



**AlZn5.5MgCu AL ALAŞIMINA UYGULANAN YÜZEY HADDELEME
İŞLEMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

Kübra DALLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kübra DALLI

20/01/2022

AlZn5.5MgCu AL ALAŞIMINA UYGULANAN YÜZEY HADDELEME İŞLEMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Kübra DALLI

GAZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

AlZn5.5MgCu Alüminyum alaşımına farklı batma derinliklerinde, farklı ilerleme hızlarında ve farklı dönme hızlarında yüzey haddeleme işlemleri uygulanmıştır. Yüzey haddeleme işlemleri çelik bilye uca sahip bir aparat kullanılarak CNC dik işlem merkezi tezgâhı ile gerçekleştirilmiştir. Farklı parametreler kullanılarak gerçekleştirilen yüzey haddeleme işlemi sonrası plakalarda oluşan haddeleme izlerinin pürüzlülük değerleri y-ekseni aritmetik ortalaması olarak bilinen Ra olarak ölçülmüştür. Yüzey haddeleme işlemlerinin yorulma dayanımına etkisini belirleyebilmek için DIN 50142'ye göre eğmeli yorulma deney numuneleri hazırlanmış ve yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin HV_{0.5} ve 40X büyütme ile mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin standart metalografik inceleme hazırlıkları gerçekleştirilmiş ve mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey haddeleme işlemi ile yüzey pürüzlülüğünün önemli ölçüde değiştiği gözlenmiştir. Artan ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğü artmıştır. İlerleme hızı ve dönme hızı sabit tutulmasına karşın batma derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir. Uygulanan gerilme değerleri için en düşük yorulma ömür verilerini ana malzeme vermiştir. Yüzey haddeleme işlemi uygulanan malzemelerde yorulma ömründe artış gözlenmiştir. Yüzey haddeleme işlemi sonrası tüm numunelerin sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerinden yüksek çıkmıştır. EDS analiz sonuçları mikroyapıda ağırlıkça farklı % miktarlarda Al-Mg-Cu-Zn içeren alaşım parçacıklarının varlığını göstermiştir. Yüzey haddeleme işlemi ile yüzeyden yaklaşık 94 µm mesafede haddelemeden etkilenen bölge mikroyapıda belirlenmiştir. Yüzey haddeleme işlemine maruz kalmış bölgenin ve ana malzeme bölgesinin mikroyapısının sütunsal ve hadde yönünde yönlenmiş tanelerden oluştuğu belirlenmiştir. Ancak YH işlemi uygulanan tanelerin en/boy oranının farklılaştığı belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 91514

Anahtar Kelimeler : AlZn5.5MgCu, Yüzey işlemi, Haddeleme, Mekanik özellikler, Mikroyapı

Sayfa Adedi : 43

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Melika ÖZER

THE EFFECT OF SURFACE ROLLING PROCESS ON MECHANICAL PROPERTIES
OF AlZn5.5MgCu AL ALLOY

(M.Sc. Thesis)

Kübra DALLI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

Surface rolling processes were applied to AlZn5.5MgCu Aluminum alloy at different penetration depths, different feed rates and different rotational speeds. Surface rolling processes were carried out with a CNC vertical machining center bench using an apparatus with a steel ball tip. The roughness values of the rolling traces formed on the plates after the surface rolling process using different parameters were measured as Ra, which is known as the y-axis arithmetic mean. In order to determine the effect of surface rolling processes on fatigue strength, bending fatigue test specimens were prepared according to DIN 50142 and fatigue tests were carried out. Microhardness measurements of the samples were made with HV0.5 and 40X magnification. Standard metallographic examination preparations of the samples were carried out and microstructure examinations were carried out using optical microscope and scanning electron microscope. It was observed that the surface roughness changed significantly with the surface rolling process. The surface roughness increased with increasing feed rate. Although the feed rate and rotation speed were kept constant, the increase in the immersion depth negatively affected the surface roughness. The base material gave the lowest fatigue life data for the applied stress values. An increase in the fatigue life was observed in the materials to which the surface rolling process was applied. After the surface rolling process, the hardness values of all samples were higher than the hardness value of the main material. EDS analysis results showed the presence of alloy particles containing Al-Mg-Cu-Zn in different wt% amounts in the microstructure. With the surface rolling process, the area affected by rolling was determined in the microstructure at a distance of approximately 94 μm from the surface. It has been determined that the microstructure of the surface-rolled region and the base material region consists of columnar and oriented grains in the rolling direction. However, it was determined that the aspect ratio of the grains applied YH process differed.

Science Code : 91514

Key Words : AlZn5.5MgCu, Surface Treatment, Rolling, Mechanical Properties, Microstructure

Page Number : 43

Supervisor : Assist Prof. Dr. Melika ÖZER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Dr. Öğr. Üyesi Melika ÖZER'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Doç. Dr. Alpay ÖZER'e ve sevgili eşim Ümit DALLI' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bu araştırma çalışmasına 07/2019-21 kodlu BAP Projesi finansal desteği için Gazi Üniversitesi'ne teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
2.1. Alüminyum Malzeme Tercih Sebepleri ve Kullanım Alanları	4
3. ALÜMİNYUM 7175 (EN AW/AlZn5.5MgCu)	7
4. YÜZEY HADDELEME İŞLEMİ	9
4.1. Yüzey Haddeleme İşlemi Çeşitleri.....	10
4.2. Yüzey Haddeleme İşleminin Avantajları	11
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	13
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	19
6.1. Malzeme	19
6.2. Metot	20
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	25
7.1. Yüzey Pürüzlülüğü.....	25
7.2. Yorulma Ömür Verileri.....	27
7.3. Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi	30
7.4. Mikroyapı İncelemeleri	32

Sayfa

8. SONUÇLAR.....	37
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	43



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Al 7175 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesinin kimyasal kompozisyonu, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri	7
Çizelge 4.1. Numunelere uygulanan farklı parametreler	14
Çizelge 6.1. Al 7175-T6 malzemesinin kimyasal kompozisyonu	19
Çizelge 6.2. Al 7175-T6 malzemesinin mekanik özellikleri	20
Çizelge 6.3. YH işlem parametreleri.....	20



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Yüzey haddeleme işlemi uygulanan malzeme yapısı	10
Şekil 4.2. Ezme ve destek makaraları ve makaraların parça boyunca ilerlemesi	11
Şekil 7.1. İlerleme hızının ve batma derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	25
Şekil 7.2. Dönme hızı yüzey pürüzlülüğüne etkisi	26
Şekil 7.3. YH işleminde batma derinliğinin yorulma ömrüne etkisi	27
Şekil 7.4. YH işleminde ilerleme hızının yorulma ömrüne etkisi.....	28
Şekil 7.5. 0,15/0,15/200, 0,15/0,30/200 ve 0,15/0,60/200 numunelerinin optik mikroyapı görüntüleri	29
Şekil 7.6. YH işleminde dönme hızının yorulma ömrüne etkisi.....	29
Şekil 7.7. Sertlik ölçüm noktaları ve ekran görüntüsü.....	31
Şekil 7.8. Mikro sertlik ölçüm sonuçları.....	31
Şekil 7.9. Deney numunesi Al 7175 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesinin SEM noktasal EDS analiz sonuçları	33
Şekil 7.10. 0,15/0,60/400 numunesinin SEM görüntüsü	34
Şekil 7.11. 0,15/0,60/400 numunesinin SEM görüntüsü. (a) YH işlemine maruz kalmış mikroyapı bölgesi, (b) Ana malzeme mikroyapısı	34
Şekil 7.12. YH işlemi ile çelik bilye dönme hareketinin mikroyapıda tanelerin yönelmesine olan etkisi.....	35
Şekil 7.13. YH işleminin yüzeyde ve yüzeye yakın bölgelerde tanelerde meydana getirdiği şekilsel değişim	35

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. YH işlemi ve CNC dik işlem merkezi	21
Resim 6.2. Farklı parametrelerde YH uygulanmış plaka görseli.....	21
Resim 6.3. Mitutoyo/SJ-210 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	21
Resim 6.4. Yorulma test numunesi şematik resmi ve yorulma test cihazı görseli.....	22
Resim 6.5. QNESS GmbH Q30 M serisi mikro sertlik cihazı ve ölçüm noktaları.....	23
Resim 6.6. Mikroskop görüntüleri a) optik mikroskop ve b) SEM mikroskop	23



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

HRC

Rockwell

HV

Vickers

m

Metre

mm

Milimetre

MPa

Megapascal

N

Newton

Ra

Ortalama yüzey pürüzlülüğü

µm

Mikrometre

Kısaltmalar

Açıklamalar

dak.

Dakika

dev.

Devir

YH

Yüzey haddeleme

1. GİRİŞ

Parlatma olarak da bilinen yüzey haddeleme (YH) işlemi başka bir nesne ile kayma teması oluşturarak yüzeyin plastik deformasyona uğramasıdır. Yüzeyi pürüzsüzleştirir ve daha parlak hale getirir. Haddeleme işlemi ile benzerdir. Uygulama kolaylığından dolayı uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Bir bilyenin düz bir plakaya karşı hareketi, YH işlemini gösterir. Bilye aparat yardımı ile basınç uygulanarak plakaya doğru itilirse, plaka yüzeyinde gerilimler oluşur. Bu kuvvet arttıkça hem bilye hem de plakanın yüzeyleri deforme olur. Bilyenin neden olduğu deformasyon, baskı kuvveti arttıkça artar. Akma gerilmesinin üzerinde gerilmeler oluşturacak büyüklüklerde kuvvetlerin uygulanması malzeme yüzeyinde plastik deformasyona neden olacak ve sonuçta plakanın yüzeyi kalıcı şekil değişimine maruz kalacaktır.

Bilyeyi plaka boyunca sürüklemek, basmaktan farklı bir etkiye sahip olacaktır. Bu durumda, bilye üzerindeki kuvvet iki bileşen kuvvetine ayrılabilir. Biri plakanın yüzeyine bastırarak dik, diğeri ise onu sürükleyerek teğetseldir. Teğetsel bileşen arttıkça, bilye plaka boyunca kaymaya başlayacaktır. Aynı zamanda, normal kuvvet, statik durumda olduğu gibi her iki nesneyi de deforme edecektir. Normal kuvvet düşükse, bilye plakaya sürtünür ancak yüzeyini kalıcı olarak değiştirmez. Sürtünme eylemi sürtünme ve ısı yaratacak, ancak plaka üzerinde iz bırakmayacaktır. Bununla birlikte, normal kuvvet arttıkça plaka yüzeyindeki gerilmeler akma mukavemetini aşacaktır. Bu durumda bilye yüzeyden geçecek ve arkasında bir oluk oluşturacaktır.

YH işlemlerinin birkaç biçimi vardır, en yaygın olanları merdaneyle yüzey haddeleme ve bilyeli yüzey haddelemedir. Her iki durumda da, bir yüzey haddeleme takımı iş parçasına karşı çalışır ve yüzeyini plastik olarak deforme eder.

Rulo parlatma veya YH, silindirik, konik veya disk şeklindeki iş parçalarında kullanılır. Bir makaralı rulmana benzer, ancak makaralar genellikle zarf çaplarının doğru bir şekilde ayarlanabilmesi için çok hafif koniktir. Makaralar tipik olarak bir makaralı rulmanda olduğu gibi bir kafes içinde döner. Silindirle yüzey haddeleme için tipik uygulamalar arasında hidrolik sistem bileşenleri, şaft dolguları ve sızdırmazlık yüzeyleri bulunur (Özkan, 2006).

Alüminyum malzeme hafif, yansıtma kabiliyeti yüksek, elastik, ani darbelere karşı dayanıklı, işlenmesi kolay, ısı ve elektriği iyi ileten bir malzeme olduğu için tercih sebebidir. Soğutma sanayinde, uçak ve uzay araçları dâhil bütün taşıt araçlarında ve inşaat sektöründe, elektrik-elektronik araçların yapımında (elektrik kablosu, elektrik nakil hatları v.b.) tercih edilmektedir.

Alüminyum 7175 malzemesinin korozyon direnci Al 7075 den çok daha fazladır. Al 7175 havacılık-uzay sanayisinde oldukça fazla kullanılmaktadır. Al 7175 malzemesinin işlenebilirliği Al 7075 den çok daha iyidir. Al 7175 malzemesi Al 7075 malzemesine göre zor şartlarda çok daha yüksek performans vermektedir.

Bu çalışmada Al 7175 malzemesine bilyeli YH işlemi uygulanmıştır. İşlem aparat yardımı ile bilyeler kullanılarak yapılmıştır. Bilyelere basınç uygulanıp bilyelerin dönme etkisinden faydalanılarak malzeme yüzeyinde izler oluşturulmuştur. YH işlemi sonrası numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, numunelere yorulma testi uygulanmıştır. Ardından metalografik işlemler gerçekleştirilerek numunelerin mikroyapısı incelenmiş ve mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır.

2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum alaşımlandırmak için kullanılan elementler, Al alaşımlarının mikroyapısı ile birlikte mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli derecede değiştirmekte ve geliştirmektedir. Bakır, silisyum, mangan, magnezyum ve çinko alüminyuma katılan başlıca alaşım elementleridir.

Alüminyum alaşımları dövme alüminyum alaşımları ve döküm alüminyum alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlarının plastik deformasyon kabiliyeti yüksek olup kolay şekillendirilebilirler. Dövme ve döküm alüminyum alaşımlarının büyük bir kısmına ısıtılma işlemi uygulanabilir.

Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır (Çetin H. 2005).

Bu sınıflandırma şu şekildedir:

1XXX: Saf Alüminyum: Elektrik ve kimya endüstrisinde yaygın kullanıma sahiptir.

2XXX: Al-Cu Alaşımları: Ana alaşım elementi bakırdır. Magnezyum ile birlikte diğer alaşım elementleri de kimyasal kompozisyonda bulunabilir. Havacılık ve uzay sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır.

3XXX: Al-Mn Alaşımları: Başlıca alaşım elementi mangandır. Boru üretimi, sıvı tankları ve mimari uygulamalarında kullanılmaktadır.

4XXX: Al-Si Alaşımları: Esas alaşım elementi silisyumdur. Düşük termal genleşme, yüksek aşınma direnci ve korozyon dayanımına sahip alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde yoğun olarak tercih edilmektedir.

5XXX: Al-Mg Alaşımları: Başlıca alaşım elementi magnezyumdur. Artan magnezyum oranı ile sertlik ve mukavemet artar, süneklik azalır. Yüksek korozyon direnci nedeniyle, korozif ortamlarda tercih edilir.

6XXX: Al-Mg-Si Alaşımları: Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Yüksek şekillendirilebilme kabiliyetine sahiptir. Ekstrüzyon ile şekillendirmede tercih edilir.

7XXX: Al-Zn Alaşımları: Bakır esas alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarıdır. Uzun ve havacılık sanayinde ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.

8XXX: Al-Li Alaşımları: Başlıca alaşım elementi lityum olup, kalay ilavesi de yapılabilir. Uçak ve uzay sanayisinde kullanılan 8xxx serisi Al alaşımları, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir (Demir, 2008).

2.1. Alüminyum Malzeme Tercih Sebepleri ve Kullanım Alanları

Alüminyum hafif bir malzemedir. Bu nedenle özgül dayanımı yüksektir. Hava koşullarına, yiyecek maddelerine ve günlük hayatta kullanılan pek çok sıvı ve gazlara karşı dayanıklıdır. Gümüşü beyaz rengi nedeniyle yansıtma kabiliyeti yüksektir. Yapılarda iç dış mimari için dikkat çekici bir görünüme sahiptir. Alüminyumun göze hoş gelen cezbedici görünümü, anodik oksidasyon gibi uygulamalar ile uzun müddet korunabilir.

Alüminyum sünek bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı ani darbelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, düşük sıcaklıklarda iyi mekanik özellikler sergiler. Şekillendirilmesi kolay bir metaldir. Isı ve elektriği iyi iletir (Soyyigit, 2009).

Alüminyum kolay soğuyup ısıyı absorbe eden bir metal olması nedeniyle soğutma sanayinde yaygın kullanım alanına sahiptir. Bakır ile karşılaştırıldığında daha ucuz olması ve daha çok bulunması, kolay şekillendirilebilmesi ve sünek olması nedeniyle birçok alanda tercih edilen bir metaldir. Alüminyum hafif bir metal olduğu için özgül dayanımı yüksektir. Uçak ve uzay araçları dâhil birçok kara, deniz ve hava taşıt araçlarında ve inşaat sektöründe kullanılmaktadır. İletkenlik özelliği ile elektrik-elektronik endüstrisinde (elektrik kablosu, elektrik nakil hatları v.b.) tercih edilmektedir.

Alüminyumun, dikkat çekici parlak ve şık görünümünden dolayı dekoratif amaçlı mobilya, süs ve ev eşyaları yapımında da kullanılmaktadır.

Yüksek özgül dayanımı nedeniyle cephe kaplamalarında tercih edilmektedir (Paulisch ve ark 2016, Cheong 2018, Song 2001).

21. yüzyılın metali olarak tanımlanan alüminyum ulaştırma, inşaat ve ambalaj sektörleri başta olmak üzere, yeni teknolojilerin de etkisiyle kullanımı sürekli artan bir malzeme konumundadır.





3. ALÜMİNYUM 7175 (EN AW/AlZn5.5MgCu)

7175 levha/plaka, çubuk/lama ve boru/profil şeklinde tedarik edilmektedir. Mükemmel tokluk, mükemmel anti-yorgunluk, yüksek mukavemet, yüksek genişletilebilirlik, mükemmel kapsamlı performans özelliklerine sahiptir.

7175, korozyon direnci 7075'den çok daha yüksek bir havacılık-uzay sanayi malzemesidir. 7175'in işlenebilirliği 7075'den çok daha iyi ve zor şartlarda çok daha yüksek performans vermektedir. Çizelge 3.1'de Al 7175 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesinin kimyasal kompozisyonu, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Al 7175 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesinin kimyasal kompozisyonu, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleri

Kimyasal kompozisyon (% ağı.)									
Nominal	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Kompozisyon	<0,40	<0,50	1,20-2,00	<0,30	2,10-2,90	0,18-0,28	5,10-6,10	0,00-0,20	Kalan
Fiziksel Özellikler									
Yoğunluk (g/cm³)	Erime Sıcaklığı (°C)		Elastisite modülü (GPa)		Isıl Kapasite (W/m.K)		Isıl Genleşme (1/K)		
2,80	477		72		155		23.4x10^-6		
Mekanik Özellikler									
Akma Dayanımı (MPa)		Çekme Dayanımı (MPa)		Uzama (%)			Elastisite modülü (GPa)		
435		505		13			72		



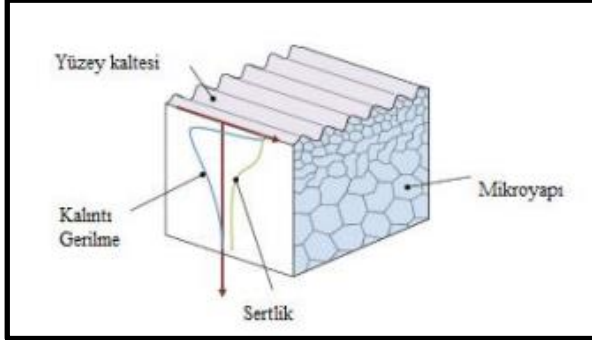
4. YÜZEY HADDELEME İŞLEMİ

Yüzey haddeleme (YH), talaş kaldırmadan yüzeyi ezerek yapılan kullanım alanı geniş bir soğuk şekil verme işlemidir. YH işlemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğünde azalma, yüzey sertliğinde artma, yüzey yorulması ve aşınma direncinde gelişme görülebilmektedir. İşlem sırasında uygulanan basınç, ilerleme hızı, devir gibi çeşitli parametreler kullanılır. Yüzey haddeleme işlemi CNC makinelerde kolaylıkla yapılabileceği gibi universal freze tezgâhı ve universal torna tezgâhı kullanılarak da yapılabilmektedir. Bu şekilde geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır.

Malzeme yüzeyine sert ve pürüzsüz küresel uçlu silindirik bilyeler belli kuvvetler altında temas ettirilir. Temas yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelir. Deformasyonun etkisi ile yüzeydeki düzensizlikler giderilmektedir. İşlem sırasında malzeme yüzeyinde meydana gelen yoğun plastik deformasyonun sonucunda oluşan deformasyon sertleşmesi ile yüzeyde sert bir katman oluşumu sağlanmış olur. Yüzeyde oluşan bu sert katman aşınma direncinin de önemli şekilde artmasını sağlamaktadır (Başak, 2015). Plastik deformasyon meydana gelmekte ve malzeme çok küçük boyutlarda ezilmektedir. Şekil 4.1’de Yüzey haddeleme işlemi uygulanan malzeme yapısı (Malyer, 2018) verilmiştir.

Ezme işlemi sırasında iş parçasında oluşturulan gerilim yüzeyden eksene doğru azalır. Bu gerilim, malzemeye, ezme miktarına ve çalışma şekline bağlı olarak 1mm derinliğe kadar nüfuz eder. Ezme kuvveti kaldırıldıktan sonra, dislokasyon artışı ve pekleşmeye bağlı sertleşen yüzey tabakasının altında elastik gerilmeler toplanır ve yüzeyde basma kalıntı gerilmeleri oluşur (Akkurt ve Ovalı, 2009).

YH yapılan yüzey karakteristiğinde aşırı bir yükleme yapıldığında malzeme hatalarına karşı direncin önemli şekilde arttığı bilinen bir gerçektir. Malzemenin yüzey pürüzlülüğünün azaltılması, yüzey sertliğindeki iyileşmeler, malzemenin aşınma direncinin artması, malzeme yüzeyinde çatlak oluşturabilecek derinliklerin azaltılması v.b. yüzey haddeleme işleminde kullanılan ilerleme, uygulanan kuvvet, tezgâh devir sayısı ve paso sayısı gibi parametrelere bağlıdır.



Şekil 4.2. Yüzey haddeme işlemi uygulanan malzeme yapısı (Malyer, 2018)

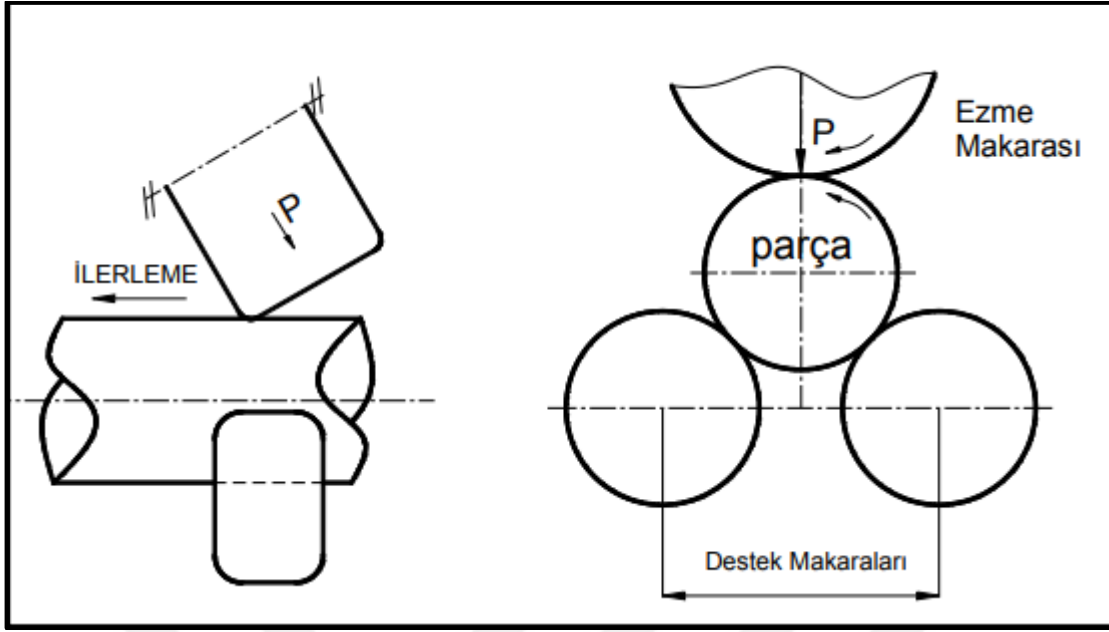
Haddeme işlemi malzemenin ezilmesi prensibi ile yapılan bir işlemdir ve malzemenin haddeme işlemine iyi tepki vermesi ezilme kabiliyetine bağlıdır. Bu durum haddeme işleminin yapısı gereği sert olan malzemelerde istenen tepkinin alınamamasına neden olmaktadır. Oysa yumuşak metallerde ise haddeme işleminin olumlu etkisi daha yüksek olmaktadır. Haddeme işleminde kullanılan parametrelerden baskı kuvveti ve paso sayısı gibi değişkenlerin artırılması durumunda malzeme yüzeyi bozulmaktadır. Literatür çalışmalarında yapılan deneylerde belli bir baskı kuvvetine kadar yüzey pürüzlülüğü azalmakta iken belli bir kuvvetin üstünde yüzey bozulmaya başlamaktadır (Sözmez, 2009).

4.1. Yüzey Haddeme İşlemi Çeşitleri

YH işlemi ile yüzeyi ezmek bilye ya da makara ile yapılmakta, gerekli olan baskı kuvvetini elde etmek için yay baskısı, hidrolik baskı ya da manyetik baskı kullanılmaktadır (Başak ve Sönmez, 2015).

YH işleminin en yaygın olanları merdaneyle parlatma ve bilyeli parlatmadır. İki yöntemde de aparat malzeme yüzeyini plastik deforme eder. Bilyalı parlatma, taşlama veya cilalama gibi diğer işlemlerin yerine geçer.

Merdaneyle yüzey haddeme konik, silindirik veya disk şeklindeki malzemelere uygulanır. Makaralı rulmana benzer, ancak makaralar genellikle zarf çaplarının doğru bir şekilde ayarlanabilmesi için çok hafif koniktir. Makaralar tipik olarak bir makaralı rulmanda olduğu gibi bir kafes içinde döner. Silindirle yüzey haddeme için tipik uygulamalar arasında hidrolik sistem bileşenleri, şaft dolguları ve sızdırmazlık yüzeyleri bulunur.



Şekil 4.3. Ezme ve destek makaraları ve makaraların parça boyunca ilerlemesi (Sözmez, 2009)

4.2. Yüzey Haddeleme İşleminin Avantajları

YH işlemi malzemenin boyutunu, şeklini, yüzey kalitesini ve yüzey sertliğini iyileştirmek için gerçekleştirilen bir işlemdir. Küçük ölçekte bir şekillendirme işlemidir.

Faydaları arasında genellikle yorulma hatasıyla mücadele, korozyon ve gerilme korozyonunu önleme, gözenekliliği kapatma, yüzeyde kalıntı basınç gerilmeleri oluşturma yer alır. Yüzeyde sertlik sağlayarak aşınma direncini artırır ve mekanik özellikleri iyileştirir (Özkan, 2006).



5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Huang ve arkadaşları (2015) soğutma sıvısı olarak sıvı azot kullanarak silindir yüzey haddeleme aparatı ile kriyojenik yüzey haddeleme işleminin Al 7050-T7451 alaşımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yüzey haddeleme kuvvetleri ile kuru ve kriyojenik yüzey haddeleme arasındaki farkları karşılaştırmak için sıcaklıklar ölçülmüştür. 200 µm derinlikte kuru yüzey haddeleme işleminde, 25, 50 ve 100 m/dak ilerleme hızlarında ortalama %9.5, %17.5 ve % 24.8 sertlik artışı elde edilmiştir. Yüksek perdahlama nedeniyle sıcaklık arttığında malzeme daha yumuşak olup ve termal yumuşatma etkisi daha baskındır ve bu da Al veriminin azalmasına yol açmıştır. Bununla birlikte, kriyojenik yüzey haddeleme durumunda, radyal kuvvet bileşenleri üretilen ısı ile nispeten kararlı yapıya ulaşmıştır. Yüzey haddeleme sırasında Al 7050-T7451'in ısı iletkenliği çok yüksektir, bu nedenle termal yumuşatma etkisi kriyojenikte önemli bir rol oynamıştır. Sıvı azot ile soğutma malzemenin sertleşmesine ve dayanımın artmasına neden olmuştur. Sonuçta daha yüksek akma gerilimi malzeme yüzeyinin yüzey haddeleme ile deformasyonunu güçleştirmiştir. Kuru yüzey haddelemede düşük ilerleme hızında ise termal yumuşama daha az etkili olmuş ve yüzeydeki sertlik yüksek ilerleme hızlarından daha yüksek elde edilmiştir. Kuru yüzey haddelemede yumuşama gözlenirken, kriyojenik yüzey haddelemede önemli ölçüde geliştirilmiş tane inceltme ve haddelenen yüzeyde artan sertlik gözlenmiştir.

Khalilpourazary ve Salehi (2019) alümina nano partiküllerin silindir yüzey haddeleme işleminde Al7175'in yüzey özelliklerini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Çalışmada 3.22 mm kalınlığındaki levha çift taraflı olarak işlemişlerdir. Yüzey haddeleme işlem parametreleri, dönme hızı 19.2 m/dak ve ilerleme hızı 101.6 mm/dak olarak uygulanmıştır. Mikro sertlikte önemli ölçüde artış gözlenmiştir.

Nano sıvıyla yüzey haddeleme gerçekleştirilmiş tüm numunelerin aritmetik yüzey pürüzlülüğü değeri kuru yüzey haddeleme yapılan numunelere göre daha düşük belirlenmiştir. Alümina nano sıvıyla yüzey haddeleme işleminden elde edilen örneklerin çoğunda pürüzlülük ve maksimum pürüzlülük değerleri azalmıştır.

Sertlik değeri ile penetrasyon derinliği arasındaki doğrudan ilişkiye göre, her bir grup için mikro sertlik değerleri yüzey haddeleme prosesinde penetrasyon derinliğinin artmasıyla

artmıştır. 0.3, 0.4 ve 0.5 mm'lik üç penetrasyon derinliğinde mikro sertlik değerleri, kuru örnekleme yoluyla üretilen numunelere göre yaklaşık %8, %20 ve %19 artmıştır.

Korzynski ve ark. (2011) bir kayar elmas yüzey haddeleme işlemi sonrası numunelerin yüzey katmanı özelliklerini incelemiştir. Deney malzemesi olarak 42CrMo4 kullanılmıştır. Deneylerde kullanılacak olan iş parçaları 30mm çapında hazırlanmış ve $32\pm 1\text{HRC}$ 'e sertlik değerine kadar temperlenmiştir. Dış silindirik yüzeylerinde $R_a = 0.63 \mu\text{m}$ 'lik bir pürüzlülük elde edilmiştir. Test edilen iş parçalarında en yüksek mutlak basınç gerilme değeri 250 N'de yüzey haddelenmiş iş parçasında 461 MPa (-461 MPa) olarak belirlenmiştir. Maksimum gerilmeler ise 0.006 mm derinlikte meydana gelmiştir. Yorulma dayanımının % 18 arttığı rapor edilmiştir.

Lu ve ark. (2016) 7050-T7451 alüminyum alaşımının yüzey özellikleri üzerine ultrasonik yüzey haddeleme işlemi ile çalışma yapmışlardır. Bu teknikte güçlü bir yayın uyguladığı sabit kuvvet ve ultrasonik titreşimler tarafından üretilen dinamik kuvvetler iş parçasına uygulanmıştır. Toplam kuvvet, statik kuvvet ve dinamik kuvvetin toplamıdır. Ultrasonik yüzey haddeleme işleminin işlenen yüzey üzerindeki etkisini incelemek için ve en iyi yüzey bütünlüğünü elde etmek için Çizelge 4.1'de numunelere uygulanan farklı parametreler verilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelere uygulanan farklı parametreler (Lu ve ark. 2016)

	İlerleme hızı (mm/dev)	Paso sayısı	Hız (m/dak)	Haddeleme derinliği (mm)
UR1	0.05	1	40	0.15
UR2	0.10	1	40	0.15
UR3	0.15	1	40	0.15
UR4	0.20	1	40	0.15
UR5	0.10	2	40	0.15

İlerleme hızı 0.05, 0.15, 0.20 mm/dev olduğunda yüzeyde derin yuvarlanma izleri oluşmuştur. 0.10 mm/dev ilerleme hızında ise yüzey yuvarlanma izleri göze çarpmamıştır. Ultrasonik yüzey haddeleme işlemi ile yüzey mikro sertliği % 41.3 artmış, yüzey pürüzlülüğü değeri ise azalmıştır. Ultrasonik yüzey haddeleme işlemi ile iyi sonuçlar 0.10 mm/dev ilerleme hızı ile elde edilmiştir.

Jayaraman ve ark. (2003) düşük plastisiteli yüzey haddeme (DPYH) ile Al alaşımının yorulma özelliklerini iyileştirmeye çalışmışlardır.

Bu çalışmada 2219-T8751 alüminyum alaşımı deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Deney malzemeleri sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilmiş ve kaynak bölgesi DPYH ile haddelenmiştir. Deney sonuçları göstermiştir ki; DPYH işlemi sonrasında kaynak metali ana malzemeye kıyasla nispeten daha yumuşak malzeme özelliği sergilemiştir.

Sachin ve ark. (2019) kriyojenik yüzey haddeme işleminin yüzey özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. 32 mm çapında silindirik çubuk olarak hazırlanan 17-4 PH paslanmaz çelik malzeme 73 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 0,25mm batma derinliği parametreleri kullanılarak kriyojenik sıcaklıkta yüzey haddeme işlemine tabi tutulmuştur. Yüzey haddeme işlemi ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı rapor edilmiştir.

Sönmez, Başak ve Baday (2016) 18 mm çapında silindirik Al-6061-T6 malzemesine yüzey haddeme işlemi uygulamışlardır. Malzeme ayna punta arasında sabitlenmiş bir şekilde torna tezgâhında, 500 dev/dak dönüş hızı ile haddeme işlemine tabi tutulmuştur. Malzemeler hiçbir işleme tabi tutulmadan yüzey pürüzlülükleri ölçüldüğünde $Ra=3.2$ olduğu tespit edilmiştir. İlerleme hızının değişimi ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki etkileşim gözlemlenmiştir. En düşük değer 0.1 mm/dev olarak belirlenen ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğü değeri de en düşük değer elde edilmiştir. İlerleme hızının artmasına paralel olarak yüzey pürüzlülüğü değerinde de artış gözlenmiştir. İlerleme hızının 0.3 mm/dev olduğunda haddeme işleminin kısmen sıvama yaptığı durumu ile açıklanabilmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri en düşük ilerleme hızı ve 2 paso ile elde edilebilmiştir. Bu değişimlerde paso sayısının da etken olduğu, artışının yüzeyde bozulmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Başak (2015) yüzey haddeme parametrelerinin Al 5083 malzemesinde yüzey pürüzlülüğüne ve yüzey sertliğine etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada CNC freze tezgahına bağlanan aparat, iş milinden aldığı hareket ile eksantrik olarak dönmeye başlar. Aparatta bulunan bilye bu dönüş ile yüzeyde ezme işlemini gerçekleştirir. Bu ezme işlemi malzeme yüzeyinde 20 mm çapında iz oluşturmuştur. Bu çap değeri eksantriklik miktarının artırılıp azaltılması ile değişmiştir.

Eksantriklikten meydana gelen etkiyi azaltmak ve baskı kuvvetini ayarlamak için yay sistemi kullanılmıştır.

Bu sistem malzeme birikmesi, sıvama olması gibi Z eksen yönünden gelebilecek ani kuvvetlerin etkisini azaltmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda bilye çapı değişken tutulduğundaki yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine olan etkileri araştırılmıştır. Farklı çaptaki bilyelerin kullanımı için bilye tutucu somunlar tasarlanmış ve imal edilmiştir. Baskı kuvveti arttıkça yüzey sertliğinin de arttığı ve aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği gözlemlenmiştir. İlerleme miktarının artışı ise yüzey pürüzlülüğünde iyileşmelere neden olurken yüzey sertliğinin düşmesine neden olmuştur. Baskı kuvveti 400 N, ilerleme hızı ise 0.15 mm/dev olduğunda en iyi yüzey sertliği elde edilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü ise 100 dev/dk ve 400 N da gözlenmiştir. Devir sayısı arttıkça yüzey bozulmuştur, ancak sertlikte büyük etkiler belirlenmemiştir. 16.669 mm bilye çapında en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri gözlenmiştir. Çap değeri arttıkça pürüzlülük olumlu etkilenmiştir. Alüminyum parçada 13.394 mm bilye çapında en iyi yüzey sertliği elde edilmiştir.

Başak ve Sönmez (2015) yüzey haddeleme işleminde haddeleme aparat tipinin (bilyeli, makaralı, çift makaralı) yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma için aparat tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tek bir gövde yapısına takılabilecek 3 farklı başlık tasarlanmıştır. Haddeleme işlemi için bilyeli, makaralı ve çift makaralı aparat tasarlanmıştır. Talaşlı imalatla ezici uç ile temas eden kısımlar AISI 316 ve 100Cr6 olacak şekilde AISI 1060 malzemeden üretilmiştir. 58-65 RC sertlikte ve 0.15 µm pürüzlülük değerinde aparat uçları kullanılmıştır. Deney malzemesi olarak ise Al-6061-T6 kullanılmıştır. Sertliği 139.2 Brinell (HB30) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra 3.2' dir. Çalışmada aparatların hepsi yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Özellikle bilyeli aparat yüzey pürüzlülüğü değerini 0.423 µm seviyesine düşürerek en iyi sonucu vermiştir. Çift makaralı aparat ise 2.643 µm değeri ile en kötü sonucu vermiştir. Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü değerinin %21 - %750 aralığında iyileştiği gözlenmiştir. Deneylerde aparatın temas alanı arttıkça deney malzemesine olan kuvvet etkisinin azaldığı görülmüştür. Yüzey alanı geniş olan aparatlarda plastik deformasyon miktarı düşüktür, baskı kuvveti artırıldığında yüzey pürüzlülüğü değerinin iyileşeceği ön görülmüştür.

Sönmez ve ark. (2018) sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) sonrası uygulanan yüzey haddeleme işleminin sertlik değişimine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada deney

malzemesi olarak alüminyum alaşımları içerisinde en çok tercih edilen Al-7075 seçilmiştir. Malzeme 300x100x5mm ölçülerinde hazırlanmıştır.

SKK işleminde birleştirme işlemi iki farklı devir ile (710 dev/dk ve 1000dev/dk) gerçekleştirmiştir. Yüzey haddeme işlemleri SMARC marka kalıpcı freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir.

Deney sırasında ilerleme hızı 46 mm/dk, takım devri 660 dev/dk, haddeme kuvveti 1000 dev/dk olarak belirlenmiştir. SKK yöntemi ile birleştirilmiş Al-7075 malzemede haddeme işleminin etkisiyle kaynak merkezinin üst yüzeyinden içeriye doğru olan mikro sertlikteki değişim incelenmiştir. 710 devir ile birleştirilen haddelenmiş parçalarda üç farklı fonksiyon (Polinom (4 Değişken), Exponential (2 Değişken), Power (2 Değişken) ile 0.97 oranında R2 (düzeltilmiş) değeri elde edilmiştir. Bu fonksiyonların sertlik değişimi incelenmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir. 1000 devir ile birleştirilen haddelenmiş parça için en yüksek R2 (düzeltilmiş) değeri 0.869 ile Polinom (3 Değişken) fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Haddelenmiş malzemelerin R2 (düzeltilmiş) değerlerinin haddelenmemiş olanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. R2 (düzeltilmiş) değerinin 710 devirde 0.51, 1000 devirde ise 0.3538 olduğu bulunmuştur. Bu sonuç araştırmacıları farklı matematiksel modellerin uygulanmasının daha doğru olduğu kanısına götürmüştür.

Hassan ve arkadaşları (1997) pirinç malzemelerin yüzey sertliği ve pürüzlülüğünü iyileştirmek için bilyeli yüzey haddeme aparatı kullanmışlardır. Aparat ile haddeme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından aşınma testi yapılmış ve malzemenin aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda aşınma direncini arttırmak için haddeme işleminin tercih edilebileceği belirlenmiştir.

Yu ve Wang (1998) Al alaşımına uygulanan yüzey haddeme işleminin yüzey parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmadan önce başlangıçta 0.5 µm olan yüzey pürüzlülüğü değeri 0.026 µm değere kadar düşürülmüştür.

Hassan (1995) döküm AlCu alaşımlarına uygulanan yüzey haddeme işleminin yüzey özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Döküm AlCu alaşımlarının sertlik ve yüzey pürüzlülüğüne farklı yüzey haddeme parametrelerinin (kuvvet, hız ve ilerleme) etkilerini araştırmıştır.

Deneyler basit bir küreli haddeleme takımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde AlCu iş parçası üzerine yüzey haddelemenin uygulanması ile yüzey özelliklerinin iyileştiğini rapor etmişlerdi.



6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında AlZn5.5MgCu (Al 7175) malzeme deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Tez çalışması süresince aşağıda belirtilen işlem basamakları takip edilmiş ve yapılmıştır:

- Al 7175 malzemesi 4X1000X2000 ölçülerinde tedarik edilmiştir.
- Malzeme 4x350x400 mm ölçülerinde boyutlandırılmıştır.
- Yüzey haddeleme işleminde kullanılacak olan aparatın bilye tutucu görevini üstlenecek ağız kısmı tasarlanmış ve üretilmiştir.
- Hazırlanan Al 7175 plakalara farklı parametrelerde YH işlemi uygulanmıştır.
- Malzemelerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. YH işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi araştırılmıştır.
- Malzemelere eğmeli yorulma testi uygulanmıştır. YH işlem parametrelerinin yorulma dayanımına etkisi araştırılmıştır.
- Numunelere standart zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanarak mikroyapıları incelenmiştir.
- Mikro sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir.

6.1. Malzeme

Bu çalışmada 4x1000x2000 mm ölçülerinde yarı mamül Al 7175-T6 alüminyum alaşımı deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1.'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Al 7175-T6 malzemesinin kimyasal kompozisyonu

	Al 7175-T6 % kimyasal kompozisyonu								
	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti	%Al
Min-Max	0- 0.40	0- 0.50	1.20- 2.00	0- 0.30	2.10- 2.90	0.18- 0.28	5.10- 6.10	0- 0.20	Kalan
Deney malzemesi	0.18	0.33	1.37	0.4	2.43	0.21	5.38	0.024	Kalan

Çizelge 6.2. Al 7175-T6 malzemesinin mekanik özellikleri

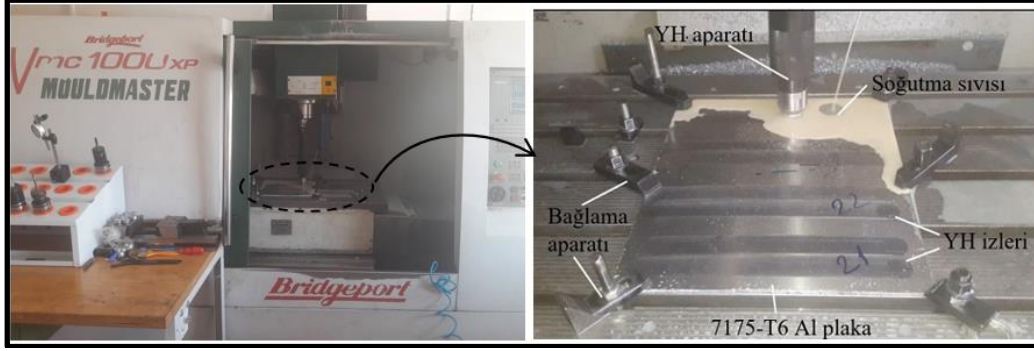
	Akma Dayanımı (Mpa) (Rp0.2)	Çekme Dayanımı (Mpa) (Rm)	% Uzama
Al 7175-T6 Mekanik Özellikleri	Min 480	Min 560	Min 7.9
Deney malzemesi	501	582	9.6

6.2. Metot

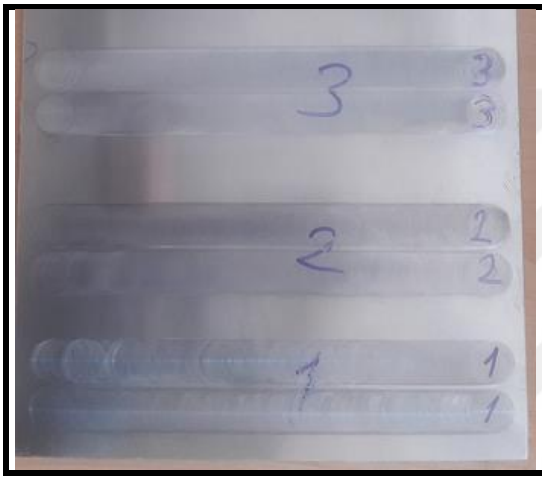
Tedarik edilen 4X1000X2000 ölçülerindeki yarı mamül Al 7175 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesi YH işlemine uygun olarak 4x350x400 mm ölçülerinde kesilmiştir. Hazırlanan plakalar farklı parametreler kullanılarak YH işlemine tabi tutulmuştur. YH işlemi Resim 6.1.'de gösterilen ve Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu imalat atölyesinde bulunan CNC dik işleme merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YH işlem parametreleri Çizelge 6.3.'de verilmiştir. Resim 6.1.'de ve Resim 6.2.'de ise farklı işlem parametreleri ile YH uygulanmış plaka görseli verilmiştir.

Çizelge 6.3. YH işlem parametreleri

Yeni kod	Batma derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Dönme hızı (devir/dak)
0,10/0,15/200	0,10	0,15	200
0,10/0,30/200	0,10	0,30	200
0,10/0,60/200	0,10	0,60	200
0,15/0,15/200	0,15	0,15	200
0,15/0,30/200	0,15	0,30	200
0,15/0,60/200	0,15	0,60	200
0,05/0,60/400	0,05	0,60	400
0,10/0,15/400	0,10	0,15	400
0,10/0,30/400	0,10	0,30	400
0,10/0,60/400	0,10	0,60	400
0,15/0,60/400	0,15	0,60	400
0,10/0,15/100	0,10	0,15	100
0,10/0,30/100	0,10	0,30	100
0,10/0,60/100	0,10	0,60	100

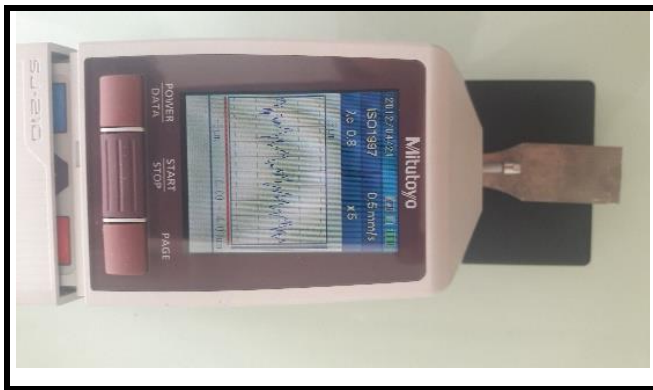


Resim 6.1. YH işlemi ve CNC dik işlem merkezi



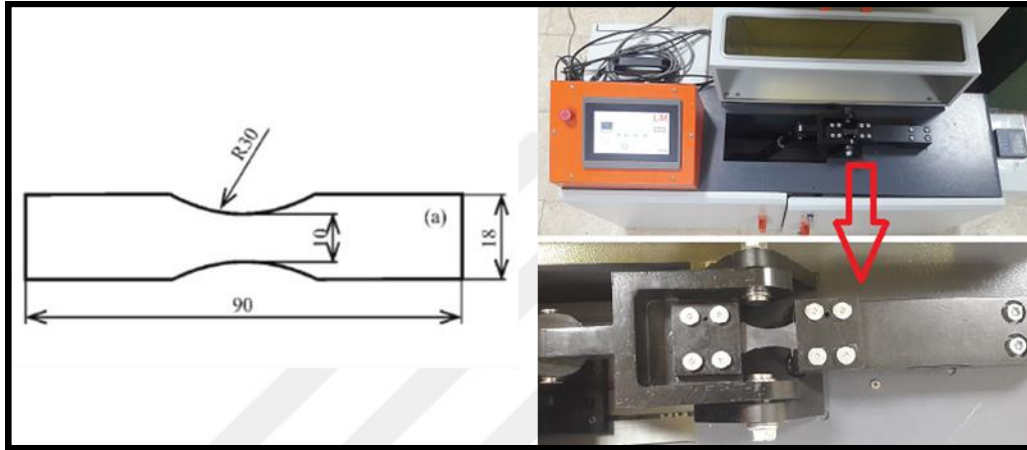
Resim 6.2. Farklı parametrelerde YH uygulanmış plaka görseli

Farklı parametreler kullanılarak gerçekleştirilen YH işlemi sonrası plakalarda oluşan haddeme izlerinin pürüzlülük değerleri y-ekseni aritmetik ortalaması olarak bilinen Ra olarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülükleri Resim 6.3.'de görseli verilen Mitutoyo/SJ-210 marka/model cihazı kullanılarak, ISO 4287:1997 standardına göre gerçekleştirilmiştir.



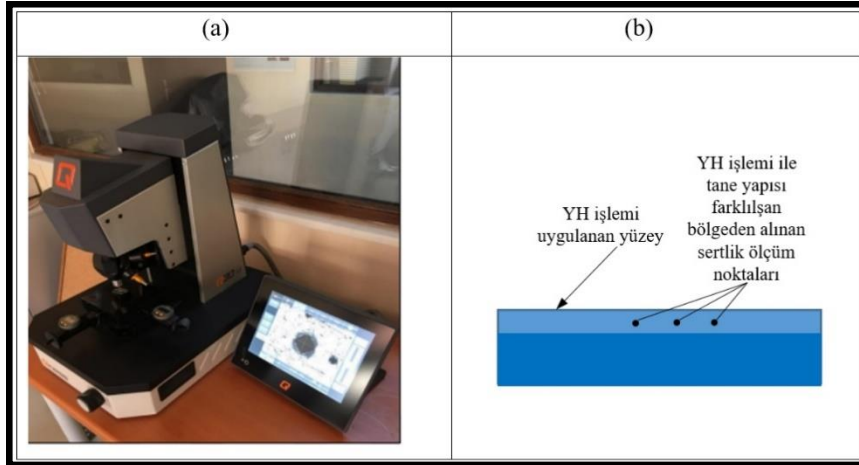
Resim 6.3. Mitutoyo/SJ-210 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Gerçekleştirilen YH işleminin yorulma dayanımına etkisini belirleyebilmek için DIN 50142'ye göre eğmeli yorulma deney numuneleri hazırlanmış ve yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Resim 6.4.'de yorulma test numunesi şematik görüntüsü ve yorulma test cihazı görseli verilmiştir. Deneylerde elde edilen verilerle Wöhler eğrileri grafiksel olarak oluşturulmuştur. Bu eğrilerdeki en yüksek değere karşılık gelen çevrim sayısı logaritmik olarak işaretlenerek elde edilmiştir. Eğilme yorulma testlerinde limit çevrim sayısı (ömrü) olarak bilimsel çalışmalarda kullanılan $N=2 \times 10^6$ değeri kullanılmıştır.



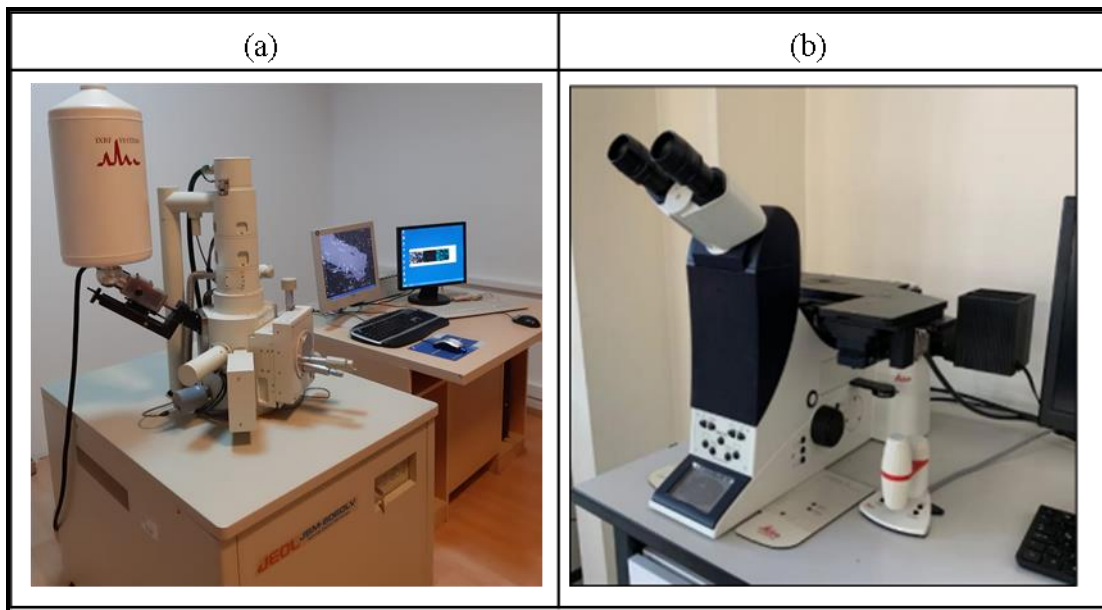
Resim 6.4. Yorulma test numunesi şematik resmi ve yorulma test cihazı görseli

Mikroyapı incelemeleri tamamlanan numunelerin QNESS GmbH Q30 M model/marka mikro sertlik ölçüm cihazında HV0.5 ve 40x büyütme ile mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır (Resim 6.5.(a)). Ölçümler yarımamül olarak tedarik edilen işlemsiz malzemeden ve YH işleminin tane yapısına etki ettiği yüzeye yakın bölgelerden alınmıştır (Resim 6.5.(b)). Her numuneden 10 mm mesafe ile üçer adet ölçüm alınmış ve ortalamaları hesaplanarak sertlik ölçümleri tamamlanmıştır.



Resim 6.5. QNESS GmbH Q30 M serisi mikro sertlik cihazı ve ölçüm noktaları

Hazırlanan numuneler mikroyapı incelemesi için bakalite alınmıştır. Daha sonra numunelere 180, 240, 400, 600, 800 ve 1200 meshlik zımpara kâğıtları ile standart zımparalama işlemi yapılmıştır. Ardından sırasıyla 6 μ m, 3 μ m, 1 μ m'luk elmas pasta ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak parlatılan numuneler Keller's dağılayıcısı kullanılarak dağılanmıştır. Mikroyapı incelemeleri Leica DMI 5000M (Resim 6.6.(a)) optik mikroskop ve Jeol JSM 6060 LV (Resim 6.6.(b)) taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Metalografik numune hazırlama işlemleri ve mikroyapı incelemeleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalografi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Resim 6.6. Mikroskop görüntüleri a) optik mikroskop ve b) SEM mikroskop

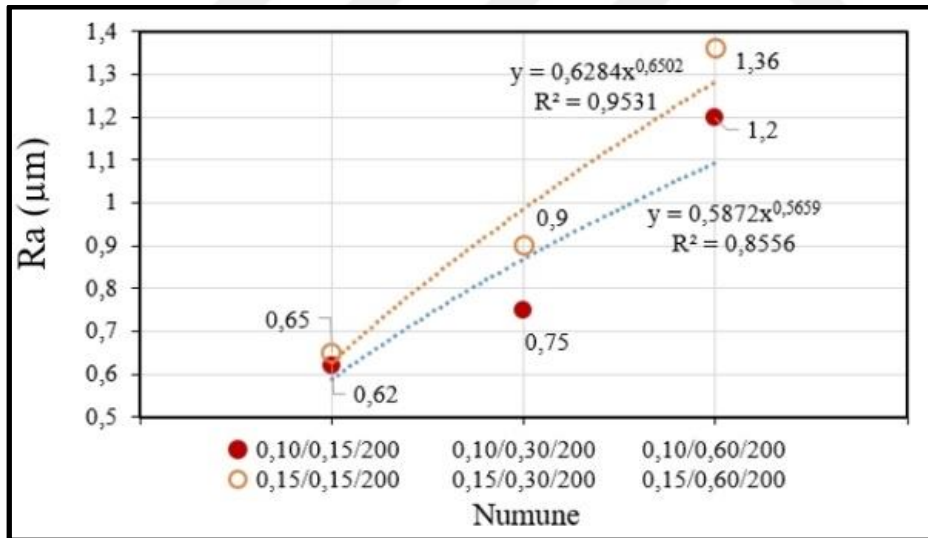


7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Geleneksel talaşlı imalat işlemlerinde yüzey pürüzlülük değeri paso derinliği, ilerleme hızı, kesme hızı, soğutma sıvısı, kesici takımın uç yarıçapı ve talaş açısı gibi işlem değişkenlerine bağlıdır (Gökkaya, 2006). Literatürde geleneksel talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünün az olmasının, düşük ilerleme ile kesme kuvvetinin azaltılması neticesinde titreşimlerin önüne geçilmesiyle elde edilebileceği belirtilmiştir (Sakarya, 2006). Bu çalışmada bir YH işlemi gerçekleştirilmiştir. Değişken parametre olarak batma derinliği, ilerleme hızı ve devir sayısı seçilmiştir.

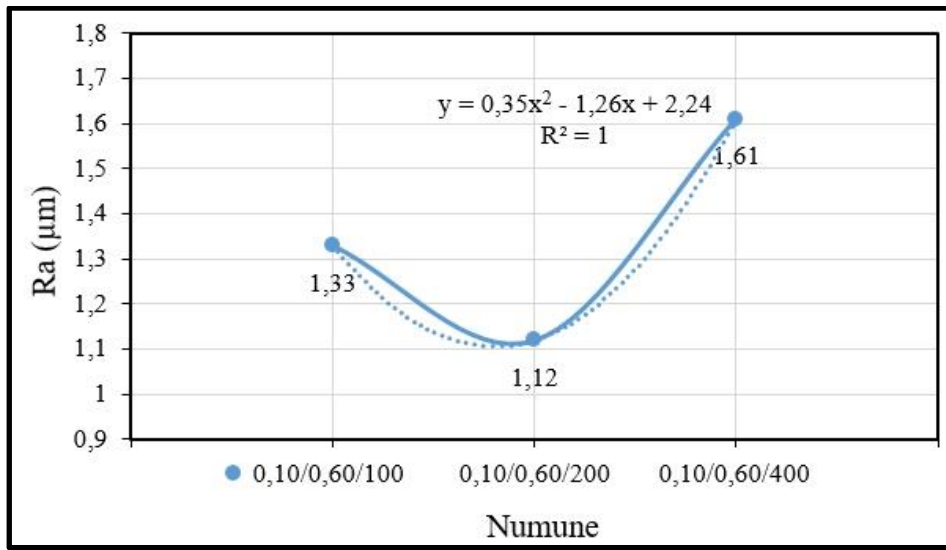
Gerçekleştirilen bilyeli yüzey haddeme işleminde işlem parametreleri yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemektedir (Loh, 1988). Şekil 7.1.'de ilerleme hızının ve batma derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 7.1. İlerleme hızının ve batma derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

İlerleme hızı 0,15-0,30-0,60 mm/dev olarak uygulanmıştır. Şekil 7.1. incelendiğinde artan ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir. Artan ilerleme hızı ile her devirde geçilen ezme mesafesi artmakta sonuç olarak yüzey pürüzlülüğü değeri artmaktadır. Farklı batma mesafelerinde artan ilerleme hızı ile orantılı olarak yüzey pürüzlülüğünde lineere yakın artış meydana geldiği görülmektedir.

Bu sonuç geleneksel talaş kaldırma işlemleri ile uyum göstermektedir. Yapılan deneysel çalışma bir YH işlemi olup talaşlı imalat yani talaş kaldırma işlemi söz konusu değildir. Ancak, YH işleminde de yüzey pürüzlülüğü için geleneksel talaşlı imalat teknikleri için literatürde belirtilmiş gerçeklikler geçerlidir. İlerleme hızı ve dönme hızı sabit tutulmasına karşın batma derinliği parametresinin artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir (Şekil 7.1). Artan batma derinliği ile yüzeyde oluşan izlerin yiv derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğündeki bu artışın nedeni olarak söylenebilir. Ayrıca, artan batma derinliği ile birlikte ilerleme hızının arttırılması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir.

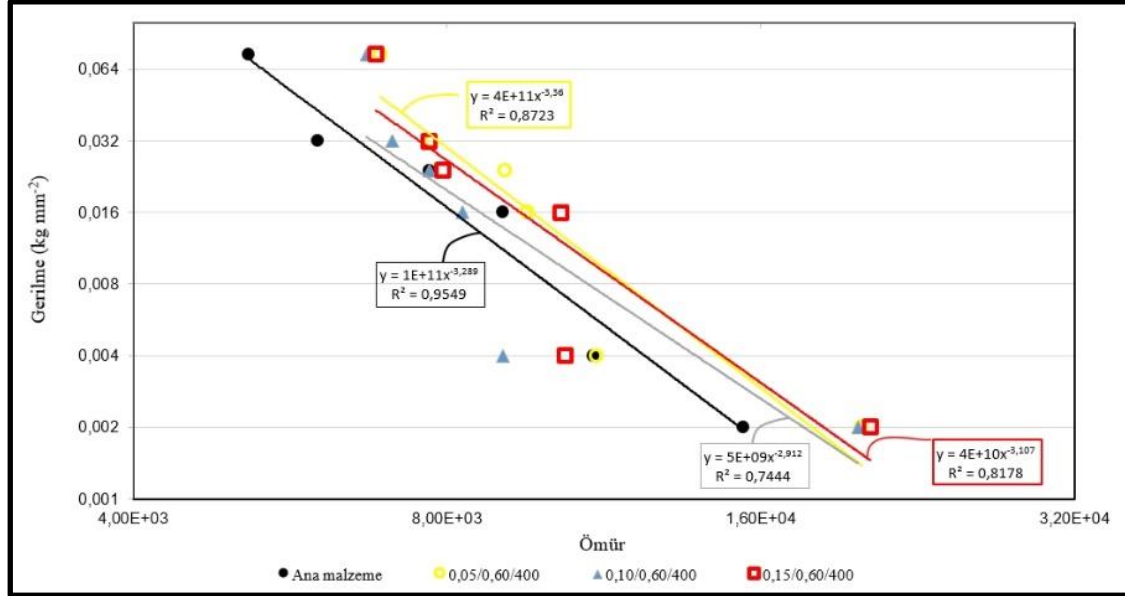


Şekil 7.2. Dönme hızı yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 7.1.'de ise artan dönme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi verilmiştir. Dönme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirleyebilmek için batma derinliği 0,10 mm olarak ve ilerleme hızı 0,60 mm/dev olarak sabit tutulmuştur. Dönme hızı 100 dev/dak'dan 200 dev/dak'a çıkartıldığında yüzey pürüzlülük değeri 1,33 µm'den 1,12 µm değerine düşmüş yani yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %15 iyileşmiştir. Dönme hızının artması ilerleme mesafesinde bilyenin aynı noktadan daha fazla tekrarlar geçmesine neden olacağı için artan dönme hızı ile yüzey pürüzlülüğünde iyileşme meydana gelir. Ancak Şekil 7.2. incelendiğinde dönme hızının 200 dev/dak değerinden 400 dev/dak değerine yükseltilmesi sonucu yüzey pürüzlülük değerinde yaklaşık %43'lük bir artış meydana gelmiştir. Başka bir deyişle artan dönme hızı ile yüzey pürüzlülüğü kötüleşmiştir. YH işleminde yüzeyde soğuk deformasyon işlemi meydana gelmektedir.

Dönme hızının artmasıyla soğuk deformasyon oranının artması ve ezici bilyenin yüzeyde kazınmaya neden olması yüzey pürüzlülüğündeki bu artışın nedeni olarak söylenebilir.

7.2. Yorulma Ömür Verileri

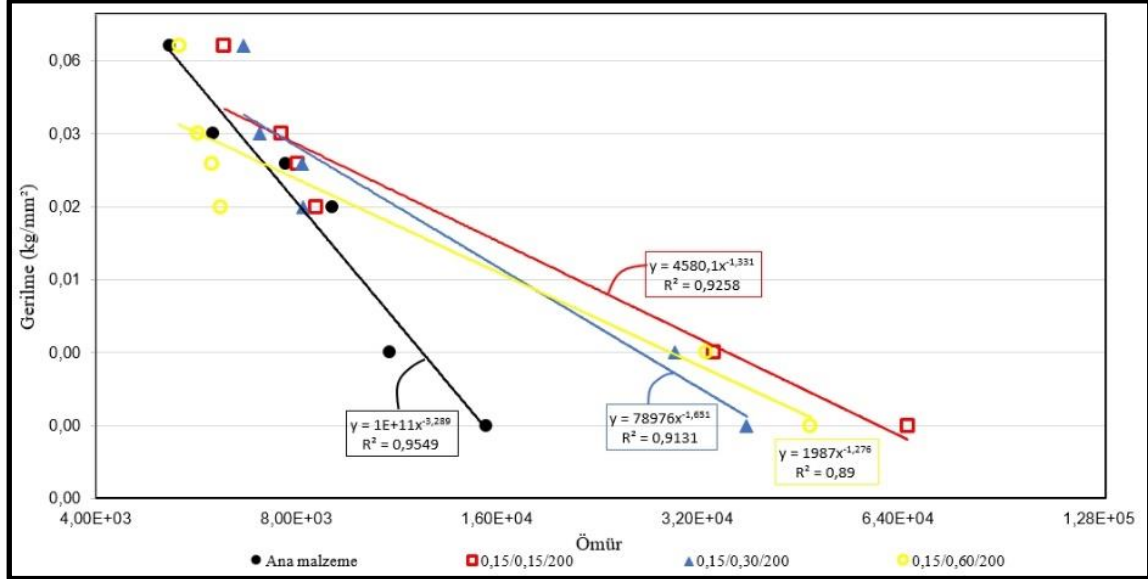


Şekil 7.3. YH işleminde batma derinliğinin yorulma ömrüne etkisi

Şekil 7.3.'de YH işleminde batma derinliğinin yorulma ömrüne etkisini gösteren grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde uygulanan gerilme değerleri için en düşük yorulma ömür değerleri ana malzeme vermiştir.

Sabit ilerleme hızı ve dönme hızında değişen batma derinliği ile YH işlemi uygulanan numunelerin yorulma ömürlerinde artış gözlenmiş ve yorulma ömrü açısından benzer eğilimler göstermişlerdir. Düşük gerilme değerinde ise en iyi yorulma ömür değerlerini 0,15 mm batma derinliğinde YH işlemi uygulanan numuneler vermiştir. En iyi yorulma ömür verilerini yüksek gerilme değerlerinde ise 0,05 mm batma derinliği ile YH işlemi uygulanan numuneler vermiştir. Ancak 0,15 mm batma derinliği uygulanan numuneler ile arasındaki fark sadece % 0,9 kadardır. Dolayısıyla, diğer parametreler sabit iken yorulma ömrü açısından optimum sonuçlar 0,15 mm batma derinliğinde elde edilmiştir. 0,10 mm batma derinliği ise ana malzemeye göre daha yüksek ancak diğer batma derinliği parametrelerine göre daha düşük yorulma ömrü değerleri vermiştir.

0,10 mm batma derinliğinde yüzeyde sıvanmanın meydana gelmesi ve istenilen yüzey basınç gerilmelerinin oluşturulamaması daha düşük yorulma ömür verilerine neden olabilir.

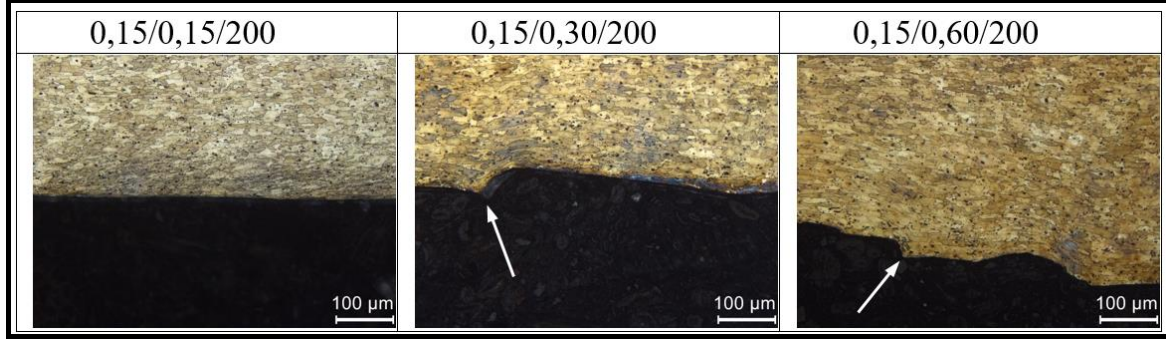


Şekil 7.4. YH işleminde ilerleme hızının yorulma ömrüne etkisi

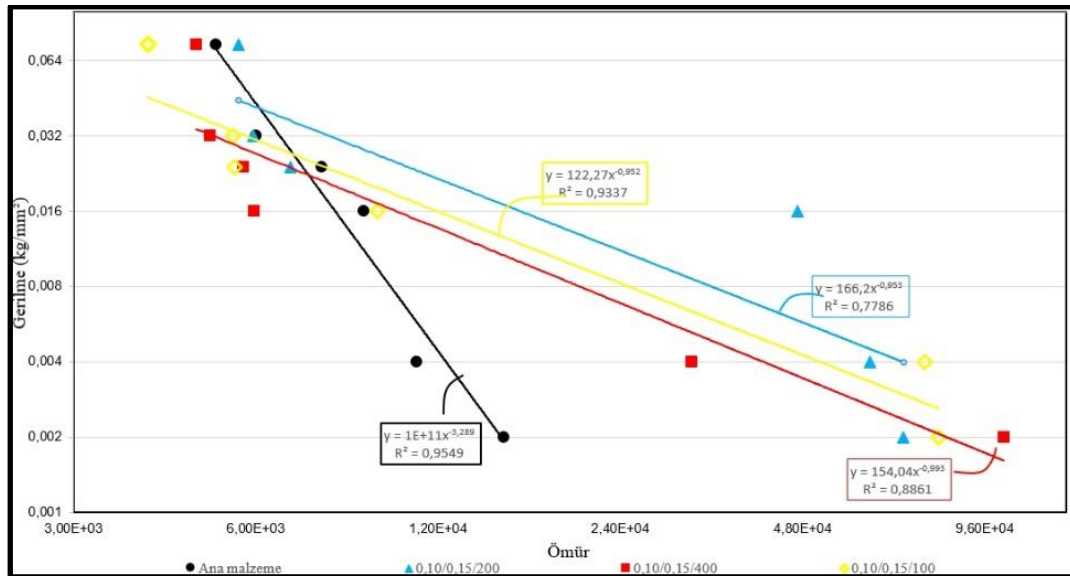
Şekil 7.4.'de YH işleminde ilerleme hızının yorulma ömrüne etkisi verilmiştir. Grafik incelendiğinde ana malzeme değişen gerilme değerleri ile en düşük yorulma ömrü değerlerini sergilemiştir. Diğer YH numunelerde ise YH işleminin etkisiyle numune yorulma ömürlerinde belirgin artışlar elde edilmiştir. Diğer parametreler sabit tutularak değişen ilerleme hızları ile YH uygulanan her üç numunede benzer eğilimde yorulma ömürleri sergilemiştir.

Farklı ilerleme hızlarının neden olduğu farklı yüzey pürüzlülük değerleri YH numunelerin yorulma ömürlerinde farklılıklara neden olmuştur. Şekil 7.4. incelendiğinde diğer parametreler sabit iken artan ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığı yani yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün artması hem istenilen basma gerilmelerinin oluşturulamamasına hem de yüzeyde bölgesel olarak yığılan gerilme değerinin artmasına neden olur. Bu durum yorulma ömrünün azalması ile sonuçlanır. Dolayısıyla en düşük ilerleme hızına sahip 0,15/0,15/200 numunesi en iyi yorulma ömür değerlerini vermiştir. Şekil 7.5.'de 0,15/0,15/200, 0,15/0,30/200 ve 0,15/0,60/200 numunelerinin optik mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı fotoğraflarından YH işlemi uygulanan yüzeyler incelenecek olursa 0,15/30/200 numunesinin ve 0,15/60/200 numunesinin ilerleme hızına bağlı olarak daha grift yüzeylere sahip olduğu görülmektedir.

Yüzeylerdeki girinti ve çıkıntılar gerilim yığılmasına neden olduğu için bu numunelerin yorulma ömürleri 0,15/0,15/200 numunesinden daha düşük elde edilmiştir.



Şekil 7.5. 0,15/0,15/200, 0,15/0,30/200 ve 0,15/0,60/200 numunelerinin optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 7.6. YH işleminde dönme hızının yorulma ömrüne etkisi

Şekil 7.6.'da YH işleminde diğer parametreler sabit iken dönme hızının yorulma ömrüne etkisi verilmiştir. Şekil 7.3. ve Şekil 7.4.'de olduğu gibi Şekil 7.6.'da de ana malzeme değişen gerilme değerleri ile en düşük yorulma ömrü değerlerini vermiştir. YH işlemi ile numunelerin yorulma ömürleri artmıştır. 100-200-400 dev/dak dönme hızları birbirine benzer eğilimde yorulma ömür eğrileri vermiştir. En iyi yorulma ömür verilerini 200 dev/dak dönme hızı ile YH işlemi uygulanan numuneler vermiştir. Daha sonra 100 dev/dak dönme hızında YH işlemine tabi tutulan numuneler yüksek yorulma ömür verilerine sahip iken YH

numuneler içerisinde en düşük yorulma ömür verilerine sahip numuneler 400 dev/dak dönme hızında üretilen numunelerdir.

Şekil 7.2.'de verilen dönme hızı yüzey pürüzlülüğüne etkisi grafiği incelendiğinde en iyi yüzey pürüzlülük değerini 200 dev/dak dönme hızına sahip numuneler verirken, en kötü yüzey pürüzlülük değerini ise 400 dev/dak dönme hızı ile YH işlemi uygulanan numunelerin verdiği görülmektedir. Diğer parametreler sabit iken, artan dönme hızı ile elde edilen yorulma ömrü verileri ile yüzey pürüzlülüğü verileri arasında benzerlik söz konusudur. Yüzey pürüzlülük değeri en iyi olan 200 dev/dak dönme hızı ile üretilen numuneler en iyi yorulma ömür verilerini vermiştir.

Sonuç olarak; tüm yorulma grafikleri incelendiğinde ana malzeme değişen gerilme değerleri ile en düşük yorulma ömrü değerlerini sergilemiştir. YH işlemi uygulanan numunelerde ise YH işleminin etkisiyle numune yorulma ömürlerinde belirgin artışlar elde edilmiştir. YH numunelerinde elde edilen yorulma ömür artışları YH işlemi neticesinde yüzeyde oluşan basınç gerilmeleri ve yüzey pürüzlülüğü ile ilişkilendirilir. Yüzeyde oluşan basınç gerilmeleri yüzeyde çatlak oluşumu geciktirir ve/veya oluşan çatlağın ilerleme hızını yavaşlatır. Bu etki yorulma ömrünün artmasına neden olur. Yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesi ise yüzeyde bölgesel gerilme yığılmalarını azaltacağı için yorulma çatlağı oluşumunu engelleyecektir. Çünkü yorulma çatlağının oluşmasında etkili faktörlerden bir tanesi yüzeyde bölgesel gerilme yığılmalarının oluşması ve bölgesel olarak gerilme değerinin akma gerilmesi değerinin üzerine çıkmasıdır.

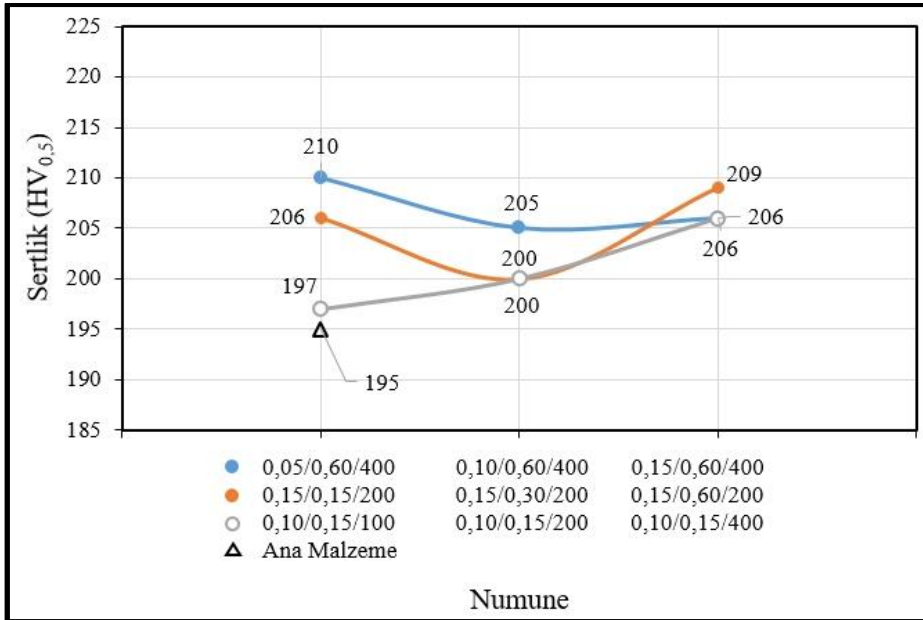
7.3. Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Numunelerin sertlikleri 500 gram yük ile Vickers sertlik türünden mikro sertlik olarak belirlenmiştir. Her numuneden 3 farklı ölçüm alınmıştır. Şekil 7.7.'de sertlik ölçümü alınan noktalar ve ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7.7. Sertlik ölçüm noktaları ve ekran görüntüsü

Şekil 7.8.'de numunelerden alınan mikro sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Tüm numunelerde sertlik değeri ana malzemenin sertlik değerinden yüksek çıkmıştır. YH işlem ile numunelerin yüzey sertlik değerlerinin artması işlem sırasında yüzeyde meydana gelen plastik deformasyona atfedilir. Çünkü yüzeyde oluşan plastik deformasyon tanelerin yönlenmesine ve dislokasyon sayısının artmasına neden olmaktadır. Ancak tüm numunelerde birbirine yakın mikro sertlik değerleri elde edilmiştir. YH numunelerde belirlenen maksimum mikro sertlik farkı 9 Vickers sertlik değeri sınırlı kalmıştır. Dolayısıyla YH işleminin yüzeyde kayda değer sertlik değişimlerine neden olmadığı söylenebilir.

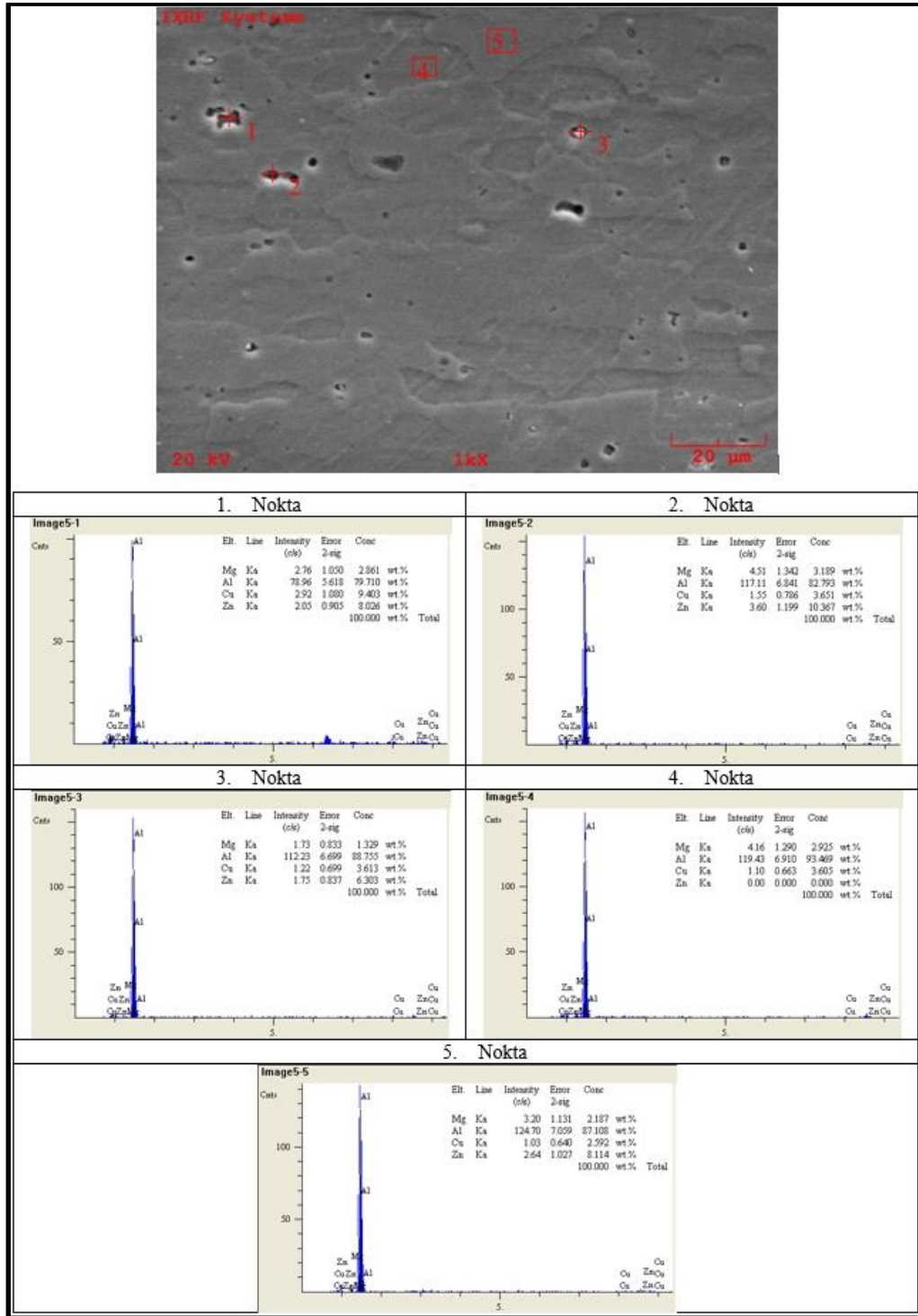


Şekil 7.8. Mikro sertlik ölçüm sonuçları

Şekil 7.8. incelendiğinde artan batma derinliği ile (mavi renk ile gösterilmiştir) sertlikte yaklaşık 5 HV'lık azalma gözlenmiştir. Artan ilerleme hızı ile sertlik değerinde azalma ve artma şeklinde bir eğilim gözlenirken, sertlikteki maksimum değişim 9 HV ile sınırlı kalmıştır. Artan devir sayısı ile sertlikte artma eğilimi belirlenmiş olup, sertlikteki artış yine 9 HV ile sınırlı kalmıştır. Sertlik yorulma dayanımı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla sertlik arttıkça yorulma dayanımı artar. Ancak, YH işlemi sertlikte belirgin bir etkiye neden olmamıştır. Bu nedenle numunelerin yorulma ömür değerleri üzerinde sertlikten çok yüzey pürüzlülüğü ve yüzeyde oluşan basınç gerilmelerinin etkili olduğu söylenebilir.

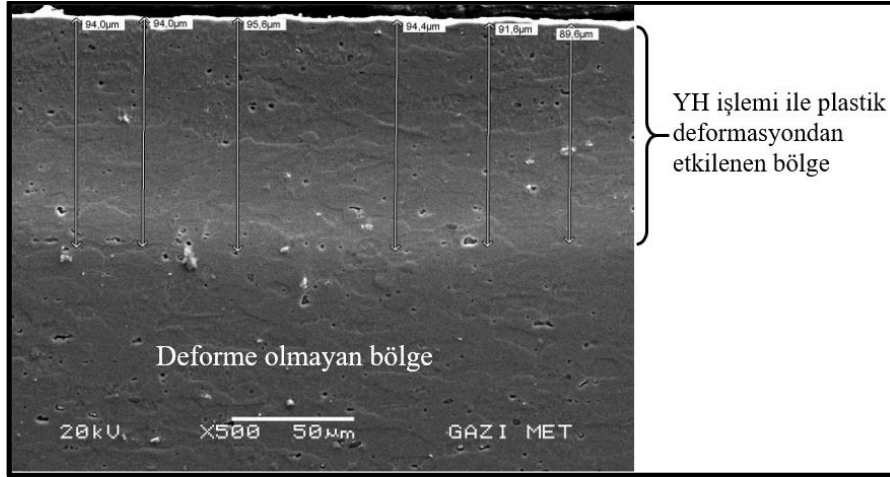
7.4. Mikroyapı İncelemeleri

YH işlemi uygulanan numunelerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ve SEM kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.9.'de deney numunesi olan Al 7175-T6 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesinin SEM'de elde edilen noktasal EDS analiz sonuçları verilmiştir. Nokta 1, 2 ve 3 analiz sonuçları incelendiğinde her üç noktanın mikroyapıda gösterdiği parçacıkların ağırlıkça farklı % miktarlarda Al-Mg-Cu-Zn içerdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla bu üç noktanın gösterdiği parçacıkların farklı Al-Mg-Cu-Zn alaşımları olduğu söylenebilir. Şekil 7.9.'da mikroyapı resminde gösterilen 4. ve 5. noktalar ise dağılayıcıya farklı tepkiler vererek yükselti ve çukurcuk şeklinde mikroyapıda var olan tanelerden alınan EDS analiz sonuçlarını göstermektedir. Zn içermeyen ve 4. nokta olarak mikroyapıda işaretlenen taneler mikroyapıda çukurcuk şeklinde görülen tanelerdir. Zn içeren taneler ise mikroyapıda yükselti şeklinde görüntülenmiştir.

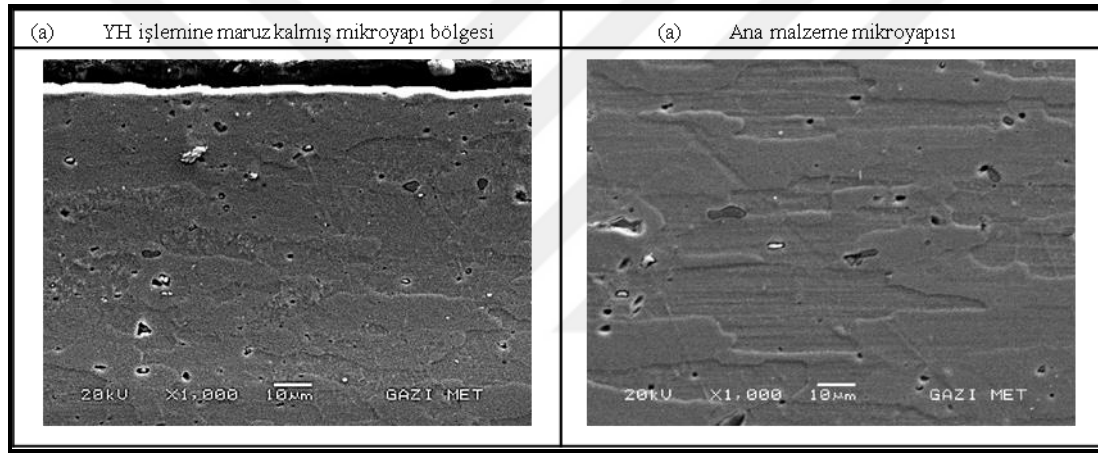


Şekil 7.9. Deney numunesi Al 7175 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesinin SEM noktasal EDS analiz sonuçları

Şekil 7.10.'da 0,15/0,60/400 numunesinin SEM görüntüsü verilmiştir. YH işlemi ile yüzeyden yaklaşık 94 µm mesafede haddelenmeden etkilenen bölge belirlenmiştir. YH işleminin neden olduğu soğuk plastik deformasyon nedeniyle bu bölgenin iç enerjisi artmış ve Kellers dağılayıcısına farklı tepki vererek kontrast farkı oluşmuştur.



Şekil 7.10. 0,15/0,60/400 numunesinin SEM görüntüsü

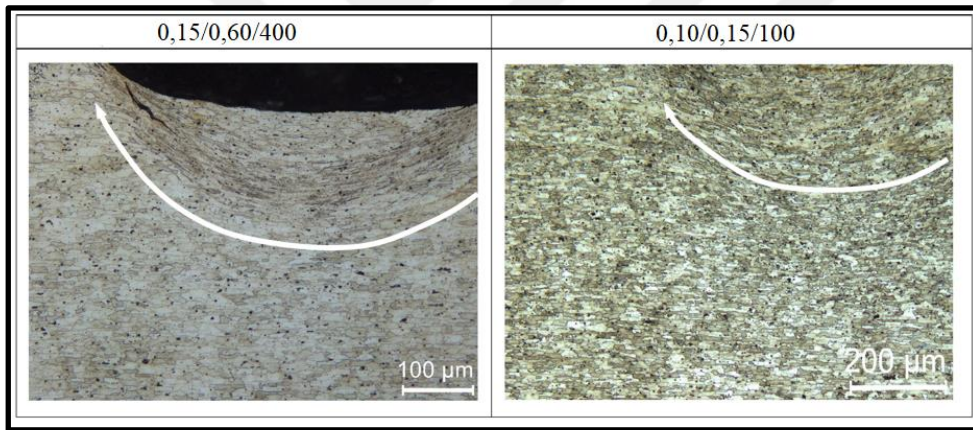


Şekil 7.11. 0,15/0,60/400 numunesinin SEM görüntüsü. (a) YH işlemine maruz kalmış mikroyapı bölgesi, (b) Ana malzeme mikroyapısı

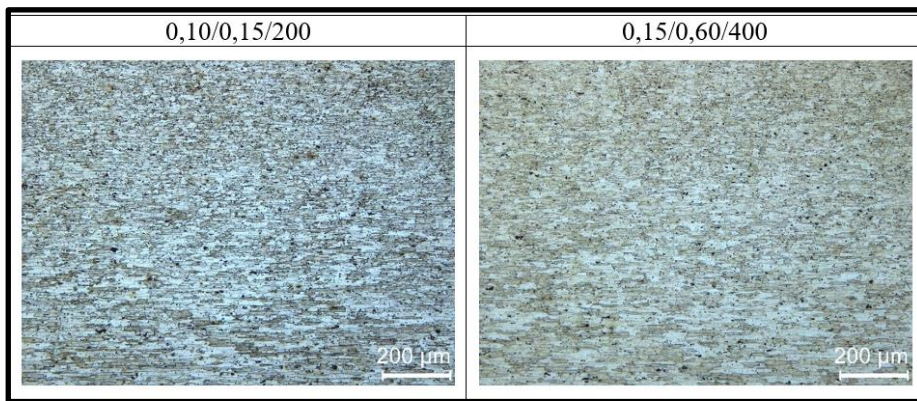
Şekil 7.11.'de ise 0,15/0,60/400 numunesinin YH işlemine maruz kalmış mikroyapı bölgesinin ve ana malzeme bölgesinin mikroyapısı verilmiştir. Her iki mikroyapıda görülen taneler sütunsal ve hadde yönünde yönlenmiştir. Bu tip tane yapısı deney malzemesi olarak kullanılan ve 4x1000x2000 mm ölçülerinde yarı mamül olarak temin edilen Al 7175-T6 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesinin soğuk hadeleme tekniği ile üretilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak Şekil 7.11. incelenecek olursa YH işlemi uygulanan ve Şekil 7.11. (a)'da verilen mikroyapıdaki taneler ile Şekil 7.11.(b)'deki mikroyapıda görülen tanelerin en/boy oranının farklılaştığı görülmektedir. Tanelerin en/boy oranlarındaki farklılaşmanın nedeni YH işlemi ile gerçekleşen soğuk deformasyon etkisidir.

Şekil 7.12.'de YH işlemi sırasında yüzeyin soğuk plastik deformasyona maruz kalmasına neden olan çelik bilye dönme hareketinin malzeme mikroyapısında tanelerin yönlenmesine olan etkisi verilmiştir. Çelik bilyanın neden olduğu bu dönel etki, YH öncesi mikroyapıda bulunan tanelerin en/boy oranlarının değişmesine katkıda bulunmuştur.

Şekil 7.12. YH işlemi ile çelik bilye dönme hareketinin mikroyapıda tanelerin yönlenmesine olan etkisi verilmiştir. Bilye hareketine bağlı olarak uygulanan batma derinliği, ilerleme hızı ve dönme hızı ile tanelerde meydana gelen yönlenme ve şekilsel değişim görülmektedir. Şekil 7.13.'de ise YH işleminin yüzeyde ve yüzeye yakın bölgelerde tanelerde meydana getirdiği şekilsel değişim gösterilmiştir. Numunelerin merkezleri yarı mamül malzemenin soğuk hadde üretimi nedeniyle iri sütunsal tanelere sahip iken YH işleminin etkili olduğu yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde daha küçük en/boy oranına sahip taneler belirlenmiştir.



Şekil 7.12. YH işlemi ile çelik bilye dönme hareketinin mikroyapıda tanelerin yönlenmesine olan etkisi



Şekil 7.13. YH işleminin yüzeyde ve yüzeye yakın bölgelerde tanelerde meydana getirdiği şekilsel değişim



8. SONUÇLAR

Bu bu yüksek lisans tez çalışmasının sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

1. Yüzey haddeleme işlemi ile yüzey pürüzlülüğünün önemli ölçüde değiştiği gözlenmiştir. Artan ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğü artmıştır. İlerleme hızı ve dönme hızı sabit tutulmasına karşın batma derinliği parametresinin artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir.
2. Uygulanan gerilme değerleri için en düşük yorulma ömür verilerini ana malzeme vermiştir. Yüzey haddeleme işlemi uygulanan malzemelerde yorulma ömründe artış gözlenmiştir. Sabit ilerleme hızı ve dönme hızında değişen batma derinliği ile YH işlemi uygulanan numunelerin yorulma ömürlerinde artış gözlenmiştir.
3. Yüzey haddeleme işlemi sonrası tüm numunelerin sertlik değerleri ana malzemenin sertlik değerinden yüksek çıkmıştır. YH işlemi ile numunelerin yüzey sertlik değerlerinin artması işlem sırasında yüzeyde meydana gelen plastik deformasyona atfedilir.
4. Ana malzemenin mikro sertliği $195 \text{ HV}_{0.5}$ olarak ölçülmüştür. 0,05/0,60/400 numunesi $210 \text{ HV}_{0.5}$ sertlik değeri ile maksimum sertlik değerini vermiştir.
5. EDS analiz sonuçları mikroyapıda ağırlıkça farklı % miktarlarda Al-Mg-Cu-Zn içeren alaşım parçacıklarının varlığını göstermiştir. Mikroyapıda bulunan Zn içermeyen ve Zn içeren tanelerin Kellers dağılayıcısına farklı tepkiler verdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, Zn içermeyen taneler mikroyapıda çukurcuk şeklinde görülürken Zn içeren taneler ise mikroyapıda yükselti şeklinde görüntülenmiştir.
6. Yüzey haddeleme işlemi ile yüzeyden yaklaşık $94 \mu\text{m}$ mesafede haddelemeden etkilenen bölge mikroyapıda belirlenmiştir.
7. Yüzey haddeleme işlemine maruz kalmış bölgenin ve ana malzeme bölgesinin mikroyapısının sütünsal ve hadde yönünde yönelmiş tanelerden oluştuğu belirlenmiştir. Bu tip tane yapısı deney malzemesi olarak kullanılan ve $4 \times 1000 \times 2000 \text{ mm}$ ölçülerinde yarı mamül olarak temin edilen Al 7175-T6 (EN AW/AlZn5.5MgCu) malzemesinin soğuk haddeleme tekniği ile üretilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak YH işlemi uygulanan tanelerin en/boy oranının farklılaştığı belirlenmiştir. Tanelerin en/boy oranlarındaki farklılaşmanın nedeni yüzey haddeleme işlemi ile gerçekleşen soğuk deformasyon etkisidir.



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.
- Askeland D. R. (1998). *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*. Çeviren: Mehmet Erdoğan, Nobel Yayınevi, Ankara, cilt 1, 238-245.
- ASM International, (1991). *ASM Handbook*. (Vol. 4). Heat Treating. ASM International, USA, 1861-1960.
- Başak H. and Göktaş, H.H. (2009). Burnishing Process on Al-Alloy and Optimization of Surface Roughness and Surface Hardness by Fuzzy Logic. *Materials & Design*, 30(4), 1275-1281.
- Başak, H. (2015). Haddeleme (Galetaj) İle 5083 Al-Mg Malzeme Yüzeyinin İşlenmesi, Haddeleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 471-476.
- Başak, H. ve Sönmez, F. (2015). Haddeleme İşleminde Haddeleme Aparat Tipinin (Bilyeli, Makaralı, Çift Makaralı) Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 18(3), 125-132.
- Cheong, L.W. M. F., Rouse, J., Hyde, C. J. and Kennedy, A. (2018). The Prediction of isothermal cyclic plasticity in 7175-T7351 Aluminium Alloy With Particular Emphasis On Thermal Ageing Effects. *International Journal of Fatigue*, 114, 92-108.
- Chomienne V., Valiorgue F., Rech J. And Verdu, C. (2016). Influence of Ballburnishing on Residualstress Profile of a 15-5PH Stainless Steel, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 13, 90-96.
- Çetin H. (2005). *Alüminyum Alaşımı Hafif Metal Levhaların Prizmatik Derin Çekmede Biçimlendirilebilirlik Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 7-25
- Demir E. (2008). *Alüminyum Alaşımlarda Isıl İşlem Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 23-27.
- El-Axir, M.H. and El-Khabeery, M.M. (2003). Influence of Orthogonal Burnishing Parameters on Surface Characteristics for Various Materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 82–89.
- Gökkaya, H., Sur, G. ve Dilipak, H. (2006). Kaplamasız Sementit Karbür Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneyisel Olarak İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 59-64.
- Hassan, A.M. (1995). An investigation into the Surface Characteristics of Burnis- Hed Cast Al-Cu alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 37(6), 813-821.

- Hassan, A.M. (1997). The Effect of Ball and Roller Burnishing on the Surface Roughness and Hardness of Some Non-Ferrous Metals. *Journal of Materials Processing Technology*, 22(2), 95-98.
- Huang B., Y. Kaynak, Y. Sun, and Jawahir, I. S. (2015), Surface Layer Modification by Cryogenic Burnishing of Al 7050-T7451 Alloy and Validation with FEM-based Burnishing Model. *Science Direct*, 31, 1-6.
- Huuki, J., Ullah, R. and Laakso, S. (2020). Process Limitation of Ultrasonic Burnishing for Commercially Available Martensitic Stainless Steel, *Procedia Manufacturing. Research Gate*, 51, 885-889.
- İnternet: Referans Metal, URL: <http://referansmetal.com/alasimli-aluminyum/product/402/genel-endustri/en-aw-alzn5-5mgcu-7175-t7351?lang=tr>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2021.
- Jayaraman, N., Prev y, P. and Mahoney, M. (2003), Fatigue Life Improvement of An Aluminum Alloy Fsw with Low Plasticity Burnishing, *Proceedings. 132nd TMS Annual Meeting March 2-6, San Diego, CA*.
- Khalilpourazary S. and J. Salehi (2019). How Alumina Nanoparticles Impact Surface Characteristics of Al7175 in Roller Burnishing Process. *Journal of Manufacturing Processes*, 39, 1-11.
- Klocke, F. and Liermann, J. (1998). Roller Burnishing of Hard Turned Surface. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38 (5–6), 419-423.
- Korzynski, M., Lubas, J., Swirad, S., and Dudek, K., (2011), Surface Layer Characteristics Due to Slide Diamond Burnishing with a Cylindrical-Ended Tool. *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 84-94.
- Lee, S.S.G. Tam, S.C. , Loh, N.H. and Miyazawa, S. (1992), An Investigation Into the Ball Burnishing of an AISI 1045 Freeform Surface. *Journal of Materials Processing Technology*, 29, 1-3.
- Loh, N.H. , Tam, S.C. (1988), Effects of Ball Burnishing Parameters on Surface Finish – a Literature Survey and Discussion, *Precision Engineering*, 10(4), 215-220.
- Lu, L. X., Sun, J., Li, L. and Xiong, Q. C. (2016). Study on Surface Characteristics of 7050-T7451 Aluminum Alloy by Ultrasonic Surface Rolling Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87, 9-12.
- Malyer, Elif., (2018), Ezerek Parlatma Yapılan AA7075-T6 Alüminyum Alaşımında Meydana Gelen Kalıntı Gerilmelerin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 2(3), 565-573.
- Okada M., Shinya M. Matsubara H. , Kozuka H. , Tachiya H. , Asakawa N. and Otsu M. (2017), Development and Characterization of Diamond Tip Burnishing with a Rotary Tool. *Journal of Materials Processing Technology*, 244, 106-115.

- Özkan S. (2006), *Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilen Parçalarda Haddeleme (Burnishing) ile Yüzeylerin İşlenmesi, Haddelemenin Yüzey Pürüzlülüğü Ve Sertleşmeye Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 57-71
- Paulisch, M.C., Lentz, M., Wemme, H. and Andrich, A. (2016). The Different Dependencies of the Mechanical Properties and Microstructures on Hot Extrusion and Artificial Aging Processing in Case of the Alloys Al 7108 and Al 7175. *Journal of Materials Processing Technology*, 233, 68-78.
- Revankar, G. D., Shetty, R., Rao, S. S. and Gaitonde V. N. (2017). Wear Resistance Enhancement of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) By Ball Burnishing Process. *Journal of Materials Research and Technology*, 6(1), 13-32.
- Sachin, B., Narendranath, S. and Chakradhar D. (2019). Effect of Working Parameters on the Surface Integrity in Cryogenic Diamond Burnishing of 17-4 PH Stainless Steel with a Novel Diamond Burnishing Tool. *Journal of Manufacturing Processes*, 38(6914), 564-571.
- Sakarya, N., Göloğlu, C. (2006), Taguchi Yöntemi İle Cep İşlemede Kullanılan Takım Yolu Hareketlerinin ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 603-611.
- Song, R.G., Zhang, Q.Z. (2001), Heat Treatment Optimization for 7175 Aluminum Alloy by Genetic Algorithm. *Materials Science and Engineering: C*, 17(1-2), 133-137.
- Soyyigit A. (2009). *7075-T6 Alüminyum Alaşımında Yapay Olarak Oluşturulan Olukların Yorulma Dayanımına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 4-17
- Sönmez, F. (2009). *Haddeleme İşleminin Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 22-23.
- Sönmez, F., Başak, H. ve Baday, Ş. (2016). Haddeleme İşleminin Yüzey Yanıt Yöntemi İle Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(4), 275-283.
- Sönmez, F., Başak, H. ve Baday, Ş. (2017). Sürtünme Karıştırma Kaynak İşlemi Sonrası Uygulanan Haddeleme İşleminin İç Sertlik Değişimine Etkisinin Matematiksel Olarak Modellenmesi. *2'nd International Science Symposium (ISS2017)*, Tiflis, 13(1), 9-18.
- Tugay, I.O. , Hosseinzadeh, A. , Yapici, G.G. (2021), Hardness and Wear Resistance of Roller Burnished 316L Stainless Steel. *Materials Today: Proc*, 04, 363.
- Yu X. , Wang L. (1998), Effect of Various Parametres on the Surface Roughness of an Aluminium Alloy Burnished with a Spherical Surfaced Polycrystalline Diamond Tool. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 459-469.
- Zhao, J., ve ark. (2021), Characterization of Microstructure and Mechanical Properties for Ti-6Al-4 V Processed by Rotary Ultrasonic Roller Burnishing. *Materials Characterization*, 178, 111-288.





GAZİ GELECEKTİR..