



**FARKLI PARAMETRELERDE PERDAHLAMA
İŞLEMİNİN ALAŞIMLI ÇELİKLERİN YÜZEY
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Serkan AŞIK

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHNDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Okan ÜNAL**

**FARKLI PARAMETRELERDE PERDAHLAMA İŞLEMİNİN ALAŞIMLI
ÇELİKLERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Serkan AŞIK

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Okan ÜNAL**

**KARABÜK
TEMMUZ 2020**

Serkan AŞIK tarafından hazırlanan “FARKLI PARAMETRELERDE PERDAHLAMA İŞLEMİNİN ALAŞIMLI ÇELİKLERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİŐİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Okan ÜNAL

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu alıŐma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/07/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi A. Emrah ERDOĐDU (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KOCABAŐ (ESTÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıŐtır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Serkan AŞIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI PARAMETRELERDE PERDAHLAMA İŞLEMİNİN ALAŞIMLI ÇELİKLERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Serkan AŞIK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Okan ÜNAL

Temmuz 2020, 51 sayfa

Malzemenin yüzey özellikleri endüstride her koşulda önem arz etmektedir. Yüzey performansı ve kalitesi parçanın ömrüne doğrudan etkisi olması yüzey bitirme proseslerini önemli kılmaktadır. Yüzeylerin taşlanması ve parlatılması işlemlerinin yüzey özelliklerinde iyileştirmeler sağlamasından dolayı kullanımı oldukça fazladır. Perdahlama belirli bir kuvvet altında parça yüzeyine uygulanarak parçanın yüzey kalitesini artırabilen ezme esasına dayanan yüzey bitirme prosesidir. Soğuk olarak yapılan işlem perdah takımının iş parçasının yüzeyini plastik deformasyona maruz bırakarak yüzey özelliklerinde ve yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler sağlarken, parça yüzeyinde oluşturduğu basma artık gerilmesi sayesinde parçanın hasara uğramasınada yavaşlatmaktadır. İşlem soğuk olarak yapıldığından parçanın yapısında kimyasal değişiklik oluşturmadan sadece yüzeyi ve yüzeyin altında belirli bir kısmı etkilendiğinden parçanın kimyasal bileşimini değişikliğe uğratmadan uygulanmaktadır. İlk başlarda dar kullanım alanına sahip olan perdahlama

uygulamasının gelişen teknoloji ile kullanım alanlarında artışlar görülmüştür. Düşük maliyet ve kullanımının kolay olmasından dolayı tercih edilen yüzey bitirme prosesisidir.

Bu çalışmada perdahlama uygulaması için 3 farklı paso derinliğine sahip ve diğer parametre sabit kalarak uygulanacak şekilde parametreler belirlenmiştir. Belirlenen parametrelere göre işlemler başarılı şekilde numunelere uygulanmıştır. Perdahlama işlemlerinden sonra yüzey kalitelerini belirleyebilmek için mikroyapı analizleri, XRD, yüzey pürüzlülüğü, mikrosertlik ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Perdahlama, plastik deformasyon, artık gerilme, yüzey pürüzlülüğü

Bilim Kodu : 91414

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF BURNISHING PROCESS ON SURFACE PROPERTIES OF ALLOYED STEELS IN DIFFERENT PARAMETERS

Serkan AŞIK

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Doç. Dr. Okan ÜNAL

July, 51 pages

The surface properties of the material are always important in the industry. The surface performance and quality have a direct effect on the life of the part, therefore provides surface finishing processes importance. The use of grinding and polishing surfaces is quite common due to the improvement on surface performance. Burnishing application is a surface finishing process based on crushing which can increase the surface quality of the part by exposing the surface under a certain force. Improvements in surface properties and surface roughness by exposing the surface to plastic deformation performed by cold process slows down the damage of the part due to the surface residual stress. Since the process is carried out as cold, it is applied without altering the chemical composition of the part since only a certain part of the surface and beneath is affected without any chemical change. At the beginning, with the developing

technology, which has a narrow usage area, the application areas have increased. It is the preferred surface finishing process due to its low cost and ease of use.

In this study, the parameters have been determined to have 3 different pass depths for burnishing application and to be applied while the other parameter remains constant. The procedures were successfully applied to the samples according to the determined parameters. After the process microstructural analysis, XRD, surface roughness, microhardness and tension tests were performed to determine the surface quality.

Key Word : Burnishing, plastic deformation, residual stress, surface roughness

Science Code : 91414

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Okan ÜNAL'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Araştırmalar süresince bilgi ve tecrübeleriyle eşsiz desteklerde bulunan ve testler aşamasında yardımlarını esirgemeyen Arő. Gör. İbrahim KARADEMİR'e, Arő. Gör. Yusuf EFE'ye, Dr. Öğr. Üyesi Fazıl HÜSEM'e, Torna Operatürü Ercan TAŐKIRAN'a ve çalıőmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Karabük Belediyesi Personeline teőekkürü borç bilirim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
KISALTMALAR	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTARATÜR ÖZETİ.....	4
2.1. YÜZEY İŞLEMLERİ.....	4
2.1.1. Isıl Yüzey İşlemleri.....	4
2.1.2. Mekanik Yüzey İşlemleri	5
2.1.2.1. Bilyalı Dövme İşlemi.....	5
2.1.2.2. Lazer Dövme İşlemi.....	6
2.1.2.3. Ultrasonik Nano Kristal Yüzey Modifikasyonu	7
2.1.2.4. Makaralı Perdalama	9
2.1.2.5. Bilyeli Perdahlama.....	10
2.2. Perdahlama Prosesinin Fiziği	12
2.2.1. Plastik Şekil Değişimi.....	12
2.2.2. Yeni Pürüzlerin Oluşması.....	13
2.2.3. Perdahlamada Oluşan Artık Gerilmeler.....	14
2.3. PROSES PARAMETRELERİ VE ETKİLERİ.....	16

	<u>Sayfa</u>
2.3.1. Normal kuvvet	16
2.3.2. Hız.....	18
2.3.3. İlerleme Hızı	19
2.3.4. Paso Sayısı.....	20
2.4. PROSESİN AVANTAJLARI VE KISITLAMALARI.....	22
2.4.1. Fiziksel Özellikler.....	23
2.4.1.1. Yorulma	23
2.4.1.2. Fretting Yorulması	23
2.4.1.3. Gerilmeli Korozyon Direnci	23
2.4.2. Bitmiş Parça Yüzeyi	24
2.4.3. Tekrarlanabilirlik ve Ekonomiklik	24
BÖLÜM 3	24
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
3.1. MALZEME SEÇİMİ.....	25
3.2. PERDAHLAMA TAKIMI.....	26
3.3. NUMUNE HAZIRLAMA	27
3.3.1. Mekanik Yüzey İşlemleri Uygulanması	28
3.3.1.1. Perdahlama Parametresi Belirlenmesi	29
3.4. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI.....	30
3.5. XRD ANALİZİ	30
3.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMLERİ	31
3.7. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ	32
3.8. ÇEKME TESTİ	33
BÖLÜM 4	34
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1. MİKROYAPI ANALİZİ	34
4.2. XRD ANALİZİ	38
4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK TESTİ.....	39
4.4. MİKROSERTLİK ANALİZİ.....	40
4.5 ÇEKME TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	41

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	44
SONUÇLAR	44
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Bilyalı dövme işlemi	6
Şekil 2.2.	Lazer dövme işlemi	7
Şekil 2.3.	Ultrasonik nanokristal yüzey modifikasyonu şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.4.	Ultrasonik nanokristal yüzey modifikasyonu probu şematik gösterimi ..	8
Şekil 2.5.	Makaralı perdahlama şematik gösterimi	9
Şekil 2.6.	Makaralı perdahlama	10
Şekil 2.7.	Bilyeli perdahlama şematik gösterimi	11
Şekil 2.8.	Bilyeli perdahlama	11
Şekil 2.9.	Perdahlama işlemi şematik gösterimi	12
Şekil 2.10.	Perdahlama sırasında plastik şekil değişimi	13
Şekil 2.11.	Perdahlama işleminde oluşan yeni pürüzler	13
Şekil 2.12.	Perdahlama uygulamasında oluşan artık gerilme hali	15
Şekil 2.13.	Artık gerilme oluşumu	16
Şekil 2.14.	Kuvvetin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisi	17
Şekil 2.15.	Kuvvetin yüzey sertliği ile ilişkisi	17
Şekil 2.16.	Kuvvetin artık gerilme ile ilişkisi	18
Şekil 2.17.	Kuvvetin ve hızın yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	19
Şekil 2.18.	Kuvvetin ve hızın sertliğe etkisi	19
Şekil 2.19.	Kuvvetin ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	20
Şekil 2.20.	Kuvvetin ve ilerleme hızının sertliğe etkisi	20
Şekil 2.21.	Perdahlama hızına göre pasoların yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri ...	21
Şekil 2.22.	Perdahlama hızına göre pasoların sertliğe olan etkileri	22
Şekil 2.23.	Perdahlama hızına göre pasoların artık gerilmelerine olan etkileri	22
Şekil 3.1.	Perdahlama takımı	27
Şekil 3.2.	Perdahlama takımının teknik resmi	27
Şekil 3.3.	İşlem görmemiş AISI 4340 alaşımlı çelik numunesi.....	28
Şekil 3.4.	Numunenin teknik resmi.....	28
Şekil 3.5.	Perdahlama uygulamasının yapıldığı bölge.....	28
Şekil 3.6.	Perdahlama uygulaması	29

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.7. İşlem görmüş yüzeye dik kesit bölge.....	30
Şekil 3.8. XRD analizi yapılan bölge.....	31
Şekil 3.9. XRD cihazı.....	31
Şekil 3.10. Yüzey pürüzlülüğünün ölçüm yapılan bölge	32
Şekil 3.11. Mikrosertlik ölçümünün yapıldığı yüzey bölgesi	32
Şekil 4.1. a) İG, b) P1, c) P2 ve d) P3 numunelerinin fotoğrafları	34
Şekil 4.2. Numunelerinin kesit bölgesinden optik mikroskop görüntüleri a) P1, b) P2 ve c) P3.....	35
Şekil 4.3. Numunelerin kesit bölgesinden sem görüntüleri a) P1, b) P2 ve c)P3 ..	37
Şekil 4.4. Numunelerin kesit bölgesinden ebsd görüntüleri a) P1, b) P2 ve c)P3..	37
Şekil 4.5. İG, P1, P2 ve P3 numunelerinin xrd grafikleri	39
Şekil 4.6. İG, P1, P2 ve P3 numunelerinin sertlik grafikleri.....	41
Şekil 4.7. a) İG, b) P1, c) P2 ve d) P3 numunelerin kopma sonrası fotoğrafları ...	42
Şekil 4.8. Numunelerin gerilme-uzama grafiği.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. AISI 4340 Alaşımli çeliğın kimyasal bileşimi.....	25
Çizelge 3.2. AISI 4340 Alaşımli çeliğın mekanik özellikleri	25
Çizelge 3.3. 115CrV3 Çeliğının kimyasal bileşimi	26
Çizelge 3.4. 115CrV3 Çeliğının mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 3.5. Perdahlama prosesi uygulanma parametreleri	29
Çizelge 4.1. Uygulanan yüzey işlemlerinin yarı yükseklikteki pik genişliğini değerleri	39
Çizelge 4.2. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri	40
Çizelge 4.3. Numunelerin mukavemet-süneklik değerleri.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C : karbon

Mn : manganez

P : fosfor

S : kükürt

Si : silisyum

Cr : krom

Mo : molibden

Ni : nikel

Fe : demir

V : vanadyum

σ_e : eş değer gerilme

$\sigma_{1,2,3}$: asal gerilmeler

Ra : aritmetik ortalama sapma

Rq : aritmetik ortalama sapmaların karekökü

Rz : 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması

HV : Vickers sertliği

HB : Brinell sertliği

HRC : Rockwell sertliği

KISALTMALAR

AISI	:	American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
FWHM	:	Full Width at Half Maximum (Yarı Yükseklikteki Pik Genişliği)
BD	:	Bilyalı Dövme
LD	:	Lazer Dövme
UNYM	:	Ultrasonik Nano Kristal Yüzey Modifikasyonu
MP	:	Makaralı Perdahlama
BP	:	Bilyeli Perdahlama
İG	:	İşlem Görmemiş

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Perdahlama, bir parça yüzeyini plastik deformasyona uğratarak yüzey pürüzlülüğünün perdah takımları yardımıyla ezilerek iyileştirmeye çalışılan mekanik yüzey sertleştirme ve parlatma işlemidir. Parça yüzeyine baskı uygulanarak artık gerilme hali oluşturulup parçanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileştirmeler sağlanmaktadır.

19yy. sonlarına doğru temas mekaniği üzerine yapılan çalışmalarla birlikte, 20yy. başlarında perdahlama işleminin ilk uygulaması Amerika'da demiryolu endüstrisinde gerçekleştirilmiştir.

Perdahlama ilk başlarda sadece tren akslarının ömrünü uzatmaya yönelik işlemler esnasında kullanılmıştır. Tornalamada kullanılan perdahlamanın çok dar bir kullanım alanı olup ilk kullanıldığı dönemlerde düşük sertliğe (45 HRC) sahip metaller üzerinde yapılan çalışmalar istenilen sonuçları ortaya koymuştur. Zamanla gelişen takım ve tezgahlar sayesinde sertliği daha yüksek metallerde ve uygulama alanlarında artışlar görüldü. Perdahlama uygulaması kolay ve maliyetinin düşük olması nedeniyle ilk başlarda boru ve miller üzerinde uygulanan işlem günümüzde; otomotiv, uçak endüstrisi, makine üretimi, hidrolik ve pnömatik endüstrisi, ısıtma ve soğutma endüstrisi, savunma sanayi, sağlık ve elektronik eşyaları gibi pek çok sektörde yüzey iyileştirme, parlatma ve sertleştirme alanlarında kullanılmaya başlanmış olup kullanımı günden güne artmaktadır [1,2].

20yy. boyunca perdahlama üzerine deneysel olarak yürütülen çalışmalar 21yy. dan itibaren bilimsel olarak yapılmaya başlanmıştır [1].

Günümüzde endüstri alanında alaşımli çelikler bir çok alanda kullanılmaktadır. Alaşımli çeliklerinin karbon miktarından dolayı sertleştirilebilir olması yüksek çekme dayanımı ve tokluk göstermesinden dolayı mühendislik alanında tercih edilen malzemelerdendir.

AISI 4340 çeliği yüzey bitirme işlemleri uygulamalarına iyi sonuçlar vermesi ve kullanılabilir olması nedeniyle mühendislikte bir çok alanda tercih edilen alaşımli çeliklerdendir [3-6].

Mühendislikte makine elemanlarına etki eden yükler statik ve dinamik olarak iki başlıkta incelenmektedir. Parça üzerine uygulanan yük zamanla değişim göstermeyip sabit kalıyorsa statik yük, zamanla değişim gösteriyor ise dinamik yük olarak değerlendirilmektedir. Makine mühendisliğinde statik yüklere az rastlanılmaktadır. Makine mühendisliğinde daha çok dinamik yani değişken yüklerle karşılaşmaktadır. Makine parçaları bünyesinde kritik yük taşıyan hareketli parçalar oldukça fazla değişken yüklere maruz kalırlar. Bu etmenler sonucunda makine parçaları yorulur ve akma sınırı altındaki değerlerde hasara uğrarlar. Bu hasarlar çatlak ve parçanın kırılması şeklindedir. Yorulmadan kaynaklanan bu hasarlar makine parçalarında oldukça rastlanılan bir durumdur [7,8].

Mühendislikte makine parçalarının yorulma ömrü parçanın ömründe önemli bir etmendir. Yorulma ömrünü belirleyebilmek için bir çok araştırmalar yapılmıştır. Yorulmadan kaynaklanan hasarlar çatlak başlangıcı, çatlak ilerlemesi ve parçanın kırılması olarak 3 aşamada gerçekleşmektedir. Literatüre bakıldığında çatlak ilerlemesi konusunda bir çok çalışmalar yapılmış fakat çatlak başlangıcı ile ilgili çok az çalışmaya rastlanılmaktadır.

Yorulma makine parçalarının hasarında karşılaşılan en büyük etken olarak görülmektedir. Bu yüzden parça tasarımında dikkat edilmesi gereken parametredir [9,10].

Aşınma, mühendislikte parçaların katı yüzeylerinin temas maruz bölgelerinde nispi kaymaya bağlı olarak yüzeyden malzemenin bir şekilde kaldırılmasını ifade eden

tribolojik bir hasar türüdür. Aşınma; malzeme mekaniği, kimyasını içeren bir çok alandan etkilenebilen bir olgudur. Aşınma parçaların kullanım ömrüne etki eden kritik faktörlerden biridir. Aşınmanın parçaların mekanik tasarımlarında önceden belirlenebilmesi ve optimizasyonu endüstriyel uygulamalarda önemli bir aşamadır [11].

Perdahlama işlemi uygulanabilirliğinin kolay olması ve uygulama maliyetlerinin düşük olması dolayısıyla malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirebilme kabiliyeti gösteren iyi bir yöntemdir [1]. Malzemenin yüzey pürüzlülüğünün düşürülmesinde de iyi bir performans ortaya koymaktadır [12-17]. Son bitirme işlemi olarak parça yüzeyinde iyi bir bitirme hassasiyeti sağlayan ve parça yüzey sertliğini artırabilmesi adına kayda değer sonuçlar ortaya konulmuştur [14-16,18]. Artan kalıntı gerilmeleri ile ilişkili olarak [18,19] malzemenin aşınma direnci [19], yorulma [20] ve korozyona uğraması [21] gibi malzemenin ömrünün tahmin edilmesinde kritik öneme sahip olan özelliklerinin iyileştirerek malzemenin ömrünün uzatılmasına yardım etmektedir.

Malzeme yüzeyinde ortalama pürüzlülük ve yüzeyin sertliği yüzeyin bütünlüğünün değerlendirilmesinde en önemli parametrelerdir. Bilimsel çalışmalara bakıldığında yüzey pürüzlülüğünde perdah işleminden sonra %40 ve %90 arasında iyileşmeler görülmektedir. Malzeme yüzey sertliğinde %17 ile %60 arasında artışlar gözlemlenmektedir. Verilen bu yüzdelerin değişmesi perdahlama işlemi yapılırken uygulanan parametrelere ve üzerinde çalışılan malzemelere bağlı olarak değişiklikler göstermektedirler [14,15,21-24]. Perdahlama işlemi parametreleri üzerine literatürde çalışmalar yapılmış ve maksimum iyileşmeler sağlayan parametreler üzerine araştırmalar yapılmaya devam etmektedir.

BÖLÜM 2

LİTARATÜR ÖZETİ

2.1. YÜZEY İŞLEMLERİ

2.1.1. Isıl Yüzey İşlemleri

Mühendislik alanında kullanılan makine parçaları olabildiğince sert ve aşınmaya karşı dirençli yüzeye sahip ve bunun yanında büyük ölçüde tokluğa sahip olmalıdır. Bu şekilde bir birleşim ısıtma işlemi uygulanmış bir makine parçası için genel olarak görmek mümkün olamamaktadır. Parça yüzeyinin maksimum sertlikte olması için ısıtma işlemi uygulanmış ise parça kırılabilir olabilmektedir. Parçanın tokluğunu maksimum yapmak için ısıtma işlemi uygulanmışsa bu sefer malzeme istenildiği kadar sertliğe sahip değildir. Makine parçalarının aşınmaya maruz kalan yüzeylerinin aşınmasını en aza indirebilmek için yüzey sertleştirme işlemleri uygulanır. Yüzey sertleştirme, makine parçasının yüzeyinde belirli bir derinliğe kadar nüfuz ederek istenilen ölçüde sertleştirilmesidir. Makine parçasının işlem görmeyen iç kısmı orijinal sertliğindedir. Örnek olarak dişli çarklar ve burulmaya maruz kalan miller ve sürtünmenin oldukça fazla olduğu yerlerde kullanılan makine parçaları bu yöntemler kullanılarak sertleştirilirler. Yüzey sertleştirme işlemleri, bileşimi değiştirmeden ve bileşimi değiştirilerek uygulanan yüzey sertleştirme işlemleri olarak iki gruba ayrılırlar. Alevle yüzey sertleştirme ve indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemlerinde parçanın bileşimi değişikliğe uğramaz. Katı karbürizasyon, gaz karbürizasyon, gaz nitürasyon, gaz karbo-nitürasyon ve siyanürizasyon yüzey ısıtma işlemlerinde ise parçanın bileşimi değişikliğe uğrayan yüzey sertleştirme uygulamalarına örnek verilebilir [25].

2.1.2. Mekanik Yüzey İşlemleri

Mekanik yüzey işlemleri; makine parçalarının yüzeylerine dışarıdan etki ederek plastik deformasyon sonucu parçanın yüzeyine son halini verme işlemidir. Bu işlem sonucunda parçanın yüzeyinde dislokasyon artışı meydana gelmekte ve parçanın yüzey topografyası değişime uğramaktadır. Mekanik yüzey işlemlerinde parçaların korozyon ve aşınma dirençlerini daha iyi hale getirme, yorulma mukavemetinin artırılması amaçlanmaktadır. Mekanik yüzey işlemleri uygulamaları sonrası makine parçalarında artık gerilmeler oluşmaktadır. Oluşan artık gerilmeler parçanın yorulma mukavemetine olumlu yönde etki etmektedir [26].

Günümüzde uygulanan bazı mekanik yüzey işlemleri:

1. Bilyalı Dövme (BD) (Shot Peening)
2. Lazer Dövme (LD) (Laser Shock Peening)
3. Ultrasonik Nano Kristal Yüzey Modifikasyonu (UNYM) (Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification)
4. Makaralı Perdahlama (MP) (Roller Burnishing)
5. Bilyeli Perdahlama (BP) (Ball Burnishing) [8].

2.1.2.1. Bilyalı Dövme İşlemi

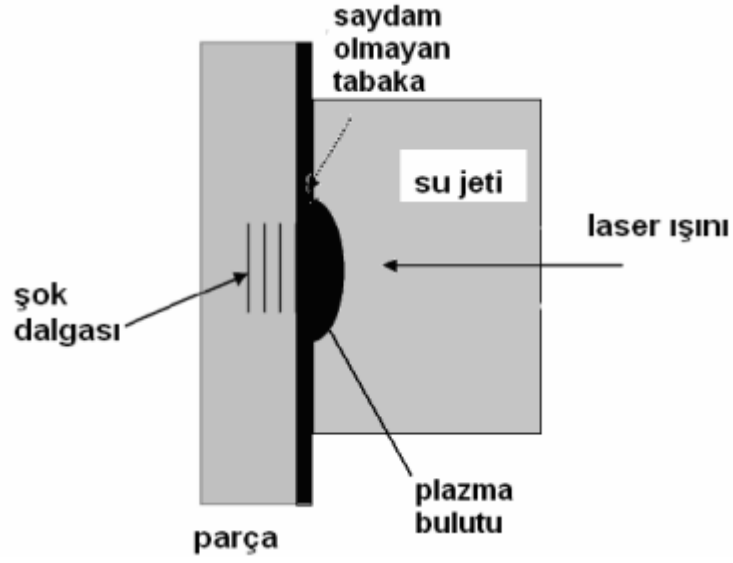
Bilyalı dövme sektörde yaygın olarak kullanılan yüzey işlemlerinden biridir. Malzemelerin yüzeyinde yararlı basma kalıntı gerilmeleri oluşturarak yorulma ve gerilme korozyon direncinin artırılmasına yardımcı olur. Bu işlem, parça yüzeyine yüksek hızda bir çok bilyanın bombardıman edilerek çarpması sonucu yüzeyi sıkıştıran ve geren küçük çekiç darbeleri gibi davranan bir uygulamadır [27,28]. Bilyalı dövmede parça yüzeyi dövülerek yorulma direncinin artırılması hedeflenir. Bu sayede yüzeyde çatlak başlangıcı ve ilerlemesi geciktirilir. Yüzeyde oluşan basma gerilmesi ve sertlik sayesinde yorulma direncinin artırılması sağlanır [8]. Bu yöntem otomotiv ve uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Biyalı dövme işlemi [8].

2.1.2.2. Lazer Dövme İşlemi

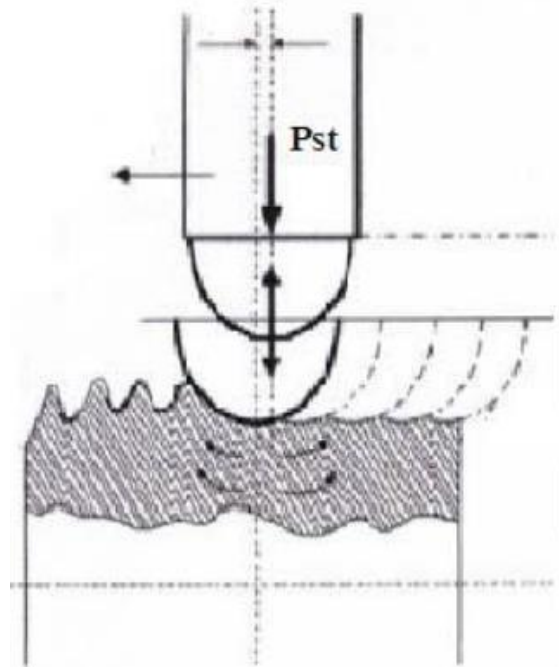
Lazer dövme işlemi yeni mekanik yüzey işlemlerinden olmasına rağmen endüstride giderek popüler hale gelen, çevreye daha az zarar veren, iyi kontrol performansı sağlayan, temiz ve yenilikçi yüzey özelliklerini iyileştirmede kullanılan temassız yüzey iyileştirme tekniğidir. Lazer dövme işleminde lazer plazmasında indüklenen lazer şok dalgası parça yüzeyine etki ederek ezme işlemi gerçekleştirir. Lazer malzeme etkileşimi nanosaniye aralığında olup lazer darbeleri kullanılır. Parça yüzeyinde ve yüzeye yakın katmanlarda ultra yüksek gerilme hızından dolayı plastik deformasyon gerçekleştirilmektedir [29,30]. Bu konuda yapılan araştırmalarda yöntemin iş parçasının mekanik özelliklerinde ciddi iyileşmeler sağladığı görülmüştür. Uygulanan yüzeylerde oluşan basma artık gerilme ile yorulma ve çatlak oluşum mekanizmaları sonucu meydana gelen hasarlar ciddi ölçüde giderilmiştir [31].



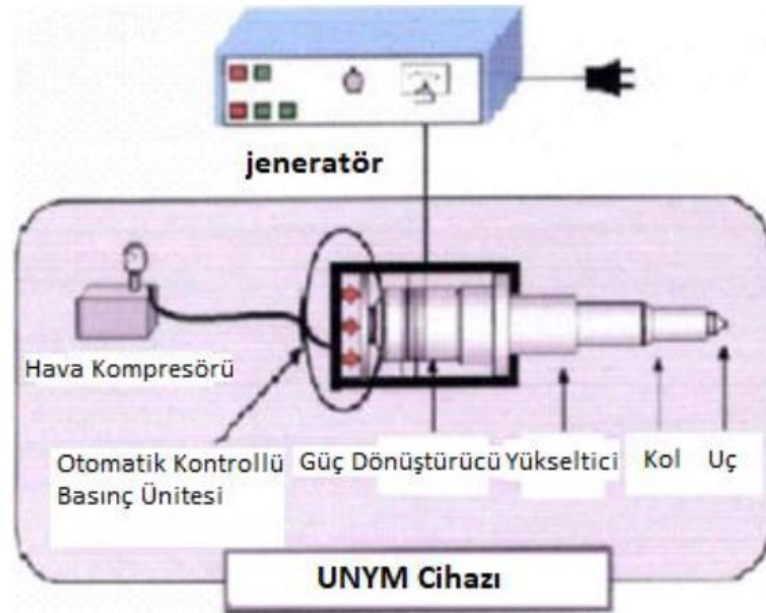
Şekil 2.2. Lazer dövme işlemi şematik gösterimi [1].

2.1.2.3. Ultrasonik Nano Kristal Yüzey Modifikasyonu

Ultrasonik nano kristal yüzey modifikasyonu yeni geliştirilen aşırı plastik deformasyon prosesidir. Malzeme yüzeyi iyileştirme ve geliştirmede etkili ve ekonomik bir yöntemdir. UNYM malzeme yüzeyine statik yük üzerine bindirilmiş düşük genlikte fakat yüksek frekanslı ultrasonik titreşim uygulayarak malzeme yüzeyindeki kusurları veya tane iyileştirmelerine yol açan aşırı plastik deformasyon uygulamaktadır. Malzemenin kimyasal bileşimlerinde herhangi bir değişikliğe uğratmadan kaba tanelerini nanometre ölçeklerine kadar inceltir. Malzeme yüzeyinde nano yapılu oluklu bir katman oluşturur. UNYM malzemenin aşınma ve yorulma gibi mekanik özelliklerini iyileştirebilir. UNYM paslanmaz çelik, alüminyum alaşımı, titanyum ve alaşımlarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bunlara ek olarak UNYM modern üretim sistemlerine entegre ve otomasyonu gerçekleştirilebilme de iyi bir performans ortaya koyabilmektedir [8,32].



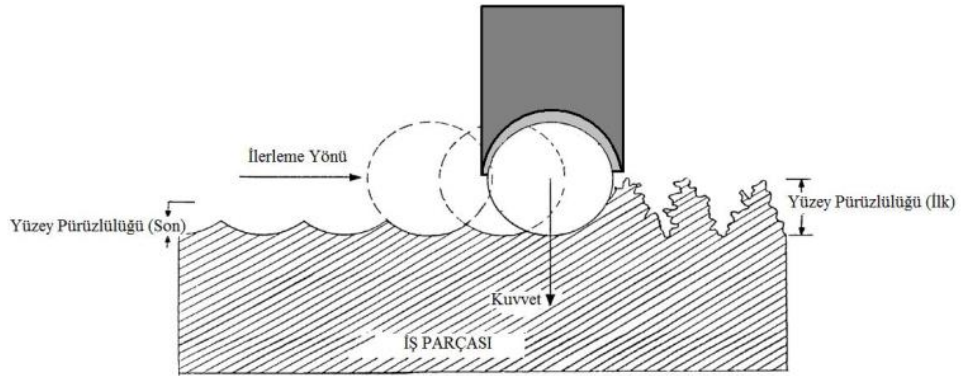
Şekil 2.3. Ultrasonik nanokristal yüzey modifikasyonu şematik gösterimi [8].



Şekil 2.4. Ultrasonik nanokristal yüzey modifikasyonu probu şematik gösterimi [8].

2.1.2.4. Makaralı Perdahlama

Makaralı perdahlama sertleştirilmiş makaralar yardımıyla iş parçası üzerine baskı uygulanarak plastik deformasyon sonucu parçanın mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyileştirmeler sağlayan bir yöntemdir. Geleneksel yöntemlerle üretilen parçaların yüzey yapısına bakıldığında yüzeyin çukurlar ve tepelerden oluştuğu görülmektedir. Makaralı perdahlama işlemi uygulanırken yüzeyde bulunan bu tepeler çukurlara doğru itilerek yüzey pürüzlülüğü düşürülmeye ve yüzey yapısı iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Makaralı perdahlama parça üretmekte kullanılan bir işlem değildir. Üretim proseslerinden geçmiş parçaların yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek ve parçaya sertlik kazandırmak için uygulanan yüzey bitirme prosesidir. Uygulanabilirliği kolay olması ve maliyetlerinin düşük olması bir çok alanda kullanımı mevcut bir prosesdir. Proses uygulamalarında kullanılan parça malzemesi ve işlem parametrelerine bağlı olarak iyileştirme sonuçlarında değişiklikler görülmektedir [2].



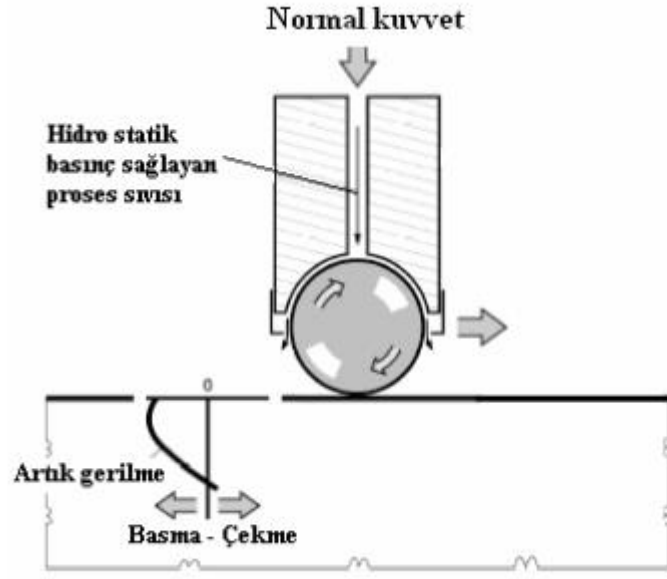
Şekil 2.5. Makaralı perdahlama şematik gösterimi [2].



Şekil 2.6. Makaralı perdahlama [2].

2.1.2.5. Bilyeli Perdahlama

Bilyeli perdahlama, ezerek malzemenin yüzeyinin plastik deformasyona zorlanması ile malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan yüzey bitirme prosesidir. Ezme işlemi sertleştirilmiş bilye yardımıyla yapılmaktadır. Bilyeli perdahlama işleminde baskı kuvveti basınçlı sıvı ile uygulanır. Sertleştirilmiş bilyenin üzerine basınçlı sıvı uygulanarak hem baskı kuvveti sağlanmış olur hem de bilye yuvasında bir yere temas etmeden rahatça ileri geri hareket ederek parça yüzeyin de rahatça belli bir bölüme ya da tamamına ezme işlemi uygulanır. Bu uygulamalarda basınçlı sıvı olarak bor yağlı su kullanılır. Bu sıvı sayesinde bilye yuvasında rahatça hareket kabiliyetine sahip olurken bunların yanında sıvı işlem sırasında iyi bir yağlayıcı ve uygulama esnasında oluşan ısının uzaklaştırılmasında da önemli katkılarda bulunmaktadır. İşlem düşük sürtünmeli olmasından dolayı malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli iyileşmeler gözlenmektedir. Otomotiv, uçak, makine üretim endüstrileri gibi bir çok sektörde kullanılan bir prosestir [1].



Şekil 2.7. Bilyeli perdahlama şematik gösterimi [1].

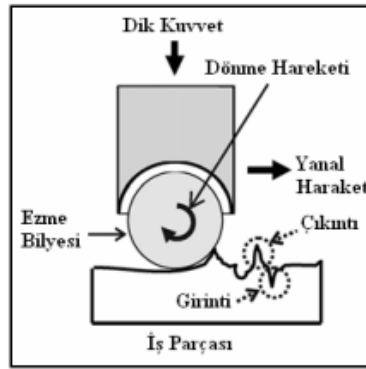


Şekil 2.8. Bilyeli perdahlama [1].

2.2. Perdahlama Prosesinin Fiziği

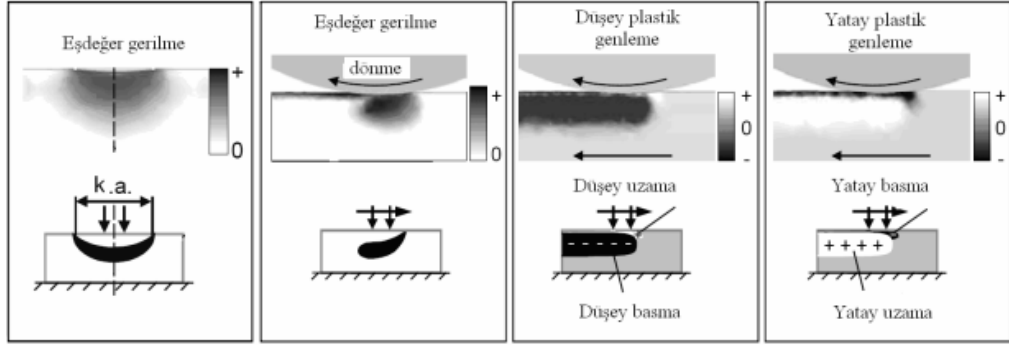
2.2.1. Plastik Şekil Değişimi

Perdahlama uygulamasında takım parça yüzeyine baskı uygulayarak plastik deformasyon sonucu malzemenin mekanik özellikleri iyileşmektedir. Yüzey tabakasının belirli bir derinliğine kadar etki ederek artık basma gerilme hali oluşturmaktadır.



Şekil 2.9. Perdahlama işlemi şematik gösterimi [33].

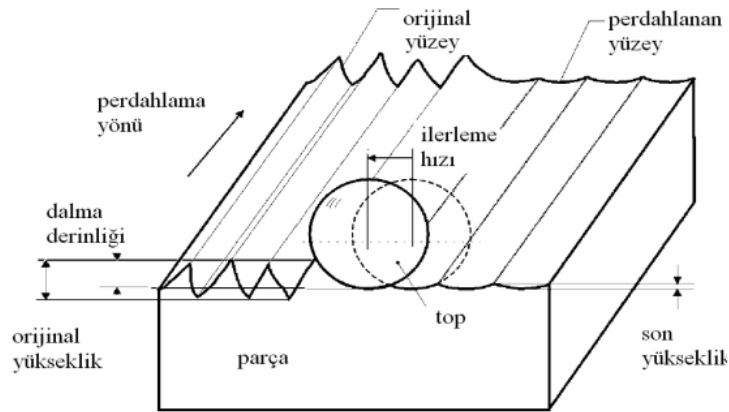
Şekil 2.10'da görüldüğü gibi parça ile perdah takımının ilk temas ettiği noktada gerilme aksenal simetrik halindedir. Takım ilerlemeye başlatıldığında gerilme asimetrik damla halinde oluşmaktadır. Bu durum parçanın belirli bir derinliğinde başlayıp perdah takımının temas ettiği noktada son bulmaktadır. Takımın altında kalan alanda sürekli bir gerilme bulunmaktadır. Bu gerilme parçanın akma gerilme değerine ulaştığında parçayı plastik olarak şeklinin değişmesine ve düşeyde basma yatay da uzamaya neden olmaktadır.



Şekil 2.10. Perdahlama sırasında plastik şekil değişimi [1].

2.2.2. Yeni Pürüzlerin Oluşması

Parça yüzeyleri üretimden kaynaklı tepeler ve çukurlar ihtiva etmektedir. Yüzeyde bulunan bu tepeler ve çukurlara yüzey pürüzlülüğü denilmektedir. Perdahlama prosesinde yüzeyde bulunan pürüzler ezilerek yüzey pürüzlülükleri giderilmeye çalışılır. Ezme sırasında tepeler çukurlara doğru itilir ve böylelikle yüzeye yeni bir profil kazandırılır. Perdah uygulaması yapılmadan önce yüzeyde bulunan pürüzlerin frekansı ve genliğine bakıldığında oldukça fazla olduğu görülmektedir. Perdahlama uygulaması yapıldıktan sonra yüzeyin kazandığı yeni profilde bu pürüzlerin frekansı ve genliği tamamen giderilememiştir fakat önceki haline göre daha düşük seviyede olduğu Şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11. Perdahlama işleminde oluşan yeni pürüzler [1].

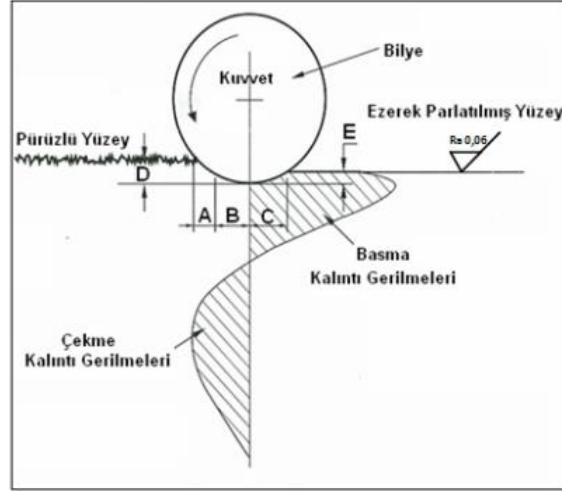
2.2.3. Perdahlamada Oluşan Artık Gerilmeler

Artık gerilme parçanın bir yüke maruz kalmadığı durumda, parçanın imalatı sırasında içinde kalan gerilme halidir. Artık gerilmeler kısaca parçanın yada malzemenin içindeki gerilmelerdir bu yüzden iç gerilmeler ya da kalıntı gerilmeleri de denilmektedir. Parçalara dışarıdan gelen yükler parçanın içinde bulunan artık gerilmelere ters yönde olması ve büyüklüğünün iç gerilmelere eşit ya da altında olması durumunda parçayı olumlu yönde etkilemektedir.

Artık gerilmeler parçanın imal edilirken ortam koşullarına ve imalat şekillerine göre parçanın değişik bölgelerinde oluşabilmektedirler. İşlemlere bağlı olarak kendiliğinden oluşan artık gerilmeler olduğu gibi bazen istenilerek de oluşturulabilmektedir.

İşlemler esnasında oluşan artık gerilmeler çekme ve basma artık gerilmeler şeklindedir. Çekme artık gerilmesi malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Malzemenin yorulma özelliklerini etkileyerek malzemenin zarar görmesine neden olabilmektedir. Çekme artık gerilmesi parçanın yüzeyinde çatlak oluşumunu ve oluşan çatlağın ilerlemesini hızlandırarak parçanın zarar görmesine neden olmaktadır. Basma artık gerilmesinin ise malzemenin mekanik özelliklerine olumlu yönde etkileri bulunmaktadır. Basma artık gerilmesi çatlak oluşumu ve oluşan çatlağın ilerlemesine ters etki ederek yavaşlatma eğilimi göstermekte ve parçanın üzerinde ömür anlamında fayda sağlamaktadır.

Perdahlama prosesinde oluşan artık gerilmeler Şekil 2.12’de şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi yüzeyde oluşan basma artık gerilmesi mekanik özelliklerine olumlu katkılar sağlamaktadır.



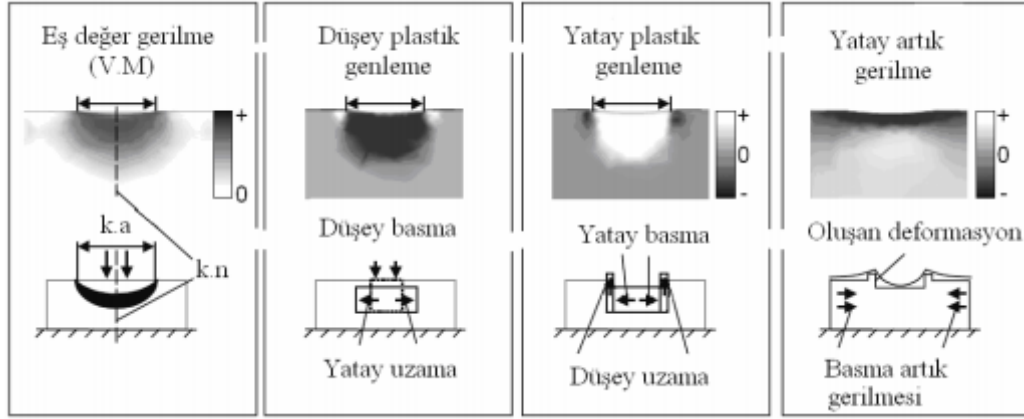
Şekil 2.12. Perdahlama uygulamasında oluşan artık gerilme hali [33].

Şekil 2.13’de perdahlama prosesinde oluşan artık gerilme durumu detaylı incelendiğinde, uygulamada oluşan eşdeğer gerilme aksenal simetrik olarak dağılmış durumdadır. Perdahlama uygulamasındaki kuvvet arttıkça, eşdeğer dağılım gösteren gerilme de artacak ve malzemenin akma noktasına ulaştığında plastik deformasyona başlayacaktır.

Eşdeğer gerilme ile ilgili Von Mises enerji teoremine bakıldığında eşdeğer gerilme ile ilgili parçanın tek ekseninde çekilmesindeki asal gerilmeler malzemenin akma noktasındaki gerilme değerine ulaştığında parçanın plastik deformasyona uğramasına sebep olduğu ortaya konulmuştur.

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (2.1)$$

Perdahlama işlemi esnasında parçaya dik olarak uygulanan baskı parçada dikey basma gerilmeleri oluşturarak parçanın yatay uzamasına neden olmaktadır. Yatayda uzamaya çalışan parça yan tarafında bulunan komşu alanlarını elastik olarak etkilemektedir. Perdah takımının yan alana doğru ilerlemesiyle yatay basma kuvveti bu bölgeyi plastik olarak etkilemektedir. Sonuç olarak parçanın plastik deformasyona dik olarak gerçekleştirdiği uzama parça yüzeyinde basma artık gerilmeleri ve iç bölgelerinde çekme artık gerilmeleri oluşturmaktadır.



Şekil 2.13. Artık gerilme oluşumu [1].

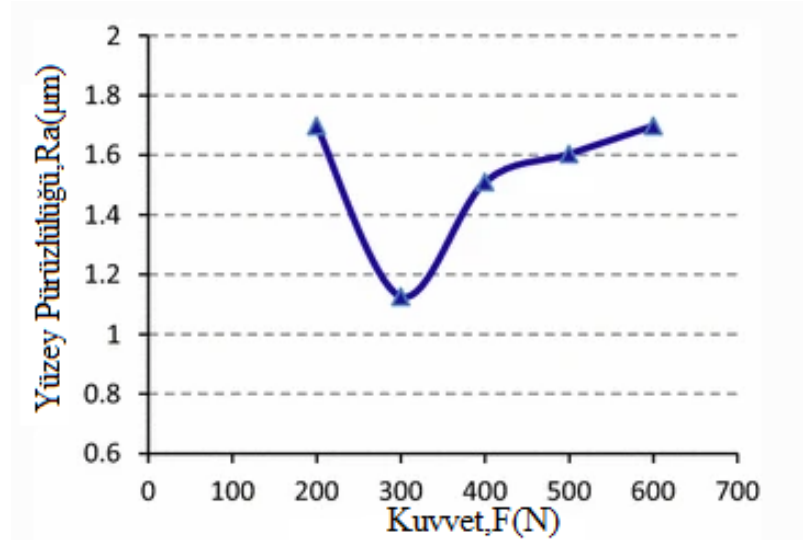
2.3. PROSES PARAMETRELERİ VE ETKİLERİ

2.3.1. Normal kuvvet

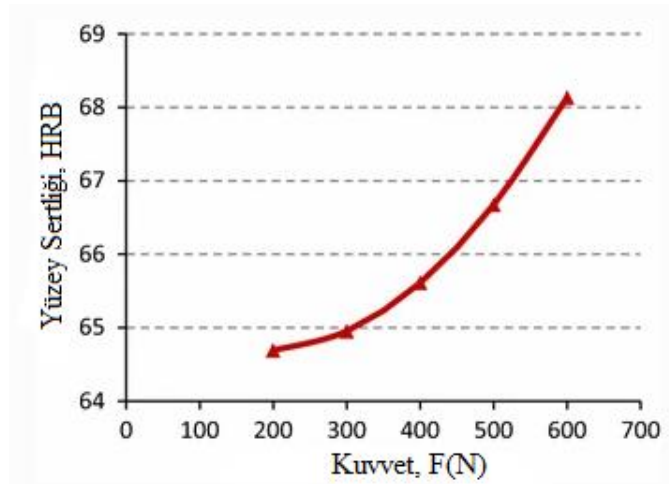
Perdahlama uygulamaları ile ilgili literatürde bulunun çalışmalar incelendiğinde kuvvet belirli bir değere kadar malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu değer üzerindeki kuvvetler yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemekte ve pürüzlülük değerini artırmaktadır.

Gharbi ve arkadaşlarının AISI 1010 çeliğine uygulamış oldukları perdahlama uygulamaları sonucunda kuvvetin; yüzey pürüzlülüğüne, sertliğe ve artık gerilmeye etki durumlarını incelemişlerdir. Perdahlama parametresi olarak perdahlama hızını 235 rpm, ilerleme hızını 0,18 mm/devir seçmiş ve uygulamada sadece kuvveti artırılarak malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi Şekil 2.14’de görüldüğü üzere 300N kuvvetinde en düşük yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği görülmektedir. Şekil 2.15’de kuvvetin sertlikle olan ilişkisi incelendiğinde kuvvet arttıkça sertliğin de arttığı görülmektedir. Şekil 2.16’ da kuvvetin yüzeydeki artık gerilmesiyle ilgili değişim grafiği elde edilmiştir. Bu grafikte iki farklı besleme durumuna göre artık gerilmelerin durumları gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artık gerilmenin her iki besleme durumunda da 400N değerinde maksimum olduğu görülmektedir. 400N değerinin üstündeki değerlerde artık gerilmenin azalmasını Gharbi ve arkadaşları sertleştirilmiş tabakayı

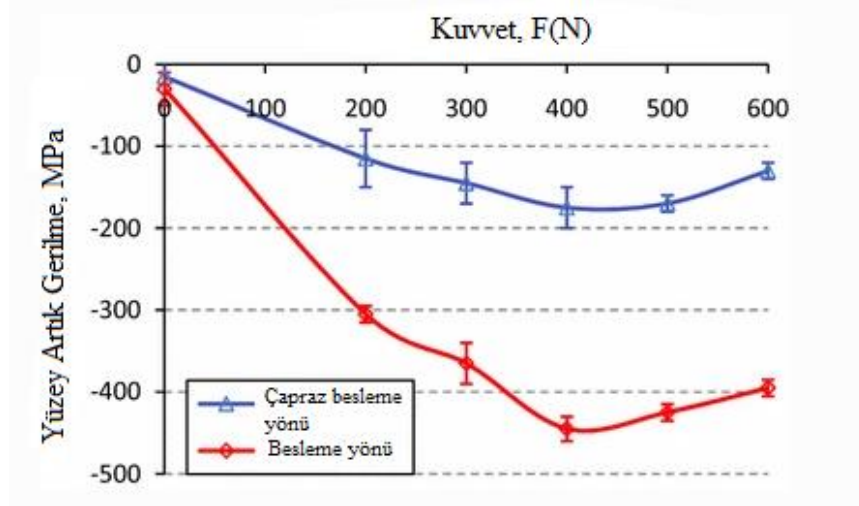
kaplayacak metalin aşınmasına bağlamışlardır. Sonuç olarak kuvvet arttıkça yüzey pürüzlülüğü bir noktaya kadar olumlu o noktanın üzerindeki kuvvetlerde ise olumsuz etkilendiği yapılan çalışmada da gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak yüksek kuvvetlerde takımın iş parçasına fazla dalarak yüzey yapısını bozmasından kaynaklanmaktadır [34].



Şekil 2.14. Kuvvetin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisi [34].



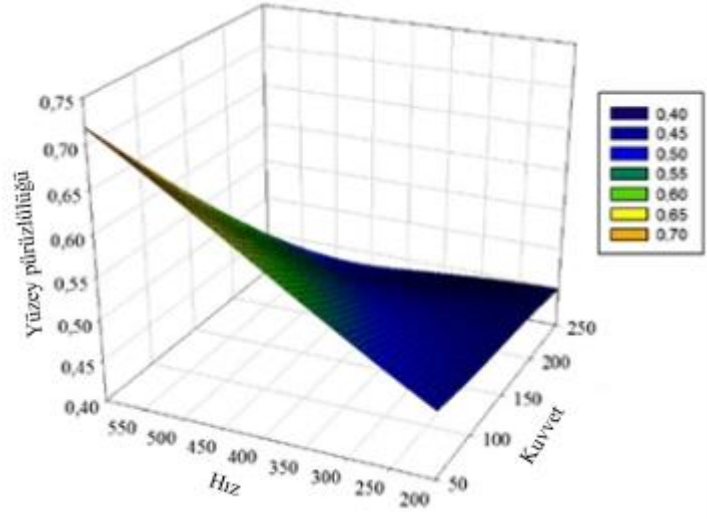
Şekil 2.15. Kuvvetin yüzey sertliği ile ilişkisi [34].



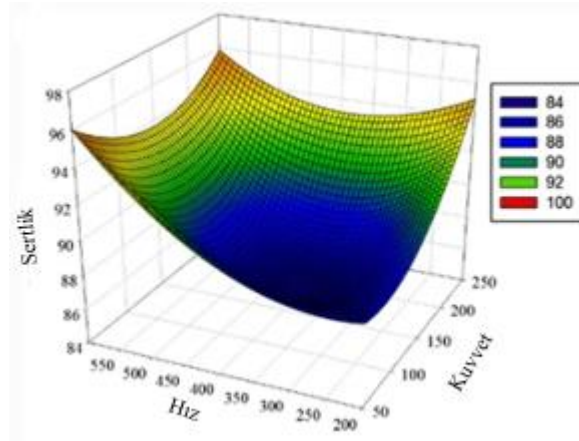
Şekil 2.16. Kuvvetin artık gerilme ile ilişkisi [34].

2.3.2. Hız

Perdahlama uygulamalarının en önemli parametrelerinden biri de perdahlama hızıdır. Uygulamalarda genel olarak düşük hızlar da iyi sonuçlar alınmış hız arttıkça düzgün yüzeyler oluşmadığı gözlemlenmiştir. Buldum ve Cagan'ın AZ91D magnezyum alaşımlı malzeme üzerine yapmış oldukları perdahlama hızının malzemeye olan etkilerini inceledikleri çalışmada; Şekil 2.17'de hız ve kuvvetin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini ve Şekil 2.18'de hız ve kuvvetin sertliğe olan etkilerini incelemişlerdir. Grafiklerde perdahlama hızının artmasıyla pürüzlülük ve sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunların yanında hız arttıkça artık gerilme de olumsuz yönde etkilenmektedir. Bunların sebebi olarak hız arttıkça perdah takımı ile parça yüzeyi arasında düzgün temas halinin oluşturulamaması gösterilmektedir [35].



Şekil 2.17. Kuvvetin ve hızın yüzey pürüzlülüğüne etkisi [35].

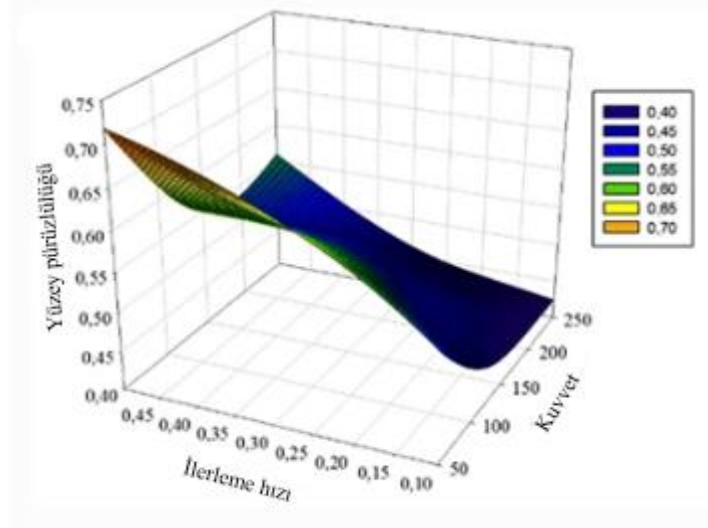


Şekil 2.18. Kuvvetin ve hızın sertliğe etkisi [35].

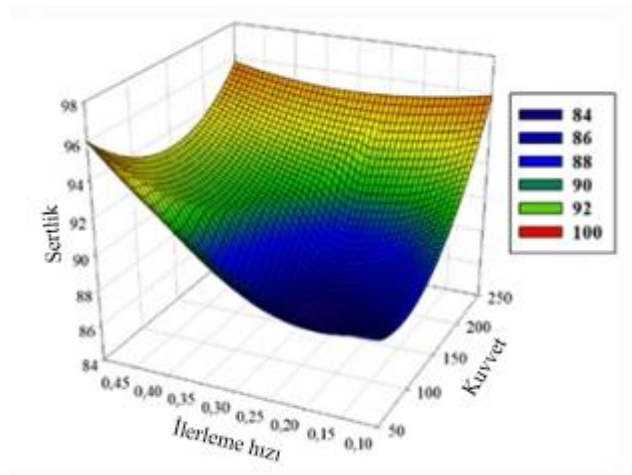
2.3.3. İlerleme Hızı

İlerleme hızının da perdelama hızında olduğu gibi yüksek hızlarda malzemenin fiziksel mekanik özelliklerine çok olumlu katkılar sağlamadığı düşük hızlarda daha iyi sonuçlar verdiği yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir. Buldum ve Cagan'ın yapmış oldukları çalışmada; Şekil 2.19'da ilerleme hızının ve kuvvetin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi, Şekil 2.20'de ilerleme hızının ve kuvvetin sertliğe olan etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ile ilgili grafiklerde ilerleme hızının artışı ile yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı, yüzey sertlik değerinin ise 0,1-0,25 mm/dk ilerleme

hız aralığında azaldığı fakat 0,25-0,5 mm/dk ilerleme hız aralığında ise arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak mevcut çalışmada ve literatürde bulunan diğer çalışmalarda düşük ilerleme hızının daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve düşük ilerleme hızlarının seçilmesinin daha doğru olacağı kabul edilmiştir [35].



Şekil 2.19. Kuvvetin ve ilerleme hızının yüzey pürüzlüğüne etkisi [35].

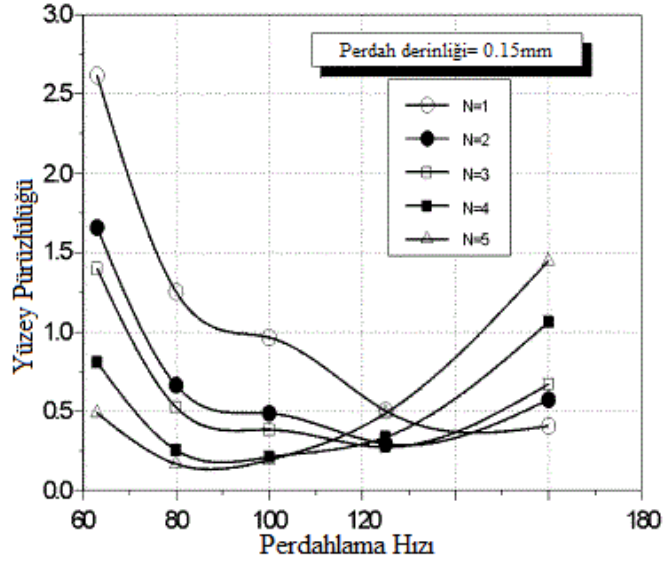


Şekil 2.20. Kuvvetin ve ilerleme hızının sertliğe etkisi [35].

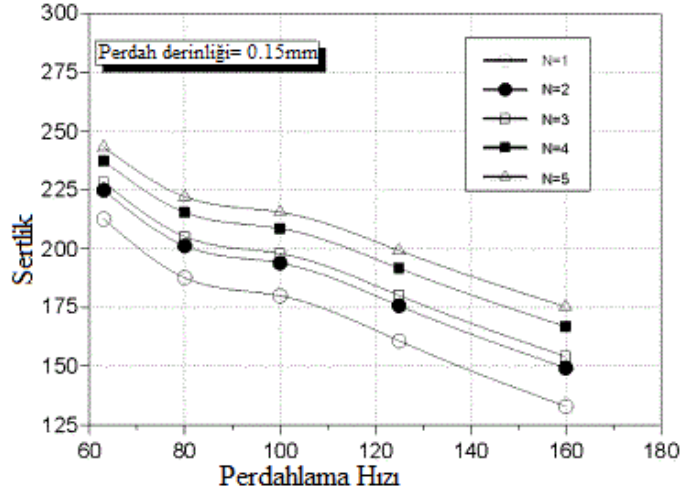
2.3.4. Paso Sayısı

Perdahlama prosesinde paso sayısını doğru belirlemek malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. Bilyalı

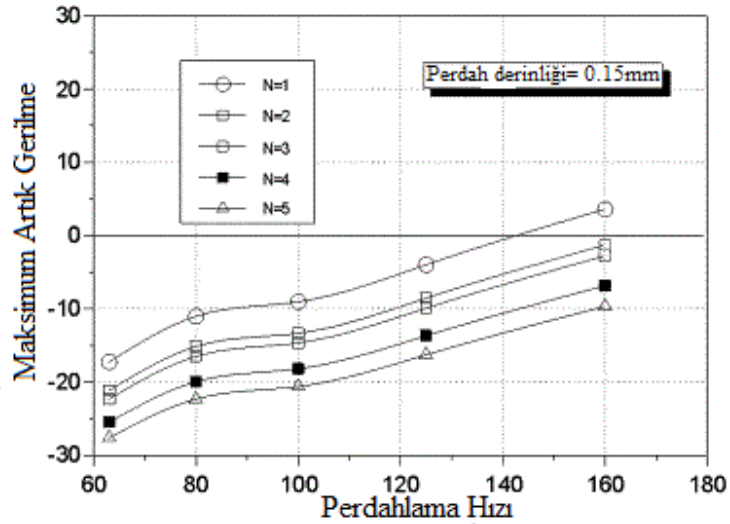
perdahlama uygulamaları yüksek kuvvetin etkisi ile tek pasoda iyi sonuçlar verebilmektedir. Makaralı perdahlama uygulamalarında ise uygulanan her paso olumlu katkılar sağlamakta fakat dördüncü pasodan sonra olumsuz yönde etki gösterebilmektedir [36]. El-Khabery ve El-Axir'in yapmış oldukları çalışmada farklı perdahlama hızlarında dalma derinliği 0,15 mm olan pasoların sırasıyla yüzey pürüzlülüğü, sertlik ve artık gerilmeye etkileri Şekil 2.21'de, Şekil 2.22'de ve Şekil 2.23'de gösterilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü gibi düşük hızlarda yapılan uygulamalarda paso sayısının artışı ile yüzey özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir [36].



Şekil 2.21. Perdahlama hızına göre pasoların yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri [36].



Şekil 2.22. Perdahlama hızına göre pasoların sertliğe olan etkileri [36].



Şekil 2.23. Perdahlama hızına göre pasoların artık gerilmelere olan etkileri [36].

2.4. PROSESİN AVANTAJLARI VE KISITLAMALARI

Mühendislikte malzeme seçimi ve parçanın imalatı üretimde önemli bir süreçtir. Parçaların ömrünün uzatılması ve hasarın geciktirilmesi için imalattan sonra parçalara birçok farklı bitirme prosesi yada bitirme işlemi uygulanmaktadır. Geleneksel yöntemler parçaların mekanik, fiziksel ve yüzey özelliklerini geliştirmekte zayıf kalmakta, modern yöntemlerde istenilen sonuçları vermekte fakat maliyet ve zaman açısından çok tercih edilememektedir. Perdahlama prosesi bu hususta hızlı, düşük

maliyet, uygulaması kolay olması ve yüzey özelliklerini geliştirmede iyi bir kabiliyet göstermesi bakımından bu uygulamayı tercih edilebilir kılmaktadır.

2.4.1. Fiziksel Özellikler

2.4.1.1. Yorulma

Yorulma parçaların ömürlerini etkileyen önemli fiziksel faktörlerindendir. Değişken ve çevrimsel yüklere fazla maruz kalan parçalar yorulma zorlanması yaşamakta ve hasara uğramaktadır. Hasar çatlak oluşumu başlaması ve oluşan bu çatlakların yüzeyde ilerlemesi ya da içe doğru tane içlerine ilerlemesi sonucunda parça kırılarak kullanılmaz hale gelebilmektedir. Uçak, makine, otomotiv sektöründe bu tip yorulmadan kaynaklı hasarlar oldukça çok görülmektedir. Bu hasarlar malzeme kaybına, zaman kaybına ve maliyet açısından da olumsuz durumlara neden olmaktadır.

Perdahlama proseslerinin kabul edilebilir düzeyde malzemelere yorulma dayanımı kazandırabildiği yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir [37].

2.4.1.2. Fretting Yorulması

Fretting yorulması birbiri ile sıkı temas eden yüzeylerde görülen karmaşık bir aşınma hasar türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Makine ve güç aktarma parçalarında sıkça karşılaşılan bu hasar mekanizmalara ciddi hasar verebilmektedir. Oluşan hasarlar sonucunda zaman, malzeme ve maliyet kayıplarına sebep olmaktadır. Son dönemlerde yapılan çalışmalar perdahlama prosesinin aşınma direnci kazandırmada katkılar sağladığı gözlenmiştir [38].

2.4.1.3. Gerilmeli Korozyon Direnci

Malzeme yüzeyinde oluşan çatlaklar çevrimsel ve dinamik yüklere maruz kaldığında zamanla ya da aniden kırılmalara neden olmaktadır. Çatlak oluşumundan sonra bu süreyi tayin edebilmek oldukça zordur. Gerilmeli korozyon çatlağı olarak nitelendirilen bu süreçte parçanın yüzeyinde çatlakların basma artık gerilmeleri ile

hasara uğramaları yavaşlatılmaktadır. Çekme artık gerilmeleri ise bu süreci hızlandırmaktadır. Perdahlama uygulamalarında basma artık gerilmelerinin yüzeyde olması bu durumun geciktirilmesine ve parçanın ömrünün uzatılmasına katkılar sağlamaktadırlar.

2.4.2. Bitmiş Parça Yüzeyi

Parçalar üretimleri sırasında üretim proseslerine bağlı olarak yüzeylerinde bazı durumlarda yüksek kalite sergileyememektedirler. Bu durumdan ötürü parçaların ömrü kısalmakta ve hasar görmeleri hızlanmaktadır. Parça üretimlerinden sonra ekstra olarak bitirme proseslerine ihtiyaç duyabilmektedirler. Geleneksel yöntemler iyi yüzey kalitelerini geliştirmekte yetersiz kalmaktadır. Modern sistemlerin maliyetli olması dolayısıyla maliyetlerinin düşük ve uygulamasının kolay olması nedeniyle perdahlama prosesi ön plana çıkmaktadır [33].

2.4.3. Tekrarlanabilirlik ve Ekonomiklik

Perdahlama uygulaması takım tezgahları ile çok kolay, ekonomik ve işlemlerin tekrar tekrar yapılabilmesine olanak sağlayabilmektedir. Seri üretim kullanımı kolay olmasından tercih edilebilen bir proses olmaktadır. Diğer modern sistemlere nazaran daha ucuz maliyetli ve kullanımının daha kolay olması perdahlama prosesinin kullanımını artırmaktadır.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. MALZEME SEÇİMİ

Alaşımli çelikler sertleştirilebilme, darbe ve yorulma direncine sahip olma belirli yüklerle kadar yüksek tokluk gibi mekanik özelliklere sahiptir. Bu özellikler bu tip malzemelerin havacılık, otomotiv, dişliler, miller, bağlantı elemanları gibi bir çok alanda kullanılmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada AISI 4340 alaşımli çelik kullanılmıştır. İnceleme yapılan malzemenin Çizelge 3.1 'de kimyasal bileşimi, Çizelge 3.2 'de mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. AISI 4340 alaşımli çeliğin kimyasal bileşimi.

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Fe	V
0,38-	0,6-	0,035	0,04	0,15-	0,70-	0,2-	1,65-		---
0,43	0,8			0,30	0,90	0,3	2,0		

Çizelge 3.2. AISI 4340 alaşımli çeliğin mekanik özellikleri.

Elastik Modülü	Darbe Mukavemeti	Çekme Dayanımı	Akma Dayanımı	Uzama	Kesit Daralması	Sertlik
GPa	İzod(j)	MPa	MPa	%	%	HB
190-210	51,1	744,6	472,2	22	49,9	217

3.2. PERDAHLAMA TAKIMI

Takım malzemesi olarak kolay işlenebilen, ısıtılabilir ve aşınmaya dirençli piyasada civa çeliği olarak isimlendirilen 115CrV3 malzemesi kullanılmıştır. 115CrV3 malzemesi kılavuzlar, pimler, deliciler, zımbalar ve miller gibi bir çok alanda soğuk iş takım çeliği olarak kullanılmaktadır. 115CrV3'ün Çizelge 3.3'de kimyasal bileşimi, Çizelge 3.4'te mekanik özellikleri verilmiştir.

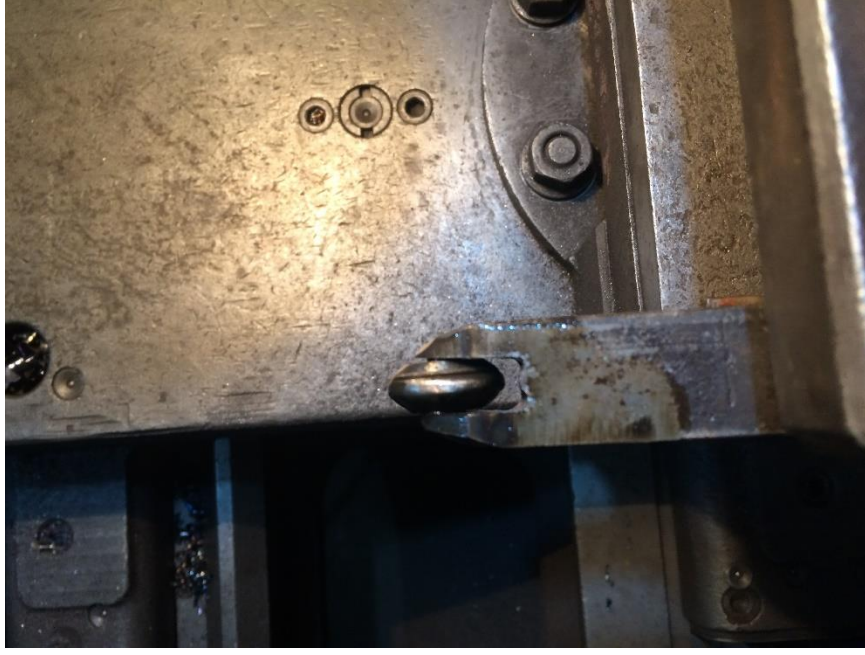
Çizelge 3.3. 115CrV3 çeliğinin kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	V
1,10-1,25	0,15-0,30	0,20-0,40	0,030	0,030	0,50-0,80	0,07-0,12

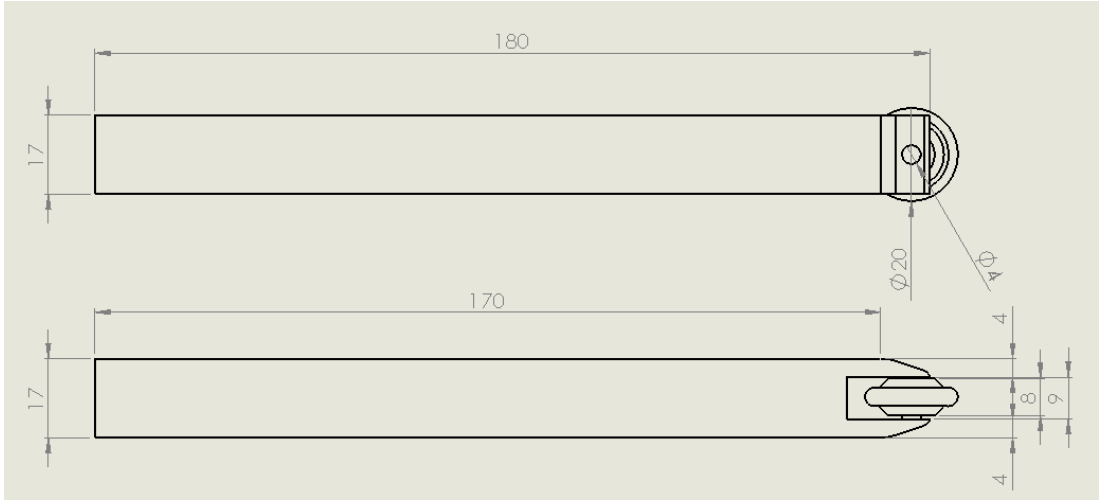
Çizelge 3.4. 115CrV3 çeliğinin mekanik özellikleri.

Özgül Ağırlığı Kg/dm ³	Poission Oranı	Elastik Modülü GPa	Çekme Dayanımı MPa	Akma Dayanımı MPa	Uzama %	Kesit Daralması %	Sertlik HB
7,8	0,27- 0,30	190- 210	1158	1034	15	53	220

İşlemlerde kullanılan perdahlama takımının tasarımı ve imalatı tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de işlemlerde kullanılan perdahlama takımı ve Şekil 3.2'de teknik resmi verilmiştir.



Şekil 3.1. Perdahlama takımı.



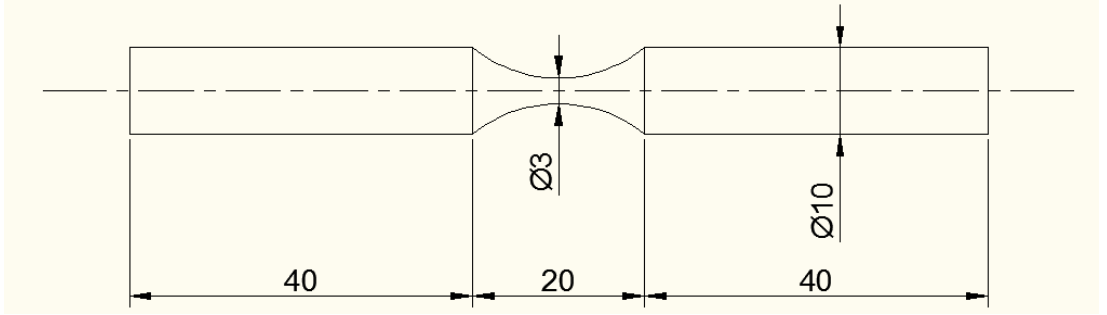
Şekil 3.2. Perdahlama takımının teknik resmi.

3.3. NUMUNE HAZIRLAMA

Deneysel çalışma için belirlenen AISI 4340 alaşımlı çelik malzemesinden testler ve analizler için 24 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunenin işlem görmemiş hali Şekil 3.3’de teknik resmi de Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



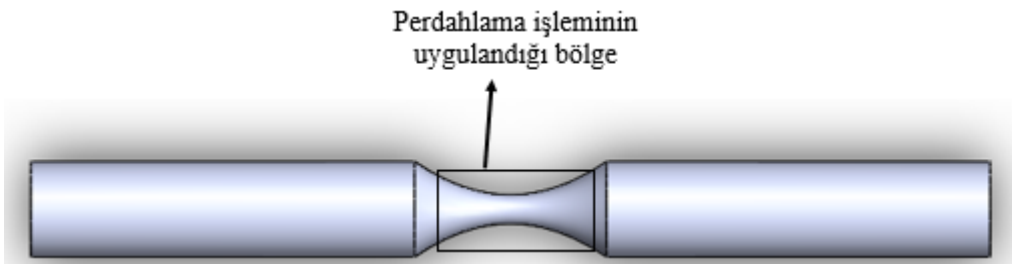
Şekil 3.3. İşlem görmemiş AISI 4340 alaşımlı çelik numunesi.



Şekil 3.4. Numunenin teknik resmi.

3.3.1. Mekanik Yüzey İşlemleri Uygulanması

Perdahlama uygulaması için P1, P2 ve P3 olmak üzere üç farklı parametre belirlenmiştir. Belirlenen üç farklı paso derinliğine sahip diğer parametreler aynı kalmak şartıyla perdahlama uygulaması yapılmıştır. Tablo 3.5'te parametreler detaylı olarak verilmiştir. Her paso derinliğine ait uygulama 8 adet numune üzerine torna tezgahında perdahlama uygulaması yapılmıştır. Şekil 3.5'de numune üzerine uygulanan perdahlama işleminin uygulandığı bölge şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.6'da perdahlama uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Perdahlama uygulamasının yapıldığı bölge.



Şekil 3.6. Perdahlmanın uygulanması.

3.3.1.1. Perdahlama Parametresinin Belirlenmesi

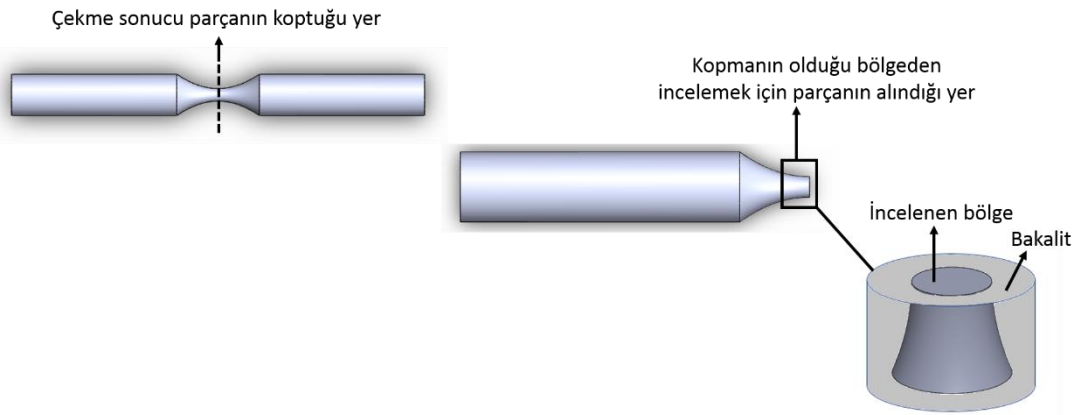
Deney malzemelerinin yüzeyinde plastik deformasyon sonucu basma artık gerilme oluşturmak için perdahlama uygulaması yapılmıştır. Perdahlama uygulaması torna tezgahında numunenin yüzeyine uygulanmıştır. Çizelge 3.5’de perdahlama prosesinde işlemlere göre uygulanan parametreler gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Perdahlama prosesi uygulanma parametreleri.

Parametre	Paso derinliği mm	Paso sayısı	Hız rpm	İlerleme hızı mm/dak
P1	0,25	1	180	0,25
P2	0,50	1	180	0,25
P3	0,75	1	180	0,25

3.4. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

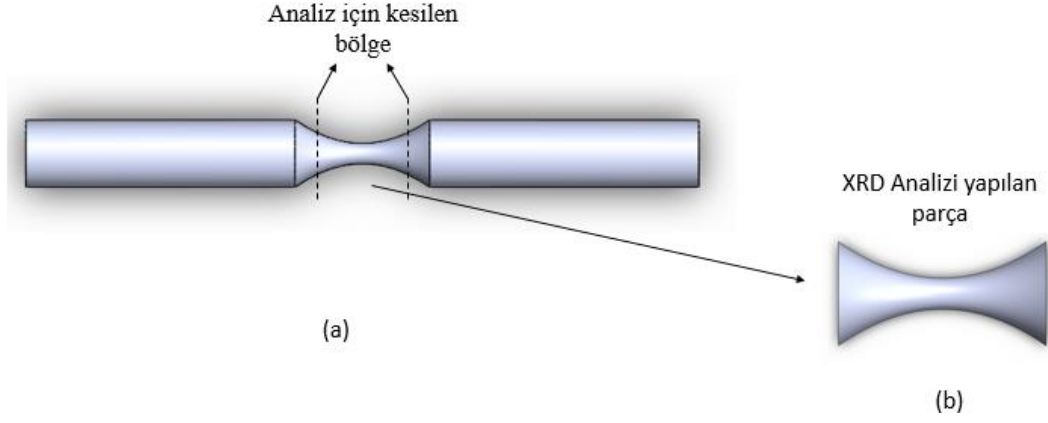
Bu deneysel çalışmada 3 farklı paso derinliğinde yapılan çalışmalar sonrası yüzey ve yüzey altındaki değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Mikro yapı karakterizasyonu belirleyebilmek için numunelerden alınan parçalara optik mikroskobu, SEM ve X-ışını kırınımı (XRD) analizleri yapılmıştır. Analiz edilen parçalar çekme sonrasında parçanın koptuğu bölgeden parçalar kesilerek bakalite alınmış ve analizler yapılmıştır. Analizler için alınan parçalar Şekil 3.7’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7. İşlem görmüş yüzeye dik kesit bölge.

3.5. XRD ANALİZİ

X-ışını kırınım analizi, Karabük Üniversitesi Demirçelik Enstitüsü Margem Laboratuvarında Rigaku ultima IV cihazında yapılmıştır. Analiz 30 kv jeneratör voltajı ve 20 mA akım ile X-ışını kırınımı 10° ve 90° arasındaki açılarda, $0,02^{\circ}$ 'lik bir adım tarama büyüklüğünde, dakikada 3,5 derece hızla ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.8’de analizin yapıldığı bölge ve Şekil 3.9’da analizin yapıldığı cihaz gösterilmiştir.



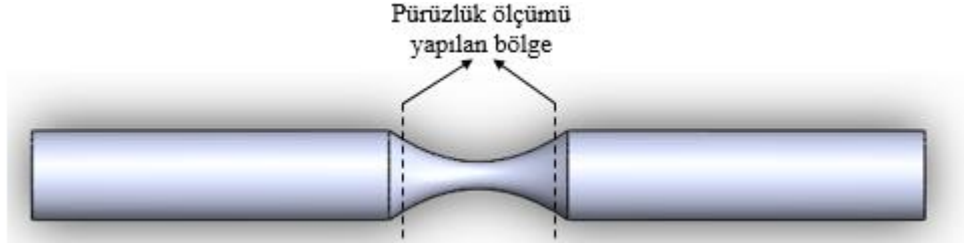
Şekil 3.8. XRD analizi yapılan bölge.



Şekil 3.9. XRD cihazı.

3.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMLERİ

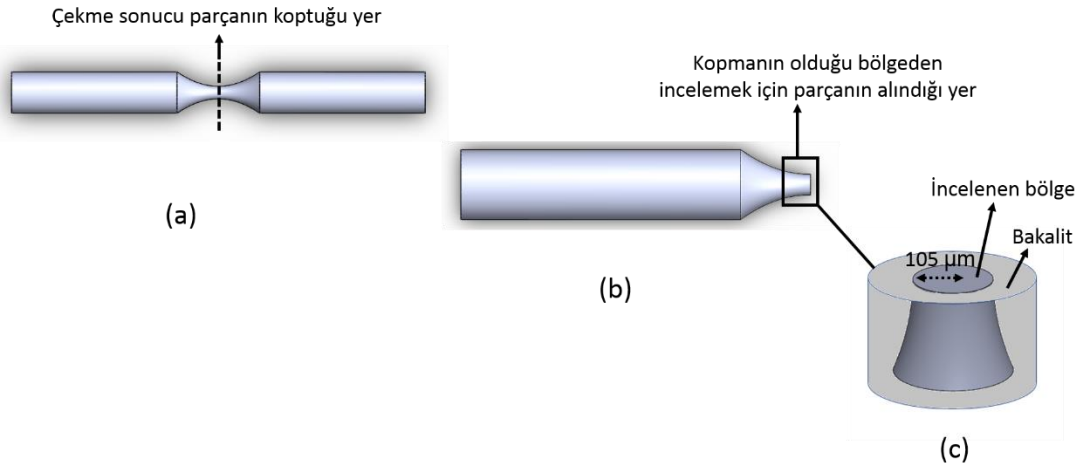
Malzemenin perdelama sonrası fiziksel özelliklerini analiz edebilmek için farklı testlerden yararlanılmıştır. Pürüzlülük testleri sonucunda Ra, Rq ve Rz değerleri, 3 farklı noktadaki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 3.10'da numunenin pürüzlülük ölçümünün yapıldığı bölge şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm yapılan bölge.

3.7. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ

P1, P2 ve P3 işlemleri yapılan AISI 4340 işlem görmüş yüzey bölgesine dik kesit bölgeden, malzemenin yüzeyinden itibaren 15 μm aralıkla 105 μm uzaklığa kadar mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.11’de mikro sertlik yapılan bölge şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Mikro sertlik ölçümünün yapıldığı yüzey bölgesi.

Mikrosertlik ölçümleri Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri için uygulanan yük $HV_{0,005}$, uygulama zamanı 15 sn olarak ayarlanmıştır.

3.8. ÇEKME TESTİ

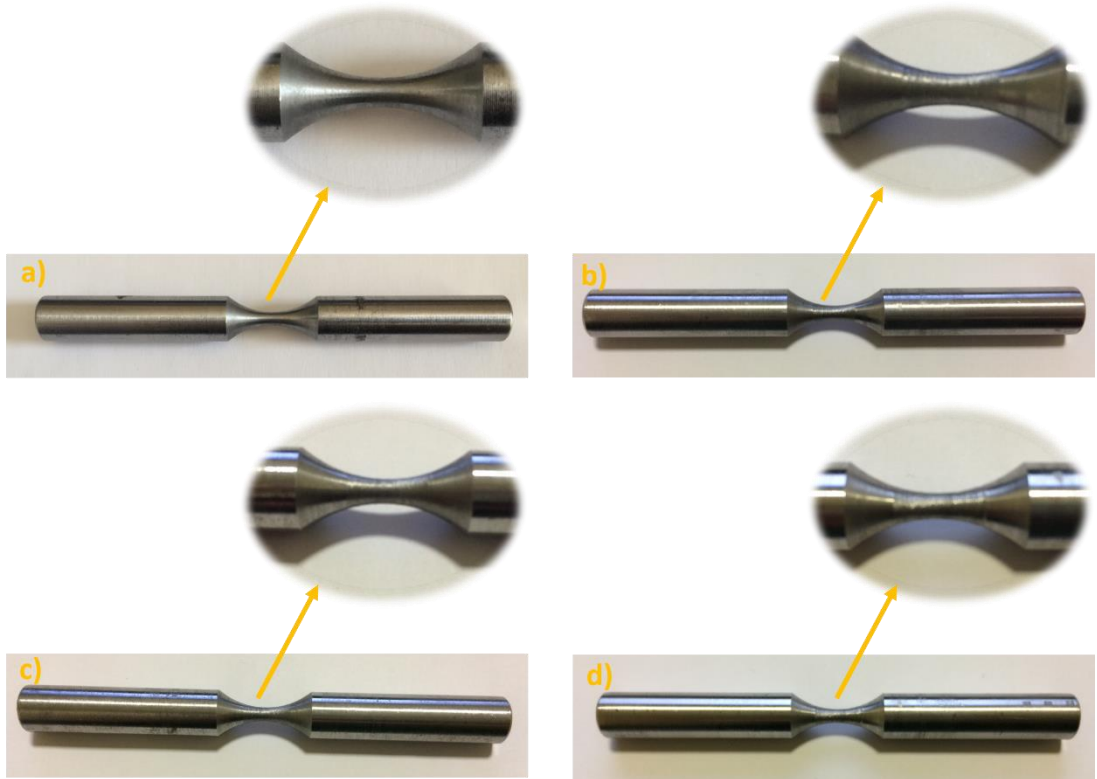
AISI 4340 malzemesinden üretilen numuneler perdahlama uygulamasından sonra malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri saptayabilmek için işlem görmemiş ve işlem görmüş numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Dinamik Test Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney sonrası numunelerin gerilme-uzama grafiği, çekme dayanımı, akma dayanımı ve uzama verileri elde edilmiştir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

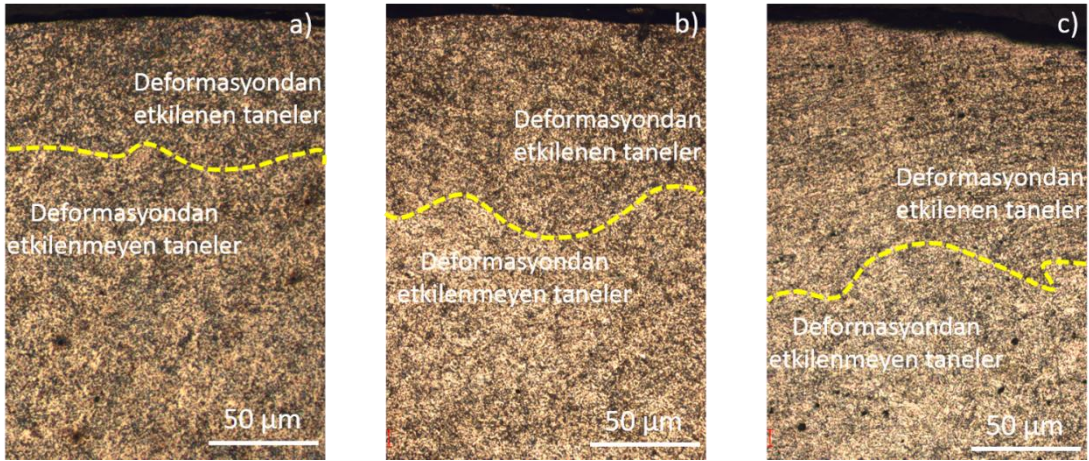
4.1. MİKROYAPI ANALİZİ

Mikro yapının detaylı analizleri yapılmadan önce numunelerin işlem görmemiş ve işlemler uygulanmış yüzeylerindeki makro değişimler Şekil 4.1’de verilmiştir. İşlem görmemiş numunenin talaşlı imalat sonrası takım izleri Şekil 4.1a’da görülmektedir. Şekil 4.1b, Şekil 4.1c ve Şekil 4.1d’de perdah takımının hareket izlerinin varlığı dikkat çekiştir. Perdahlama takımının hareket izleri varlığının paso derinliğindeki artış ile daha belirgin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. a) İG, b) P1, c) P2 ve d)P3 numunelerinin fotoğrafları.

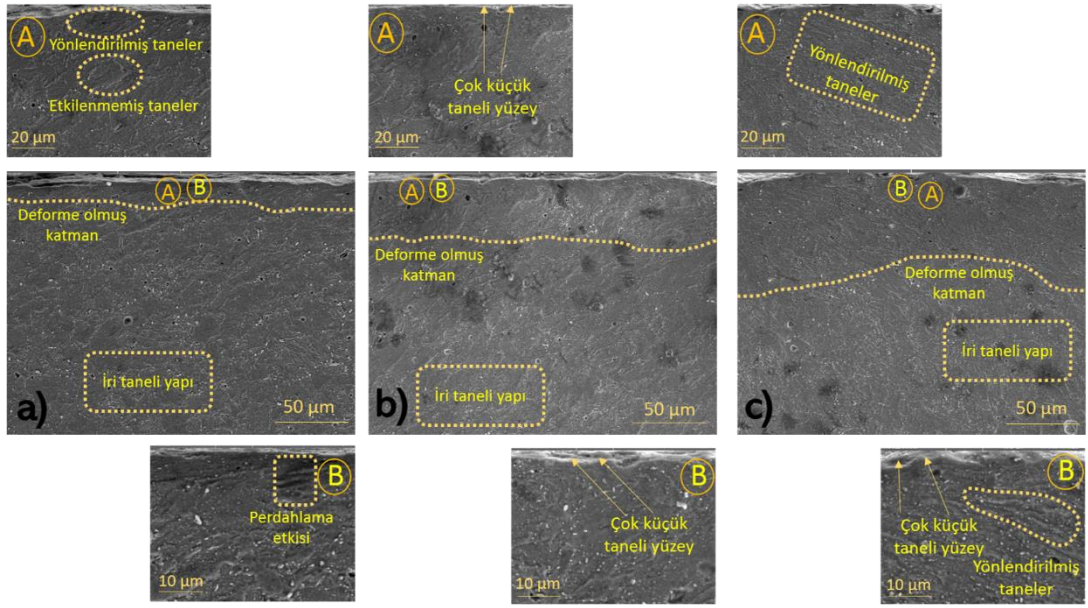
Şekil 4.2 de optik mikroskop görüntülerinde P1, P2 ve P3 şartlarında perdelenen numunelerin optik mikroskop görüntüleri gösterilmektedir. Perdelama işlemi sonrası yüzey bölgesinde bir plastik deformasyon etkisi sonrası tane yapısında değişiklik görülmüştür. Yüzeyde işlemden etkilenen yapı iç kısımla kıyaslandığında daha çok basılmış ve yapının homojenliği bozulmuştur. İç yapıda görülen farklı renklerde dikkat çeken dağılımların birbirleri içine geçtiği ve ayırt edici yapıların ortadan kaybolmaya başladığı dikkat çekmiştir. Aynı zamanda perdelama işleminin etkisinin artırılmasıyla deforme olmuş bölgenin kalınlığında artış meydana gelmiştir. P3 şiddetinde perdelama işlemi sonrası tanelerin soldan sağa doğru yönlendiği görülmekte olup perdelama yönünü de işaret etmektedir. Yüzey hattında işlem kaynaklı deformasyon görülmekle beraber aşırı bilyalı dövme veya yüzey mekanik deformasyon işlemine göre etkinin daha sınırlı olduğu gözlemlenmiştir [39,40].



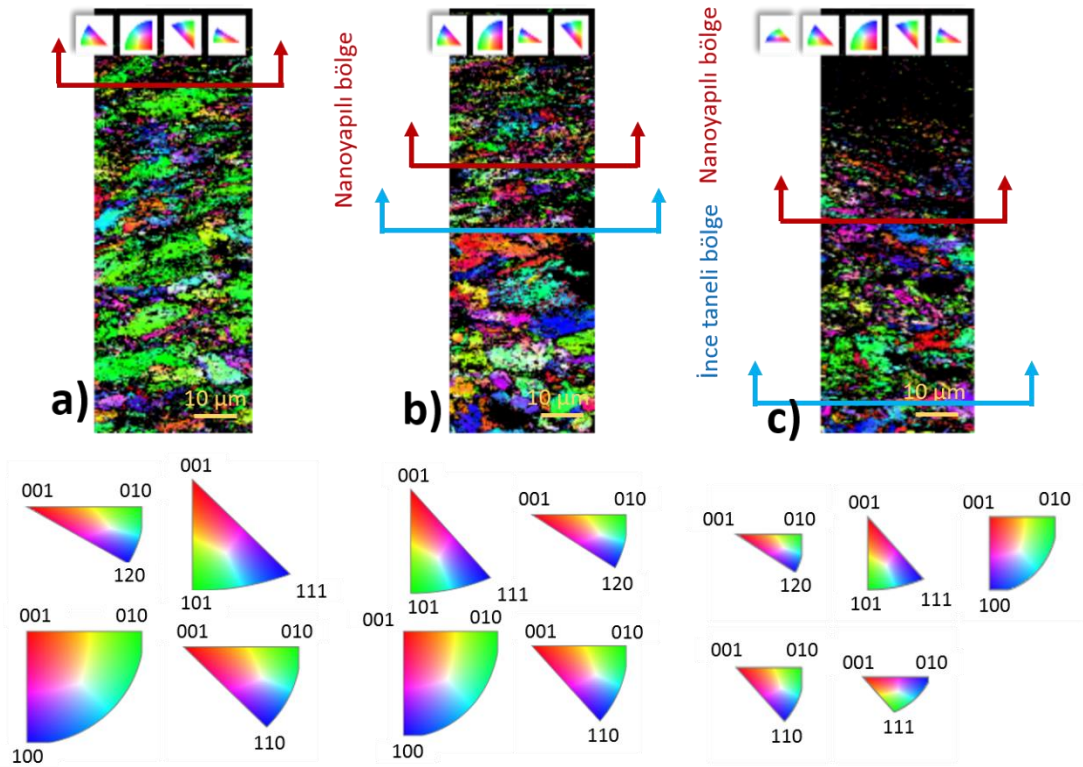
Şekil 4.2. Numunelerin kesit bölgesinden optik mikroskop görüntüleri a) P1, b) P2 ve c) P3.

Şekil 4.3'teki SEM görüntülerinde mikroyapıda genel olarak demir esaslı iç yapı ve alaşım elemanları ihtivasi ile oluşan bileşikler dikkat çekmektedir. SEM analizinde genel olarak deforme olmuş yapı yönlenmiş olarak iç yapıdan ayırt edilmiştir. Deformasyondan etkilenen tabaka kalınlıklarının işlem şiddetinin arttıkça artması SEM analizinde de görülmüştür. Tabaka kalınlıkları optik mikroskop çalışmaları ile uyumludur. P1 ve P2 uygulamaları sonrası yüzey bütünlüğü ve düzlüğünün büyük ölçüde korunduğu bu durumun perdelama işleminin önemli bir yüzey aşırı plastik deformasyon yöntemi olabileceğini göstermektedir. Ancak işlem şartları ağırlaştıkça

yüzey de etkisi ağırlaşmaktadır. P3 uygulamasında deformasyon etkili tabaka kalınlığı önemli ölçüde derinleşmekte olup, mekanik özellikler bağlamında etki yapabileceği düşünülmüştür. Optik görüntülerden farklı olarak yüzeyde detaylı karakterizasyonu sınırlı olarak gerçekleşmiş bulutsu bir yapı varlığını göstermiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda bu yapının deforme olmuş ultra-ince taneli veya nanokristalli yapı olduğu ortaya konulmuştur [41]. Bu tür yapıların faz değişimi, tane boyutu değişimi ve tabaka farklılıklarının belirlenmesi amacıyla EBSD analizleri yapılmış olup Şekil 4.4'de gösterilmektedir. EBSD analizi sonrası genel hatlarıyla yüzeyden iç kısma doğru 3 farklı yapı dikkat çekmektedir. Literatürde yeni ortaya atılmaya başlanan gradyan malzemelerde de benzer yaklaşımlar vurgulanmaktadır [42,43]. Gradyan malzemelerin yapılan yüzey deformasyonlarıyla birlikte heterojen yapıya sahip olmalarından dolayı hem mukavemet hem de süneklik özelliklerinde önemli artışlar gözlemlenmeye başlamıştır. Bu durumun yeni tip malzeme ve süneklik-dayanım ilişkisinde önemli etki bırakacağı düşünülmektedir. P1, P2 ve P3 işlemleri sonrasında EBSD incelemesinde 3 farklı yapı ortaya çıkmıştır. Yüzey ve altında deformasyon enerjisinin büyük oranıyla karşı karşıya kalan en dış tabakada nanokristalli (ultra-ince) taneli tabaka, deformasyon etkisinin dereceli olarak düştüğü fakat etkinin hissedilir olduğu ince taneli, deformasyondan etkilenmiş tabaka ve işlemde etkilenmeyen kaba taneli yapı olarak 3 ana tabakanın varlığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.4a'da görüldüğü üzere çok ince bir tabakada nanokristalli yapı elde edilmiştir. Etkinin düşük olması dolayısıyla alt kısımda herhangi bir deformasyondan etkilenen tabaka dikkat çekmemekte olup iki tabaka kalınlığının birbirine çok yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni şiddetin artmasıyla birlikte bu iki tabaka kalınlığı sınırları arasındaki mesafenin artmış olması olarak düşünülmüştür. İşlem şartları ağırlaştıkça hem nanokristalli hem de deformasyondan etkilenmiş, yönlendirilmiş ince taneli tabaka kalınlıklarının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda uygulama metodolojisinin farklı olmasına rağmen, aşırı bilyalı dövme [39], yüzey mekanik deformasyon işlemi (SMAT) [43] ve ultrasonic nanokristal yüzey modifikasyonu (UNSM) [40] uygulamaları sonrası benzer oluşumların varlığı dikkat çekmiştir.



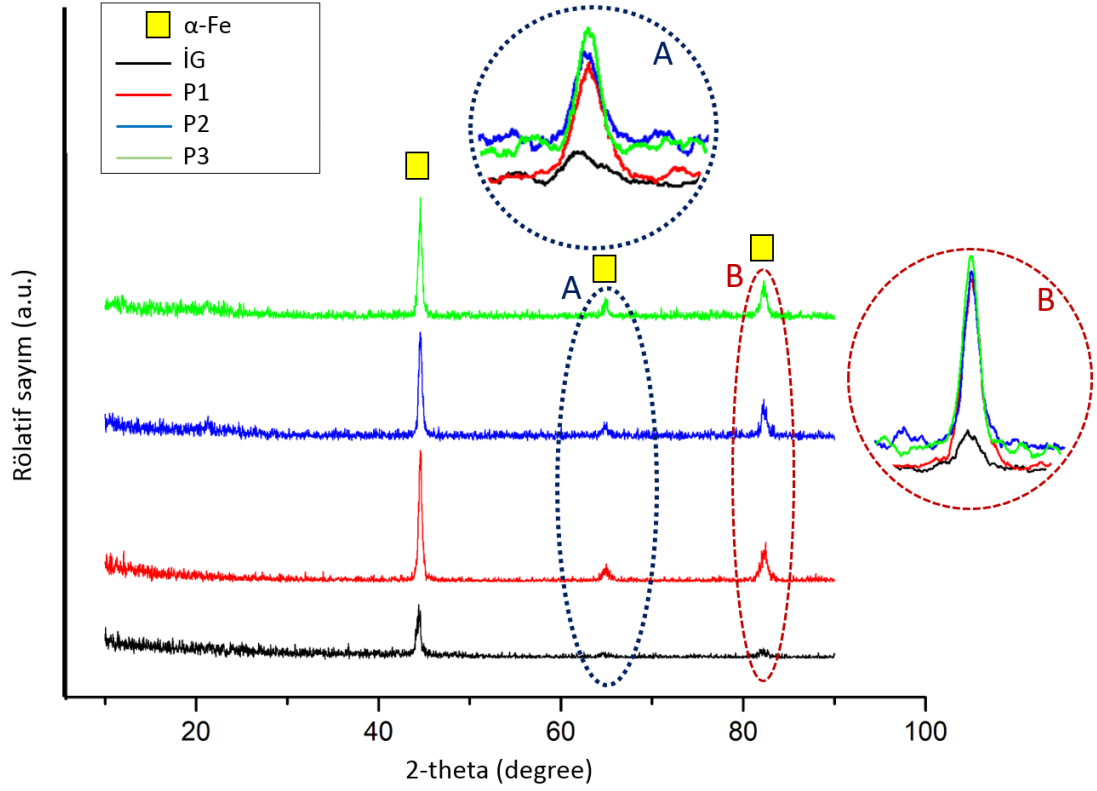
Şekil 4.3. Numunelerin kesit bölgesinden sem görüntüleri a) P1, b) P2 ve c) P3.



Şekil 4.4. Numunelerin kesit bölgesinden ebsd görüntüleri a) P1, b) P2 ve c) P3.

4.2. XRD ANALİZİ

Şekil 4.5’de X-ışını difraksiyon grafikleri incelendiğinde sadece demir pikleri gözlemlenmiştir. Yüzeyin, zımparalama, parlatma işlemlerinden geçmiş olması sebebiyle herhangi bir oksit yapısı veya impüriteye rastlanılmamıştır. Perdahlama işlemi sonrası aynı pikler elde edilmiş, yüzeyde uygulamanın doğası gereği mekanik bir yüzey deformasyon işlemi olması dolayısıyla kimyasal değişikliği ortaya koyabilecek herhangi bir yeni pik oluşumuna rastlanılmamıştır. İki farklı pikten elde edilen görüntülerde işlem görmüş piklerin tümüyle pozisyonların farklı derecelere kaydığı, kayma işleminin yüksek açılara meyilli olduğu gözlemlenmiştir. Piklerin uygulanan P1, P2 ve P3 işlemleri sonrası farklı açılara kayması literatürde yapılan çalışmalarda kafes distorsiyonları ve artık basma gerilmesi yüklemesi ile ilişkilendirilmiştir [44]. Aynı zamanda yüzey bölgesinde ortalama tane boyutunda önemli yaklaşımlar sunan yarı yükseklikteki pik genişliği (FWHM) ölçümlerinde işlem sonrası artış gözlemlenmiştir. FWHM artışı tane boyutunun azaldığı tanelerin deformasyonla birlikte incelendiği sonucunu ortaya koymuştur. Çizelge 4.1’de FWHM değerleri verilmiştir [45].



Şekil 4.5. İG, P1, P2 ve P3 numunelerinin XRD grafikleri.

Çizelge 4.1. Uygulanan yüzey işlemlerinin yarı yükseklikteki pik genişliğinin değerleri.

		FWHM(°)			
2θ	Pik	İG	P1	P2	P3
44,50	110	0,47	0,435	0,41	0,48
64,82	200	0,466	0,76	0,405	0,477
82,26	211	0,466	0,74	0,405	0,477

4.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK TESTİ

Çizelge 4.2’de işlemler öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Perdahlama işlemleri sonrası yüzey pürüzlülüğünün artış gösterdiği ölçümlerde ortaya çıkmıştır. Perdahlama şartlarının birbirinden oldukça farklı olması dolayısıyla pürüzlülükteki artış oranı yüksektir. Ancak perdahlama işleminin diğerlerinden önemli bir avantajı olarak pürüzlülüğünün belirli bir seviyeden sonra sabit kaldığı, artış

göstermediği ortaya çıkmıştır. Bu durum perdahlama işleminin yüzey özellikleri dikkate alındığında tercih edilebilir önemli bir yüzey aşırı plastik deformasyon alternatifi olabileceğini göstermiştir.

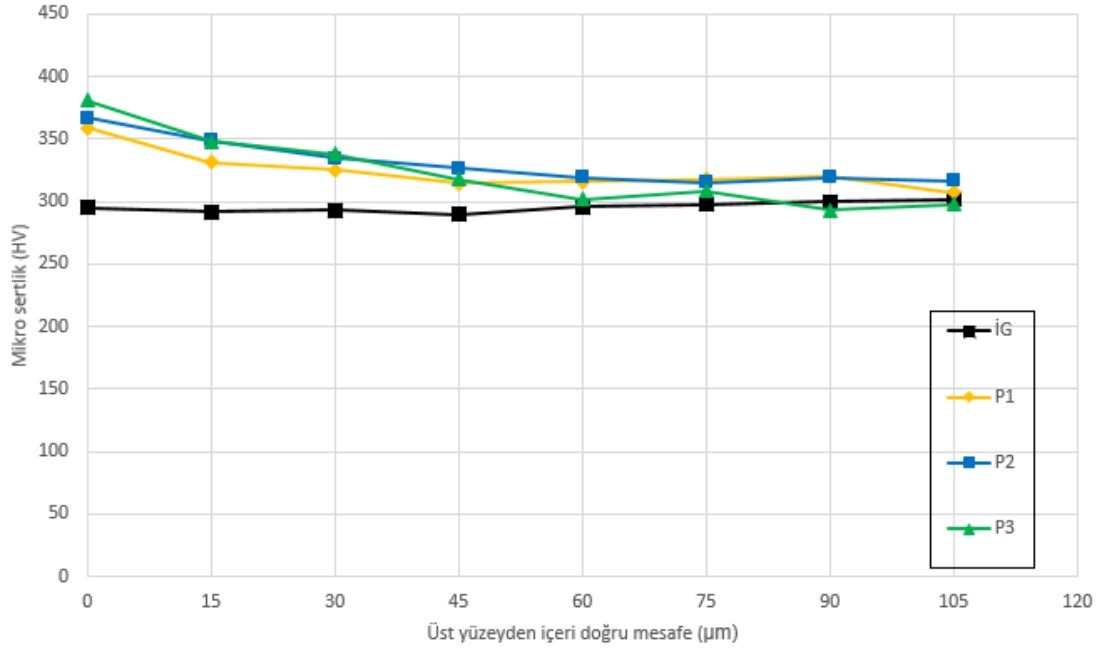
Çizelge 4.2. Numunelerin yüzey pürüzlülükleri.

Numuneler	Ra(μm)	Rq(μm)	Rz(μm)
İşlem Görmemiş	1,069	1,454	7,08
P1	2,815	3,490	15,978
P2	4	4,917	21,190
P3	4,116	5,04	21,773

4.4. MİKROSERTLİK ANALİZİ

Malzemenin yüzeyine basınç yüklemesi ile plastik deformasyon numune yüzeyinde lokalize soğuk işlenmiş bir bölge oluşturur. Oluşan bu bölge plastik deformasyonun etkisi ile sertleşir. Plastik deformasyonun etkisinin artırılmasıyla da oluşan katmanın tabaka kalınlığı artar. Sertleşen bu katman ayrıca korozyon direnci ve aşınma direnci değerlerinin iyileşmesine olumlu katkılar sağlar [14].

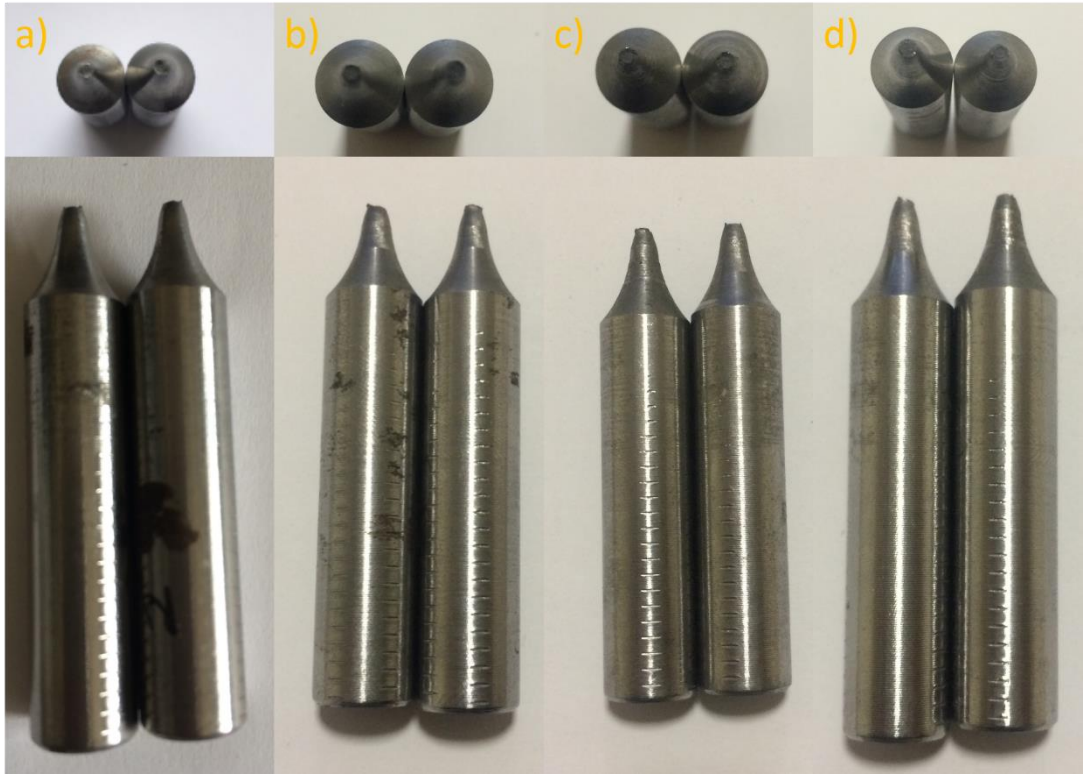
Şekil 4.6’da işlemler öncesi ve sonrası numunelerin sertlik değerleri grafik olarak verilmiştir. Plastik deformasyonun etkisi arttırıldıkça sertliğin de o oranla arttığı görülmektedir. Sertlik açısından P1 ve P2 nin malzemenin yüzeyinden 105 μm derinliğe kadar, P3’nin ise 75 μm derinliğe kadar değiştiği ve iyileştiği gözlemlenmiştir. Uygulanan perdahlama uygulamaları malzemenin sertleşmesine önemli katkılar sağladığı grafikte görülmekte ve perdahlama uygulamasının diğer yüzey iyileştirme yöntemlerine alternatif olabileceği açıkça görülmektedir.



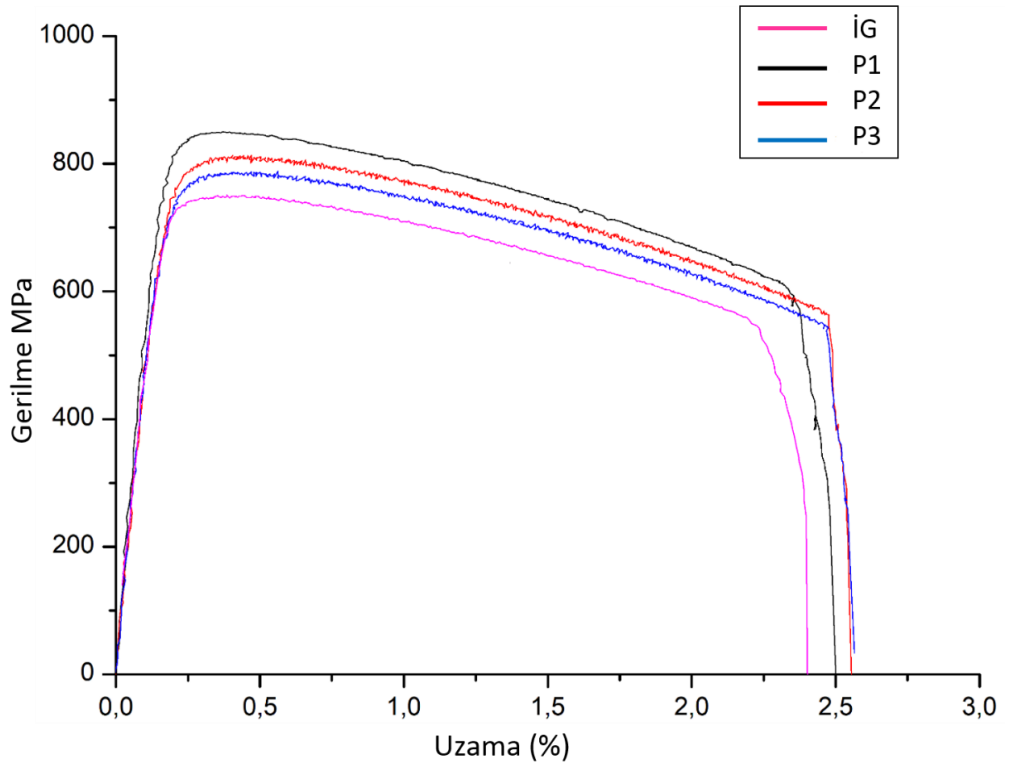
Şekil 4.6. İG, P1, P2 ve P3 numunelerinin sertlik grafiği.

4.5 ÇEKME TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

İşlem görmüş ve görmemiş tüm numunelere yapılan çekme testleri ile elde edilen kırılmaların makro düzeydeki görüntüleri Şekil 4.7’de, gerilme-uzama diyagramları Şekil 4.8’de ve mukavemet-süneklik değerleri Tablo 4.3’te verilmiştir. Numunelerin süneklik ve mukavemet özelliklerinin anlaşılmasında çekme sırasında kopmanın morfolojik davranışı belirli bir yaklaşım sunmaktadır [46]. Plastik deformasyona uğrayan dış yüzeyin iç yüzeye göre boyun verme olgusunu gösterdiği gözlemlenmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre uygulanan tüm perdahlama işlemlerinin mukavemet ve süneklik özelliklerini birlikte arttırdığı gözlemlenmiştir. İşlem görmemiş numunede akma dayanımı 749,7 MPa iken P1, P2 ve P3 perdahlama işlemlerinde sırasıyla 848,8 MPa, 808,8 MPa ve 802,7 MPa değerlerine ulaşılmıştır. Maksimum çekme dayanımı işlem görmemiş numunede 751,2 MPa iken, P1, P2 ve P3 işlemlerinde sırasıyla 850,3 MPa, 813,5 MPa ve 796,6 MPa’ ya yükselmiştir. Mukavemet değerleri açısından en etkili işlem P1 iken süneklik açısından P2 ve P3 etkisi baskın olarak izlenmiştir. Bu durum mukavemet-süneklik dengesi kurgusunu yüzey aşırı plastik deformasyon uygulamaları ve gradyan yapıları malzemelerin bertaraf ettiği hem yapılan bu tez çalışmasında hem de diğer literatür çalışmalarında gösterilmiştir [47,48].



Şekil 4.7. a) İG, b) P1, c) P2 ve d) P3 Numunelerin kopma sonrası fotoğrafları.



Şekil 4.8. Numunelerin gerilme-uzama grafiği.

Çizelge 4.3. Numunelerin mukavemet-süneklik değerleri.

	Akma mukavemeti (MPa)	Max.çekme mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
İG	749,7	751,2	2,40
P1	848,8	850,3	2,50
P2	808,8	813,5	2,55
P3	802,7	796,6	2,55

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. İşlemlerde plastik deformasyonun etkisi arttırıldıkça işlemlerden etkilenen tabaka kalınlığında artış olduğu, P1 ve P2 işlemlerinin yüzey bütünlüğünü ve düzlüğünü büyük ölçüde koruduğu ayrıca işlemler sonrası oksit tabakası ve yüzey çatlaklarına rastlanılmadığı görülmüştür.
2. EBSD analizleri sonucunda P1'de sadece nanayapılı bölge belirgin olarak belirlenirken P2 ve P3 işlemlerinde nanoyapılı ve ince taneli bölge birlikte belirgin olarak belirlenmiştir.
3. Tüm numunelerden elde edilen pikler ve elde ettikleri düzlemler eştir. Bu durum işlemlerin hepsinin mekanik tabanlı olduğu kimyasal herhangi bir değişimin olmadığını destekler niteliktedir. İşlemlerin etkisi arttırıldıkça FWHM değerlerinin arttığı görülmüştür.
4. İşlemler sonrası yüzey pürüzlülüğünde herhangi bir iyileşme sağlanamamıştır. İşlemlerin etkisi arttırıldıkça yüzey pürüzlülüğünün daha da bozulduğu dikkat çekmektedir. Bu durum perdahlama işlemi parametrelerinin aşırı plastik deformasyon sahasına girdiği hususunda önemli ipuçları ortaya koymaktadır. Parametrelerin düşürülmesi ve optimizasyonu ile yüzey pürüzlülüğü hususunda pozitif etki yapabileceği kanaati oluşmuştur.
5. İşlemlerin sertlik açısından olumlu etki gösterdiği plastik deformasyondan etkilenen tabaka kalınlığının artması sertliğe pozitif yönde etkisi

gözlemlenmiştir. İşlemlerde en iyi sertlik değerleri sırasıyla P3, P2 ve P1 şeklindedir.

6. İşlemler sonrası malzemenin mekanik özelliklerine olumlu katkılar sağladığı görülmüştür. Süneklik açısından en iyi işlem P1 iken mukavemet açısından en etkili işlemler P2 ve P3 olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Has, E., “Bilyeli Perdahlama İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
2. Dinçkurt, O., “Makaralı Perdahlama İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).
3. Bilal, M.M., Yaqoob, K., Zahid, M.H., Haq, E., Tanveer, W.H., Wadood, A., and Ahmed, B., “Effect of Austempering Conditions on the Microstructure and Mechanical Properties of AISI 4340 and AISI 4140 Steels”, *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (6): 5194-5200 (2019).
4. Torres, M.A.S., and Voawald, H.J.C., “An Evaluation of Shot Peening Residual Stress and Stress Relaxation on the Fatigue Life of AISI 4340 Steel”, *International Journal of Fatigue*, 24: 877-886 (2002).
5. Niazi, N., Nisar, S., and Shah, A., “Austempering Heat Treatment of AISI 4340 Steel and Comparative Analysis of Various Physical Properties at Different Parameters”, *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, 5 (10) (2014).
6. Hebsur, M.G., “Recent Attempts of Improving the Mechanical Properties of AISI 4340 Steel by Control of Microstructure”, *Journal Materials For Energy Systems*, 4 (1) (1982).
7. Unal, O., and Varol, R., “Almen İntensity Effect on Microstructure and Mechanical properties of Low Carbon Steel Subjected to Severe Shot Peening”, *Applied Surface Science*, 290: 40-47 (2014).
8. Efe, Y., “AA 7075 Alüminyum Alaşımlarının Farklı Tip Yüzey İşlemleri ile Yorulma Davranışlarının İyileştirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2018).
9. i, L., Shen, L., and Proust, G., “Fatigue Crack Initiation Life Prediction For Aluminium Alloy 7075 Using Crystal Plasticity Finite Element Simulations”, *Mechanics of Materials*, 81: 84-94 (2015).

10. Olsson, A., "Fatigue Strength of Truck Components in Cast Iron", *Master's Thesis, Chalmers University of Technology*, Göteborg (2011).
11. Jia, X., Grejtak, T., Krick, B., and Vermaak, N., "Design of Composite Systems For Rotary Wear Applications", *Materials and Design*, 134: 281-292 (2017).
12. Hassan, A.M., and Maqableh, A.M., "The Effects of Intial Burnishing Parameters on Non-Ferrous Components", *Journal of Materials Processing Technology*, 102: 115-121 (1998).
13. Bougharriom, A., Sai, K., and Bouzid, W., "Finite Element Modelling of Burnishing process", *Materials Technology*, 25 (1): 56-62 (2010).
14. Rodriguez, A., Lopez de Lacalle, L.N., Celaya, A., Lamikiz, A., and Albizuri, J., "Surface Improvement of Shafts by the Deep Ball Burnishing Technique", *Surface & Coatings Technology*, 206: 2817-2824 (2012) .
15. El-Tayeb, N.S.M., Low, K.O., and Brevern, P.V., "Influence of Roller Burnishing Contact Width and Burnishing Orientation on Surface Quality and Tribological Behaviour of Aluminium 6061", *Journal of Materials Processing Technology*, 186: 272-278 (2007).
16. Hamadache, H., Laouar, L., Zeghib, N.E., and Chaoui, K., "Characteristics of Rb 40 Steel Superficial Layer Under Ball and Roller Burnishing", *Journal of Materials Processing Technology*, 180: 130-136 (2006).
17. Priyadarsini, C., Venkata Ramona, V.S.N., Prabha, K., and Swetha, S., "A Review on Ball, Roller, Low Plasticity Burnishing Process", *Materials Today Proceedings*, 18: 5087-5099 (2019).
18. Yen, Y.C., Sartkulvanich, P., and Altan, T., "Finite Element Modeling of Roller Burnishing Process", *CIRP Annals*, 54 (1): 237-240 (2005).
19. Hassan, A.M., and Al- Dhifi, "Improvement in the Wear Resistance of brass components by the Ball Burnishing Process", *Journal of Materials Prcessing Technology*, 96:73-80 (1999).
20. Travieso-Rodriguez, J.A., Jerez-Mesa, R., Gomez Gras, G., Lluma-Fuentes, J., Casadesus-Farras, O., and Madueno-Guerrero, M., "Hardening Effect and Fatigue Behavior Enhancement Through Ball Burnishing on AISI 1038", *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6): 5639-5646 (2019).

21. Saldana-Robles, A., Plascencia-Mora, H., Aguilera-Gomez, E., Saldana-Robles, A., Marquez-Herera, A., and Diasdado-De la Pena, J.A., "Influence of Ball Burnishing on Roughness, Hardness and Corrosion Resistance of AISI 1045 Steel", *Surface & Coatings Technology*, 339: 191-198 (2018).
22. Lopez de Lacalle, L.N., Lamikiz, A., Munoa, J., and Sanchez, A., "Quality Improvement of Ball-End Milled Sculptured Surfaces by Ball Burnishing", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1659-1668 (2005).
23. Hassan, A.M., and Al-Bsharat, "Influence of Burnishing Process on Surface Roughness, Hardness and Microstructure of Some Non-Ferrous Metals", *Wear*, 199: 1-8 (1996).
24. Revankar, G.D., Shetty, R., Rao, S.S., and Gaitonde, V.N., "Analysis of Surface Roughness and Hardness in Ball Burnishing of Titanium Alloy", *Measurement*, 58:256-268 (2014).
25. Ünal, O., "Bilyalı Dövme İşleminin Tane Boyutuna Etkisinin Deneysel İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2011).
26. Bagherifard, S., Fernandez-Pariente, I., Ghelichi, R., and Guagliano, M., "Effect of Severe Shot Peening on Microstructure and Fatigue Strength of cast Iron", *International Journal of Fatigue*, 65: 64-70 (2014).
27. Mohamed, A.O., Farhat, Z., Warkentin, A., and Gillis, J., "Effect of a Moving automated Shot Peening and Peening Parameters on Surface Integrity of Low Carbon Steel", *Journal of Materials Processing Tech.*, 277: 116399 (2020).
28. Miao, H.Y., Larose, S., Perron, C., and Levesque, M., "On the Potential Applications of a 3D Random Finite Element Model for the Simulation of Shot Peening", *Advances in Engineering Software*, 40: 1023-1038 (2009).
29. Wang, G., Wang, L., Wang, C., Li, K., and Wang, X.G., "Dislocation Density-Based Study of Grain Refinement Induced by Laser Shock Peening", *Optics and Laser Technology*, 121: 105827 (2020).
30. Liu, D., Shi, Y., Liu, J., and Wen, L., "Effect of Laser Shock Peening on Corrosion Resistance of 316L Stainless Steel Laser Welded Joint", *Surface & Coatings Technology*, 378: 124824 (2019).

31. Yella, P., Rajulapati, K.V., Prasad Reddy, G.V., Sandhya, R., Kiran, P.P., Buddu, R.K., Rao, K.B.S., “Effect of Laser Shock Peening on High Cycle Fatigue Characteristics of 316LN Stainless Steel”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 176:103972 (2019).
32. Liu, J., Suslov, S., Li, S., Qin, H., Ren, Z., Ma, C., Wang, G.X., Don, G.L., Cong, H., Dong, Y., Ye, C., “Effects of Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification on the Thermal Oxidation Behavior of Ti6Al4V”, *Surface & Coatings Technology*, 325:289-298 (2017).
33. Akkurt, A., “Delik Yüzeylerine Uygulanan Yüzey İyileştirme İşlemlerinin Alüminyum Alışımı Malzemeler Üzerinde Araştırması”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, (2009).
34. Gharbi, F., Sghaier, S., Morel, F., Benameur, T., “Experimental Investigation of the Effect of Burnishing Force on Service Properties of AISI 1010 Steel Plates”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24:721-725 (2015).
35. Buldum, B.B., Cagan, S.C., “Study of Ball Burnishing Process on the Surface Roughness and Microhardness of AZ91D Alloy”, *Experimental Techniques*, 42:233-241 (2018).
36. El-Khabeery, M.M., El-Axir, M.H., “Experimental Techniques for Studying the Effects of Milling Roller Burnishing Parameters on Surface Integrity”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41:1705-1719 (2001).
37. Prevey, P.S., Hornbach, D.J., Cammett, J.T., Ravindranath, R., “Damage Tolerance Improvement of Ti-6-4 Fan Blades with Low Plasticity Burnishing”, *6. Joint FAA/DOD/NASA Aging Aircraft Conference*, (2002)
38. Prevey, P.S., Jayaroman, N., Cammett, J., “Overview of Low Plasticity Burnishing for Mitigation of Fatigue Damage Mechanisms”, *Proceeding of ICSP9*, 260 (2005)
39. Maleki, E., Unal, O. and Kashyzadeh, K.R., “Surface Layer Nanocrystallization of Carbon Steels Subjected to Severe Shot Peening: Analysis and Optimization”, *Materials Characterization*, 157:109877 (2019)
40. Efe, Y., Karademir, I., Husem, F., Maleki, E., Karimbaev, R., Amanov, A. and Unal, O., “Enhancement in Microstructural and Mechanical Performance of AA7075 Aluminum Alloy Via Severe Shot Peening and Ultrasonic Nanocrystal Surface”, *Applied Surface Science*, 528:146922 (2020)

41. Olugbade, T.O. and Lu, J., “Literature Review on the Mechanical Properties of Materials After Surface Mechanical Attrition Treatment (SMAT)”, *Nano Materials Science*, 2:3-31 (2020)
42. Pan, Q. and Lu, L., “Improved Fatigue Resistance of Gradient Nanograined Metallic Materials: Suppress Strain Localization and Damage Accumulation”, *Scripta Materialia*, 187:301-306 (2020)
43. Wu, Y., Guelorget, B., Sun, Z., Dèturche, R. and Reirant D., “Characterization of Gradient Properties Generated by SMAT for Biomedical grade 316L Stainless Steel”, *Materials Characterization*, 155:109788 (2013)
44. Estrin, Y. and Vinogradov, A., “Extreme Grain Refinement by Severe Plastic Deformation: A Wealth of Challenging Science”, *Sciverse Sciencedirect*, 61:782-817 (2013)
45. Maleki, E. and Unal, O., “Roles of Surface Coverage Increase and Re-peening on Properties of AISI 1045 Carbon Steel in Conventional and Severe Shot Peening Processes”, *Surfaces and Interfaces*, 11:82-90 (2018)
46. Bourebia, M., Bouri, A., Hamadache, H., Achouri, S., Laouar, L., Gharbi, A., Ghelloud, O. and Bouhamla, K., “Study of the Effect Burnishing on Superficial Hardness and hardening of S355JR Steel Using Experimental Planning”, *Sciencedirect*, 157:568-577 (2019)
47. Yang, M.X., Li, R.G., Jiang, P., Yuan, F.P., Wang, Y.D., Zhu, Y.T. and Wu, X.L., “Residual Stress Provides Significant Strengthening and Ductility in Gradient Structured Materials”, *Materials Research Letters*, 7:433-438 (2019)
48. Wu, X., Zhu, Y. and Lu, K., “Ductility and Strain Hardening in Gradient and Lamellar Structured materials”, *Scripta Materialia*, 186:321-325 (2020)

ÖZGEÇMİŞ

Serkan AŞIK 1992 yılında Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Cumhuriyet Lisesi Fen Bölümü'nden mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenimine başlayıp 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK
Tel : (543) 206 0796
E-posta : serkan.asik@outlook.com