukça yaygın hale gelmiştir. Başlıca plastik şekil verme yöntemleri şunlardır (Groover, 2016):

- Dövme
- Çubuk ve tel çekme, boru imlatı
- Haddeleme
- Ekstrüzyon

- Sac şekillendirme yöntemleri.

2.3. Plastik Şekil Vermenin Esasları

Dış kuvvetler altında malzemeler şekil değiştirir. Kuvvetlerin kaldırılması halinde malzeme başlangıç boyut ve şekline dönerse şekil değişimi “elastik (tersinir)” şekline dönmezse şekil değişimi “plastik (kalıcı)” olur. Şekil 2.1' de çekme deneyinin gerilme - uzama grafiği verilmiştir.



Şekil 2.1 Bir malzemenin çekme deneyinin gerilme-uzama grafiği

Plastik şekil verme işlemi soğuk, ılık ve sıcak ortamlarda yapılabilir. Bu işlemlerde çekme, basma ve kayma olmak üzere üç temel kuvvet uygulanır.

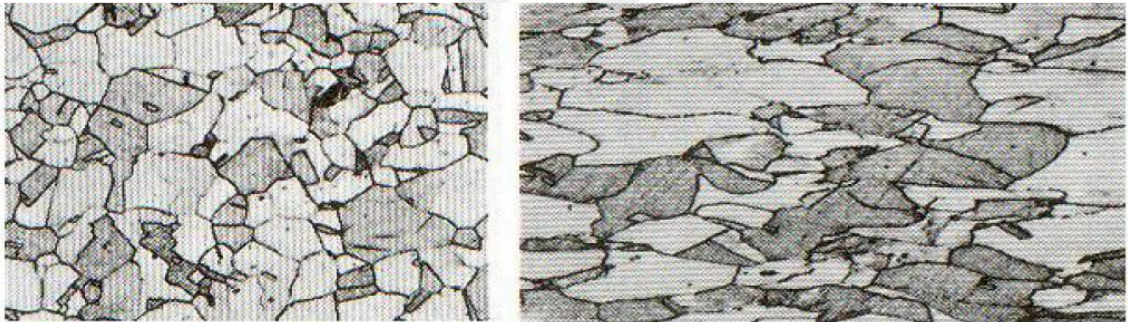
2.3.1. Soğuk şekillendirme

Soğuk şekillendirme malzemeye plastik deformasyon yöntemleri ile uygulanır. Plastik deformasyon malzemenin tane yapısında hem dislokasyonların hareketini sağlar, hem de bitişik tanedeki gerilmeleri de artırarak dislokasyon kaynaklarını harekete geçirir ve tüm malzeme de şekil değişimi meydana getirir. Bu soğuk şekillendirmeye bağlı olarak malzemenin sertliği ve dayanımı artar, tokluğu ve sünekliği düşer (Kayalı ve Ensari 2000).

Mukavemetin artmasına sebep olan deformasyon sertleşmesi ise, plastik deformasyon miktarının artması ile dislokasyon yoğunluklarının da artmasına sebep olur. Artan yoğunluk birbirlerinin hareketlerini engelledikleri için dislokasyon hareketini de zorlaştırır.

Soğuk şekillendirme de malzeme mukavemetindeki artış soğuk işlem miktarı ile orantılıdır. Tavlanmış bir malzemede dislokasyon yoğunluğu 10^6-10^8 adet/cm² civarındadır. Aşırı miktarda soğuk deformasyona uğramış bir malzemede ise dislokasyon yoğunluğu yaklaşık olarak 10^{12} adet/cm² değerine ulaşmıştır (Dieter, 1986).

Soğuk şekillendirme sonucunda malzemenin kristal tane yapısı bozulur; taneler şekil verme doğrultusunda uzar. Dislokasyon bölgesindeki atomlar denge durumundan uzaklaştıkları için tanelerde dislokasyon yoğunluğu artar. Dislokasyon hareketlerinden kaynaklanan atom boşlukları meydana gelir, aynı zamanda malzemenin yoğunluğunda bir miktar azalma olur. Şekil 2.2 a ve b de sırasıyla soğuk şekillendirme öncesi ve sonrası mikro yapılar görülmektedir (Kayalı ve Ensari, 2000).



Şekil 2.2.(a) Soğuk deformasyona öncesi, (b) Soğuk deformasyona sonrası mikro yapılar(Ün, 2007).

Soğuk şekillendirme sonucunda malzeme yapısında meydana gelen dislokasyon yoğunluğunun malzemenin mukavemetine etkisi aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$\sigma_p = \sigma_L + \alpha G b \rho^{1/2} \quad (\text{Karcı, 2008})$$

Burada;

σ_p : Plastik deformasyon gerilmesi

σ_L : Sürtünme gerilmesi

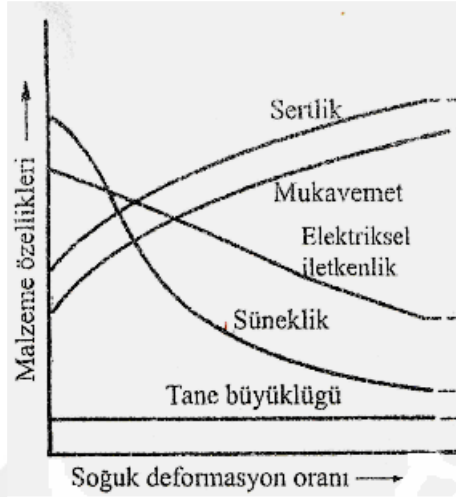
G: Kayma elastiklik modülü

b: Burgers vektörü

ρ : Dislokasyon yoğunluğu

α : Bir sabit (genellikle 0,3 ile 0,6 arasındadır)

Soğuk işlem sonucunda harcanan enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür, bir kısmı da dislokasyon enerjisi halinde malzeme içinde depo edilmiş olur. Malzemenin mekanik özelliklerinin soğuk işlemde deformasyon miktarına bağlı olarak değişimi şekil 2.3 te gösterilmektedir (Dieter, 1986)



Şekil 2.3 Soğuk işlem oranının mekanik özelliklere etkisi (Savaşkan 2004).

Şekil 2.3' te görüldüğü gibi, soğuk işlem sonucunda malzemede sertlik ve mukavemet artarken, elektrik iletkenliği ile süneklik azalır, tane büyüklüğü ise değişmez. Soğuk işlem sonrası oluşan bu değişimler, kafes ve tane yapılarında meydana gelen çarpılmalardan kaynaklanır. Çarpılma, dislokasyon hareketini zorlaştırdığı için malzemenin sertlik ve mukavemetinin artmasına, elektron hareketini zorlaştırdığı için de elektriksel iletkenliğinin azalmasına sebep olur (Kayalı ve Ensari, 2000).

Metalik malzemelerde, belirli soğuk işlem miktarında malzemenin sünekliği sifıra indiği için uygulanacak soğuk işlem miktarı sınırlıdır. Soğuk şekillendirme miktarının arttıkça artması ile öyle bir noktaya gelinir ki, artık malzeme şekil değişikliğine uğratılamaz, çatlaklar oluşur ve kırılır. Çatlak oluşumunu önlemek ve azalan sünekliği artırmak için malzeme soğuk işlem sırasında zaman zaman tavllanır. Tavlama esnasında yüksek sıcaklıkta bir süre tutulan malzemenin soğuk işlem özelliği kaybolur (Groover, 2016).

Soğuk işlem esnasında malzeme yapısındaki değişim toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi olarak üç aşamada incelenebilir.

2.3.1.1. Toparlanma

Malzemedede soğuk işlem; sertlik ve mukavemeti artırır, sünekliği ve elektrik iletkenliğini azaltır. Toparlanma safhasında denge durumu bozulan atomlar denge durumuna gelme eğilimindedir. Dışarıdan verilecek bir enerji ile malzeme eski düzenli haline gelir ve dislokasyonlar düzene girer. Malzemenin soğuk işlem mukavemetinde veya sertliğinde bir miktar düşüş meydana gelir. Bu olay ters işaretli dislokasyonların bir araya gelmesiyle oluşur (Karcı, 2008).

Şekil 2.4' te soğuk işlem sonrası toparlanmanın mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi görülmektedir.

2.3.1.2. Yeniden kristalleşme

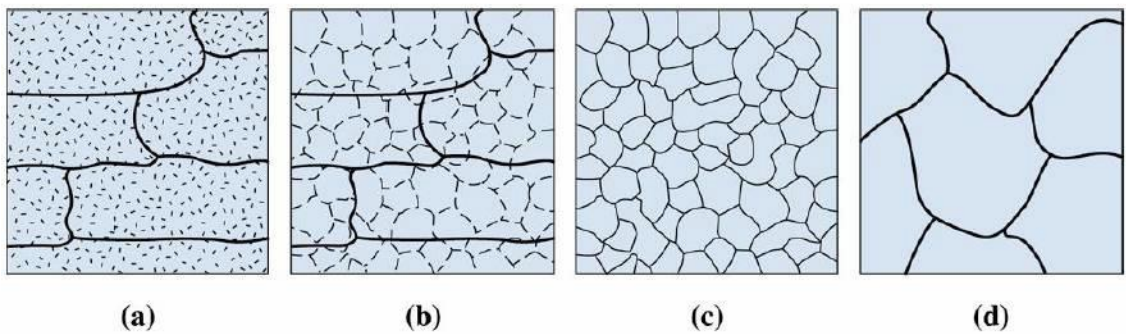
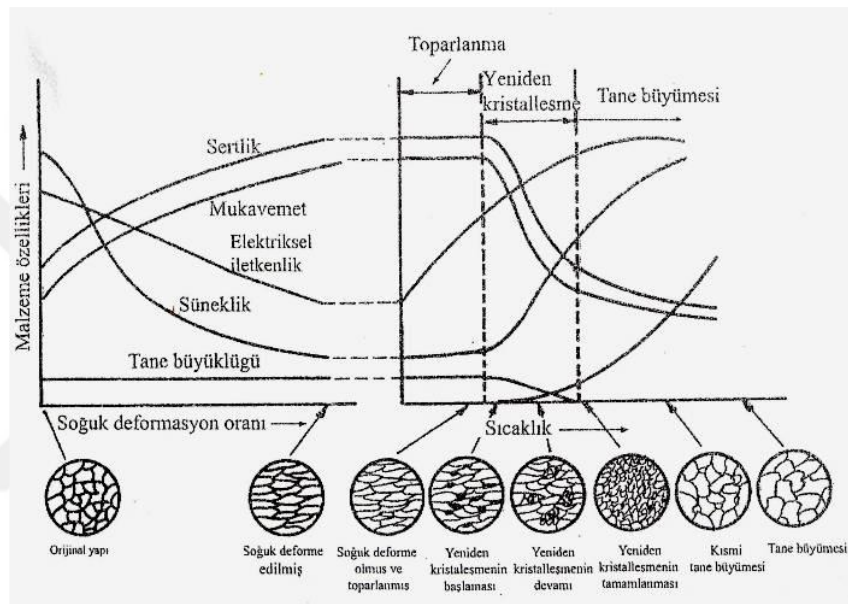
Yeniden kristalleşme toparlanma evresini takiben gerçekleşir. Bu evrede dislokasyon içeren toparlanmış taneler kaybolur ve yerini yeni taneler alır. Toparlanmış tanedeki dislokasyonlar yeni oluşan tanelerin sınırlarına kaçarlar. Bunun sonucunda içlerinde dislokasyon miktarı çok az olan veya hiç bulunmayan küçük taneler oluşur ki bu yapıyla yeniden kristalleşme tamamlanmış olur (Kayalı ve Ensari, 2000).

Yeniden kristalleşmiş yapıda soğuk işlemin etkisi giderildiği için kazandığı mekanik özellikleri de tamamen kaybeder. Malzemenin mukavemet ve sertliğinde önemli ölçüde azalma ve sünekliğinde ise artma olur. Yeniden kristalleşme ile dislokasyon yoğunluğunda önemli ölçüde azalma, deformasyon sertleşmesinin de etkisi giderilmiş olur (Dieter, 1986).

Yeniden kristalleşme sıcaklıkla başlayan bir süreçtir ve malzemenin pratik olarak bir saat içinde % 50' sinin yeniden kristalleştiği sıcaklıktır. Bu da yaklaşık olarak malzemenin ergime sıcaklığının 1/3' ü ile 1/2' si arasındadır. Bu nedenle yeniden kristalleşmeyi etkileyen en önemli faktörler sıcaklık ve işlem süresidir. Deformasyon miktarı, metalin saflık derecesi, ilk tane boyutu gibi durumlarda yeniden kristalleşmeyi etkileyen diğer faktörlerdir. Şekil 2.4' te yeniden kristalleşmenin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi görülmektedir (Kayalı ve Ensari, 2000).

2.3.1.3. Tane büyüklüğü

Yeniden kristalleşen tanelerin uzun süre tavlama sıcaklığında tutulursa veya yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda tavlanirsa tane büyümesi meydana gelir. Bundan dolayı tane büyümesi, sıcaklık ve tavlama süresine bağlıdır. Şekil 2.4' te soğuk işlem sonrası tane büyümesinin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisi görülmektedir. Tane büyümesi ile malzemenin süneklik ve elektriksel iletkenliği artarken, sertlik ve mukavemetinde azalma olur (Groover, 2016).



Şekil 2.4 Soğuk işlem oranının ve soğuk işlemden sonraki tavlama sıcaklığının mekanik özellik ve mikro yapıya etkisi, (a) Soğuk işlem görmüş, (b) Toparlanma sonrası, (c) Yeniden kristalleşme sonrası ve (d) Tane büyümesi sonrası (Savaşkan 2004).

2.4. Parça Yüzeylerine Yapılan Deformasyon İşlemleri

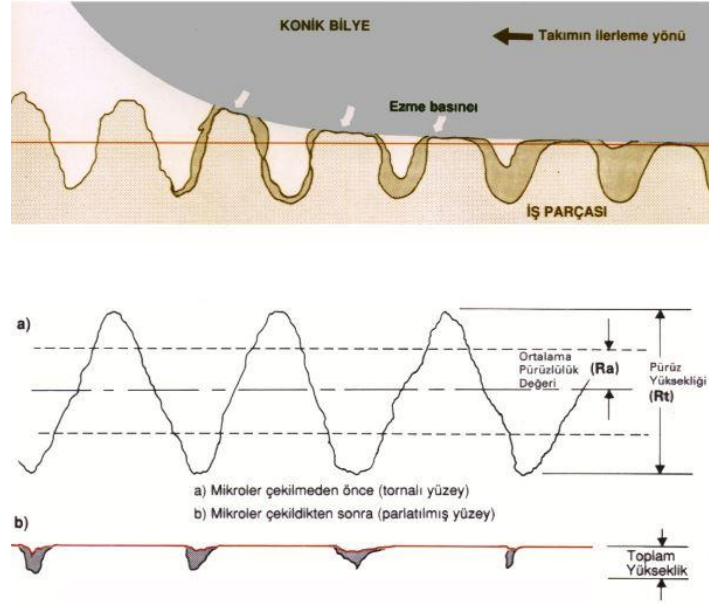
2.4.1. Giriş

Yüzey bitirme işlemleri makine parçalarının üretiminde her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. İyi bir yüzey bitirme işlemi makine parçalarının aşınma dirençlerinde, yük taşıma kapasitelerinde, takım ömründe ve yorulma özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Diğer bir taraftan kaba bir bitirme yüzeyi ise aşınmanın artmasına, yorulma dayanımının azalmasına ve verilen tolerans değerlerinde parça üretiminde zorlukların artmasına sebep olur. Örneğin tornalamanın, frezelemenin ve matkapla delmenin yüzey karakteristiğine ve yorulma performanslarına zararlı etkileri olabilmektedir. Bu işlemler, genellikle, parça yüzeyinde çekme kalıcı gerilmeleri oluşturmakta ve yorulma ömrünün azalmasına sebep olmaktadır.

Delme, tornalama, raybalama, taşlama, honlama vb. yüzey bitirme yöntemlerinde istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesi talaş kaldırmaya bağlı olduğu için işleme (talaş) izleri ileride yüzey aşınmalarına ve geometrik tolerans problemlerine sebep olabilmektedir. Gelişmekte olan teknoloji ile makine imalat sanayi bitirme yüzey özelliklerinin önemli olduğu parçaların üretiminde ezerek yüzey elde etme işlemi tercih etmektedirler. Ezme işlemi, talaşsız ve diğer yöntemlere göre daha basit bir işlem olmasından dolayı oldukça iyi bir yüzey kalitesi sunmaktadır (Akkurt ve Ovalı, 2009).

2.4.2. Talaşsız imalat & soğuk şekil verme

Üzerinde durulması gereken nokta, ezme işleminin bir talaşsız imalat yöntemi olmasıdır. Ezme işlemiyle metal yüzeyindeki pürüzler minimum düzeye indirilebilmektedir. Metallerin mikro yüzey profillerine bakıldığında tepe ve çukur diyebileceğimiz pürüzleri görürüz. Ezme işlemi sırasında, tepelerin üzerine kuvvet uygulanarak çukurların dışarı çıkması sağlanmaktadır. Sanıldığı gibi, tepelerin çukurların içine yığılması söz konusu değildir (Yamato, 2017).



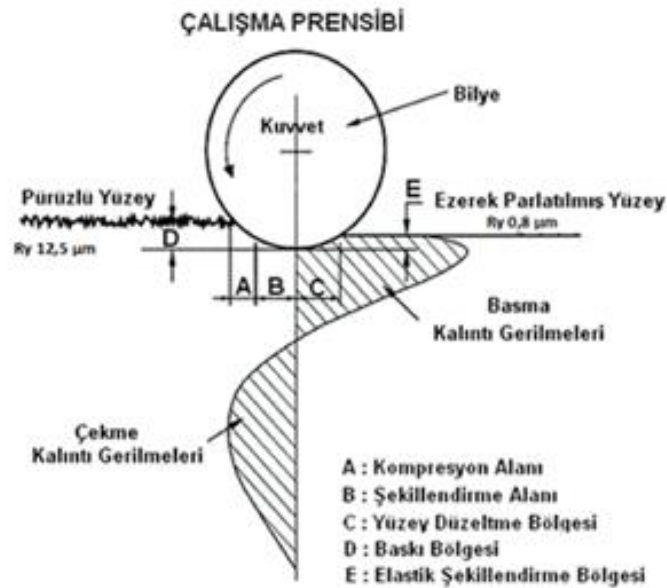
Şekil 2.5 Ezme işleminin şematik olarak gösterilmesi (Akkurt ve Ovalı, 2009).

Diğer önemli nokta da ezme işleminin plastik deformasyona yol açmasıdır. Ezme işlemi sırasında metalin akma sınırı geçilir. Dislokasyon artışına bağlı olarak yüzeyde sertleşme meydana gelir. Plastik deformasyonun, yeniden kristalleşme sıcaklığının altında meydana gelmesi nedeniyle bu durum soğuk şekil verme olarak anılır. Ezerek parlatma taşlama, honlama, lepleme, matkapla delme gibi klasik yöntemlerden bu iki faktör nedeniyle ayrılır. Ve sonuçlar, elde edilen mekanik efektlerden dolayı çok daha üstündür.

Metallere soğuk şekil verme ile yüzey işlemleri, çeşitlilik göstermekle birlikte, genel olarak;

- Yüzey pürüzlülüğünü düşürmek, mukavemeti arttırmak ve kalibre etmek,
- Yüzey pürüzlülüğünü düşürmek ve mukavemeti arttırmak,
- Sadece mukavemeti arttırmak,

amaçlarıyla uygulanmaktadır. Yöntemlerin temeli; malzemeyi, dışarıdan uygulanan, akma sınırının üzerindeki kuvvetle, yüzeyden itibaren belli bir derinlik etkilenecek şekilde ezmektir. Yöntemler arasında, Roller Burnishing, Ball Burnishing, Ballising, Shot Peening, Deep Rolling, LPB (Low Plasticity Burnishing) sayılabilir. Bu yöntemleri farklı şekillerde kategorize etmek mümkündür (Yamato, 2017).



Şekil 2.6 Ezme işleminde kalıcı gerilme dağılımının şematik olarak gösterilmesi (Akkurt ve Ovalı, 2009).

Şekil 2.6’ da küresel yuvarlanma elemanları için ezme işlemi gösterilmiştir. Uygun ön işlemi yapılmış olan (tornalama, rayba vs.) metal yüzeyine ilk temas (A) bölgesinde olur. (B) bölgesinde metalin akma noktası geçilir ve plastik deformasyon meydana gelir. (D) bölgesinde metal, milimetrenin yüzdelikli hanelerinde ezilmektedir. (C) bölgesinde ise plastik deformasyonun ardından bir miktar elastik dönüşüm (E) gerçekleşir; bu bölgede yuvarlanma elemanı metale son kez temas ederek yüzeyin pürüzsüz ve parlak olmasına katkı sağlar (Akkurt ve Ovalı, 2009).

Ezme işlemi sırasında iş parçasında oluşan gerilim yüzeyden eksene doğru azalır. Bu gerilim, malzemeye, ezme miktarına ve çalışma şekline bağlı olarak 1 mm derinliğe kadar etki edebilir. Ezme kuvveti kalktıktan sonra, pekleşmeye bağlı olarak sertleşen yüzey tabakasının altında elastik gerilmeler hapsolür ve yüzeyde basma yönünde kalıcı gerilmeler oluşur. (Yamato, 2017).

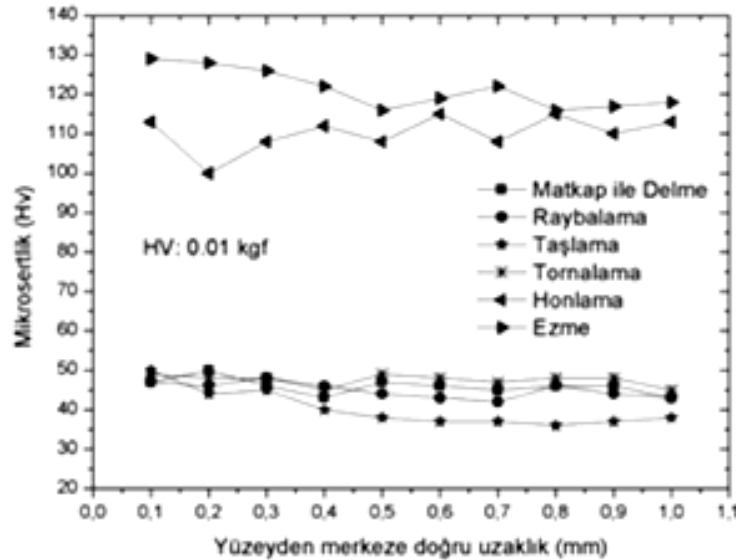
2.4.3. Delik yüzey bitirme işlemlerinin malzemenin mikro yapısına etkisi

Akkurt ve Ovalı (2009) yaptıkları çalışmada, her bir delik yüzey bitirme işlemlerini, hazırlamış oldukları numunelere uyguladıktan sonra elde edilen yüzeylerin detaylı metalografik incelemesini yaptıklarında her bir işleme yöntemin özelliğinden kaynaklı yapısal değişimlerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu yüzey morfolojileri incelendiğinde honlama ve ezme yöntemlerine ait yapıların birbirine benzediği ve yüzey

pürüzlülüğünün en az olduğu görülmüştür. Honlama işleminde mikro ölçekte işlemeden dolayı yüzey kalitesi üst seviyelerde olmuştur. Taşlama ve honlama işlemlerinde abrasif taneciklerin yüzeyde plastik olarak deforme olan veya termal etkilerden dolayı ergiyen kısımları yüzeyin tümsek kısımlarına akarak yüzeyde çok ince bir tabaka oluşturmuştur. Matkapla delme işleminde ise delik yüzeyinde deformasyon miktarının yoğunluğu, malzeme kaybı ile oluşmuş krater boşlukları ve bunun sonucunda delik yüzeyinde belirgin bir kaba yapının ortaya çıktığı görülmüştür. Tornalama yönteminde matkapla delme işlemine benzer olmasına rağmen daha düzgün bir yüzeyin ortaya çıktığı görülmüştür. Taşlama ve raybalama işlemlerinde ise orta kalitede delik yüzeyinin elde edildiği görülmüştür. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında ezme işleminde yapısı daha homojen ve deformasyondan daha az etkilenmiş bir yüzey elde etmişlerdir. Taşlama ve honlama işlemlerinde kesme sıvıları kullanılmasına rağmen yüzeyde belli derinliklerde yanmadan kaynaklı yapı değişimi gözlemlenmiştir.

2.4.4. Delik yüzey bitirme işlemlerinin malzemenin mikrosertliği üzerine etkisi

Akkurt ve Ovalı (2009) çalışmalarında, yüzey bitirme işlemlerinden matkapla delme, tornalama, taşlama ve raybalama ile işleme sırasında yüzeyde oluşan ısının etkisiyle sertliğin honlama ve ezme yöntemlerine oranla daha düşük olduğunu ortaya çıkarmışlardır (Şekil 2.7). Honlama işlemi sırasında oluşan anlık ısıdan dolayı malzemenin sertliğinde çok az bir kayıp söz konusu iken, ezme işleminde ise sertlik değerleri tüm diğer delik yüzey bitirme işlemlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ezme işlemi sırasında meydana gelen yoğun plastik deformasyondan dolayı pekleşme olur ve sertlikte önemli derecede bir artış meydana gelir. Şekil 2.7' de görüldüğü üzere tüm yüzey bitirme işlemleri arasında değerlendirme yapıldığında en iyi sertlik değerleri ezme işlemi sonucunda elde edilmiştir.



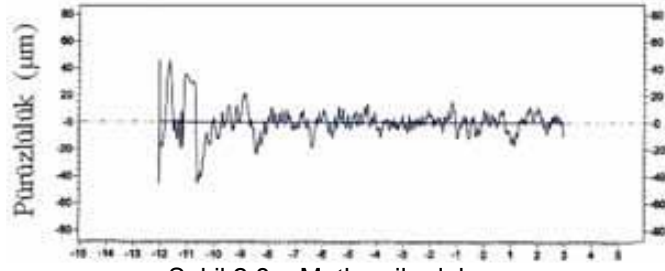
Şekil 2.7 Değişik yüzey işleme yöntemlerine bağlı olarak yüzeyden merkeze doğru mikro sertliklerin değişimi (Akkurt ve Ovalı, 2009).

2.4.5. Delik yüzey bitirme işlemlerinin pürüzlülüğüne etkisi

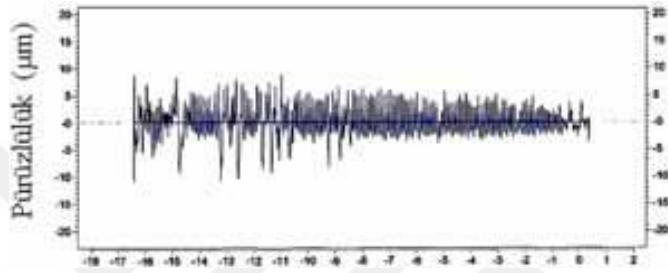
Şekil 2.8'de değişik yüzey işleme işlemleri uygulanmış numunelere ait yüzey pürüzlülüğü grafikleri gösterilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen sonuçlar yüzey işleme yöntemleri arasında en iyi yüzey kalitesinin ezme işleminde elde edildiğini göstermiştir. Ezme işleminde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrelerden biri ilerlemedir. Daha önceki yapılan çalışmalar göstermiştir ki ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünde artışlar meydana gelmektedir. Bu artışın da yüksek hızlarda ezme takımının işlenen yüzey üzerinde aşırı titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. İlerleme hızının 2 m/s' yi aşmaması gerektiği belirlenmiş ve ideal ilerlemenin de 1-1.9 m/sn arasında olduğu tespit edilmiştir (Chou, 2003).

Akkurt ve Ovalı (2009) bu çalışmada, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki bu etkileri dikkate alarak ilerleme hızını 1.50 m/s olarak belirlemişlerdir. Ezme ve honlama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Fakat buna rağmen ezme sırasında meydana gelen yoğun plastik deformasyon sonucu oluşan pekleşmenin etkisi ile en yüksek sertliği bu numunelerde elde etmişlerdir. Şekil 2.8 a, b, c, d, e, f'de grafikler bir birine yakın görünmesine rağmen ölçek değerleri birbirinden farklı bulunmuştur. Örneğin matkapla delme işleminde yüzey pürüzlülüğü maksimum Ra 40 µm iken ezme işlemi ile elde edilen yüzeyin yüzey pürüzlülüğü maksimum Ra 0,6 µm dir. Matkapla delme işleminde yüzey

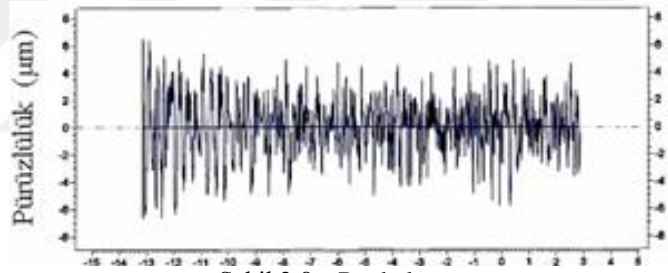
pürüzlüğünün bu kadar yüksek olmasının nedeni delme işlemi sırasında yüzeye uygulanan düzensiz kesme kuvvetlerinden kaynaklanmıştır.



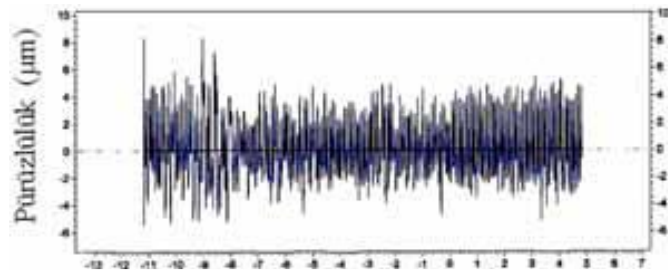
Şekil 2.8a. Matkap ile delme.



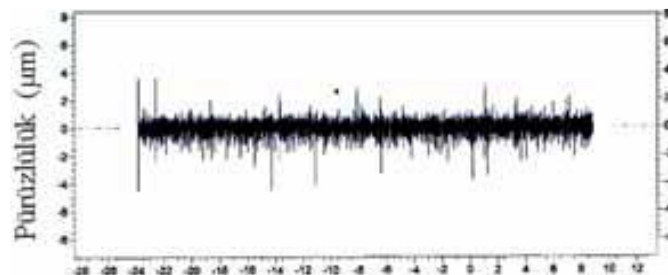
Şekil 2.8b. Tornalama.



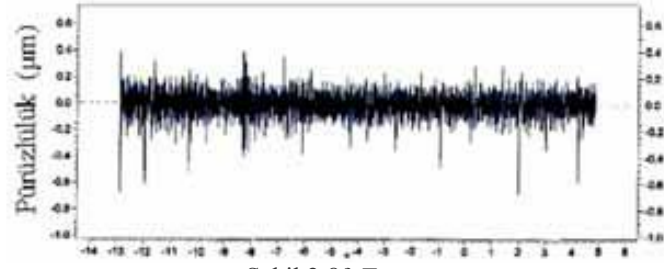
Şekil 2.8c. Raybalama.



Şekil 2.8d. Taşlama.



Şekil 2.8e. Honlama.



Şekil 2.8f. Ezme.

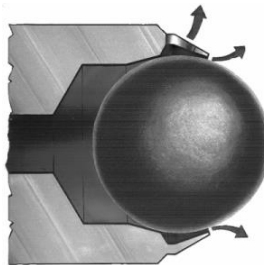
Şekil 2.8 Farklı yüzey bitirme işlemlerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin değişimi (Akkurt ve Ovalı, 2009).

Ezme işleminin avantajları

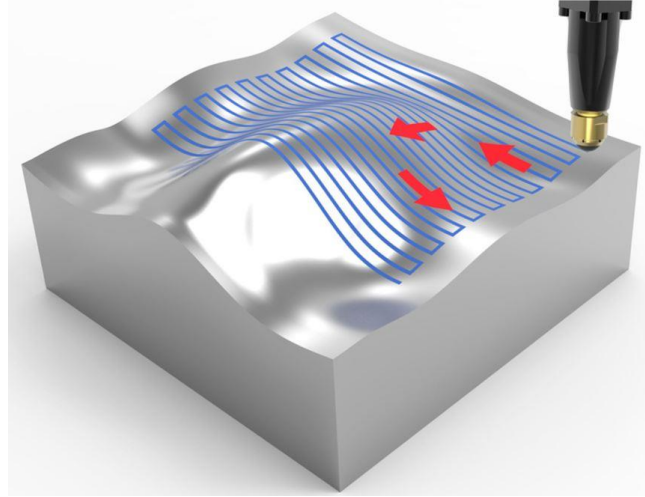
- Taşlama, honlama, lepleme’ de olduğunun aksine talaş kaldırmadan işlem yapılır.
- Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri diğer yüzey işleme yöntemlerine göre daha düşüktür.
- Ezme işlemi uygulanan parçaların aşınma dirençlerinde artış meydana gelir.
- İşlenen metal yüzeyi mekanik üstünlüklere kavuşur (sertlik artışı, kalıcı gerilmeler, korozyon direnci vs.)
- Ekstra hiçbir makina yatırımı gerektirmez.

2.4.6. Bilyeli parlatma

Bilyeli parlatma işleminde şekil 2.9’ daki gibi parça yüzeyini deforme etmek için serbest dönerek ileri-geri hareket ederek parça yüzeyini tarayan bilye kullanılmaktadır. Bilyeli parlatma takımına şekil 2.10’ da ki gibi belli bir yörünge takip ettirilerek işlenen yüzeyin belli bir bölümünün veya tamamının parlatılması sağlanmaktadır. Sıvı yardımıyla sağlanan sabit basınç ile bilyenin parça yüzeyinde, her yönde serbestçe hareket edebilme kabiliyeti kazandırılmaktadır (Has, 2007).



Şekil 2.9 Bilyeli Parlatma (Yamasa, 2006; Has, 2007)



Şekil 2.10 Bilyeli parlatmada takımın yüzeyde ilerlemesi (Ecoroll, 2017)

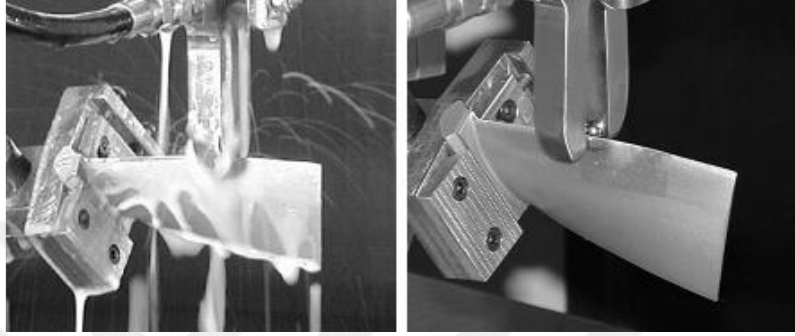
Sistemde sürekli sıvı (bor yağlı su) beslemesi olduğundan işlem esnasında oluşan sıcaklığın uzaklaştırılması için ek bir sisteme gerek kalmamaktadır. Ayrıca bu sıvı uygulama esnasında, ortamda yağlayıcı olarak görev yaparak işlemin sürtünme durumunu azaltmaktadır. Yöntem, uygulanan parçaların yüzey sertliğini arttırmakta, korozyon ve yorulma dayanımlarını iyileştirmektedir (Has, 2007).

Proses uygulanacağı parçaya ve malzemeye göre kendi içinde farklılıklar göstermektedir. Farklı uygulama alanları için parça kalınlığına da bağlı olarak farklı bilyeli parlatma takımları gelişen teknolojiyle paralel olarak geliştirilmektedir.

Gaz türbini diski gibi düz yüzeyler ve kalın parçalar için, parçanın bir yüzeyinde parlatma yapan tek bilyeli parlatma takımı kullanılmaktadır (Şekil 2.11). Şekil 2.12' de görüleceği üzere türbin kanadı gibi ince cidarlı bileşenlerin paralel iki yüzeyini aynı anda ve tek geçişte işlemek üzere tasarlanmış çift parlatma takımları bulunmaktadır. Uygulama esnasında eğilip bükülmeye maruz kalabilecek $\text{Ø}0,5$ mm'den başlayan boruları parlatmak için şekil 2.13' te verilen üç bilyeli parlatma takımları kullanılmaktadır. İlk iki bilye iş parçasını eğilmemesi için desteklerken, üçüncü bilye uygulamayı gerçekleştirmektedir. Düz ve serbest formlu yüzeyler için parlatma takımları, klasik parlatma takımlarıyla işlenemeyen karmaşık yüzeyleri işlemektedir (Şekil 2.14) (Has, 2007).



Şekil 2.11 Düz yüzeylere bilyeli parlatma uygulaması (Ecoroll, 2006; Has, 2007)



Şekil 2.12 Aynı anda ve tek geçişte parlatma yapan takım uygulamaları (Ecoroll, 2006; Has, 2007)



Şekil 2.13 Üç bilyeli parlatma takımı uygulaması (Yamasa, 2006; Has, 2007)

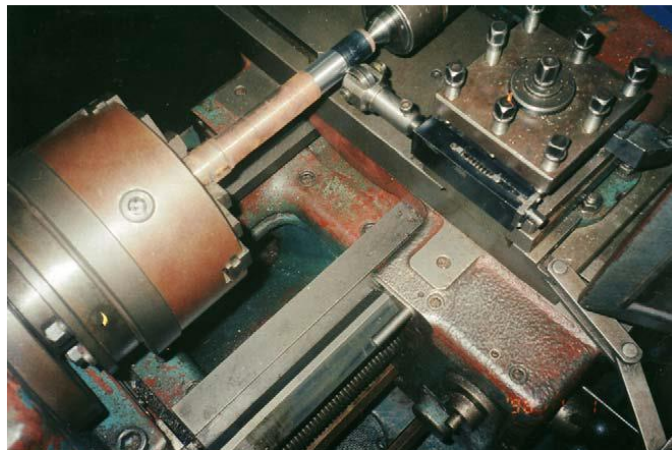


Şekil 2.14 Düz ve serbest formlu yüzeyde parlatma uygulaması (Yamasa, 2006; Has, 2007)

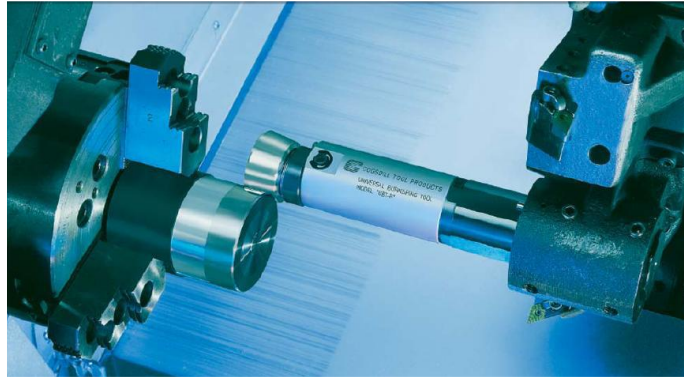
2.4.7. Makaralı parlatma

Ezerek parlatma işlemi, ön üretimden geçmiş parçaları pürüzsüz ve sert hale getiren oldukça ekonomik, hızlı ve pratik bir yüzey işleme yöntemidir. Bu yöntem ile $Ra=0,02\mu m$ kadar superfinish yüzeyler elde edilebilir. Ezerek parlatma ile aynı zamanda kalibrasyon işlemi de yapılmış olmaktadır. Bu sayede standart ve tam ölçüler elde edilebilmektedir. Bu yöntem H4, H5, H6, H7 gibi oldukça dar toleranslı iş parçalarına uygulanabilmekte ve 0,001 mm hassasiyette ölçü alınabilmesini mümkün kılmaktadır. Ezerek parlatma işlemi ile 42-45 °C Rockwell sertliğe kadar olan her türlü metalik malzemeler işlenebilmektedir (Yamasa, 2017).

Diğer yüzey bitirme işlemlerine göre makaralı parlatma işleminin avantajlarının başında uygulanabilirlik gelmektedir. Örneğin taşlama işlemi için taşlama tezgâhı ve honlama işlemleri için özel honlama tezgâhları gerekmektedir. Ama makaralı parlatma işlemi için özel tezgâhlara ihtiyaç yoktur. Parlatma takımının monte edilebildiği her makinede kullanılabilir. Numerik kontrollü tezgâhlar, klasik torna tezgâhları veya sabit bir matkap üzerine monte edilerek her türlü imalat ortamlarına uyarlanabilir. İlk yatırım maliyeti de sadece parlatma takımı maliyetinden oluştuğu için diğer bitirme işlemlerinin maliyetlerinden daha ucuz olduğu söylenebilir. (Dinçkurt, 2009).



Şekil 2.15 Klasik torna tezgahına monte edilmiş makaralı parlatma işleminin uygulanması (Hamadache vd., 2006).



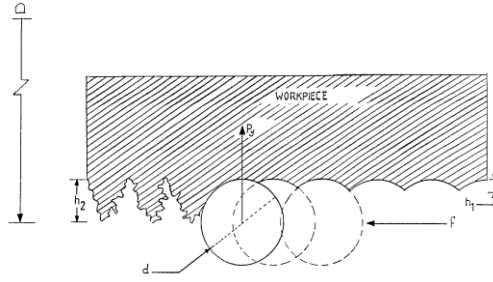
Şekil 2.16 Nümerik kontrollü bir torna tezgahında makaralı parlatma örneği (Dinçkurt, 2009).



Şekil 2.17 Manuel bir matkap tezgahında makaralı parlatma örneği (Dinçkurt, 2009).

2.4.8. Bilye ve makaralı parlatmanın malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ve sertliği üzerine etkisi

Parlatma süreci, sert bir topun veya silindirin yüksek basınçla beraber metalik yüzeye uygulanmasıyla elde edilir. Bu, metalik yüzey üzerindeki tepeleri, parlatma basıncının metalik malzemenin akma mukavemetini aşarak kalıcı olarak yüzeydeki çukurlara yaymasına neden olur (Şekil 2.18). Parlatma nedeniyle yüzey sertliğinde, aşınma direncinde, yorulma direncinde, akma ve kopma mukavemetinde ve paslanma direncinde iyileşmeler meydana gelecektir.



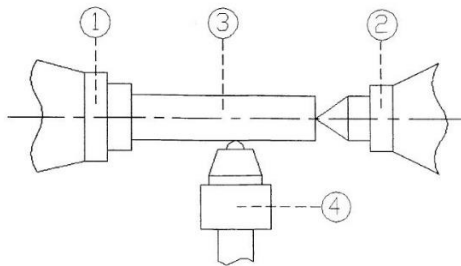
Şekil 2.18 Parlatma süreci (Hassan, 1996).

Bilye ve makaralı parlatma işleminin malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ve sertliği üzerindeki etkileri Hassan (1996) tarafından incelenmiştir. Çalışmada kimyasal bileşiği Çizelge 2.1 'de verilen ve piyasada 32 mm çapında çubuklar halinde bulunan alüminyum ve pirinç malzemeler kullanılmıştır.

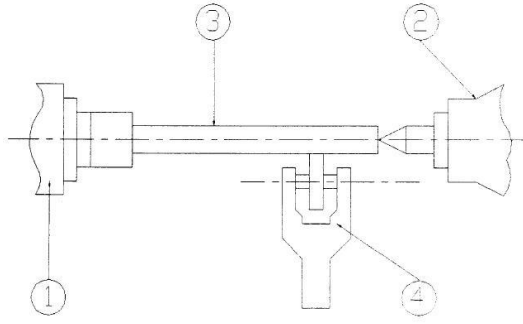
Çizelge 2.1 Çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal analizi (Hassan, 1996).

Numune	Al	Cu	Fe	Si	Mn	Zn	Sn	Pb	Ni
Brass	0.11	58.46	0.24	0.07	—	37.78	0.83	1.9	0.1
Aluminum	Geri Kalanı	5.34	0.3	0.05	0.55	0.03	—	—	—

Uygun numuneler 300 mm uzunluğunda kesilerek ve 28 mm çapına düşürülerek elde edilmiş ve birkaç bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerden bazıları bilye ile parlatma için bazıları ise silindirle parlatma için kullanılmıştır. Bir bölge ise ilk yüzey pürüzlülüğü ve sertlik ölçümü için parlatılmadan bırakılmıştır. Parlatma işlemi için 10 mm çapında bir bilye ve 13mm çapında ve 5 mm genişliğinde bir silindir kullanılmıştır. Deney için Şekil 2.19 ve Şekil 2.20 de ki gibi düzenekler kullanılmıştır.



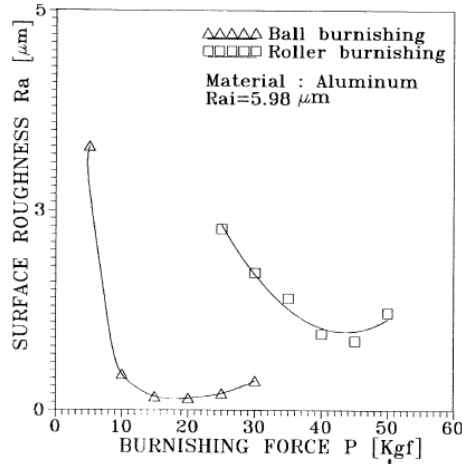
Şekil 2.19 Bilye ile ezerek parlatma düzeniği: (1) Ayna; (2) Punta başlığı; (3) iş parçası; (4) Parlatma Aparatı (Hassan, 1996).



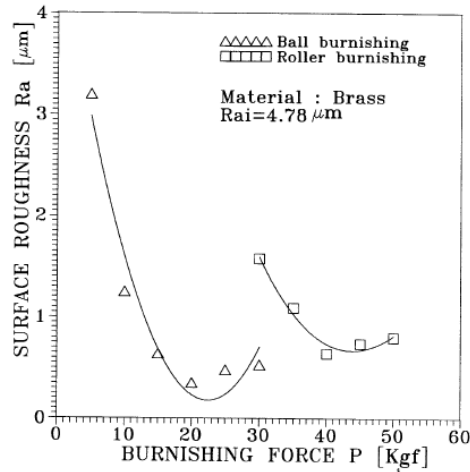
Şekil 2.20 Makaralı parlatma düzeneği: (1) Ayna; (2) Punta başlığı; (3) iş parçası; (4) Parlatma Aparatı (Hassan, 1996).

2.4.8.1. Yüzey pürüzlülüğüne parlatma kuvvetinin etkisi

Şekil 2.21 ve 2.22’ de sırasıyla alüminyum ve pirinç numunelerinde bilye veya makaralı parlatma kuvvetinin yüzey pürüzlülüğündeki etkisi gösterilmiştir. Bu şekillerdeki eğrilerden görüldüğü üzere, yüzey pürüzlülüğü artan kuvvetle birlikte bir minimum değere kadar düşmüş ve tekrar yükselmeye başlamıştır. Bu minimum değer, makaralı parlatmada daha yüksek kuvvet uygulanmasına rağmen, bilye ile parlatma da daha düşük değerde kuvvet uygulanmıştır. (Parlatma şartları: $V=20,23$ m/dk; $f=0,1$ mm/rev; $N=1$; $d_b=10$ mm; $d_r=13$ mm ($1\text{kgf}=9,91\text{N}$) olarak alınmıştır.) (Hassan, 1996).



Şekil 2.21 Parlatma kuvvetinin Alüminyum yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (Hassan, 1996).



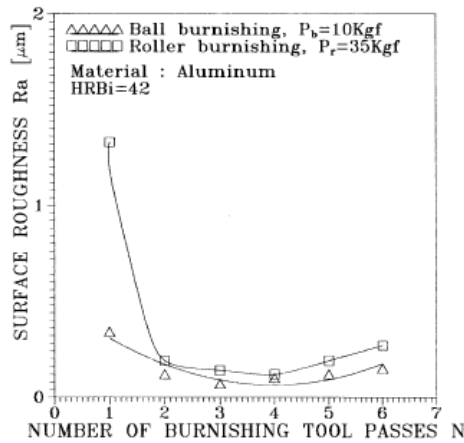
Şekil 2.22 Parlatma kuvvetinin pirinç yüzey pürüzlülüğündeki etkisi (Hassan, 1996).

Parlatma işlemlerinde minimum yüzey pürüzlülüğü elde edildikten sonra kuvvet artmaya devam ettiğinde yüzey bazı bozulmalar göstermeye başlamıştır. Bu durum artan parlatma kuvvetinin metalik yüzeyde akmaya sebep olarak plastik deformasyonu aşırı arttırmasından kaynaklanmaktadır.

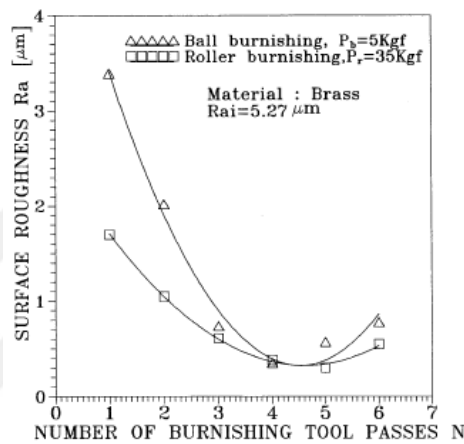
Aynı yük altında bilyenin temas yüzey alanı, makaranın temas yüzey alanından küçük olduğu için; bilye makaraya göre metal yüzeylerde daha derinlere kadar etki etmektedir. Bu bağlamda bilye ile parlatma da makara ile parlatmaya göre daha düşük kuvvetle daha düşük pürüzlülük elde edilebilmektedir (Hassan, 1996).

2.4.8.2. Yüzey pürüzlülüğünde geçiş sayısının etkisi

Parlatma araçlarının geçiş sayılarının bilye ve makara ile parlatılmış alüminyum ve pirinç malzemelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri şekil 2.23 ve şekil 2.24 deki grafiklerde gösterilmiştir. (Parlatma şartları: $V=20,23$ m/dk; $f=0,1$ mm/rev; $N=1$; $d_b=10$ mm; $d_r=10$ mm ($1\text{kgf}=9,91\text{N}$) olarak alınmıştır.) Bu grafiklerde yüzey pürüzlülüğü, parlatma aracının geçiş sayısının artmasıyla minimum değere ulaşmış ve bundan sonra geçiş sayısının daha da artmasıyla pürüzlülükte artmaya başlamıştır. Bu minimum değer, makaralı parlatmada uygulanan kuvvet daha fazla olmasına rağmen, bilye ve makara ile parlatma için birbirine yakın sonuçlar çıkmış ve bu dördüncü geçişte elde edilmiştir (Hassan, 1996).



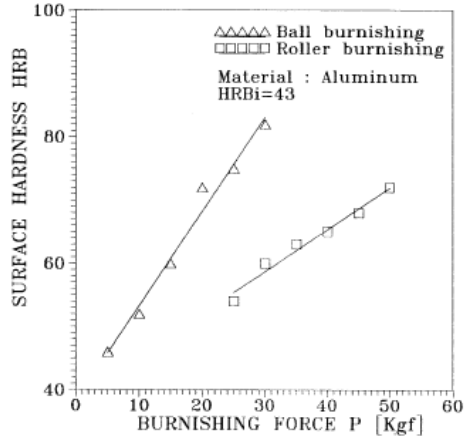
Şekil 2.23 Parlatma aracı geçiş sayısının Alüminyum yüzey pürüzlülüğündeki etkisi (Hassan, 1996).



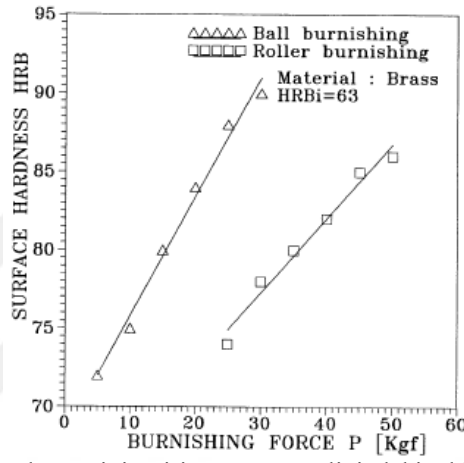
Şekil 2.24 Parlatma aracı geçiş sayısının Pirinç yüzey pürüzlülüğündeki etkisi (Hassan 1996)

2.4.8.3. Yüzey sertliğine parlatma kuvvetinin etkisi

Parlatma kuvvetinin sırasıyla alüminyum ve pirinç numunelerinin yüzey sertlikleri üzerindeki etkisi şekil 2.25 ve şekil 2.26' da gösterilmiştir. Deneydeki iki malzemede de yüzey sertliği, artan parlatma kuvvetiyle birlikte artmaktadır. Ayrıca, bu grafiklerde makaralı parlatma kuvveti daha yüksek olmasına rağmen bilye ile parlatmada daha yüksek yüzey sertlikleri elde edilmiştir. (Parlatma şartları: $V=20,23\ \text{m/dk}$; $f=0,1\ \text{mm/rev}$; $N=1$; $d_b=10\text{mm}$; $d_r=13\text{mm}$ ($1\text{kgf}=9,91\text{N}$) olarak alınmıştır.) Bilye ve makaralı parlatmada yüzey sertliğindeki artışın farklılığı, metalik yüzey içerisindeki etkisinin farklı olmasındandır. Sabit bir parlatma kuvveti altında, bilye makaraya göre daha derinleri etkileyebilir ve bilye ile numune yüzeyi arasında daha düşük temas alanı sağlayarak daha yüksek plastik deformasyona sebep olur (Hassan, 1996).



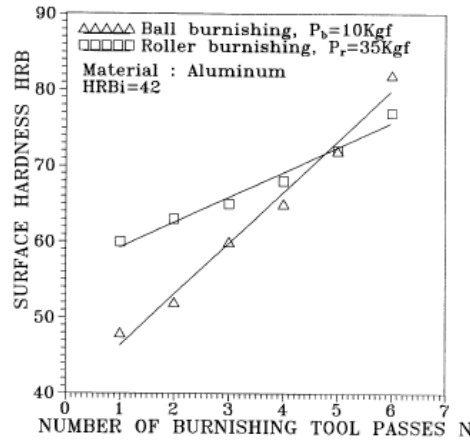
Şekil 2.25 Parlatma kuvvetinin Alüminyum yüzey sertliğindeki etkisi (Hassan, 1996).



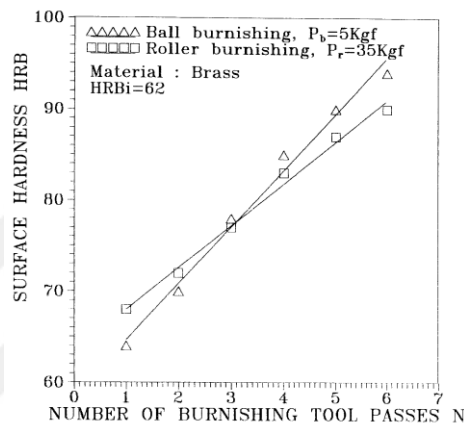
Şekil 2.26 Parlatma kuvvetinin Pirinç yüzey sertliğindeki etkisi (Hassan, 1996).

2.4.8.4. Yüzey sertliğine geçiş sayısının etkisi

Alet geçiş sayısının, bilye ve makaralarla parlatılmış alüminyum ve pirinç numunelerinin yüzey sertliği üzerindeki etkileri Şekil 2.27 ve Şekil 2.28' te sırasıyla verilmiştir. Bu şekildeki grafiklerden bilye ile parlatılmış ve makara ile parlatılmış her iki numune için yüzey sertliği, artan geçiş sayısı ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Fakat yüzey sertliğindeki artış, alüminyum numuneler için 5 ten daha fazla geçişler için, pirinç numuneler içinse 3 ten daha fazla geçişler için bilye ile parlatma da daha yüksektir. (Parlatma şartları: $V=20,23\text{m/dk}$; $f=0,1\text{mm/rev}$; $N=1$; $d_b=10\text{mm}$; $d_r=10\text{mm}$ olarak alınmıştır) (Hassan, 1996).



Şekil 2.27 Parlatma aracı geçiş sayısının Alüminyum yüzey sertliğine etkisi (Hassan, 1996).



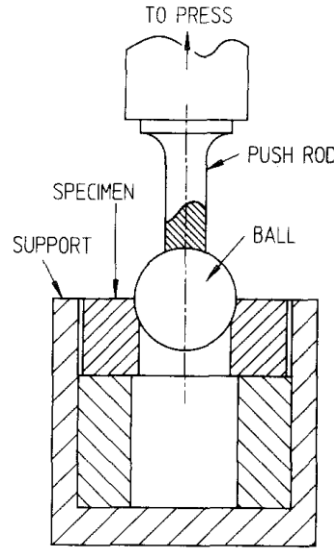
Şekil 2.28 Parlatma aracı geçiş sayısının Pirinç yüzey sertliğine etkisi (Hassan, 1996).

Yüzey sertliği, parlatma aracı geçiş sayısı ile artmakta ve metalik yüzey devamlı artan bu parametrelerle deformasyona uğramaktadır. Yüzey sertliğindeki artış, yüksek sayıda geçiş ve yüksek kuvvet değerleri altında sabit kalacaktır. Bu her metalin belli bir mukavemeti olmasından kaynaklanır. Eğer bu mukavemet değeri aşılsa metal yüzeyi içerisinde önemli çatlaklar oluşacak bu da parçalanmaya sebep olacaktır (Hassan, 1996).

2.4.9. Bilyeleme (Ballising)

Bilyeleme, delinerek, sondalanarak ve raybalama ile elde edilmiş bir deliğe uygulanan, soğuk şekillendirme işlemidir. Bilyeleme, plastik deformasyona sebep olarak sert ve pürüzsüz bir yüzey ortaya çıkarır. Bilyeleme, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için büyükçe bir topun bir deliğin içerisinde iteklenerek geçirilmesiyle kolayca yapılabilir. Bu işlem yüzeyin aşınma ve yorulma direncini iyileştirmektedir. Bilyeleme işlemi, yorulma ömrünün ve aşınma direncinin önemli olduğu otomotiv ve

havacılık ve uzay endüstrisi gibi bir sürü alanda kullanılmaktadır. Bilyeleme işlemi, yüzeyden herhangi bir talaş çıkarmaz. Bilyeleme, yüzeyde plastik bir tabaka oluşturan parlatma işlemi gibi görülebilir.



Şekil 2.29 Bilyeleme işleminin taslak görünümü (Lai ve ark., 1992).

2.4.9.1. Bilyeleme işleminde deformasyon süreci

Ballising daha dar bir delikten daha büyük çaplı bir bilyenin geçirilmesi işlemidir. Bu işlem radyal yönde plastik deformasyon oluşturur. Çelik bilyenin ilerlediği yönde herhangi bir malzeme şekil değişimi gözlenmez. Malzemenin plastik deformasyona uğramaması için minimum girişim formülü;

$$U_{\min} = \frac{(1 + \nu) \sigma \sigma R}{E 3^{1/2}}$$

U_{\min} : Minimum girişim,

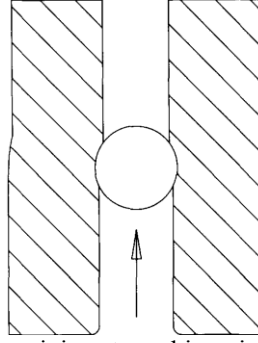
ν : Poisson oranı

$\sigma \sigma$: Akma gerilmesi

R : Başlangıç delik çapı

E : Elastisite modülü

Bu formül bilyeleme işlemine uygulandığında çıkan girişim sonuçları U_{\min} ' nin altında ise numunede plastik deformasyon oluşumu söz konusu olmamaktadır. Sadece delikte ezme meydana gelmekte ve delik elastik olarak genişledikten sonra yaylanarak eski konumuna gelmektedir (Moore, 1975).

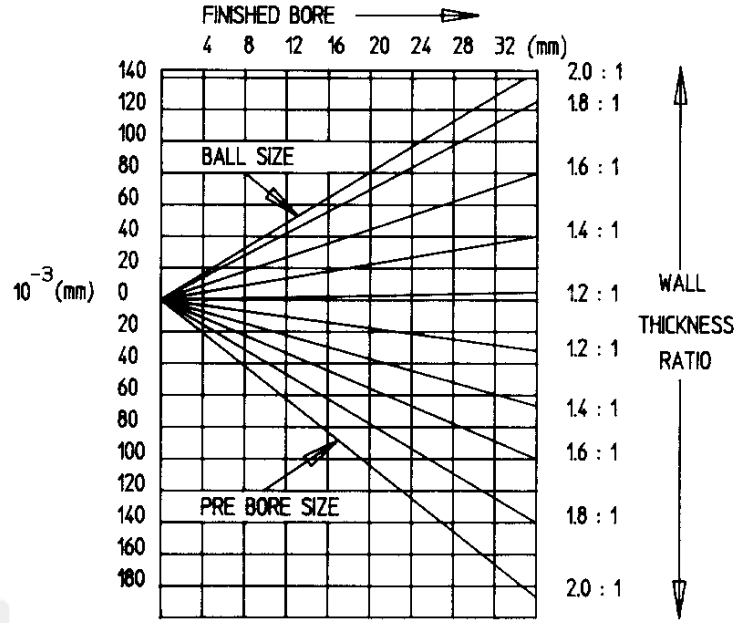


Şekil 2.30 Bilyeleme sürecini gösteren bir resim (Lai, Nee ve Oh, 1990)

Şekil 2.30' da bilyeleme süreci gösterilmiştir. Burada dar bir delikten geçen bilye dış çapta elastik veya plastik olarak şekil değişimine sebebiyet verebilmektedir. Dış çap, girişime veya duvar kalınlığına göre elastik olarak genişleyip geri yaylanarak eski haline dönebilir veya malzemenin akma sınırı aşılarak oluşan plastik deformasyondan dolayı çapta kalıcı olarak genişleme meydana gelir (Lai, Nee ve Oh, 1990).

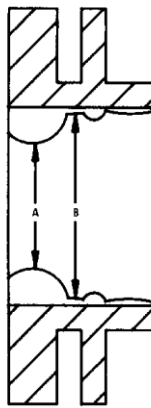
2.4.9.2. Bilyeleme kuvveti ve boyutlandırma

Şekil 2.31' de bilyeleme sonrası oluşan delik çapının tahmin edilmesine yönelik bir nomogram verilmiştir. Burada kullanılan malzeme orta karbonlu yumuşak bir çeliktir. Şekildeki dikey sütunda geri yaylanma miktarı, sıfırın altındaki çizgiler ön delik çapını, üstündekiler bilye çapını, yatay eksenler bitmiş delik çaplarını gösterirken farklı tipteki eğim çizgileri ise dış çapın iç çapa oranını veren duvar kalınlık oranlarını göstermektedir. Bu nomogram kullanılarak bilyeleme yapılmadan önce bitmiş delik çapının ve geri esnemenin ne kadar olacağı tahmin edilebilmektedir. Buradaki değerler yazarın kendi yaptığı çalışmaya ait olduğu için çelik türü, elastisite modülü ve akma dayanımına göre bu nomogram değişiklik gösterebilmektedir (Lai, Nee ve Oh, 1990).



Şekil 2.31 Son delik çapının tahmini için bir boyutlandırma nomogramı (Nee, 1986)

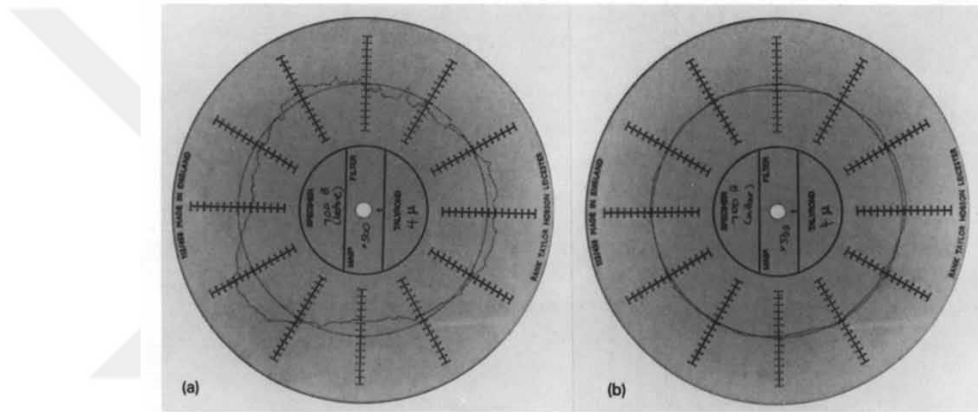
Şekil 2.32' de verilen malzemenin eşit yükseklikte fakat genişlik olarak farklı duvar kalınlığına sahip olduğu görülmektedir. Bu malzemeye bilyeleme işlemi uygulandığında duvar kalınlık miktarı geniş olan kısmın iç çapında plastik deformasyon miktarı daha fazla olurken (A), duvar kalınlık miktarının dar olan kısmında plastik deformasyon daha az olmaktadır. Yani duvar kalınlığı arttıkça iç çapta meydana gelen plastik deformasyon miktarı artmakta ve delik çapı küçüldüğü görülmektedir (Lai, Nee ve Oh, 1990).



Şekil 2.32 Parçanın eşit olmayan duvar kalınlıklarına bağlı olarak farklı bitmiş delik çaplarının oluşması (Lai, Nee ve Oh, 1990)

2.4.9.3. Yüzey özellikleri

Bilyeleme ile yapılan yüzeyler incelendiği zaman, konvansiyonel olarak işlenmiş yüzeylerden yüzey kalitesinin çok daha iyi olduğu görülmektedir. Aşağıda Şekil 2.33’ de verilen iki adet deney numunesine ait dairesellik ölçüm sonuçları görülmektedir. Konvansiyonel olarak işlenmiş delikte daireselliğin yaklaşık 12 mikrona kadar hatalı olduğu görülmektedir. Ama bilyelenmiş olan numune incelendiğinde deliğin neredeyse tam daire formunda olduğu görülmektedir. Buradan da görüleceği üzere bilyeleme işleminin deliğin daireselliği üzerine çok ciddi katkısı olduğu söylenebilir (Lai, Nee ve Oh, 1990).



Şekil 2.33 a) delinmiş bir deliğin yuvarlaklığı, b) delinmiş deliğin bilyelemeden sonraki yuvarlaklığı (Lai, Nee ve Oh, 1990)

2.4.9.4. Bilyeleme işlemi uygulanan malzemelerin davranışlarının incelenmesi

Bilyeleme, delinerek, sondalanarak ve raybalama ile elde edilmiş bir deliğe uygulanan, soğuk çalışan bir şekillendirme işlemidir. Bilyeleme, plastik deformasyona sebep olarak sert ve pürüzsüz bir yüzey ortaya çıkarır. Bilyeleme, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için büyükçe bir topun bir deliğin içerisinden iteklenerek geçirilmesiyle kolayca yapılabilir. Bu işlem yüzeyin aşınma ve yorulma direncini iyileştirmektedir.

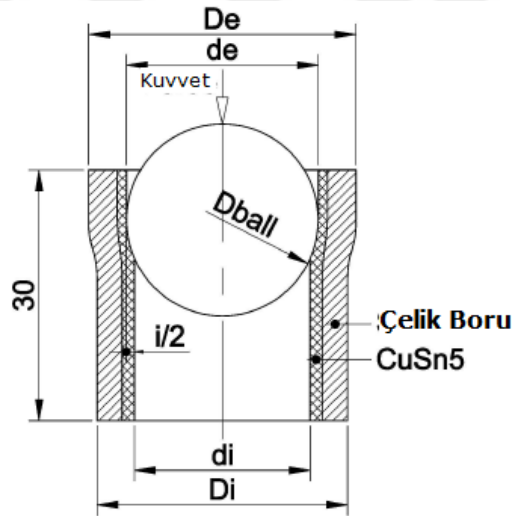
Can (2016) yapmış olduğu çalışmada, CuSn5 iç ve çelik dış kabuktan oluşan bimetal kovan şeklinde numune malzemeler kullanmıştır. Bu kovanlar, çelik bir boru içerisinde santrifüjel kalıplama ile üretilmiştir. Kimyasal içerikleri çizelge 2.2 de listelenmiş olan CuSn5 alaşımı katı partikülleri kapalı uçlu çelik borulara konmuş ve döndürülmüş ve aynı zamanda ısıtılmıştır. Eriyen alaşım çelik borunun iç yüzeyine

yayılmış ve doğal soğuma ile oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Sonra bu borular, istenilen kovan boyutlarını elde etmek için CNC döndürme makinesinde işlenmiştir.

çizelge 2.2 Alaşımın kimyasal bileşiği (wt.%) (Can, 2016)

Sn	Pb	Zn	P	Mn	Fe
4.95	0.08	0.155	0.0005	0.001	0.03
Ni	Si	Mg	Cr	Ag	Cu
0.18	0.008	0.005	0.0005	0.009	Bal

Bilyeleme prosedürü ve numune boyutları Şekil 2.34’ te gösterilmiştir. Numunelerin boyutları Tablo 2.1’ de verilmiştir. Bilyeleme seviyesinin, diğer bir ifadeyle bilye çapıyla(D_{ball}) delik iç çapı(d_i) arasındaki farkın etkisini belirlemek için deneylerde Tablo 2.1 de gösterildiği gibi 7 farklı tipte numune kullanmıştır. İlk $0 \mu\text{m}$ ’ lik numune bilyelenmemiş, imal edildiği gibi test edilmiştir.

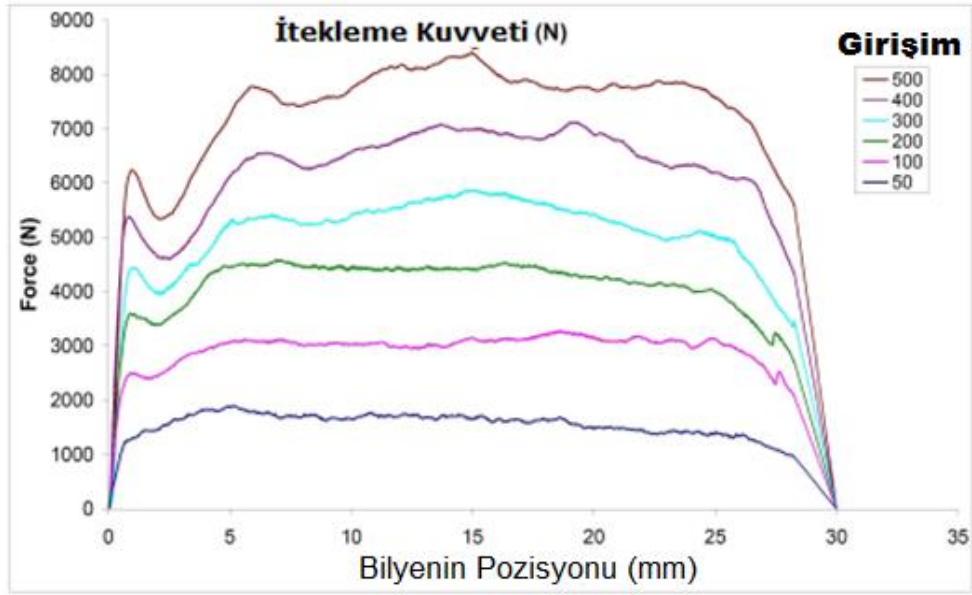


Şekil 2.34 Numunelerin kesitleri ve boyutları (Can,2016).

Tablo 2.1 Bilyelenen numunelerin boyutları (Can, 2016)

Bilyeleme		
Boyutları		Size
D_{Ball}	Topun Çapı	20 mm
d_i	Bilyeleme	I-20.0 mm
	öncesi ilk iç	II-19.95 mm
	çap	III-19.90 mm
		IV-19.80 mm
		V-19.70 mm
		VI-19.60 mm
		VII-19.50 mm
d_e	Bilyelemeden sonra deneysel iç Çap	
D_i	Bilyeleme öncesi dış çap	29.0 mm
D_e	Bilyeleme sonrası dış çap	Deneysel
i	Engel (Bilyeleme seviyesi)	0, 50, 100, 200, 300, 400, 500 μ m
	$D_{ball}-d_i$	

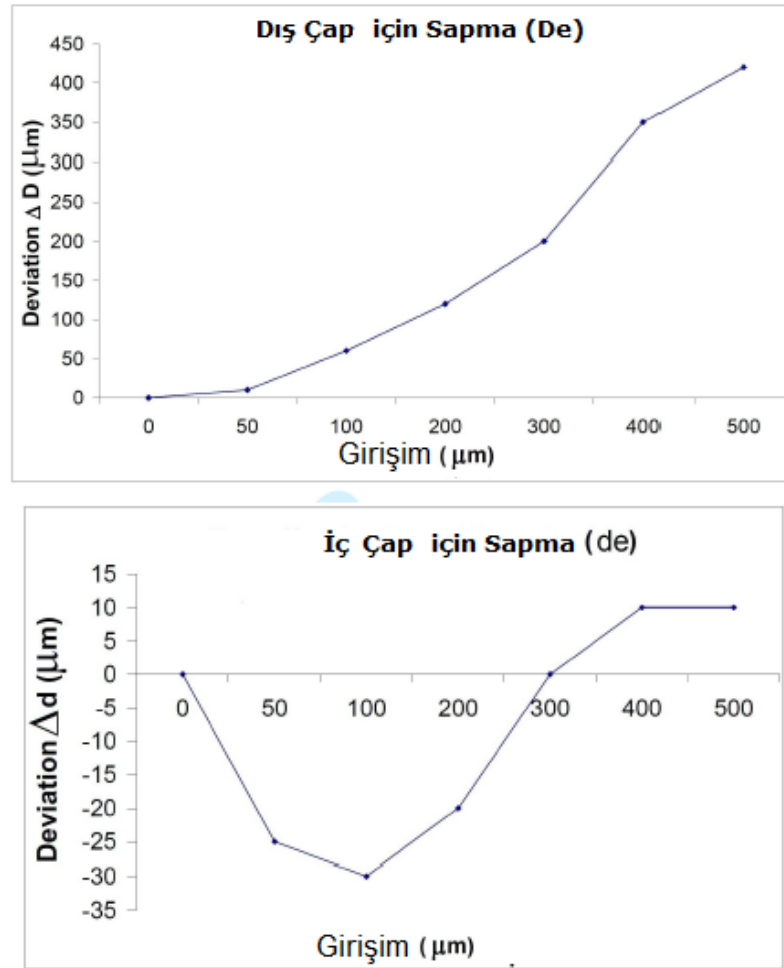
Bilyelemede itme kuvveti şekil 2.35' te gösterildiği gibi, topu iten kuvvet bilyeleme girişiminin artmasıyla artmıştır. Grafiklerin görünümü, belli alt ve üst akma noktaları gösteren sünek bir malzemenin basınç-gerilme grafiğine benzetilmiştir. Bu davranış yüksek girişim seviyesinde açıkça gözlenmektedir. Daha düşük girişimlerde akma noktası çok açık durumda değildir. Bu numunelerde, kuvvetin büyük çoğunluğu $CuSn5'$ in yüzeyini şekillendirmek için harcanırken kalan kuvvet çeliğin dış katmanını genişletmek için harcanmıştır. Yüksek girişimlerde dış çelik kabuğunda akma meydana gelmiş ve kalıcı olarak genişlemiştir. Bilyelenen deliğin kalıcı iç ve dış çapının ölçüleri şekil 2.36 (a-b) de verilmiştir. Yüksek girişimlerde, iç ve dış kabuk artan gerilmeyle birlikte plastik olarak genişlemiş ve itme kuvvetinin artmasına neden olmuştur.



Şekil 2.35 İtme kuvveti – Bilyenin pozisyonu grafiği (Can, 2016).

Bilyelemeden sonra kalıcı dış çap şekil 2.36.a. da gösterilmiştir. Maksimum dış çap artışı 500 μ m girişim seviyesiyle 29mm+420 μ m (420 μ m artmış) olmuştur. Delik 500 μ m lik girişimle genişletilmesine rağmen, çeliğin duvarı elastik şekil değişiminden dolayı geri gelmiş ve duvarın geri daralması girişim ile çap genişlemesi arasında 80 μ m lik farka (Δd) neden olmuştur.

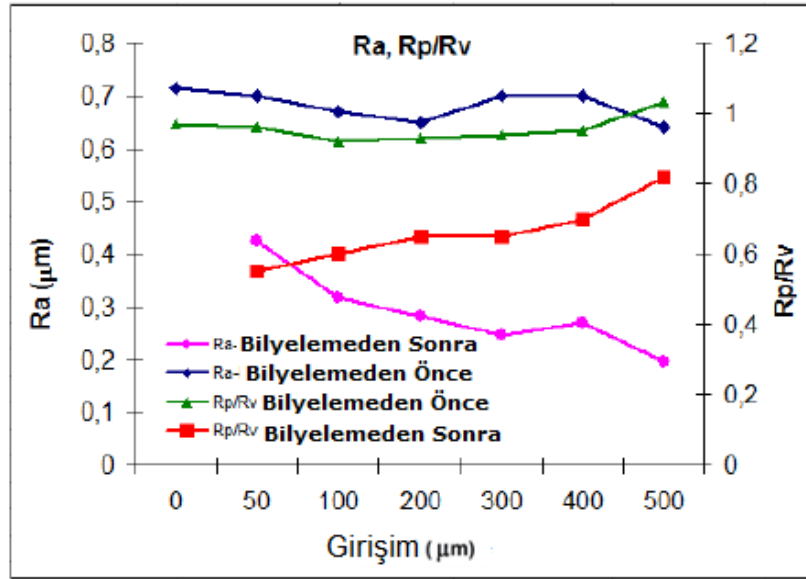
Girişimin seviyesi elastik ve plastik deformasyonu etkilemektedir. Şekil 2.36-b de verildiği gibi, bilyelenen deliklerin iç çapı artan girişim seviyesi ile birlikte artmıştır. Düşük girişimlerde deliklerin çapı bilye çapından küçük olmuştur. Yüksek seviye girişimlerde (400-500 μ m) delik çapı bilyenin çapından daha büyük(10 μ m) hale gelmiştir. Bu durum, parlatılan yüzey ile bilye yüzeyi arasındaki yağlama filmi ile açıklanabilir.



Şekil 2.36 Girişimin Dış (a) ve İç (b) çap üzerindeki etkisi (Can, 2016).

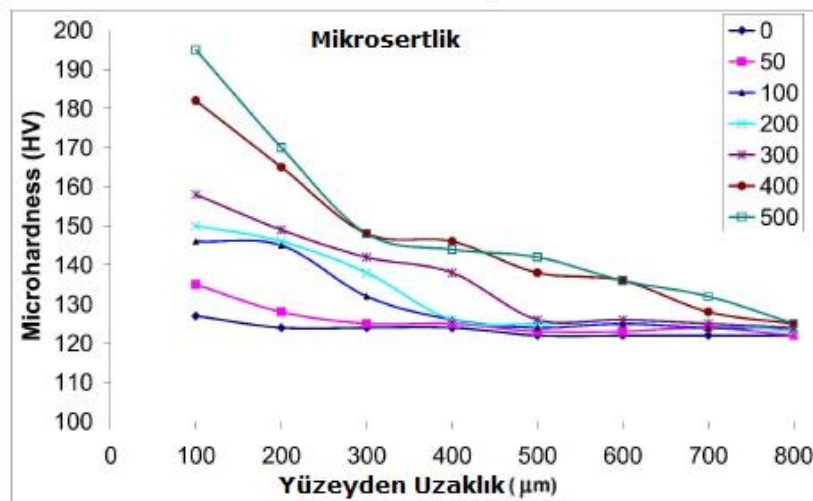
Şekil 2.37' de bilyeleme işlemi öncesi ve sonrası numunelerin yüzey pürüzlülüğü gösterilmiştir. Grafikten görülmüştür ki bilyeleme yüzey pürüzlülüğünü %70 lere kadar düşürmektedir. Girişim arttıkça, yüzey pürüzlülüğü büyük ölçüde azalmıştır. İlk yüzey pürüzlülüğü $Ra=0,7 \mu m$ seviyelerinde iken bilyelenen yüzey pürüzlülüğü neredeyse $0,2 \mu m$ 'ye düşmüştür. Bütün durumlarda yüzey pürüzlülüğü artan girişimle beraber düşmüştür. Öyle ki maksimum bilyeleme girişiminden sonra $Ra= 0,195 \mu m$ olarak ölçülmüştür.

R_p ve R_v pürüzlülük tipi değerler yüzey üzerindeki tepeleri ve çukurları ifade etmektedir. Bilyeleme işleminden önce R_p/R_v oranı neredeyse 1 iken, bilyelemeden sonra, düşük girişim seviyesinde bu oran 0,5 e düştüğü görülmüştür. Bu değişim, bilyeleme işlemi uygulanırken metalik malzemenin akma dayanımı aşıldığı için metalik yüzeydeki tepeler çukurları doldurmak için kalıcı olarak yayıldığını ifade eder. Yapılan işlemler sonunda malzemelerin yüzeyi pürüzsüzleşmiş ve plastik deformasyon nedeniyle de yüzey sertleşmiştir.



Şekil 2.37 Yüzey pürüzlülüğünde girişimin etkisi (Can, 2016).

Zımparalanmış ve parlatılmış yüzeylerde Vickers sertlik testi yapılmıştır. Bilyelemeden sonra tüm ölçüm sonuçları, modeli NDT MH-140 olan Vickers test cihazı kullanılarak 0,5 kg lık yük ve 10 saniye bekleme süresi uygulanarak alınmıştır. Burç alışımının mikro sertliğinde, girişimin etkisi şekil 2.38’ de gösterilmiştir. Bilyelemeden önce numune 1 de (0 girişimli, bilyelenmemiş), mikro sertlik 122 HV_{0.5} ortalama olarak ölçülmüştür. Bütün durumlarda, sertlik, girişim seviyesi ile birlikte artmıştır. En yüksek mikrosertlik, bilyeleme girişimi 500 µm olan numune 7’ de 196 HV olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.38 Farklı girişimlerin Penetrasyon-Mikrosertlik grafiği (Can, 2016).

2.5. Aşınma

2.5.1. Aşınmanın tanımı

Aşınma, dış etkiler altında temas yüzeylerinde meydana gelen fiziki değişmelerin sonucudur (Akkurt, 1990). Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki şartlara sahip olması gerekmektedir.

- 1) Mekanik bir etken olması,
- 2) Sürtünmenin (bağlı hareketin) olması,
- 3) Yavaş ve devamlı olması,
- 4) Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- 5) İsteğimiz dışında meydana gelmesidir.

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenler ile istenilmediği halde kopan malzeme kaybıdır. Bu şekilde yüzeylerin ilk şekilleri bozulur, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyona normal şekilde ulaşılamaz (Akkurt, 1990).

Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve kompleks bir sistem özelliği gösteren aşınma, sanayide korozyonun ve yorulmanın yanı sıra üçüncü büyük problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle günümüzdeki araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etmeye yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti korunurken enerji israfı da engellenmiş olur (Hutchings, 1992).

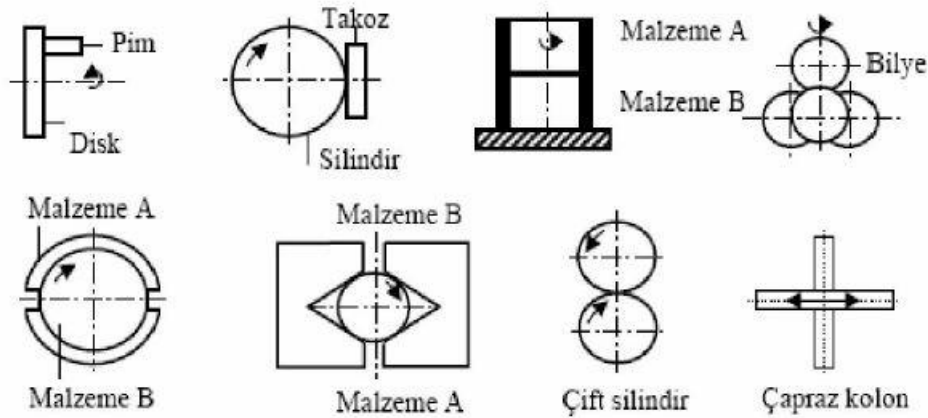
Aşınma, ne bir malzeme ve ne de bir malzemenin yüzey özelliğidir. Bilakis bir sistem özelliğidir. Bu nedenle çok değişkenli bir fonksiyon olan aşınmanın sürekli incelenmesi gerekir.

Aşınmanın başlaması ve devam edebilmesi için sürtünmenin olması gerekir. Sürtünen iki cismin temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hassas işleme yöntemleriyle bile işlenen katı malzemeler hiçbir zaman düz yüzeye sahip değildir (Cöcen ve ark., 1997).

Çünkü imalat tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkânsızdır. Yüzeyi işlemede kullanılan kesici ve yontucu araçlar ne kadar hassas hazırlanırsa hazırlansın, işlem sonucu elde edilen yüzeyde mutlaka birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler bulunur (Portakal, 1974). Yüzeylerin temas etmesi halinde ise yüzeylerdeki pürüzler birbirinden etkilenir. İlk temas birkaç pürüz tepeleri arasında oluşur. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı,

temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır. Yük arttıkça ilk temas eden pürüzler ezilerek şekil değiştirir ve bunun sonucunda kısa boyutlu yeni pürüzler birbiri ile temas etmeye başlarlar. Yüklemin temas etmesi ile de pürüz sayısı azalır ve gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşır. Temasta olan cisimlere bağlı hareket yaptırabilmek için sisteme yük ve hareket şeklinde bir enerji girer. Giriş ile çıkış arasındaki fark, mekanik titreşime, ısı, ses ve sürtünme enerjisine ve aşınmaya dönüşür (Odabaş, 1991; İpek, 1992).

Aşınmanın gerçek sistemlerde belirlenmesinin zorluğu, bir kısmı standart hale getirilmiş model cihazlarının geliştirilmesine yol açmıştır. Model cihazlarda tribo sistemini oluşturan unsurların, gerçek sisteme uygun şekilde oluşturulması, sonuçların tekrarlanabilir olması bu cihazlardan beklenen özelliklerdir. Kayma, sürtünme ve aşınma test cihazı modelleri tribolojik prensiplere göre Şekil 2.39'da şematik olarak gösterilmiştir (Yılmaz, 1997).



Şekil 2.39 Şematik kayma sürtünmesi ve aşınma test modelleri (Yılmaz, 1997).

Model aşınma test cihazlarıyla yapılan testlerin amaçları genellikle şöyle açıklanabilir;

- Sistem elemanlarının verimini, ömrünü, güvenilirliğini, fonksiyonunu, bakım yapılıp yapılmaması gerektiğini belirlemek, kalite kontrolünü yapmak,
- Malzemelerin ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarını belirlemek,
- Malzeme kayıplarını araştırmak,
- Yeni malzeme veya sürtünme ve aşınma azaltıcı yöntemler geliştirmektir.

2.5.2. Aşınma türleri

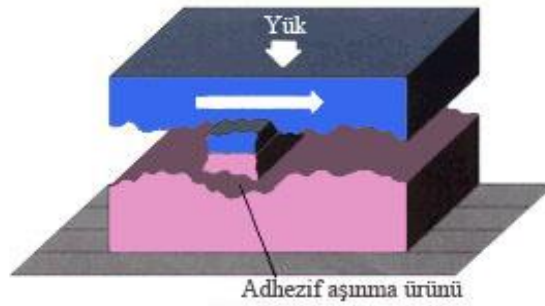
Birçok araştırmacı, malzemelerin aşınması üzerine yaptıkları çalışmalar sonucu aşınmayı farklı farklı sınıflandırmışlardır (İpek, 1992).

En genel olarak bilinenleri;

- 1) Adhesif aşınma
- 2) Abrasif aşınma
- 3) Tabaka aşınma
- 4) Korozif aşınma
- 5) Yorulma aşınma
- 6) Erozyon aşınması

2.5.2.1. Adhesif aşınma

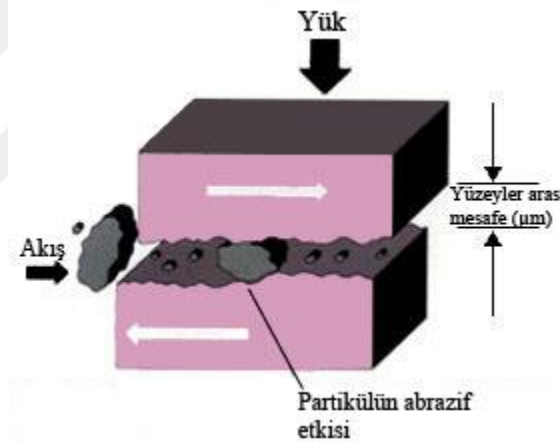
Adhesif aşınma, moleküler kuvvetlerin etkisi altındaki temas yüzeylerinde oluşan bölgesel kaynak bağlarının kırılmasıyla meydana gelir. Kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adhesif çekim kuvveti oluşması söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin birbirine yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler pürüzlerle etkileştiklerinden, metal ağırlığı veya etkiyen bir kuvvetle, temasta olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkir. Bu basınç bu noktalardaki gerilme pürüzlerinin akma sınırını aşınca plastik deformasyona, pürüzlerin birbirini çizmesine, yarmasına ve sıvanıp kaynaklanmalarına sebep olurlar. Ayrıca pürüzlerin deformasyonu ile oluşan mikro yapı adhesif temas yüzeyi boyunca yayılır. Çiftin karşılıklı hareket etmesi halinde de yüzeyde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanarak aşınma çiftinde soğuk kaynaklaşmaya neden olur. Kayma hareketi sırasında ise bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adhesif aşınmayı oluşturur (Onaran, 1985; Gürleyik, 1986; Odabaş, 1991; İpek, 1992).



Şekil 2.40 Bir Adhezif Aşınma Örneği.

2.5.2.2. Abrasif aşınma

Abrasif aşınma, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olanının, pürüzleri veya taneleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması olayına denir. Bu tarif, katı/katı, katı/mineral, katı/sıvı gibi birçok sürtünme elemanlarında meydana gelen abrasif aşınmayı kapsar (Habig, 1980; Karamış, 1986).



Şekil 2.41 Bir Abrasif Aşınma Örneği.

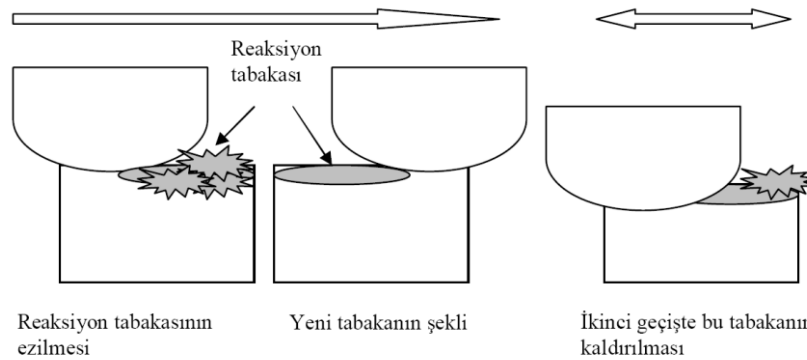
2.5.2.3. Tabaka aşınması

Temas eden iki cismin izafi hareketi sırasında, hareketin başlatılması ve devamı için gerekli kuvvet farklıdır. Bu iki sürtünme hali arasındaki direnç farkı özellikle küçük kayma hızlarında sürtünme titreşimlerinin oluşmasına neden olur. Bu titreşimler, tribolojik zorlanmalara işaretler. Tribolojik zorlanmalar sırasında bir takım olaylar meydana gelir. Temas yüzeyleri arasında küçük genlikli titreşimlerin sebep olduğu bir oksit film oluşur. Bu oluşum sürtünme ile hızlanır. Yüzeyde absorbe edilmiş bazı maddelerin reaksiyonu sonunda meydana gelen oksit tabakası da tribo oksidasyon

olarak tanımlanır. Gaz veya sıvı bir atmosferdeki oksijenin kısmi basıncı mukavemetine oksit oluşma hızı ve şekline etki eder (Tekin, 1986).

2.5.2.4. Koroziif aşınma

Temas yapısı farklı tabakaların oluşması ve sürtünme hareketi ile bu tabakaların parçalanıp yüzeylerinde oluşan mekanik yıpranmaların yanı sıra kimyasal ve elektro kimyasal tahribatların oluşmasına korozyon denir. Metal veya metal alaşımlarının çevreleri ile (katı, sıvı ve gaz ortamlar) kimyasal veya metalurjik ilişkiden dolayı yüzeylerinde aşınma sonucu meydana gelen hasara koroziif aşınma denir. Bu aşınma için gerekli şart, korozyonun ve sürtünme hareketinin olmasıdır. Koroziif aşınma, abrasif ve adhesif aşınmalar ile birlikte oluşabilir. (Tekin, 1986). Koroziif aşınma şeması Şekil 2.42' de ki gibidir.



Şekil 2.42 Koroziif aşınma şeması (Koç, 2004).

2.5.2.5. Yorulma aşınması

Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla meydana gelir. Bu olay daima yüzeyden başlar. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilimlerle etkileştiklerinde bu gerilmelerin sebep olduğu mikro çatlaklar vasıtasıyla yorulma aşınması dediğimiz pulcuklar şeklinde malzeme kopmaları meydana gelir. Bu olay esnasında iç yapıda parçalanmalar ve yırtılmalar oluşarak yüzeyde kısmi çözümler olur (Gürleyik, 1980).

2.5.2.6. Erozyon aşınması

Erozyon aşınması katı parçacıklar içeren bir akışkanın bir yüzeye çarpması sonucu oluşur. Diğer bir deyişle, belirli bir hıza sahip olan katı parçacıkların metal bir yüzeye çarptığı zaman, yüzeyin üst tabakasında malzeme kaybı meydana getiriyorsa oluşan aşınmaya erozyon aşınması denilir (Şekil 2.43). Yüzeyin üst tabakasından malzeme kaybının devam etmesi halinde kullanım yerine bağlı olarak ciddi mekanik sorunlara yol açabilir. Makine elemanlarının erozif ortamlarda bulunması durumunda yüzeylere sıvı damlaları veya katı parçacıklarının çarpması sonucu malzeme kullanım ömürleri azalmaktadır.



Şekil 2.43 Erozif aşınmanın şematik görünümü (Stokes, 2008).

Erozif proseslerin faydaları az da olsa önemlidir. Kum püskürtme metodu yüzey temizlemede kullanıldığı gibi sıvı jeti kesme işlemleri, madencilikte, tünel açma, kaya kesme, ahşap ve grafit-epoksi kompozit malzemelerin kesme işlemlerinde kullanılabilir. Ayrıca ev tesisatındaki delik açma işlerinde sıvı jetinin kullanılacağı araştırılmış, sonuç olarak olumlu ve ekonomik olabileceği tespit edilmiştir.

Mühendislik malzemelerinin sıvı damla veya katı parçacık çarpmasına karşın davranışları, büyük ölçüde o malzemenin türüne, maruz kaldığı duruma (sıcaklık, gerilme ve yüzey işlemlerine) ve erozyonun çevresel parametrelerine bağlıdır. Erozyon çevresel parametrelerinden kastedilen parçacıkların çarpma hızı, boyutları ve tipleri, çarpma açısı ve abrazyon ve korozyon gibi ikili etkilerdir.

Katı parçacıkların çarpmasıyla meydana gelen malzeme kaybı, erozyon proseslerinin en yaygın olanıdır. Bu tip erozyonla karşılaşılacak yerlerden bazıları; enerji dönüşüm sistemlerinde kömürün küçük tanecikler halinde yaygın kullanılması, jet motorlarında ve helikopter rotor kanatlarına katı parçacıkların çarpması, büyük türbinlerde oksit tabakaların kopması ve sonrasında kanatlara ve yüzeylere çarpması olarak gösterilebilir.

Katı parçacık erozyonuna ilgi son yıllarda artmıştır. Bu ilgi, kömür dönüştürme santralleri üzerinde yapılan araştırmalardan, bu sistemlerde elde edilen gelişmelerden ve santrallerin değişik donanımlarında katı parçacıkların akışını sağlamak amacıyla oluşan

ihtiyacın sonucudur. Bu parçacıkların hareketli kanatlara, valf deliklerine, boru bağlantıları ile boru dirseklerine ve diğer yüzeylere çarpmasıyla şiddetli erozyon aşınması oluşmaktadır.

Katı parçacık erozyonu yıllardır uzay havacılık sistemlerinde de sorun oluşturmuştur. Malzeme erozyonunda bazen korozyon ve çarpma erozyonu gibi başka yüzey bozulma türleri görünmektedir. Bu genellikle kömür dönüşüm sistemleri gibi yüksek sıcaklıkta ve erozif ortamda çalışan yerlerde görülür. Diğer çift etkili bozulma örneği abrazyon – erozyon durumudur. Bu durum uzay araçlarının ve füzelerin atmosfere tekrar girdiklerinde burun kısımlarında ve ısı muhafazalarında meydana gelmektedir.

Düşük ve orta hızlı katı parçacık erozyonuna maruz kalan sünek metal malzemeler önce ağırlık kaybı olmadan yüzey deformasyona uğrar sonra da malzeme kaybı prosesi meydana gelir (Bayındır, 2009).

2.6. İslah Çelikleri

İslah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımlı ve alaşımsız imalat çelikleridir. İslah işlemi, sonucunda çelik parçaya yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı, önce sertleştirme ve sonrasında menevişleme işleminin uygulanması olarak tarif edilir.

İslah çeliklerinin çeşitleri ve kimyasal bileşimlerine göre 4 ana grupta toplanabilirler;

- Alaşımsız ıslah çelikleri,
- Mangan alaşımlı ıslah çelikleri,
- Krom alaşımlı ıslah çelikleri,
- Krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri.

İslah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerden dolayı, çeşitli makina ve motor parçalar, dövme parçalar; çeşitli civata somun ve saplamalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalatında olmak üzere geniş bir alanda kullanılır. Bu sebepten, ıslah çelikleri inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra, en yüksek oranda üretilen ve kullanılan çelik türüdür. Uygun ıslah çeliğinin seçimi ve doğru ıslah işleminin

uygulanması çok dikkat ve tecrübeyi gerektirir. Islah işleminin iyi sonuç vermesi (istenilen tokluk veya sertlik değerine ulaşılması), kullanılan çeliğin içyapı temizliği ile yakından ilgilidir. İçyapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde erimiş halde bulunan gazlardan (hidrojen, oksijen ve azot) arındırılması ve oksit, sülfür kalıntılarından temizlenmesi işlemidir.

Bu grup çeliklerin alaşımsız, düşük alaşımlı ve alaşımlı cinsleri vardır. Alaşımsız olanları piyasada imalat çeliği olarak da ifade edilir. Bu çelikler makina imalat çeliklerinin en önemli bölümünü oluştururlar. Genel olarak bu tür çelikler bağlantı elemanları aks milleri şaft ve dişli imalatında kullanılırlar. Bu grup çeliklerde, sertleşebilirlik derecelerine göre düşük, orta ve yüksek sertleşebilir olarak gruplanır (Afb Metal, 2017).

AISI-4140 Çeliği, düşük alaşımlı Cr-Mo' lü islah çeliklerinin en yaygın kullanım alanına sahip olup, krom- molibden çeliği olarak bilinmektedir. AISI 4100 serisi çeliği, düşük alaşımlı yapı çelikleri, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımlı çelik olarak da isimlendirilir.

Kullanım alanları arasında, otomobil ve uçak yapımı, krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark ve bandaj vb. parçalar gelmektedir.

Ayrıca, soğuk çekme mil ve çubukları, makine çelikleri, yaylar, türbin motorları, turbo jeneratörlerin fren halka ve kolları, gemi zincir ve demirleri yapımında, demir yol tekerlekleri ve millerinde, starter dişlilerinde ve birçok yerlerde kullanılmaktadırlar (Kesti, 2009).

Tablo 2.2 AISI 4140 Çeliğinin kimyasal bileşimi (Kesti, 2009).

Element	% Ağırlık
C	0.38-0.45
Mn	0.75-1.00
P	0.035 (max)
S	0.04 (max)
Si	0.15-0.30
Cr	0.80-1.10
Mo	0.15-0.25

AISI 4140 çeliği aynı gruptan çeliklerle kıyaslandığı zaman orta derecede sertleşebilir ancak onlara kıyasla dayanım ve tokluğu ise daha iyidir. Fakat çalışma

ortamlarındaki performansı normal değerlerdedir. Yüksek karbon içeriğinden dolayı daha iyi sertleşir ve mukavemeti artar. Çekme dayanımları 1650 MPa' a kadar çıkabilir. Sertleştirme ve temperleme ısı işlemine uygundur. Çalışma ortamlarındaki dayanımı 480 °C'den sonra hızlı bir şekilde azalır. Isıl işlem ve gerilme konsantrasyonu ile çeşitli sıcaklıklarda dönüşüme uğrayabilirler (Kesti, 2009).

AISI 4140 çeliğinden yüksek dayanım istendiğinde, ısı işlem sonucu hidrojen gevrekliği oluşabilir. Ancak bu esnada hidrojen gevrekliğini önlemek ve süneklik kazandırmak için 2-4 saat 190 °C'de ısı işleme tabi tutulurlar. 540 °C'ye kadar sürünme dirençlerini korurlar. 1100- 1200 °C'de kolayca şekillendirilebilirler ve sıcak şekillendirildikten sonra yavaşça soğutulmaları gerekir. Bu çeliklerin, bu ısı işlemlerden sonra kaynak kabiliyetleri artar. Soğuk şekillendirme ile % 62 oranında şekillendirilebilirler. AISI 4140 çelikleri çubuk, merdane, levha, plaka, mil veya döküm yöntemiyle üretilip şekillendirilebilirler. Yüksek dayanımlı makine parçaları ve elemanlarında kullanılırlar (ASM, 1997).

2.7. Literatür Analizi

Literatüre bakıldığında yapılan çalışmaların yüzey pürüzlülüğü, mekanik özellikler ve aşınma üzerine olduğu görülmektedir. Ama savunma sektöründe özellikle tüfek namlularının imalatında bu şekillendirme tekniğinin kullanımına ait bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bilyeleme işleminin, AISI 4140 çeliğinden imal edilmiş tüfek namlularında talaşlı imalata göre daha hızlı bir şekillendirme tekniği olduğu ve aşınma davranışında iyileşme ve yüzey pürüzlülüğünün azaltılması amacıyla kullanılıp kullanılmayacağına tespit edilmesi, bu çalışmanın ana motivasyonunu oluşturmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma da, numunelere bilyeleme işlemi ile soğuk deformasyon yapılarak mikro sertlik, ölçüsel sapmalar, yüzey pürüzlülük ve erezyon aşınma direnci incelenmiştir. Deneylerde kullanılan numunelere ait detaylar aşağıda belirtilmiştir.

3.1. Malzeme

Deneylerde kimyasal bileşimleri karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli yükler altında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı AISI 4140 CrMo çeliği kullanılmıştır.

Tablo 3.1. 4140 Çeliğinin kimyasal bileşimi (wt.%).

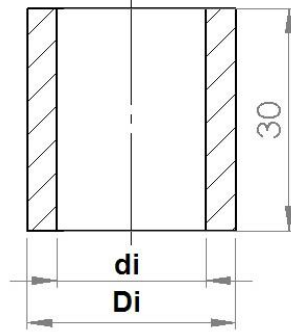
Cr	Mn	C	Si	Mo	S	P
0.80-1.10	0.75-1.00	0.38-0.45	0.15-0.30	0.15-0.25	0.04	0.035

3.2. Numune Hazırlama

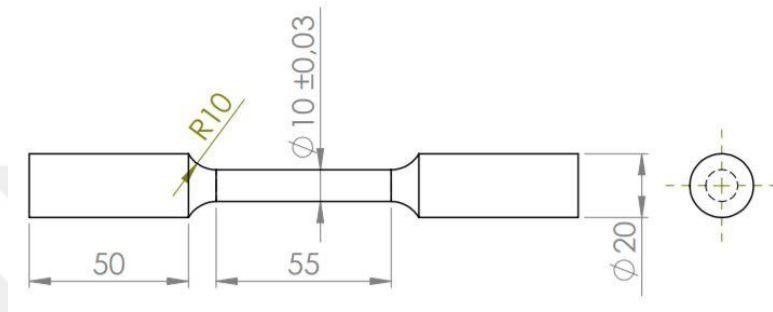
Deneylerde kullanılmak üzere AISI 4140 çeliğine ait iç ve dış çap ölçüleri Tablo 3.2' de verildiği üzere şekil 3.1' deki gibi CNC torna tezgahında 9 adet bilyeleme deney numuneleri hazırlandı. Yine AISI 4140 çeliğinden çekme testi için şekil 3.2' deki gibi deney numunesi hazırlandı. Hazırlanan numunelere bilyeleme işlemi uygulamak için 20 mm çapında 62HRC sertliğe sahip AISI 52100 (100Cr6) bilye kullanıldı.

Tablo 3.2. Hazırlanan bilyeleme deney numuneleri ölçüleri

Ballising Boyutları		Size
D_{Bilye}	Bilye Çapı	20 mm
d_i	Ballising öncesi ilk iç çap	I-20.0 mm
		II-19.95 mm
		III-19.90 mm
		IV-19.80 mm
		V-19.70 mm
		VI-19.60 mm
		VII-19.50 mm
		VIII-19.0 mm
		IX-18.50 mm
D_i	Ballising öncesi dış çap	28.0 mm



Şekil 3.1 Numunelerin kesit ve boyutları



Şekil 3.2 Çekme testi numunesi kesit ve ölçüleri.

Bilyeleme işleminin yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek için hem işlem öncesinde hem işlem sonrasında her bir numunenin 3 farklı noktasından alınan ölçülerin ortalama değerleri alınarak kaydedildi. Pürüzlülük testi şekil 3.3' te verilen Yamer Pst 200 ölçüm cihazı ile yapıldı.



Şekil 3.3 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

3.3. Numunelere Bilyeleme İşleminin Uygulanması

Numuneler şekil 3.1' de ki gibi tablo 3.2' de verilen ölçüler doğrultusunda hazırlanmıştır. Bilyeleme işlemi için Şekil 3.4a' da verilen Shimadzu AG-Xplus çekme testi makinesi kullanılmıştır. Bilye çapıyla delik iç çapı arasındaki farkın etkisini belirlemek için deneylerde 9 farklı iç çap ölçüsüne sahip numune kullanılmıştır. İç çap

ölçüsü 20mm olan numune bilyeleme işlemine tabi tutulmamıştır. Bilyeleme yüzeyi ve bilyeler bilyelemeden önce kızak yağı ile yağlanmıştır. Bilyeleme prosesi şekil 3.4b’deki gibi bilyeye çekme testi makinesinde baskı çubuğu ile kuvvet uygulanarak 6 mm/dk basma hızı ile gerçekleştirilmiş ve itekleme kuvvetleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.4 a) Shimadzu AG-XPlus çekme testi makinesi, b) Bilyeleme işleminin uygulanışı

3.4. Çekme Testi

Çekme testi numunesi AISI 4140 çeliğinden, ölçüleri şekil 3.2’de verildiği gibi hazırlandı. Çekme deneyi bilyeleme işlemindeki gibi Shimadzu AG-Xplus çekme testi makinesinde yapıldı. Malzemenin;

- Çekme gerilmesi $\sigma_{\text{çek}}=1080$ MPa,
- % kopma uzaması $\% \epsilon_{\text{kop}}=20.83$,
- Pekleşme Üsteli $n= 0.148$,
- Akma mukavemeti $\sigma_{\text{ak}}=650$ MPa,

olarak bulunmuştur.

Pekleşme üsteli, uygulanan yükler altında elastik bölgenin geçilerek kalıcı şekil değişimine uğraması ve buna bağlı olarak sertlik ve mukavemet değerinin artmasına denir. Başka bir deyişle deformasyon sırasında dislokasyon yoğunluğundaki artış ve bu

dislokasyonların etkileşimidir. Plastik şekil verilecek olan malzemenin pekleşme üstelinin de yüksek olması faydalıdır.

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n$$

σ ; akma gerilmesi

ϵ ; birim şekil değişimi

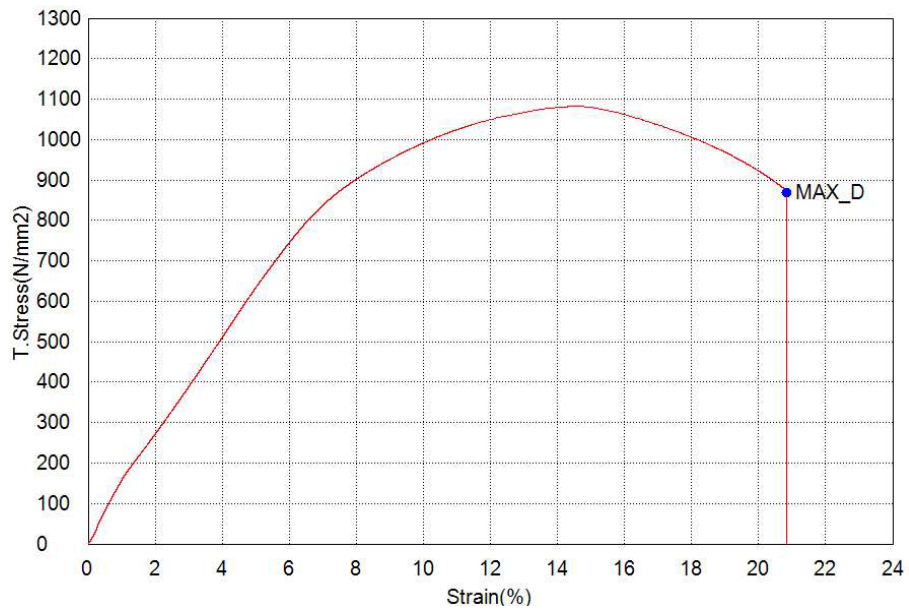
K ; mukavemet katsayısı,

n ; pekleşme üstelidir.



a

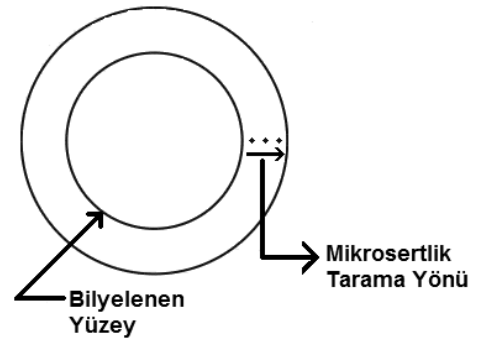
Şekil 3.5 Numunenin çekme testinden bir görünüm



Şekil 3.6 Akma gerilmesi (σ)-Birim şekil değişimi (ϵ) grafiği

3.5. Bilyelenen numunelerin mikrosertliklerinin ölçülmesi

Numunelere bilyeleme işleminin iç çaptan dış çapa doğru mikrosertlik olarak etkisini incelemek için Vickers sertlik ölçme testi yapıldı. Bu testten önce bilyeleme işlemi yapılmış numunelere metalografik prosedürlere göre 240, 400, 600 ve 1200 mesh zımparalarla zımparalama işlemi yapılmış ve daha sonra keçe ile parlatılarak mikrosertlik ölçümüne hazır hale getirilmiştir. Cihaz olarak şekil 3.7a 'daki gibi NDT MH-140 marka Vickers sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler şekil 3.7b' de verildiği gibi iç çaptan dış çapa doğru aynı doğrultuda olacak şekilde 100 μm , 200 μm , 300 μm , 400 μm , 500 μm , 600 μm , 700 μm aralıkla yapılmıştır. Yani 100 mikron aralıklarla toplam yedi ölçüm yapılmıştır. Ölçüm esnasında 0,5 kg'lık yük ve 10 saniye bekleme zamanı uygulanmıştır. Bu işlemlerin tümü dokuz numuneye de uygulanmıştır.



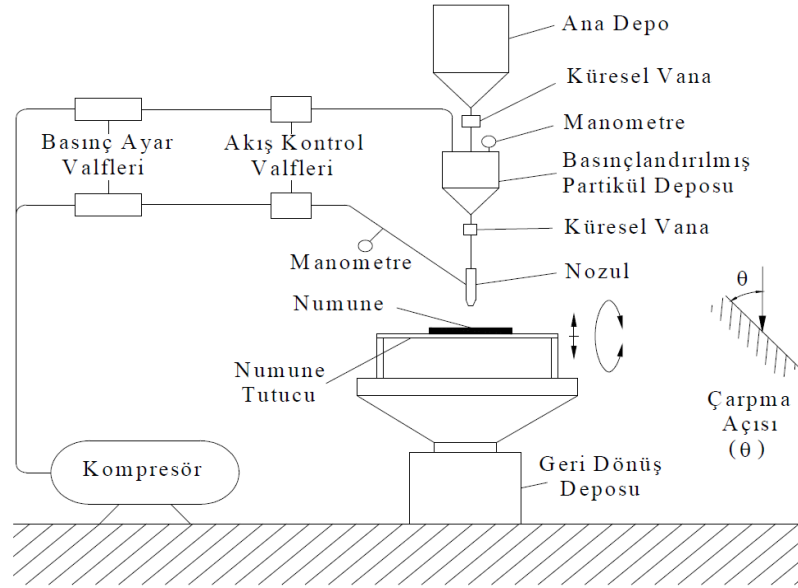
Şekil 3.7 a) Denede kullanılan Vickers sertlik ölçüm cihazı b) Mikrosertlik tarama yönü şablonu

3.6. Aşınma Deneyleri

3.6.1. Deney düzeneği

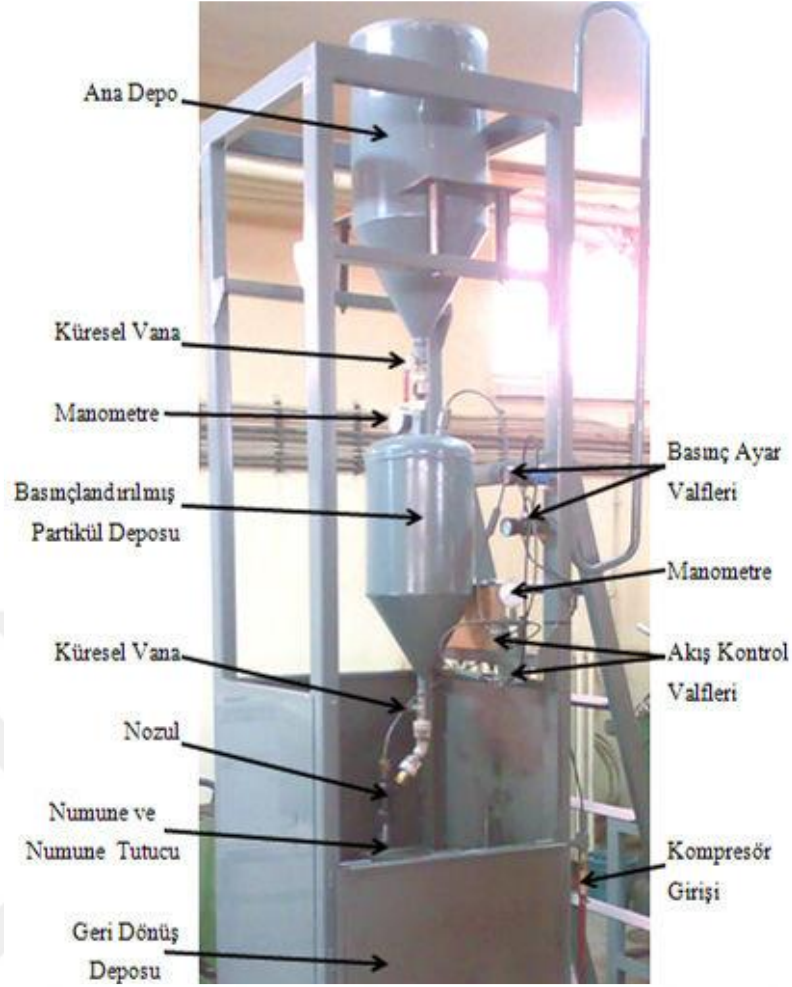
Bilyeleme işlemi ile elde edilen düşük pürüzlülük yüzeyi ile sertliğin malzemeye kazandırmış olduğu katkıları incelemek amacıyla erozif aşınma deneylerine tabi tutulmasına karar verilmiştir. Deneyde kullanılacak düzeneğe daha önce Bağcı (2010) tarafından Selçuk Üniversitesinde doktora tezi için erozif aşınma deneylerinde kullanılmak üzere özel olarak tasarlanmıştır. Şekil 3.7' de sistemin şematik görünümü verilmiştir.

Deney düzeneğinin tasarımında ilk öncelikli kriter, kompozit malzemeler başta olmak üzere çelik ve sert kaplamaların da aşınma olaylarını inceleyebilecek yeterliliğe sahip bir deney seti kurulması amaçlanmıştır. Diğer önemli parametre olarak da cihazın belli bir aşındırma gücüne sahip olmasının yanında bu gücün şiddetinin kontrol edilebilmesidir.



Şekil 3.7 Aşınma deney düzeneği şematik görünümü (Bağcı, 2010).

Deney cihazının yapılmış son hali şekil 3.8 de verilmiştir. Bu cihaz kurulum ve kullanma aşamalarında çıkabilecek sorunların kolay tespit edilebilmesi ve yerinde müdahale yapılabilmesi için kolayca montaj yapıp sökülecek şekilde imal edilmiştir.



Şekil 3.8 Aşınma deney düzeneği gerçek görünümünden bir kesit (Bağcı, 2010)

Ana parçaların birbirleri ile olan bağlantılarında kaynaklı birleştirmeler yerine boru bağlantılarında pafta ve kılavuz dişleri açılarak nipel, maşon ve redüksiyon kullanılarak bağlantı sağlanmıştır. Aşındırıcı partikül ile hava karışımının istenen sabit çıkış hızı ve sabit debide olması için karışım oranlarını kontrol altında tutmak amacıyla cihazın çeşitli noktalarına basınç ayar valfleri, akış kontrol valfleri ve manometreler yerleştirilmiştir.

3.6.2. Aşınma deney numunelerinin hazırlanması

Bilyeleme işlemi yapılmış numuneler, erozyon aşınma deneyleri için hazırlanmıştır. Bunun için, numunelerin şekil 3.8’ de verilen deney düzeneğiyle uyumlu olacak şekilde hazırlanmasına dikkat edilmiştir. Hazırlık işleminde bilyelenmiş tam daire numuneler CNC freze tezgâhında işlenerek yarım hilal şeklinde ikişer parçalara

ayrılmıştır. Numuneler işlenirken iç çap yüzey yapılarının zarar görmemesine dikkat edilmiştir. Şekil 3.9’ da hazırlanmış numunelerden bir kesit gösterilmiştir.

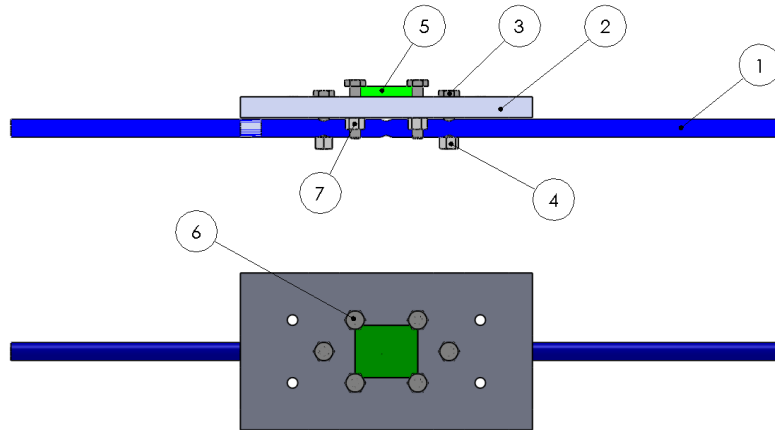


Şekil 3.9 Aşınma deneyleri için hazırlanmış numunelerden bir kesit

3.6.3. Numune tutucu düzeneği

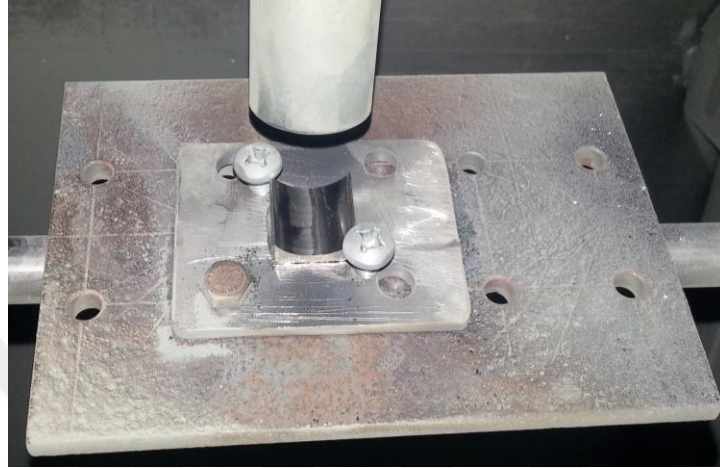
Bağcı (2010) tarafından deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, numunelerin 30°, 60°, 90° lik çarpma açılarını kontrollü bir şekilde ayarlamak ve nozul ile numune arasındaki mesafeyi net olarak belirleyebilmek için özel bir numune tutucu aparat tasarlanmıştır.

Numune tutucuların şematik resmi şekil 3.10’ da gösterilmiştir. Çarpma açısını ayarlama mili (1), üzerine numune sabitlemek için tabla (2), iki adet cıvata (3) ve somun birbirine tutturulmuştur. Numune sabitleyici tabla üzerine numuneler (5) dört adet cıvata (6) ve somunlar (7) ile bağlanmakta ve deney esnasında hareketi engellenmiştir.



Şekil 3.10 Numune tutucunun şematik gösterimi (Bağcı, 2010).

Hazırlanan deney numunelerinin (şekil 3.9), Bağcı (2010) tarafından yapılmış deney düzeneğindeki tabla üzerine (2) sabitlenmesi için ikinci küçük bir numune tutucu tasarlanmıştır (şekil 3.11). Tasarlanan bu numune tutucu ile numunelerin rahat bir şekilde sökülüp takılabilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.11 Numune tutucudan bir kesit

3.6.4. Nozul çapının seçilmesi

Farklı uygulamalar için farklı boyutlardaki nozullar kullanılıyor olup pratik testlerde 1-50 mm aralığında çaplara sahip nozullar tercih edilmektedir. Küçük çaplı nozullar numune üzerinde küçük bir aşınma alanı oluşturur ve daha az sıvı ile aşındırıcı partikül oranları kullanılır. Büyük çaplı nozullar ise iri taneli seramik gibi malzemelerde kullanılır ve daha fazla sıvı ve aşındırıcı malzeme kullanılır. Bu değerlendirmelerden yola çıkılarak deneysel çalışmada kullanılacak aşındırıcı partikülde dikkate alınarak 6 mm çapa sahip nozul kullanılmıştır. Şekil 3.12’ de nozulların takıldığı kumlama tabancasının görüntüsü verilmiştir (Bağcı, 2010).



Şekil 3.12 Deney düzeneğinde kullanılan kumlama tabancasından bir kesit (Bağcı, 2010).

3.6.5. Çarpma hızı ve açısı

Deneylerde yaklaşık olarak 400 µm ortalama çapa sahip SiC (silisyum karbür) partikül aşındırıcılar kullanılmış ve bunların numunelere çarpma açısı olarak 60° dereceye sabitlenmiştir. Literatüre bakıldığında erozyon testlerinde tabla ile nozul arasındaki dar açı püskürtme açısı olarak tabir edilmekte ve 0-90° arasında farklı açılarda test yapılmaktadır. Literatürde en fazla aşınmanın 60° derecede olduğu görülmektedir (Rodríguez and others, 2009). Bu yüzden deneylerde açı değeri olarak aşınmanın maksimum olarak gerçekleştiği 60° derece sabit olarak kabul edilmiştir. Aşınma miktarını etkileyen bir diğer faktör ise partiküllerin çarpma hızıdır. Çarpma hızları, bu aşınma deney düzeneğinde daha önce yapılan bir çalışmada double disk metodu ile belirlenmiştir. Bu belirlemeye göre 3 farklı hız elde edilmiş olup sonuçları şu şekildedir; 1 bar basınca tekabül eden hız 23 m/s, 2 bar basınca tekabül eden hız 34 m/s ve 3 bar basınca tekabül eden hız 53 m/s olarak bulunmuştur (Bağcı, 2010). Bu deneylerde de aşınmanın maksimum miktarda olması için en yüksek çarpma hızı olarak 3 bar basınca tekabül eden 53 m/s hız tercih edilmiş ve bu hıza sabitlenmiştir.

3.6.6. Deney prosedürünün işleyişi

Hazırlanan deney numuneleri ile deneylerin yapılış şekli aşağıda verilen sıraya göre, standart bir test prosedürü izlenerek yapılmıştır.

1. Bilyelenmiş silindirik deney numuneleri numune tutucuya sabitlenebilecek şekilde CNC frezede işlenerek hazır hale getirilmiştir.
2. Tüm deney numuneleri, basınçlı hava ile üzerindeki toz vb. kalıntılardan temizlenmiştir.
3. Temizliği yapılan numunelerin ilk ağırlıklarının tespiti için 10⁻⁴ gr hassasiyetteki bir hassas terazide tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir.
4. Numuneler, numune tutucudaki yerine yerleştirilmiş ve hareketini engellemek için sabitleme elemanları ile sabitlenmiştir.
5. Deneylerde numunelerin aşınma işlemlerinin gerçekleşmesi için her bir numune için 7 kg'lık aşındırıcılar (SiC) ana depoya doldurulmuştur.
6. Ana depodan aradaki küresel vana açılarak basınçlandırılmış depoya akışı sağlanmış ve küresel vana tekrar kapatılmıştır.

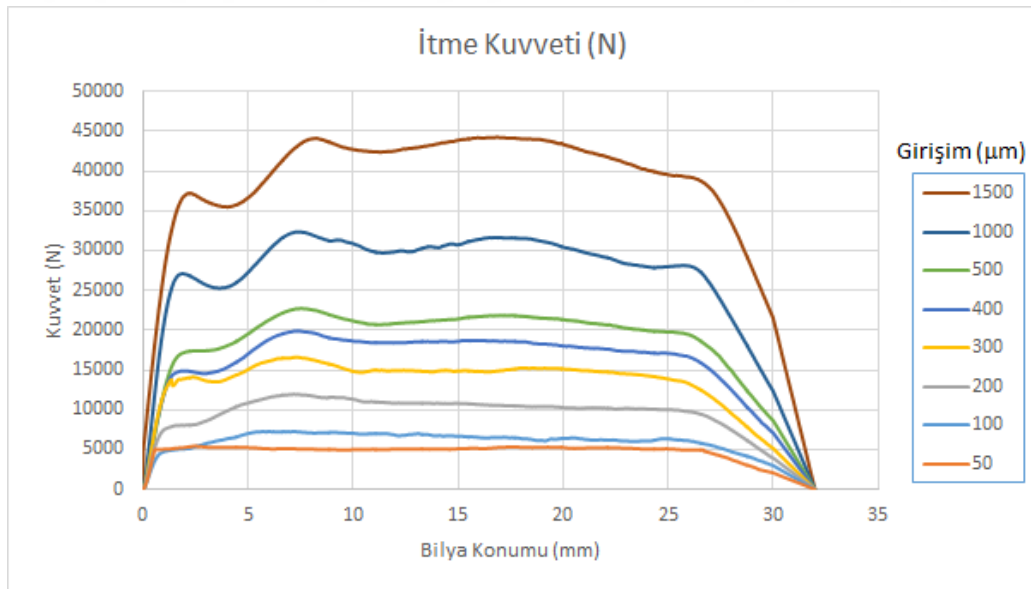
7. Sistemde kullanılan basınç ayar valfleri ile basınçlandırılmış deponun hava basıncı manometrelere bakılarak her seferinde 3 bar olacak şekilde ayarlanmıştır.
8. Nozulun girişinde, aşındırıcıların çarpma hızının 53 m/s olması için basınç ayar valfleri ve manometre yardımı ile hava basıncının 3 bar olması sağlanmıştır.
9. Basınca bağlı hız değerlerinin ayarlanmasından sonra bir defaya mahsus olmak üzere kendi ekseninde dönebilen numune tutucu 60° lik çarpma açısına ayarlanmıştır.
10. Basınçlandırılmış deponun altında bulunan küresel vana açılarak deney numunelerine aşındırıcı partiküller hava ile püskürtülmesi sağlanmıştır.
11. Deney numuneleri, numune tutucudan çıkartılarak tekrar basınçlı hava ile temizlenmiştir.
12. Numunelerin son ağırlıklarının tespiti için tekrar hassas terazi ile ölçümleri yapılmış ve çıkan sonuçlar kaydedilmiştir.
13. Her bir numune için yapılan deneyler yukarıda belirtilen şartlar altında 5 defa tekrar edilmiştir.
14. Sonuç olarak her bir deney numunesi için yukarıdaki işlemler tamamlandıktan sonra bilyeleme işleminin erozyon aşınmasına nasıl bir etki oluşturduğuna ait grafikler oluşturulmuş ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Girişim Miktarının İtme Kuvveti Üzerine Etkisi

Bilyeleme işlemine ait itme kuvveti – bilye konumu grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1 de gösterildiği gibi, bilyeyi iten kuvvet girişimin artmasıyla artmıştır. Grafiklerin görünümü, belli alt ve üst akma noktalarını gösteren sünek bir malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrisi grafiğine benzemiştir. Bu davranış yüksek girişim seviyelerinde açıkça gözlenmektedir. Daha düşük girişimlerde akma noktaları bariz olarak ortaya çıkmamaktadır. Kuvvet eğrisi incelendiğinde ilk etapta bilyenin parçaya giriş yaptığı bölgede lineer bir elastik genişleme görülürken artan bilye konumu ile plastik bir akma noktası görülmüştür. Akmadan sonra bir miktar kuvvetin arttığı gözlenmiştir. Bu artmanın sebebi pekleşmenin etkisi ile artan malzeme mukavemeti olduğu düşünülmektedir.

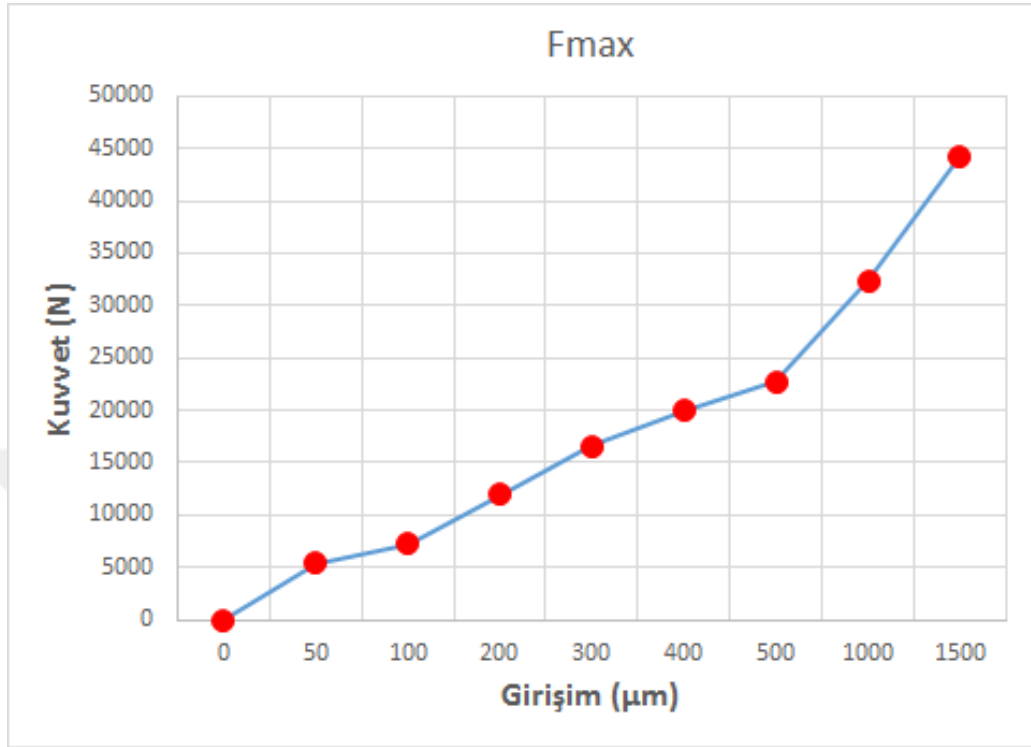
Can (2016) yapmış olduğu çalışmada, çelik bir burcun iç yüzeyine CuSn5 kaplama yaptıktan sonra farklı girişimlerde bilyeleme işlemine tabi tutmuştur. Yazarın elde ettiği kuvvet-uzama grafiği sonuçları şekil olarak yapmış olduğumuz çalışma ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.1. İtme kuvveti(N)- Bilye konum (mm) grafiği

Yüksek girişimlerde, iç ve dış kabuk artan gerilmeyle birlikte plastik olarak genişler ve itme kuvvetinin artmasına neden olur. Şekil 4.2’ de bilyelere uygulanan

maksimum itme kuvvetleri (F_{max}) verilmiştir. Girişimin büyüklüğüne göre artan plastik deformasyon miktarı ile F_{max} değerleri de artan bir eğilim göstermiştir.



Şekil 4.2 Kuvvet (N) – Girişim (µm) grafiği

4.2. Bilyeleme İşleminin İç ve Dış Çap Üzerine Etkisi

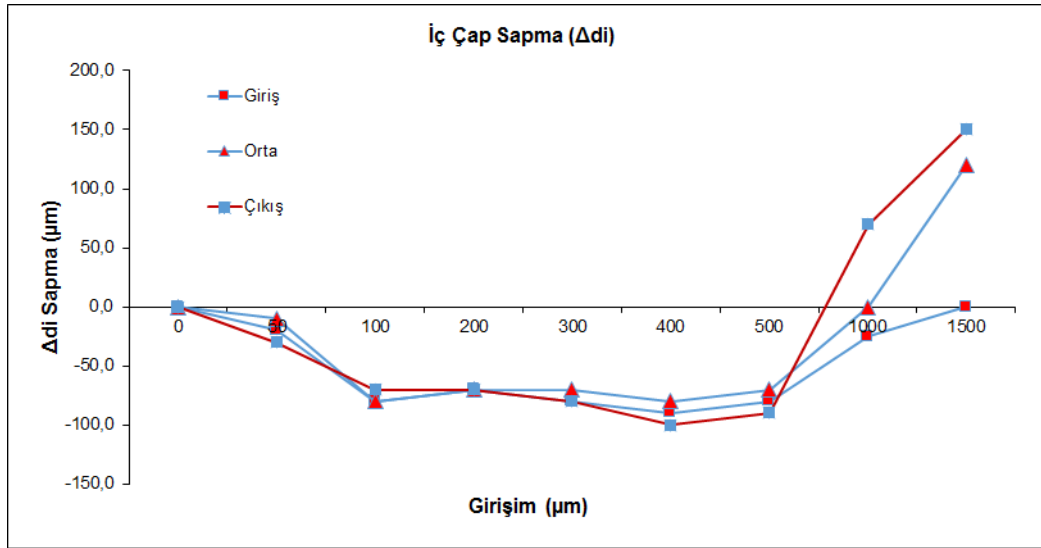
Bilyeleme işleminden sonra numunenin kalıcı iç ve dış çapının sapma ölçüleri giriş, orta ve çıkış kısmı olmak üzere şekil 4.3 ve 4.4’ te verilmiştir. Çalışmada sapma ölçülerinin belirlenmesinde referans olarak bilye çapı baz alınmıştır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: iç çapı 19,95 olan bir numunenin deliğinden çapı 20 mm olan bilye geçirildikten sonra numunenin iç çapı 20 mm olması beklenir. Ama çıkan sonuç bilye çapından düşük ise sapma negatif, büyük olur ise sapma pozitif olarak alınır. Sapma miktarı da bilye çapı ile çıkan sonuç arasındaki fark alınarak bulunur.

Dış çaptaki sapma miktarının belirlenmesinde ise numune dış çapının bilyeleme yapılmadan önceki ilk ölçüsü baz alınarak bulunur. Şöyle ki, bilyelemeden sonra ölçülen dış çaplar ilk ölçüden büyük ise pozitif, küçük ise negatif alınır. Sapma miktarı da ilk ölçü ile son ölçünün farkının alınması ile bulunur.

Şekil 4.3 te verilen iç çap sapma grafiğinin sonuçlarına bakıldığında girişim seviyesi (bilyelenmemiş numune) 0 olan numune hariç 500 µm’lik girişime kadar her

birinin iç çap ölçülerine bakıldığında bilye çapından düşük çıkmış yani negatif sonuçlar elde edilmiştir. Girişim seviyesi 1000 μm olan numunede bilye giriş kısmındaki sapma negatif olurken orta kısımda 0, çıkış kısmında ise pozitif olmuştur. Girişim seviyesi 1500 μm olan numunede ise giriş kısmında sapma 0 olurken, orta ve çıkış kısmında pozitif olmuştur. Bu iki numune de sapma sonuçlarının pozitif yöne doğru çıkmasının nedeni, girişime bağlı olarak itme kuvveti arttıkça parçanın alt kısımlarında fiçilama şeklinde dışa doğru genişlemenin meydana gelmesidir. Bu da numunenin orta ve çıkış kısmına doğru bilye çapını aşan bir çap artışına sebep olmuştur. Tüm numuneler içinde en uygun silindiriklik 200 μm girişimli numunede görülmüştür. Ama diğer numunelerin giriş, orta ve çıkış çapları arasında küçük farklar oluşurken, bu farklar girişim seviyesi 1000 μm ve 1500 μm olan numunelerde daha açık bir şekilde kendini göstermiştir. Yine bu numunelerde silindiriklik durumu çap farkının artmasından dolayı giderek bozulmuştur.

Sonuçların literatür ile kıyaslaması yapıldığında benzer davranışların görüldüğü anlaşılmaktadır. Stout (2000) girişim durumuna göre değişen silindiriklik davranışı üzerine benzer sonuçlar bulmuş ve girişimin artmasıyla ölçülerde ki sapmanın giderek arttığını belirtmiştir. Bulunan bu sonuçlar literatürle paralellik arz etmektedir.



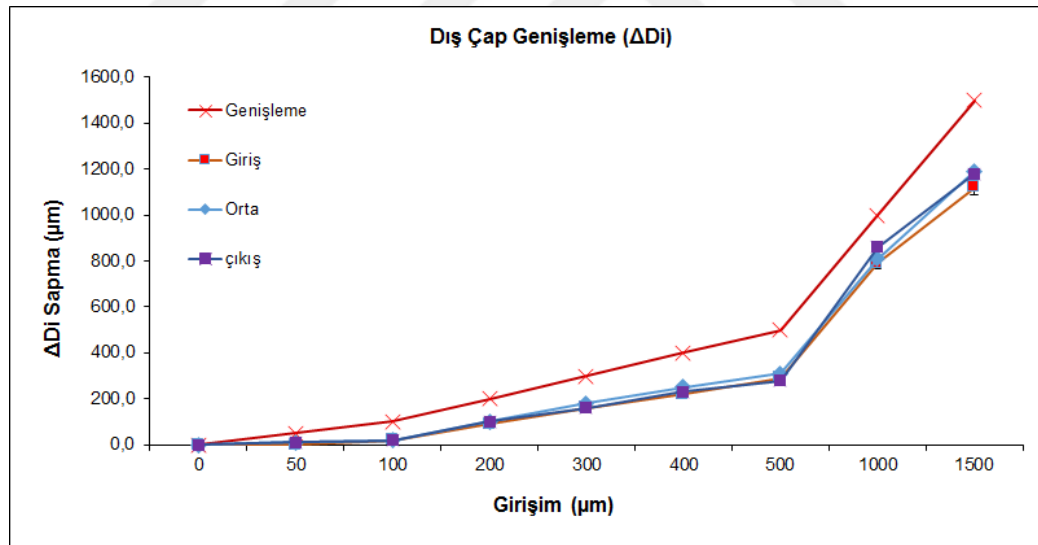
Şekil 4.3 Bilyeleme sonrası numune iç çaplarında meydana gelen sapmalar.

Şekil 4.4' te verilen dış çap genişleme grafiğinde kırmızı renkle gösterilen çizgiler, girişim seviyesine bağlı olarak bilyeleme sonrası dış çapın normalde ulaşması gereken seviye olarak gösterilmiştir. Ama sonuçların bu seviyelerden düşük çıkmasının sebepleri arasında; malzeme yüzeylerinde bilyeleme esnasında tepe noktaların ezilerek

çukurları doldurması, malzemenin elastik şekil değiştirme özelliği sayesinde çapın genişleyip bir miktar geri daralması ve malzemenin bir miktar sıkışması olarak düşünülmektedir.

Grafiğe bakıldığında (şekil 4.4) girişim seviyesi 0 olarak verilen numunede hiç bilyeleme işlemi yapılmadığı için ortalama dış çap genişlemesi sıfır olmuştur. Bilyeleme yapılan numunelerde ise dış çaptaki genişleme miktarı girişim seviyesi ile paralel bir şekilde artış göstermiştir. Bunun yanında 1000 μm ' lik girişime kadar olan numunelerde, giriş ve çıkış çapları arasında genişleme miktarı birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. Fakat 1000 μm ve 1500 μm girişimli numunelerde malzemenin giriş ve çıkış çapları arasındaki farklarda artış olmuştur. Bu durum aynı numunelerin iç çapları arasında meydana gelen fiçilama şeklindeki genişlemenin dış çaplara da yansımaları olarak açıklanabilir.

Stout (2000) Can (2016) yapmış olduğu çalışmada, girişim seviyesine göre dış çap genişleme miktarlarına bakıldığında yapmış olduğumuz çalışma ile yakın sonuçlar elde etmiştir.



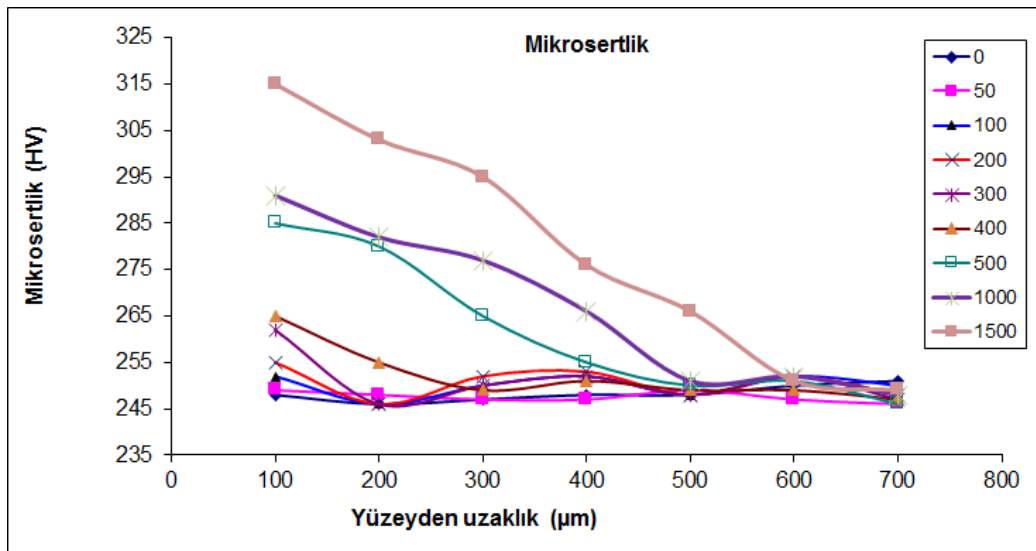
Şekil 4.4 Bilyeleme sonrası dış çapta meydana gelen genişlemeler.

4.3. Bilyeleme İşleminin Mikrosertlik Üzerine Etkisi

Bilyeleme işleminde girişimin mikrosertlik üzerine etkisi Şekil 4.5' te verilen grafikte gösterilmiştir. Girişim seviyesi sıfır olan (bilyeleme yapılmamış) numunede iç yüzeyden dış yüzeye doğru ölçülen mikrosertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu ve ortalama sertlik değeri 248 HV olduğu görülmektedir. En fazla mikrosertlik değeri 315

HV ile girişim seviyesi 1500 olan numunede ölçülmüştür. Grafikten de anlaşılacağı gibi bütün durumlarda bilyeleme yüzeyine yakın noktalarda girişimin seviyesinin artışı ile birlikte mikrosertlikte de artış meydana gelmiştir. Bununla birlikte mikrosertlik değerleri bilyeleme yüzeyinden dışa doğru uzaklaştıkça birbirine gitgide yaklaşmış ve 600 μm ve 700 μm 'den sonra tüm numuneler birbirine yakın değerlere sahip olmuştur. Malzemeye uygulanan bilyeleme işlemi bazı literatürler de malzeme sertliğini %65' lere kadar artırdığı gözlenmiştir (Can, 2016). Bu çalışmada ise mikrosertlik başlangıç değerine göre yaklaşık %21 arttığı görülmektedir. Bu sertlikteki artışın az olmasının sebebi malzemenin pekleşme üstelinin 0.15 gibi düşük bir değerde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Pekleşmenin az olmasından dolayı sertlikteki artışında beklenenden az olduğu görülmüştür.

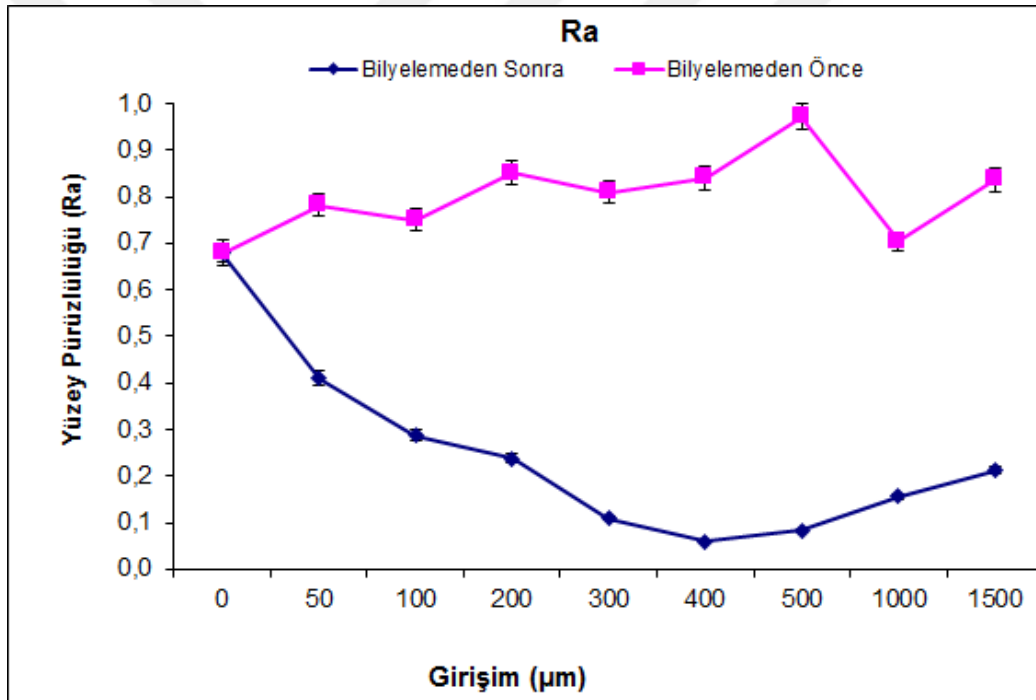
Akkurt ve Ovalı (2009) çalışmalarında, farklı delik işleme yöntemlerinin mikrosertlik üzerine etkisini incelemişler ve ezme işleminden elde edilen sonucun daha yüksek çıktığı sonucuna ulaşmışlardır. Hassan (1996) çalışmasında hem bilye hem makara ile ezerek parlatma çalışması yapmış ve ikisi arasındaki farkı karşılaştırmıştır. Çalışmasında farklı kuvvetler altında malzeme yüzeylerinde deformasyona bağlı değişen mikrosertlikleri karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın sonuçları ile yaptığımız çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında bulunan sonuçların literatürle paralellik arz ettiği söylenebilir.



Şekil 4.5 Farklı girişimlerin mikrosertlik – Penetrasyon (yüzeiden uzaklık) grafiği

4.4. Bilyeleme İşleminin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

Bilyeleme işlemi öncesi ve sonrası numunelerin yüzey pürüzlülüğü şekil 4.6 ' de gösterilmiştir. Girişim seviyesi sırasıyla 100 μm , 200 μm , 300 μm ve 400 μm olan numunelerin bilyeleme işleminden sonra yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranları gittikçe artmıştır. Girişim seviyesi 500 μm , 1000 μm ve 1500 μm olan numunelerde de yüzey pürüzlülüğünde iyileşme olmuştur. Fakat diğer numunelere göre pürüzlülük değerlerinde artan bir profil çizgisi göstermiştir. En iyi pürüzlülük değeri, girişim seviyesi 400 μm olan numunede $R_a = 0,061 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. En yüksek pürüzlülük değeri de $R_a = 0,411 \mu\text{m}$ ile 50 μm ' lik girişim seviyesine ait numunede ölçülmüştür.



Şekil 4.6 Yüzey pürüzlülüğünde girişimin etkisi

Şekil 4.7 de bilyelenen numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerindeki yüzde (%) iyileşme oranları gösterilmiştir. Girişim seviyesi 50 μm olan numunenin başlangıç yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık $R_a = 0,78 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bilyelemeden sonra ise yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık $R_a = 0,41 \mu\text{m}$ olmuştur. Yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme yaklaşık %47 civarında olmuştur. Bu durum göstermiştir ki, deneyde uygulanan en düşük girişim seviyesinde bile yüzey pürüzlülük değerlerinde neredeyse yarı yarıya iyileşme sağlanmıştır.

Girişim seviyesi 50 μm ile 400 μm arasında yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme yüzde (%) olarak artmıştır. Fakat 500 μm ve sonraki girişimlerde iyileşme oranları yüzde (%) olarak azalmaya başlamıştır. Bunun sebebi girişimin artmasıyla artan aşırı plastik deformasyon miktarının yüzeyde pürüzlülükleri ezmekten ziyade yeni yüzeyler oluşturma eğilimine geçmesi olarak yorumlanabilir.

Wang ve ark. (1998) bilyeleme işleminin malzemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, 20, 40, 80, 140 ve 200 μm lik girişimlerde bilyeleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Düşük girişimlerde malzeme yüzeylerindeki pürüzlülük değerleri daha az düşerken, girişim seviyesinin artmasına bağlı olarak pürüzlülük değerlerinin giderek daha da azaldığını tespit etmişlerdir. Sonuçlar yapmış olduğumuz çalışma ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Can (2016) çalışmasında, en iyi yüzey pürüzlülüğünü 500 μm girişimde yaklaşık $R_a = 200 \mu\text{m}$ elde etmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada ise, en iyi yüzey pürüzlülüğü 400 μm girişimde elde edilmiş ve $R_a = 0,061 \mu\text{m}$ olarak bulunmuştur. Sonuçlar olarak literatürde de belirtildiği gibi artan girişim miktarı yüzey pürüzlülüğünü düşürmektedir.

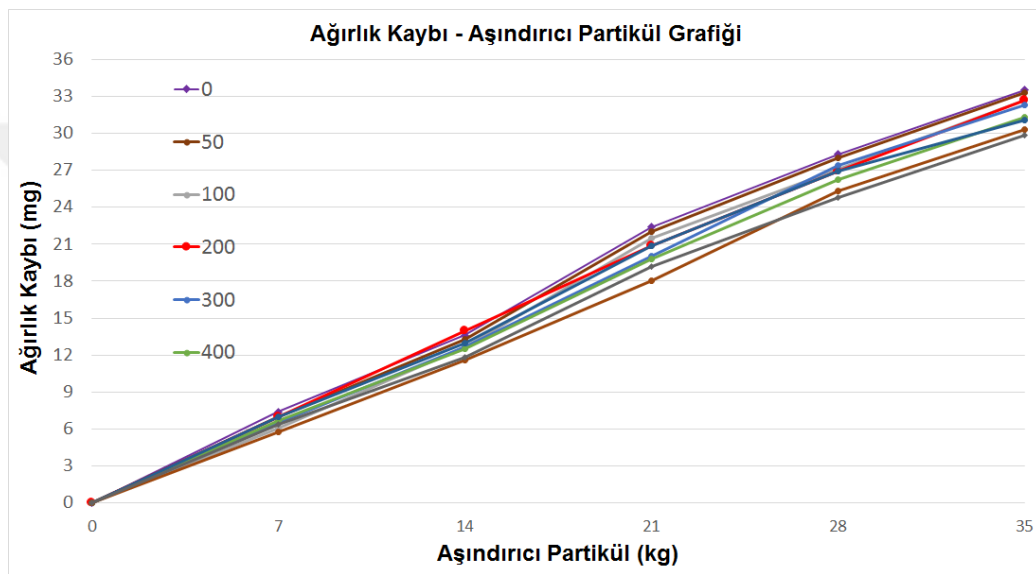


Şekil 4.7 Bilyelenmiş numunelerin yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranları (%)

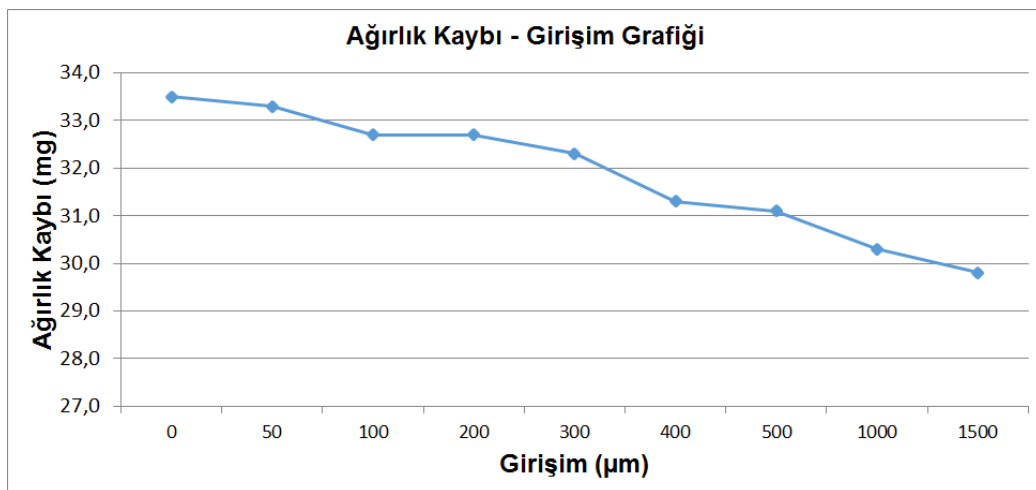
4.5. Bilyeleme İşleminin Aşınma Üzerine Etkisi

Erozyon aşınma deneylerinin sonuçları Şekil 4.8' de ki grafikte verilmiştir. Grafığe göre püskürtülen aşındırıcı partikül miktarı arttıkça malzemede oluşan malzeme

kaybı artmaktadır. Bilyeleme girişimin yani plastik deformasyon miktarının artmasıyla aşınma miktarının azaldığı görülmektedir. Ama yine de yapılan bilyeleme işleminin aşınmayı çok ciddi seviyelerde azaltmadığı görülmüştür. Bu durum girişim seviyesine bağlı olarak toplam aşınma kaybının verildiği Şekil 4.9' da ki grafikte de görülmektedir. Örneğin hiç bilyeleme yapılmamış ham deney numunesi 33,5 mg aşınırken bu aşınma miktarı 1500 mikron luk en yüksek seviyede deformasyona uğramış numunede 29,8 mg olarak gerçekleşmiştir. Bunun sebebi olarak malzemede çok ciddi bir sertlik artışının gerçekleşmediğinden kaynaklandığı ön görülmüştür.



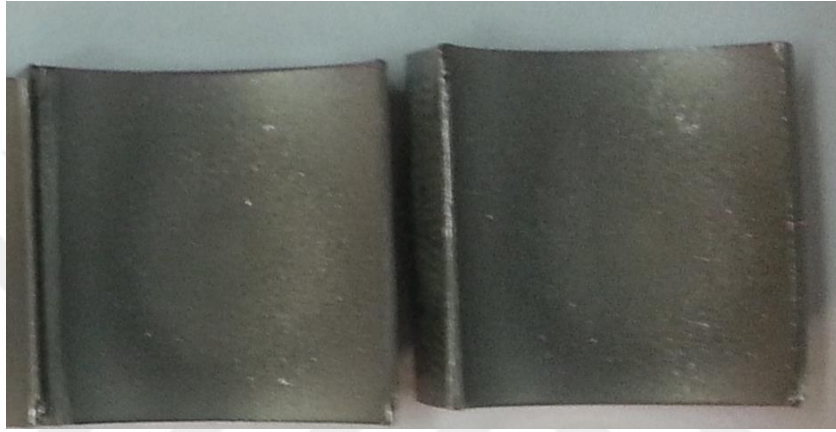
Şekil 4.8 Aşındırıcı partikül miktarının ağırlık kaybına etkisi



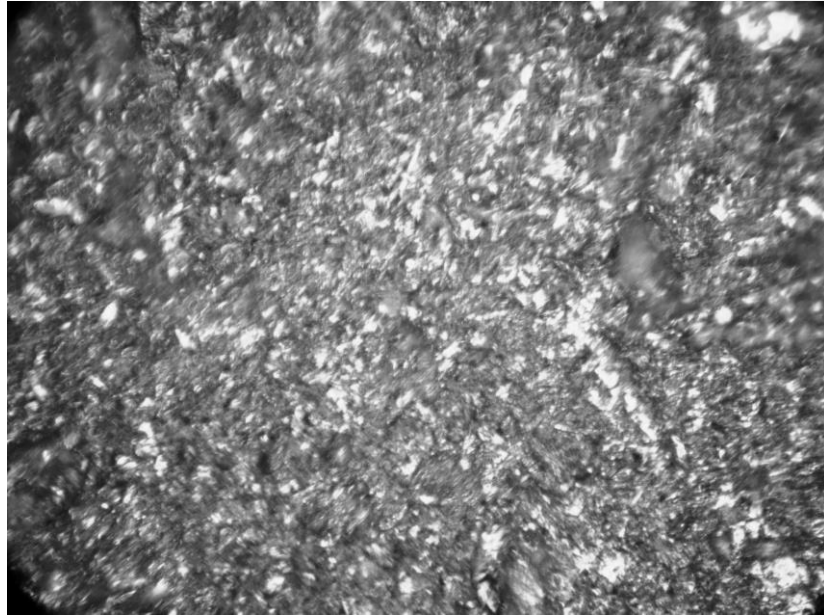
Şekil 4.9 Girişim seviyesinin toplam ağırlık kaybına etkisi

Erosif aşınma deneylerine tabi tutulmuş numunelerin makro ölçekte görünüşleri şekil 4.10' da verildiği gibi olmuştur. Yine aşınma deneyi sonrası bir numuneye ait mikro ölçekte yüzey görünümü de şekil 4.11' de verildiği gibi olmuştur.

Tee (1997) yaptığı çalışmasında girişim miktarının artmasıyla artan bir aşınma direncinden bahsetmiştir. Şekil 4.9 dan da anlaşılacağı gibi artan girişim miktarı aşınma direncinde de bir artışa sebep olarak aşınmaya bağlı malzeme kaybının azaldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar literatürle paralellik arz etmektedir.



Şekil 4.10 Aşınma deneyi yapılmış numunelerden makro ölçekte bir görünüm



Şekil 4.11 Aşınma deneyi yapılmış numuneden mikro ölçekte bir görünüm

Fotoğraf ve mikroskop görüntüleri incelendiğinde aşındırıcı kum partiküllerinin püskürtüldüğü nozul bölgesinde erozyon aşınmasının maksimum seviyede olduğu fakat eğrisel yüzeye çarparak sıçrayan aşındırıcılarında dağılırken yüzeyi aşındırmaya devam

ettiği söylenbilir. Literatürde eğrisel yüzeye erozyon aşınması yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Erozyon miktarının az çıkmasının sebebi yüzeyin eğrisel olmasından da kaynaklanabilir. Mikroskop görüntülerinde parlak yüzeyler tepe şeklinde oldukları için parlamıştır. Koyu bölgeler ise derin yarıklar şeklinde erozyon aşınmasına işaret etmektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Ezerek parlatma yöntemi, talaş kaldırma yöntemleri ile karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. Bu çalışmada da ezerek parlatma yöntemlerinden biri olan bilyeleme işleminin malzeme üzerine etkisinden elde sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- En düşük girişim seviyesi 50 μm olan numunenin yüzey pürüzlülüğünde %50' ye yakın iyileşme olmuştur.
- Yüzey pürüzlülüğünde en iyi iyileşme yaklaşık % 93 ile 400 μm girişim seviyesindeki numunede görülmüştür.
- Numuneler ilk yüzey pürüzlülükleriyle kıyaslandığında 400 μm girişime kadar olan numunelerde, iyileşme oranlarında artan bir eğilim göstermiştir. Fakat 500 μm ' den sonraki girişimlerde yüzeydeki iyileşme azalan bir eğilim göstermeye başlamıştır.
- Bilyeleme işlemi yapılmamış numunenin ilk ölçümlerin yapıldığı iç çaptan 100 mikron uzaklıktaki noktada sertlik değeri 248 HV olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde bilyeleme yapılan numuneler içinde de en yüksek sertlik değeri 315 HV ile 1500 μm girişim seviyesindeki numunede ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise 249 HV ile 50 μm girişim seviyesindeki numunede ölçülmüştür. Bu sonuçlara bakılarak bilyeleme işleminin mikrosertlik değerini ilk sonuçlara kıyasla yaklaşık olarak % 21 oranında artırmıştır.
- Numunelerin hepsinde mikrosertlik değerleri iç yüzeyden dış yüzeye doğru azalan bir eğilim göstermiştir.
- Girişim seviyesi arttıkça iç çapın sapma miktarında önce artan sonra azalan bir eğilim görülmüştür.
- Dış çapın sapma miktarı girişim seviyesinin artışına bağlı olarak sürekli artan bir eğilim göstermiştir.
- Aşınma deneylerinde maksimum aşınma miktarı bilyeleme işlemi yapılmamış numunede 33,5 mg olarak gerçekleşmiştir. Minimum aşınma miktarı ise 29,8 mg ile 1500 μm ' lik girişim seviyesindeki numunede gerçekleşmiştir

- Girişim seviyelerine göre kıyaslandığında numuneler arasındaki aşınma miktarı değişiminin çok da fazla olmadığı görülmüştür.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada tüfek namlularında kullanılan 4140 çeliğinin bilyeleme yolu ile plastik şekil değişimi ve aşınma dayanımı incelenmiştir. Bundan sonraki yapılan çalışmalarda farklı tür çeliklerin bir biriyle kıyaslamalı olarak bilyeleme işlemiyle değişen sertlik ve aşınma dayanımları kıyaslanabilir. Bu çalışmada aşındırıcı partikül hızı ve çarpma açısı sabit alınmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda açının ve aşındırıcı hızının etkisi ele alınabilir. Bilyelemenin özellikle havacılık alanında kullanılan alüminyum gibi alaşımlara uygulanması ve bunun yorulma davranışına etkisi ve kalıcı gerilmelerin de ölçülerek yorumlanması da oldukça önemli bir çalışma alanıdır.

Av tüfeği imalatı yapan firmalardan TSE kurumunun TS 870 standartları içerisinde istemiş olduğu namlu içi yüzey pürüzlülük değerleri maksimum $Ra 0,4 \mu m$ ' dir. Bu yapılan çalışma ile 4140 çeliğinin girişim seviyelerine göre yüzey pürüzlülük değerlerinde artan bir iyileşme sağladığı görülmüştür. Firmaların kendi içlerinde yapacakları az bir arge çalışması ile kendi namlu ölçülerine uygun girişim seviyesini belirleyebilirler ve bu yöntemle daha az maliyetle daha uygun yüzey pürüzlülükleri elde edebilirler. Böylelikle yüzey pürüzlülüğünü düşürmek adına yapılan çeşitli honlama zımparalama ve taşlama gibi uzun süren talaş kaldırma operasyonları elimine edilebilir. Namlu iç yüzeyi cidarında bir miktar sert bir katman oluşmasına sebep olan bilyeleme işlemi ile namludaki aşınmalarda düşürülebilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, A. ve Ovalı, İ., 2009, Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (3), 371-382.
- Akkurt, S., 1990, Poliasetalin Kuru ve Su ile Yağlama Koşullarında Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Bakımından İncelenmesi, 4. *Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, Ankara, 585 – 594.
- Afb Metal, <http://www.afbmetal.com> [Ziyaret Tarihi: 03.08.2017]
- ASM Metals Handbook, 1997. Volume 1, Properties and Selection, Iron, Steel and High Performance Alloys, Tenth Edition, Fifth Printing, Materials Park, Ohio, USA, 1063 s.
- Bağcı, M., 2010, Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışının incelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Başak, H. and Göktaş, H. H., 2009, Burnishing process on al-alloy and optimization of surface roughness and surface hardness by fuzzy logic, *Material and Design*, 30, 1275-1281.
- Bozali, U., 2015, Namlu modellenmesi ve borlanmış AISI 4140 namlu malzemesinin aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Bayındır, M. K., 2009, Katı Parçacık Erozyon Aşınmasının Alüminyum Alaşımları Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 21-22.
- Can, A., 2016, Effect of the ballising process on wear behaviour of CuSn5-steel bimetal bushings, *Journal of the Balkan Tribological Association*, Vol. 22, No 4A-I, 4495-4506.
- Chou, Y. K., 2003, Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting, *Wear*, (225), 1388–1394.
- Cöcen Ü., Belevi M. ve Önel K., 1997, Tane Silisyum Karbür Katkılı Alüminyum Bazlı Kompozitlerin Aşınma Davranışı, 7. *Denizli Malzeme Sempozyumu*, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, 155-187.
- Çapan, L., 1999, Metallerde Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Dinçkurt, O., 2009, Makaralı perdelama işleminin sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Dikmen, S., 2010, AISI 4140 AISI 1050 ve AISI 8620 çelikleri için soğutma ortamının aşınma davranışı üzerinde etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas.
- Dieter, G.E., 1986, *Mechanical Metallurgy*, Mc Graw-Hill.
- Ecoroll, 2017, <http://www.ecoroll.de>. [Ziyaret Tarihi: 5 Temmuz 2017].
- Ecoroll, 2006 <http://www.ecoroll.de>
- Fattouth, M., 1989, Some investigations on the ballizing process, *Wear*, 134(2), 209-219.
- Flores, M., Rodríguez, E., Perez, A., et al., 2009, Erosive wear by silica sand on AISI H13 and 4140 Steels, *Wear*, 267, 2109-2115.
- Fouad, Y. and El Batanouny, M., 2011, Effect of surface treatment on wear behavior of magnesium alloy AZ31, *Alexandria Engineering Journal*, 50, 19-22.
- Giglio, M. and Lodi, M., 1995, Optimization of a cold-working process for increasing fatigue life, *International Journal of Fatigue*, 31, 1978-1995.
- Gopalakrishna, H.D., Narasimha Murthy, H.N., Krishna, M., et al., 2010, Cold expansion of holes and resulting fatigue life enhancement and residual stresses in Al 2024 T3 alloy – An experimental study, *Engineering Failure Analysis*, 17, 361-368.
- Groover, M.P., 2016, *Modern imlatın prensipleri*, 4. Basımdan çeviri, Nobel Yayın Dağıtım.
- Gürleyik, M. Y., 1986, Makine Mühendisliğinde Aşınma Olayları, *Mühendis ve Makine*, Cilt 27, 3-14.
- Gürleyik, M.Y., 1980, Yıkama Aşındırması, *Mühendis ve Makine*, Cilt 311, Sayı 368, K.T.Ü. Trabzon, 25-34.
- Hassan, A. M., 1997, The effects of ball and roller burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals, *Journal of Materials Processing Technology*, 72, 385-391.
- Hamadace, H., Laouar, L., Zeghib, N. E., et al., 2006, Characteristics of Rb40 steel superficial layer under ball and roller burnishing, *Journal of Materials Processing Technology*, 180, 130-136.
- Has, E., 2007, Bilyeli perdahlama işleminin sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Has, E., 2007, Bilyeli perdahlama işleminin sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 13 İstanbul.
- Hamadache, H., Laouar, L., Zeghib, N.E. ve Chaoui, K., 2006, Characteristic of Rb40 Steel Superficial Layer Under Ball and Roller Burnsishing, *Journal of Materials Processing Technology*, 180:130-136.
- Hassan, A. M., 1996, The effects of ball and roller burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals, *Journal of Materials Processing Technology*, 72:385-391.
- Hutchings, I.M., 1992, *Tribology: Friction and wear of Engineering Materials*, London: Adward Arnold.
- Habig, K. H., 1980, Verschleiß UND Härte von Werkstoffen, *Hanser- Verlag, München- Wien, Germany*, 547-554.
- İpek R., 1992, *Makine Elemanları*, Cilt 2, İstanbul: İTÜ Matbaası, 76-79.
- Kesti, E., 2009, Ç-4140 çeliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Kayalı, E.S., Cahit E., 2000, *Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları*, İTÜ.
- Karcı, F., 2008, Soğuk deformasyon ve kaynak ısı girdisinin AISI 304 paslanmaz çelik direnç kaynak kalitesine etkisi, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Karamış, M.B., 1986, Traktör Hızı ve Pulluk Çalışma Derinliğinin Uç Demiri Aşınma Hızına Etkileri ve Optimizasyonu, 2. *Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*, ODTÜ, Gaziantep, 668 -677.
- Koç, R., 2004 Vagon Boji Bagalarına Alternatif Polimer Malzemelerin Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi (yayımlanmamış), *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 121-142.
- Kesti, E., 2009, Ç-4140 Çeliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 14-17.
- Lai, M. O., Oh, J. T. and Nee, A. Y. C., 1993, Fatigue properties of holes with residual stresses, *Engineering Fracture Mechanics*, 45(5), 551-557.
- Lai, M.O., Nee, Y.C. and Oh, J.T., 1992, Effect of residual stress on the fatigue performance of the surface of a ballised hole, *Journal of Materials Processing Technology*, 29, 301-309.

- Lai, M. O., Nee Y.C., 1993, The properties of a repeatedly ballised hole surface, *Journal of Materials Processing Technology*, 37, 149-156.
- Lai, M.O., Oh, J.T. and Nee, A.Y.C., 1990, A review of ballising: cold working and its effect on fatigue life, *Journal of Materials Processing Technology*, 23, 163-176.
- Lai, M. O. and Siew, Y. H., 1995, Fatigue properties of cold worked holes, *Journal of Materials Processing Technology*, 48, 533-540.
- Lai, M. O., Oh, J. T. ve Nee, A. Y. C., 1990, A review of ballising: cold working and its effect on fatigue life, *Journal of Materials Processing Technology*, 23, 163-176.
- Moore, D. F., 1975, Principles and applications of tribology, *Pergamon press*.
- Nee, A. Y. C., and Venkatesh, V. C., 1982, Bore finishing—The ballizing process, *Journal of Mechanical Working Technology*, 6(2-3), 215-226.
- Nee, A.Y. C., 1986, On the development of ballising nomograms, *Int. J. Mech. Tool Des. Res.*, 26(3), 293.
- Odabaş, D., 1991, Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma Davranışına Olan Etkilerin Teorik ve Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi (yayımlanmamış), *Fen Bilimleri Enstitüsü Erciyes Üniversitesi*, Kayseri, 58-76.
- Onaran, K., 1985, *Malzeme Bilgisi*, İstanbul: Çağlayan Basımevi, 87-95.
- Öncel, E., 2011, Yüzey sertleştirme işlemlerinin AISI 4140 çeliğinin yorulma dayanımına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Özkader, M. Ç., 2015, Isıl işlemlerle AISI 4140 çeliğinin abrasiv aşınmasının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çorum.
- Portakal, A., 1974, Kaymalı Düz Yataklarda Yüzey Pürüzlülüğü ve Aşınma Hızı, *Mühendis ve Makine*, Cilt 19, 400-408.
- Subaşı, M., 2006, AISI 4140 çeliğinde sertlik, yorulma dayanımı ve kalıcı gerilme ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Savaşkan T., 2004, Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, Malzeme Bilimleri Anabilim Dalı*, Trabzon.
- Stokes, J., 2008, Theory and Application of the High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Thermal Spray Process, Dublin City University, ISBN 1-87232-753-2 (ISSN 1649-8232).
- Stout K., Liam B., 2000, Three Dimensional Surface Topography, 1st Edition ISBN: 9781857180268, Huddersfield, UK, Butterworth-Heinemann, 237-240.

- Tee, K.L., Lai, M.O. and Limb, S.C., 1997, Effect of residual stress on wear of hole surfaces, *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 855-858.
- Tian, Y. and Shin, Y.C., 2006, Laser-assisted burnishing of metals, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 14-22.
- TSE TS-870, 2013, Ateşli silahlar - Yivsiz-setsiz tüfekler - Av, spor ve müsabakalar için yönetmelik
- Tekin, E., 1986, Madencilikte Kullanılan Aşınma Dayanımlı Demir Alaşımları, 2 *Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, Ankara, 401-409.
- Ün H., 2007, Pamukkale üniversitesi inşaat mühendisliği metallerde ergime ve kristalleşme ders notları.
- Wang, K. H., Blunt, L. and Stout, K. J., 1998, The 3-D characterisation of the surface topography of the ballizing process, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(5), 437-444.
- Yamato, 2017, Talaşsız İmalat& Soğuk Şekil Verme, <http://www.yamato.com.tr/index/tr> [Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2017].
- Yamasa, 2006, www.yamasa.com.
- Yamasa, 2017, <http://yamasa.com.tr> [Ziyaret Tarihi: 5 Temmuz 2017].
- Yılmaz, F., 1997, Sürtünme ve Aşınma, 9. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 229-247.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Musa Özyaman
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Beyşehir / 10.04.1990
Telefon : 0 544 825 8255
Faks :
e-mail : Musa_ozyaman825@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ali Akkanat Anadolu Lisesi, Beyşehir, Konya	2008
Üniversite	: Karabük Üniversitesi, Merkez, Karabük	2014
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	