

**AA1050 ALÜMİNYUMUN HACİMSEL VE
YÜZEYSEL AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON
YÖNTEMLERİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

Osman MUTLU

**AA1050 ALÜMİNYUMUN HACİMSEL VE YÜZEYSEL AŞIRI PLASTİK
DEFORMASYON YÖNTEMLERİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Osman MUTLU

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
HAZİRAN 2019**

Osman MUTLU tarafından hazırlanan “AA1050 ALÜMİNYUMUN HACİMSEL VE YÜZEYSEL AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON YÖNTEMLERİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Okan ÜNAL

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.20/09/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL (KBÜ)

Üye :Doç. Dr. A Cahit KARAOĞLANLI (BÜ)

..../.../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



“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.”

Osman MUTLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AA1050 ALÜMİNYUMUN HACİMSEL VE YÜZEYSEL AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON YÖNTEMLERİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Osman MUTLU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Okan ÜNAL

Haziran 2019, 50 sayfa

Bu çalışmada, AA 1050 serisinin yüzeysel ve hacimsel aşırı plastik deformasyon yöntemleri ile mekanik özelliklerini iyileştirmek hedeflenmiştir. Yüzeysel plastik deformasyon için bilyalı dövme ve ultrasonik nanokristalin yüzey modifikasyonu; hacimsel plastik deformasyon yöntemi için ise sınırlandırılmış yivli presleme yöntemleri kullanılmıştır. Mekanik özelliklerini belirlemek için sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca, numuneler elektron geri yansıma difraksiyonu yaklaşımı ile mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Aşırı plastik deformasyon, Alüminyum, 1xxx serisi, çekme.

Bilim Kodu : 91421

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF AA 1050 ALUMINUM BY BULK AND SURFACE SEVERE PLASTIC DEFORMATION METHODS

Osman MUTLU

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Okan ÜNAL

June 2019, 50 pages

In this study, it is aimed to improve the mechanical properties of AA 1050 series with superficial and volumetric extreme plastic deformation methods. For superficial plastic deformation was used to ball forging and ultrasonic nanocrystalline surface modification. On the other hand, was a used limited grooved pressing method for the volumetric plastic deformation method. Hardness and tensile tests were applied to determine the mechanical properties. In addition, microstructure examinations were carried out by electron reflection diffraction approach.

Key Word : Severe Plastic Deformation, Aluminum, 1xxx Series, Tensile.

Science Code : 91421

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının her aŐamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıŐmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Okan ÜNAL'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme, eŐime ve kızıma manevi hiçbir yardımı esirgmeden her zaman yanımda oldukları; verdikleri destekler için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
2.1. AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON.....	4
2.1.1. Yüzeysel Deformasyon.....	5
2.1.1.1. Bilyalı Dövme.....	5
2.1.1.2. Ultrasonik Nanokristal Yüzey Modifikasyonu	9
2.1.2. Hacimsel Deformasyon	10
2.1.2.1. EKAP	10
2.1.2.2. Sınırlandırılmış Yivli Presleme.....	15
2.2. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	23
2.2.1. Sertlik.....	23
BÖLÜM 3	27
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
3.1. MALZEME SEÇİMİ.....	27
3.2. SINIRLANDIRILMIŞ YİVLİ PRESLEME	27

	<u>Sayfa</u>
3.3. BİLYALI DÖVME	29
3.5. MİKROYAPI VE MEKANİK TESTLER	30
3.5.1. Mikroyapı Çalışmaları	30
3.5.2. Sertlik Deneyi	31
BÖLÜM 4	33
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1. ELEKTRON GERİ YANSIMA DİFRAKSİYONU	33
4.2. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI.....	38
4.3. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI	41
BÖLÜM 5	44
SONUÇLAR	44
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Bir dişlinin dişlerinin bilyalı dövülmesi	6
Şekil 2.2. Bilyalı dövme sonucu oluşan artık gerilme profili a. Bilyalı dövme sonrası oluşan yüzey profili b. Bilyalı dövme sonrası yüzeyde oluşan basma gerilmesi.....	8
Şekil 2.3. Bilyalı dövme sonucu oluşan basma artık gerilmesi	8
Şekil 2.4. UNYM sistemi	9
Şekil 2.5. EKAP işlemi	11
Şekil 2.6. EKAP işlem rotaları.....	11
Şekil 2.7. EKAP kayma düzlemleri	13
Şekil 2.8. EKAP x, y, z kayma düzlemleri.....	14
Şekil 2.9. Isıtmalı EKAP kalıbı.....	15
Şekil 2.10. SYP tekniğinin dizilerinin şematik gösterimi	16
Şekil 2.11. Sac numunesinin kesme gerilmesi şeması	18
Şekil 2.12. Yivli presleme (YP) tekniğinin şeması	20
Şekil 2.13. YSYP tekniğinin şeması	20
Şekil 2.14. KP-SYP sürecinin şeması	21
Şekil 2.15. Bir SYP-ÇY geçişinin sekiz aşaması.....	22
Şekil 2.16. Brinell sertlik deneyinin prensip aşaması	23
Şekil 2.17. Çekme Eğrileri (a) Akma noktası belli olmayan malzemenin (b) Akma noktası belirli malzemenin üst ve alt akma noktaları Gerilme-Gerinim grafiği	25
Şekil 3.1. Yivli kalıp	27
Şekil 3.2. Düz kalıp.....	28
Şekil 3.3. UNYM süreci.....	29
Şekil 3.4. Qness q250m marka sertlik cihazı	30
Şekil 3.5. Servohidrolik dinamik test cihazı	31

Şekil 4.1. Deney başlangıcında her paso için alınan elektron geri yansıma difraksiyonu görüntüleri (a) 1. Paso (b) 2. Paso (c) 3. Paso (d) 4. Paso	32
Şekil 4.2. Elektron geri yansıma difraksiyonu görüntüleri (a) 1. Paso (b) 2. Paso (c) 3. Paso (d) 4. Paso	34
Şekil 4.3. Elektron geri yansıma difraksiyonu sonrasında bant kontrastı görüntüleri (a) 1. Paso (b) 2. Paso (c) 3. Paso (d) 4. Paso	35
Şekil 4.4. Elektron geri yansıma difraksiyonu sonrası euler görüntüleri (a) 1. Paso (b) 2. Paso (c) 3. Paso (d) 4. Paso	36
Şekil 4.5. Ölçüm ve uygulama yüzeyleri.	37
Şekil 4.6. SYP+ABD uygulamaları ve işlemsiz numune sertlik grafiği.....	38
Şekil 4.7. SYP+UNYM uygulamaları ve işlemsiz numune sertlik grafiği.....	39
Şekil 4.8. Sadece SYP işlemi yapılmış numunelerde ortadan sertlik	40
Şekil 4.9. SYP + UNYM numunelerinin gerilme-gerinim grafiği.....	41
Şekil 4.10. SYP+ABD numunelerinin gerilme-gerinim grafiği.	42
Şekil 4.11. SYP numunelerinin gerilme-gerinim grafiği.	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Al 1050 H14 Serinin Kimyasal bileşimi.....	26
Çizelge 3.2. Al 1050 H14 Temperleme koşulu mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 4.1. Al 1050 serisinin 1. Paso testinin ayarlaması	33
Çizelge 4.2. Al 1050 serisinin 2. Paso testinin ayarlaması	33
Çizelge 4.3. Al 1050 serisinin 3. Paso testinin ayarlaması	33
Çizelge 4.4. Al 1050 serisinin 4. Paso testinin ayarlaması	33
Çizelge 4.5. Al 1050 serisinin için faz edinimi.....	34
Çizelge 4.6. SYP + UNYM Çekme testi sonuçları	41
Çizelge 4.7. SYP+ABD çekme testi sonuçları.....	42
Çizelge 4.8. SYP çekme testi sonuçları	43
Çizelge 4.9. 1,2 ve 3 pasolardaki karşılaştırma çizelgesi.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- $Cr_{eş}$: krom eşdeğerliliği
 $Ni_{eş}$: nikel eşdeğerliliği
Ag : gümüş
Al : alüminyum
Ar : argon
Au : altın
Cu : bakır
 H_2 : hidrojen
He : helyum
Mo : molibden
Ni : nikel
erf(z) : hata işlevi
 γ : birim hacim ağırlığı
 $\Gamma(x)$: gama işlevi
 θ : kutupsal açı
 σ : normal gerilme
 σ_c : tek eksenli basınç dayanımı

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

TS : Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Üretim maliyetleri ve düşük yoğunluk nedeniyle, alüminyum ve alaşımları sanayi alanında metal ve alaşımları arasında yoğun kullanımları ile ön plana çıkmaktadır. Alüminyum ve alaşımları, son zamanlarda büyük rağbet gören otomotiv alanı başta olmak üzere uzay ve havacılık gibi sektörlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının hafif olması gibi önemli avantajları olmasına rağmen mekanik özelliklerinin diğer demir esaslı malzemelere göre kötü olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar, yaşlandırma ve termomekanik gibi uygulamalarla giderilebilir. Yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda malzemenin yapısı içinde meydana gelen ikincil faz partikülleri malzemenin mukavemetini artırır. Termomekanik işlem ise (plastik deformasyon+yeniden kristalleşme) malzemenin tane boyutunu inceltmek dayanımı arttırmada kullanılan yöntemdir. Bu uygulama ile malzeme içerisindeki tane yapısında yüksek miktarda deformasyon enerjisi oluşturmaktadır. Sonrasında ise belirli sıcaklık değerlerinde yeniden kristalleşmesini sağlamaktadır. Termomekanik işlemlerle Al ve alaşımlarının tane boyutunun 10 µm'dan daha fazla küçültmenin kolay olmadığı bilinmektedir [1, 2].

Alüminyum alaşımları havacılık endüstrisi ve otomobil endüstrisi gibi çeşitli endüstrilerde geniş bir uygulama alanına sahiptir [3]. Metallerin ve alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirmenin yollarından biri, ortalama tane boyutlarını ultra-ince tane (UİT) aralığına düşürmektir [4, 5]. Tane inceltme, malzemenin dayanımını ve istenen özellikler olan mukavemet / yoğunluk oranını artırır. UİT malzemeleri oda sıcaklığında nispeten daha yüksek mukavemete sahiptir ve yüksek sıcaklıklarda süper plastiklik özelliğine sahiptir [6, 7]. Bu nedenle, UİT malzemelerinin üretimi büyük önem taşımaktadır. UİT materyallerini sentezlemenin iki yolu; aşağıdan yukarıya yaklaşım ve yukarıdan aşağıya yaklaşımlardır.

Aşağıdan yukarıya doğru yaklaşımda, nanostrüktür yapıları birleştirme yoluyla ve katman katman düzenlenmesiyle üretilir. Ancak, bu yaklaşımın bir dezavantajı vardır. Endüstriyel imalat için uygun olmayan gözenekli yapı oluşumuna yol açar. Diğer yaklaşım, yukarıdan aşağıya yaklaşım, bu dezavantajdan muaftır. Aşırı Plastik Deformasyon (APD), yukarıdan aşağıya doğru bir yaklaşımla UİT malzemeleri üretmenin en etkili yollarından biridir [8].

APD, malzemelerin ağır üniform deformasyonu, yoğun dislokasyon duvarlarının oluşumu ve dislokasyon duvarların yüksek açılı tane sınırlarına dönüştürülmesiyle dislokasyon yoğunluğunun arttırılmasını içerir. APD tarafından üretilen malzemeler gözeneksiz bir yapıya, üstün özelliklere, ayrıca mekanik ve fiziksel testler için uygun boyutlara sahiptir. APD, gerilme direncini arttırır ve ayrıca süper plastiklik, yorulma özellikleri ve kırılma davranışı gibi diğer mekanik özellikleri geliştirir [9]. UİT malzemelerinin dezavantajı süneklikleridir [10]. UİT malzemelerinde sünekliği arttırmanın yollarından biri, temel olarak yüksek açılı tane sınırları ve denge dışı tane sınırlarının büyük hacimli bir kısmı ile karakterize edilen çok ince taneli bir mikro yapıdaki deformasyon mekanizmasındaki değişimi açıklamaktır [11].

Geçtiğimiz yıllarda, UİT malzemeleri üretmek için birçok APD tekniği önerilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları, eşit kanallı açılı presleme (EKAP), yüksek basınçlı burulma (YBB), tekrarlayan yivli ve düzleştirme (TYD), sınırlandırılmış yivli presleme (SYP), sınırlandırılmış yivli haddeleme (SYH), döngüsel ekstrüzyon sıkıştırması (DES), büküm ekstrüzyonu (BE) ve sürtünme karıştırma işlemi (SKİ) [12]. Bunlardan SYP, TYD ve SYH, plaka şeklindeki malzemeleri veya metal levhaları deforme etmek için kullanılır. Bunlar arasında, SYP, üstün ve çekici özelliklere sahip levha-sac malzemeleri deforme etmek için en uygun tekniklerden biridir.

Alüminyum alaşımlarını çelikler ile mukayese ettiğimiz zaman daha düşük maliyete ve yüksek dayanım-ağırlık oranına sahip metaller olduğu görülmektedir. Bu sebeple endüstriyel olarak yoğun şekilde kullanılmaktadırlar. Özellikle enerji tüketimi ve maliyetleri düşürmek için havacılık ve otomotiv sektöründe kullanımı oldukça fazladır. Bu yüzden Al alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmek bu metalin kullanım alanının geniş olmasını sağlamaktadır.

Bu tezin amacı APD yöntemi olarak uygulanan sınırlandırılmış yivli preslemenin (SYP) malzemenin mikroyapısal özelliklerinin üzerindeki değişimlerinin mekanik karakterinin iyileştirilmesi üzerindeki etki-ilişkilerini ve korelasyonunu net olarak ortaya koymaktır. Aynı zamanda SYP işlemi sonrası yüzey karakterini geliştirmek amacıyla bilyalı dövme (BD) ve ultrasonik nanokristal yüzey modifikasyonu (UNYM) uygulamaları ile mekanik testler bağlamında hem tekil hem de tekrarlı yükler altında aşırı plastik deforme olmuş Alüminyum 1050 serisinin davranışları geleneksel üretilmiş olanla karşılaştırılmış ve sonuçlar mikroyapı özellikleri ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON

Malzemenin yoğun birim şekil değişimi nedeniyle APD yöntemlerinde yapı içerisinde meydana gelen dislokasyonlar yeniden kendini düzenleyerek çok ince taneli mikron altı yapılara dönüşmektedir [13]. Ayrıca aşırı plastik deformasyon yöntemlerinde (APD), düşük sıcaklıklardaki malzemeler yüksek miktarda şekil değiştirmeye maruz kalmaktadırlar. Genelde bu sıcaklık metaller için ergime sıcaklıklarının üçte biri kadardır [14]. APD yöntemlerini uygulayabilmek için gerekli koşullar vardır. Öncelikle, deformasyon nedeniyle oluşan ince taneli yapının yüksek açılı tane sınırlarına sahip olması gerekir. Bu sayede malzemenin mekanik özelliklerinin gelişmesinde rol oynamaktadır. Buna ek olarak deforme olan malzemeye kazandırılan özelliklerin kararlı yapıda olması için işlem sonucunda homojen mikroyapı elde edilebilmektedir. Yüksek gerinim altında malzemenin kesit alanının sabit kalması ise APD yöntemlerinin diğer önemli bir özelliğidir [15].

Malzemenin akma dayanımı ve diğer mekanik özellikleri ile tane boyutunun arasındaki bağlantı Hall tarafından sunulmuş ve daha sonra Petch tarafından genişletirilmiştir. Hall-Petch denklemine göre:

$$\sigma_0 = \sigma_i + KD^{-1/2} \quad (2.1)$$

σ_0 : Akma dayanımı

σ_i : Sürtünme dayanımı (Tanelerin dislokasyon hareketine karşı gösteren dayanım)

K: Kilitlenme parametresi (malzemenin sertliğinde tane sınır katkısını gösteren sabit)

D: Tane apı

Tane boyutu, malzeme dayanımında en önemli faktörlerden birisidir. Hall-Petch denklemine göre tane boyutu ne kadar küçükse malzemenin akma dayanımı o kadar yüksek olur. Hall-Petch denklemi temel olarak dislokasyon modeli, tane sınırı ve tanenin dislokasyon hareketine engel olmasıyla ilgilidir [16].

Yüksek sıcaklıklardaki tane sınırlarının kayma mekanizması malzemenin ergime sıcaklığına bağlı olarak plastik deformasyona yardımcı olur. Malzemenin çok ince taneli olması plastik deformasyon mekanizmasının daha etkili olmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda difüzyon işleminin kontrollü gerçekleşmesi ve tane sınırının kayma mekanizmasının deformasyon yönünde gerçekleşmesine neden olması ile plastik deformasyonun daha etkili olması sağlanmaktadır [17].

Polikristal yapılı malzemeler çok ince taneli malzemeler olup ortalama tane boyutları 1 mikrometredir. Bu tür malzemelerin eş eksenli taneler, mikroyapı ve yüksek açılı tane sınırı gibi özellikleri vardır. Yüksek açılı tane sınırının olması malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileşmesinde önemli rol oynamaktadır [3]. May ve arkadaşları tarafından yürütölen bir çalışmada, aşırı ince ve normal taneli %99,5 saflıkta olan Alüminyumun 200 °C de çekme deneyinin sonuçlarını paylaşmışlardır. Deney sonucuna göre, aşırı ince taneli malzemenin normal malzemeye göre dayanımının yaklaşık 3 kat kadar iyileştiğini ve ayrıca aynı sonucun oda sıcaklığında da elde edildiğini belirtmişlerdir [18].

2.1.1. Yüzeysel Deformasyon

2.1.1.1. Bilyalı Dövme

Bilyalı dövme, kısaca mekanik yüzey işlemedir. Yorulan metallerin mukavemetlerinin artırılması için soğuk ya da ılık olarak uygulanabilmektedir. Bilyalı dövme işlemi metallerin yüzeyine küçük çaplı bilyaların fırlatılması ile gerçekleşen bir yüzey işlemidir. Şekil 3.1 bir dişlinin bilyalı dövölmesini göstermektedir [19].



Şekil 2.1. Bir dişlinin dişlerinin bilyalı dövülmesi [19].

Her bir küçük bilyanın metalin yüzeyine çarpması ile metalik malzemenin yüzeyinde tümsek ve çukurcuklar oluşturur. Bu durum ince uçlu bir çekicinin malzemenin yüzeyine vurulması sonucu oluşan etkiye benzer bir etki göstermektedir [20].

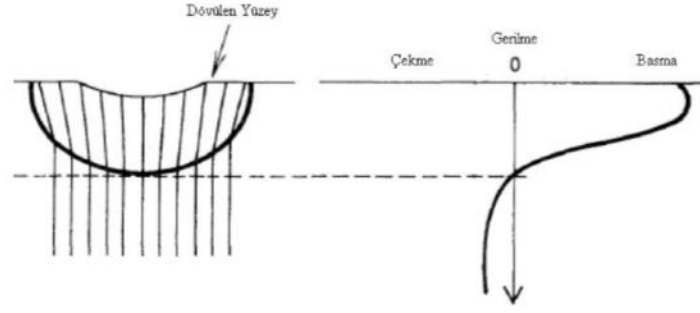
Bu işlemde kullanılan küçük bilyalar genellikle küresel olup malzemeleri dökme demir, çelik, cam, seramik, kesme tel veya paslanmaz çelik olabilmektedir. Malzemeyi dövecek bilyaların hızı, kalıcı plastik deformasyon oluşturacak hızlarda, metalin yüzeyine püskürtülmelidir. Malzemenin yüzeyine gönderilen bilyaların sayılamayacak kadar fazla olması su jeti prensibi ile kıyaslanmakla beraber tek bir bilyanın hareketi incelenecek olursa eğer yüzeye çarpan bilyanın yüzeyde küre takkesine benzer bir çukurcuk oluşturması nedeniyle malzemede plastik olarak akma gerçekleşmesine neden olduğu söylenebilir [20].

Bilyaların yüzeye şiddetle çarpması ile deformasyona uğrayan bölgelerin genişlemeye çalışacaktır ve böylece yüzeyin alt kısımlarında sadece elastik deformasyona maruz kalan bölgelerce engellenmeye neden olacaktır. Bu yüzden yüzeyde ve yüzeyin hemen altında bilyalı dövmenin etki ettiği bölgelere kadar basma artık gerilmesi etki etmekte, malzemenin iç kesimlerinde genişlemeyi önlemeye çalışan elastik deformasyona

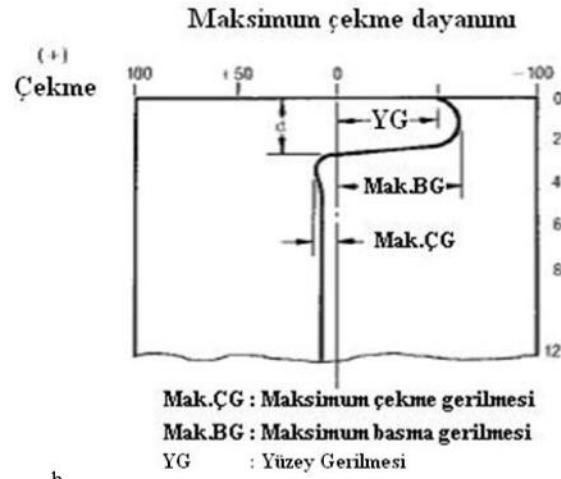
maruz kalmış bölgelerde ise çekme gerilmesi meydana gelmektedir. Yüzeyde çukur oluşmasına sebep olan çekme gerilmesi, yüzeyin hemen altında metali eski haline getirmeye çalışan bası gerilmesi tarafından engellenmeye çalışılır. Dolayısıyla yüzeyin hemen altında metal yüksek basma gerilmesi ile yüklenir. Birbiri üzerine çakışan çukurcukların altında basma nitelikli kalıntı gerilme profili oluşur. Bilyalı dövülmüş bir parçanın enine kesitinde oluşan artık gerilme profili Şekil 2.2’de gösterilmektedir [21].

Artık gerilmeler sadece elastik gerilmeler olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle metallerde bilyalı dövme sonrası oluşan kalıcı gerilmeler elastik sınır ve altında oluşan gerilmelerdir. Bir başka ifade ile kalıntı gerilmeler akma dayanım değerinin üzerine çıkamaz, eğer böyle bir durum gerçekleşirse bir başka plastik deformasyon söz konusu olur. Yapılan çalışmalara bakıldığında bilyalı dövme işlemi sonrası ortaya çıkan artık gerilmeler yaklaşık olarak minimum akma dayanımının yarısı, maksimum o metalin akma dayanımı mertebelerindedir [20, 22].

Basma artık gerilmesi malzemedeki çatlakların başlamasına ve bu çatlakların artmasına engel olur. Tüm yorulma ve gerilmeli korozyon hasarlarının yüzeyden başladığı düşünüldüğünde, bilyalı dövme nedeniyle oluşan basma gerilmesi makina parçalarının ömrünü uzatır. Şekil 2.3 metalik bir numunenin üzerinde şematik olarak basma artık gerilmesini göstermektedir [23].

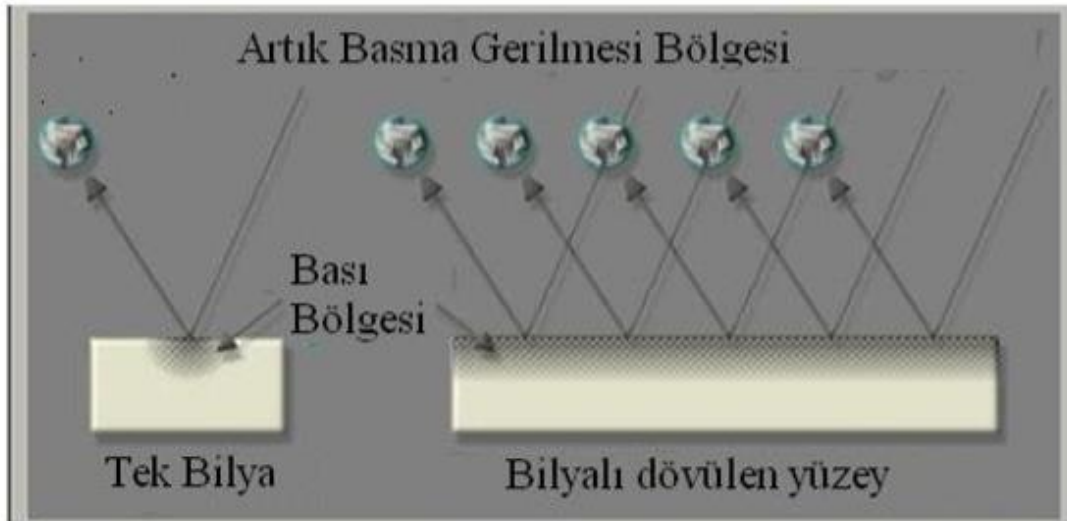


a



b

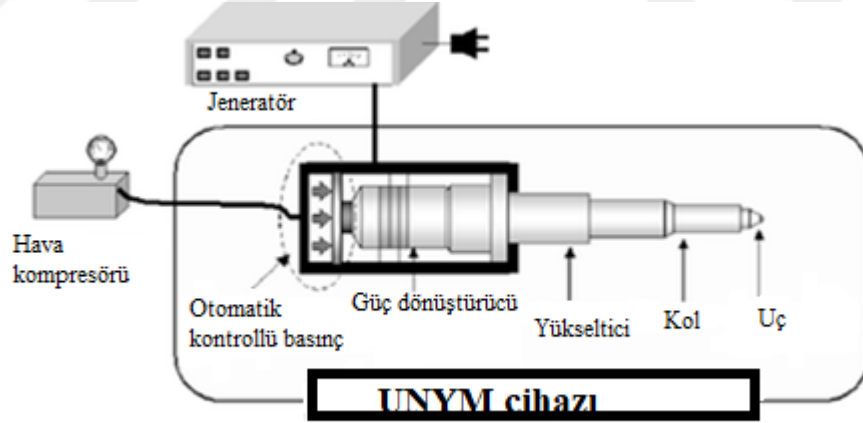
Şekil 2.2. Bilyalı dövme sonucu oluşan artık gerilme profili a. Bilyalı dövme sonrası oluşan yüzey profili b. Bilyalı dövme sonrası yüzeyde oluşan basma gerilmesi [21].



Şekil 2.3. Bilyalı dövme sonucu oluşan basma artık gerilmesi [23].

2.1.1.2. Ultrasonik Nanokristal Yüzey Modifikasyonu

Ultrasonik nanokristal yüzey modifikasyonu (UNYM) teknolojisi, şekil 2.4' de görüldüğü gibi metallerde yüzeye yakın tane inceltme, sertleştirme ve sıkıştırıcı kalıntı gerilmeleri tetiklemek için ultrasonik darbeleri kullanan yenilikçi bir yüzey işleme tekniğidir. UNYM'nin ana konsepti ve mekanizması şu şekildedir: Ultrasonik bir cihaza tutturulmuş bir tungsten karbür top, bir iş parçasının yüzeyine saniyede 20.000 veya daha fazla kez, milimetre kare başına 1000 ila 10.000 atışla vurur. Mikro soğuk dövme olarak tanımlanabilen bu darbeler, yüzey katmanlarında ciddi plastik deformasyona neden olur ve bu sayede nanokristal mikro yapıları elde edilir. Bununla birlikte, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında artık gerilme dağılımları hakkında bilgi elde edilememektedir [24]. Yüzey tabakalarının nano mikroyapı modifikasyonu, Hall-Petch ilişkisine göre iş parçasının mukavemetini (sertliğini) ve sünekliği (tokluğunu) aynı anda iyileştirebilir. Bu işlem aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünü geliştirir ve yüzey katmanlarında basınç kalıntısı stresine neden olur. Bu durum iş parçasının yorulma direncini artırır.



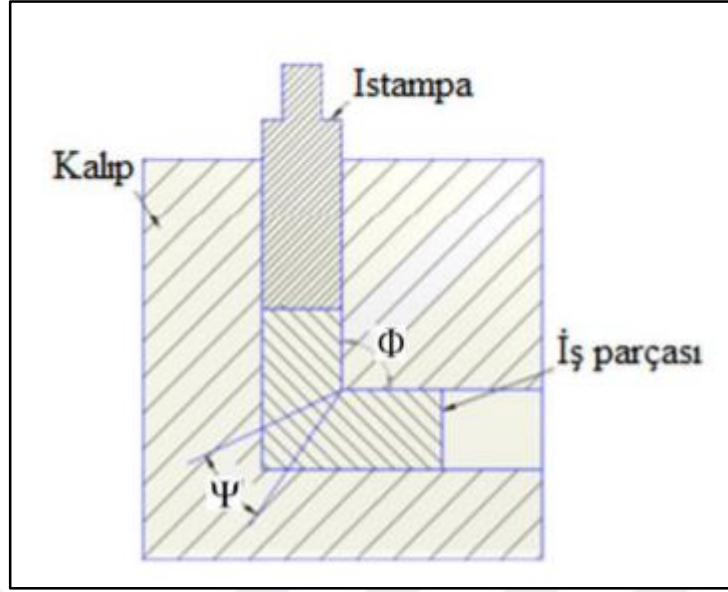
Şekil 2.4. UNYM sistemi [24].

UNYM, geliştirilmiş özellikler ve performans için karbon çeliği, paslanmaz çelik, NiTi, Ti64, dökme metalik cam ve magnezyum alaşımlarına işlem uygulamak için başarıyla kullanılmıştır [25]. UNYM ayrıca, gerilmiş artık gerilmeleri ortadan kaldırmaktadır.

2.1.2. Hacimsel Deformasyon

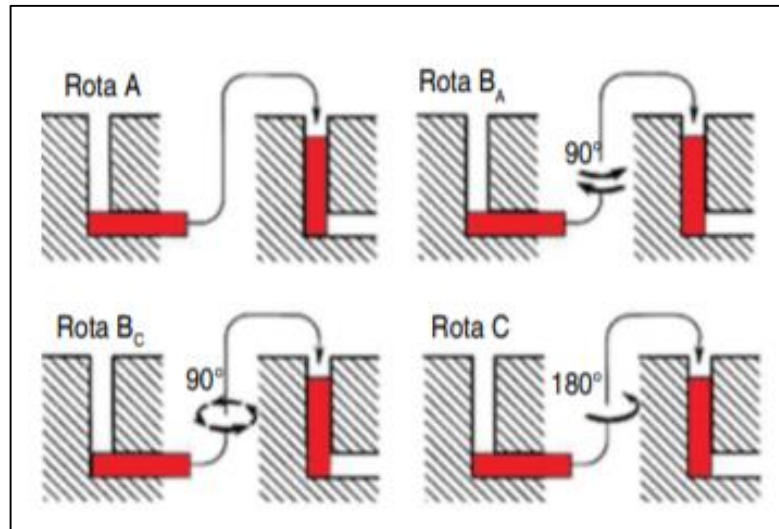
2.1.2.1. EKAP

EKAP üzerinde yapılan araştırmalar, 90'lı yıllardan itibaren nano tane boyutuna sahip malzemeler üzerindeki ilginin artması ile artmıştır. Yapılan araştırmalara göre, tane boyutundaki azalmaların süper-plastiklik özelliği üzerinde olumlu sonuçlar doğurduğu gözlenmiştir. Yeniden kristalleştirme, toz metalurjisi, termomekanik işlemler, mekanik öğütme günümüzde uygulanan tane küçültme yöntemleridir. Tane küçültme yöntemlerinden olan termomekanik uygulama ve yeniden kristalleştirme kolay olmayan ve maliyeti de yüksek uygulamalardır. Bu sebeplerden dolayı, toz metalurjisi işlemi aracılığıyla ince taneli yapı elde etme üzerine yapılan çalışmalar, bu yöntem sayesinde mikron altı boyutta tane üretilmiş ve mekanik özelliklerinde ciddi artışlar olmuştur. Ancak bu yöntemin endüstriyel olarak uygulanması pek yaygınlaşmamıştır. Bunun nedeni yöntemin kendine özgü zorluklarının olmasıdır. Bunun dışında, diğer yöntemlerin de kendine özgü zorluklarının olması EKAP işlemini farklı bir tane inceltme işlemi seçeneğine dnştrmştir. EKAP süresince iş parçası kesitleri eşit olan ve kesişen iki kanal arasından pres ile sıkıştırılır, iş parçası kayma hareketlerinden faydalanılarak şekillendirilir. Bu işlem şekil 2.5'te genel hatlarıyla gösterilmiştir [26, 27].



Şekil 2.5. EKAP işlemi [27].

EKAP prosesinde dört adet önemli parametre mevcuttur. Bu parametreler; EKAP kanal açılı, EKAP işlem yönleri, presleme sıcaklığı ve son olarak da presleme hızıdır [27]. EKAP işleminde istenilen mikro yapıya sahip yüksek mukavemetli ürünler elde etmek için, işlem yönleri ve paso miktarları gibi parametreler önemlidir. EKAP işleminde, mikro yapının küçülmesi ile artan paso sayısındaki artış birbirine paraleldir [26]. EKAP işleminde Şekil 2.6' da gösterildiği gibi dört temel işlem rotası bulunmaktadır.

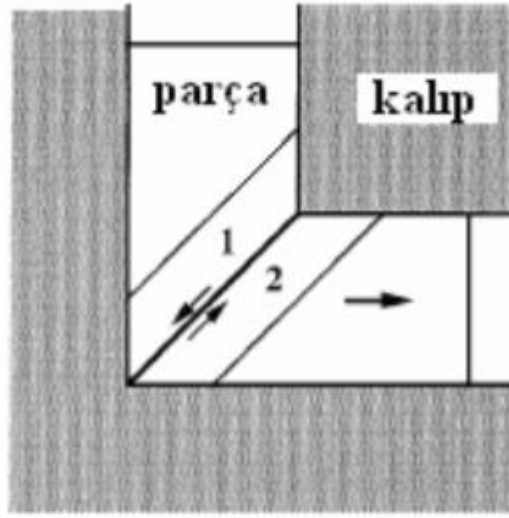


Şekil 2.6. EKAP işlem rotaları [28].

Rota C' de numune her paso bitiminde aynı yönde 180° lik açıyla döndürülür. Numune her pasoda, BA rotasında 90° açıyla ters yöne döndürülürken, BC rotasında aynı yönde 90° açıyla döndürülür [28]. EKAP işlemi mikro yapının oluşumunu, kanalların arasındaki kesişim açısı (F) ve kanalların dış kavis açısı (Ψ) etkilemektedir. EKAP kalıp açıları Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Kesişim açısı genellikle $F=90^\circ$ alınırken, kavis açısı ise $\Psi=0^\circ$ alınmaktadır. Kalıbın şekli ve açısı işlemin gerçekleştirilmesinde kolaylık sağlarken aynı zamanda malzeme akışını da etkiler. F açısı mümkün olduğunca küçük alındığında şiddetli kayma elde edilebilmektedir. $F<90^\circ$ olması durumunda, kanal köşesinde bozuk deformasyon bölgesi oluşacağından dolayı, $F=90^\circ$ olması önerilir. [27]. Presleme işlemi genellikle 1-20 mm/s arasındaki hızlarda değişir. Yapılan çalışmalarda presleme işleminin hızı malzemenin tane boyutuna önemli bir etkisi olmadığı görülse dahi, mikro yapıdaki toparlanma düşük hızlarda ve daha çok zaman alacağından, presleme hızının mikro yapıyı etkilediği söylenebilir. Presleme sıcaklığı arttığı zaman malzemeye bağlı olarak tane boyutlarında değişimler meydana gelmektedir. Presleme sıcaklığındaki artış ultra ince taneli malzemelerin elde edilmesinde etkili olmasına rağmen, tane boyutlarını negatif yönde etkileyerek tane boyut büyümesine neden olmaktadır [26].

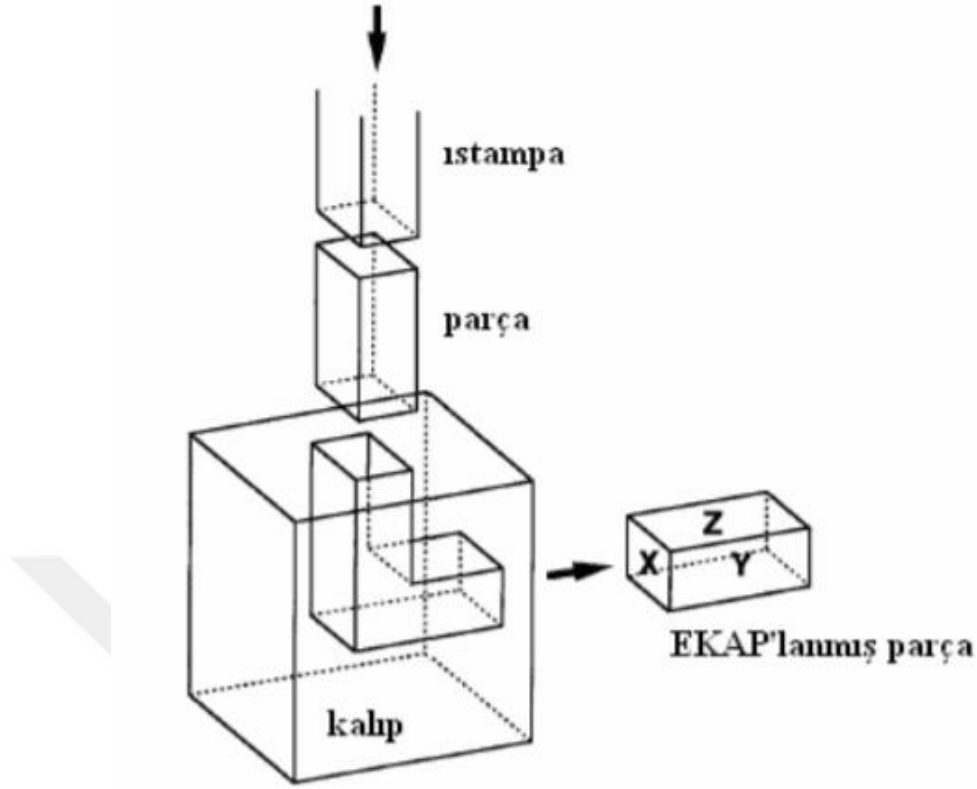
EKAP Çalışma Prensibi

EKAP, iki aynı kesite sahip kanalı olan kalıba bu kesitlerle aynı kesit ölçüsüne sahip malzemenin preslenmesi ile olur. Kanallar arasındaki açı nedeniyle dönüş esnasında kayma bantları meydana gelerek malzeme de plastik deformasyon gerçekleşir. Şekil 2.7'deki gibi kayma 1 ve 2 düzlemleri arasındaki kayma düzleminde gerçekleşir [29].



Şekil 2.7. EKAP kayma düzlemleri [29].

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi malzemede 3 tane ortogonal yüzeyler bulunmaktadır. Bu yüzeyler şekilde x, y ve z olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.8. EKAP x, y, z kayma düzlemleri.

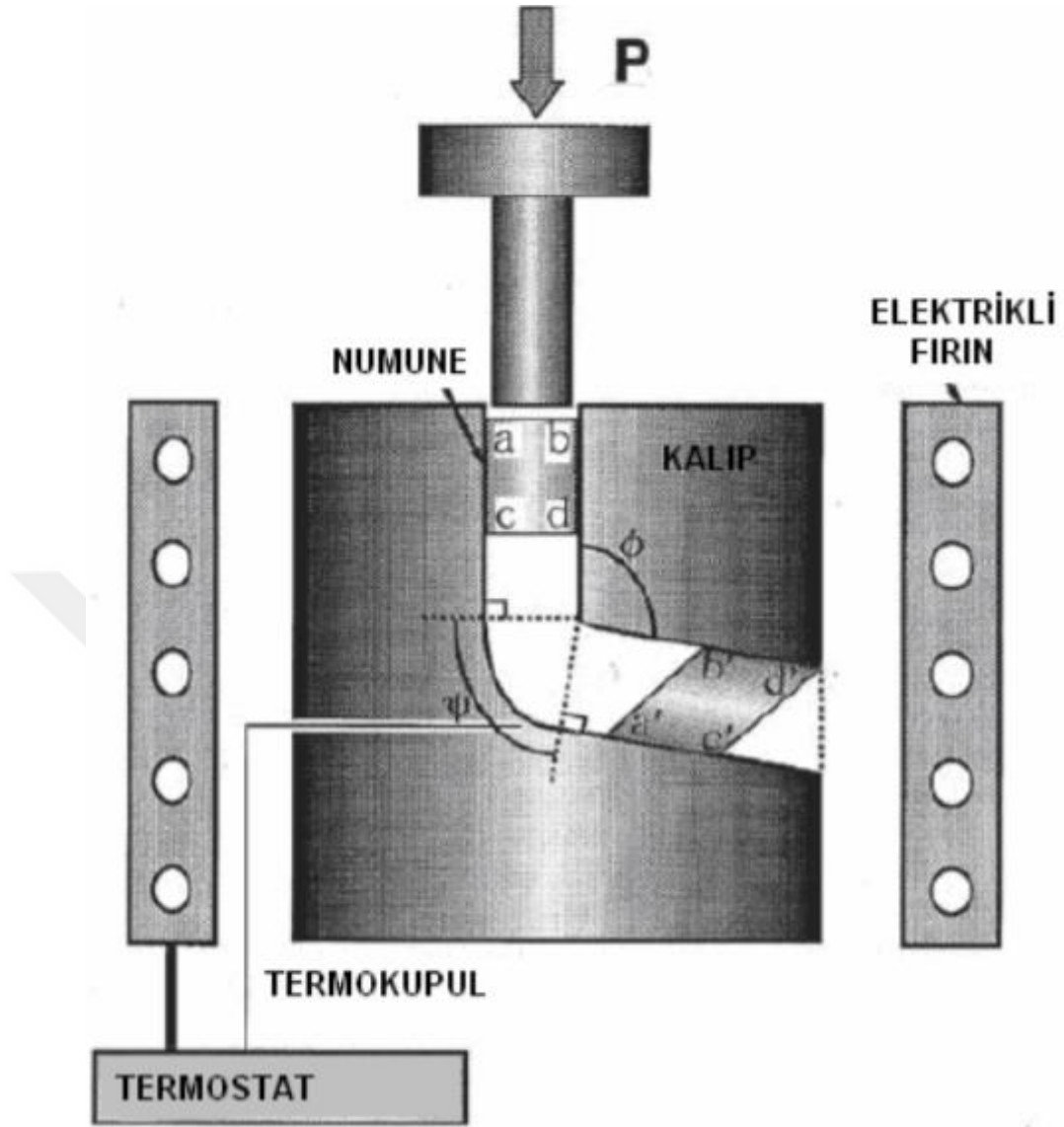
Yüksek birim şekil değişimi EKAP sırasında elde edilebilir. Parça üzerinde herhangi bir şekil değişimi olmadığı için parça tekrarlı olarak preslenebilir. Tekrarlı preslemeler neticesinde elde edilen toplam birim şekil değişimi denklem 2.2’de olduğu gibi gösterilmektedir [30].

$$\varepsilon_N = \frac{N}{\sqrt{3}} \left[2 \cot \left(\frac{\phi}{2} + \frac{\psi}{2} \right) + \phi \operatorname{cosec} \left(\frac{\phi}{2} + \frac{\psi}{2} \right) \right] \quad (2.2)$$

Burada N parçanın kaç kere preslendiğini gösterirken, ε_N ise N geçişte etkiyen toplam birim şekil değişimini göstermektedir. Bu formüle alternatif olarak denklem 2.3’te son zamanlarda kullanılmaktadır [30].

$$\varepsilon_N = \frac{N}{\sqrt{3}} \left[2 \cot \left(\frac{\phi}{2} + \frac{\psi}{2} \right) + \Psi \right] \quad (2.3)$$

Yüksek sıcaklıklarda EKAP işlemini gerçekleştirmek için kurulan düzenek Şekil 2.9’daki gibidir [3].



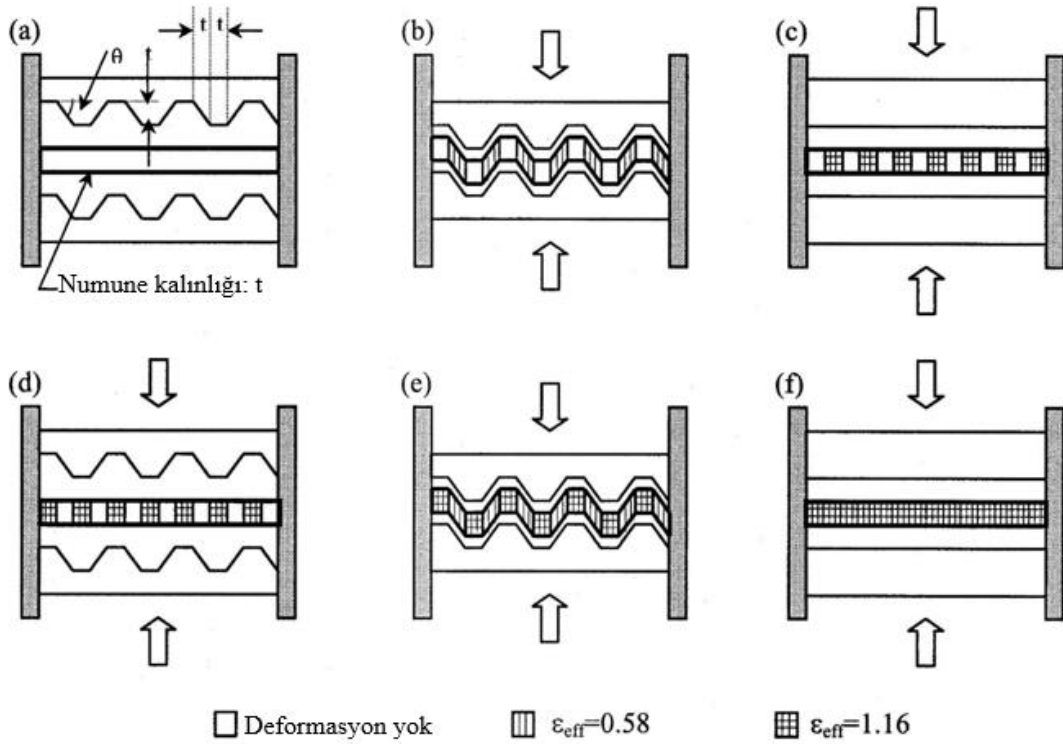
Şekil 2.9. Isıtmalı EKAP kalıbı [3].

2.1.2.2. Sınırlandırılmış Yivli Presleme

SYP Süreci

SYP işleminde, bir tabaka numunesi yivli kalıplar ve alternatif olarak yassı kalıplar altında tekrarlayan presleme ile ortogonal kesme deformasyonuna tabi tutulur [31]. SYP tekniğinin şematik diyagramı Şekil 2.10'da gösterilmiştir. SYP işleminde ilk olarak, silindir çeperi tarafından sıkıca kısıtlanan bir çift asimetrik yivli kalıp hazırlanır. Örnek, kalıpların arasına yerleştirilir ve presleme, üst kalıp ile alt kalıp

arasındaki boşluk, numune kalınlığıyla aynı olacak şekilde gerçekleştirilir. Bu, şekil 2.10 (b)'de ki örneğin eğimli bölgesinde düzlem gerilimi koşulunda kayma deformasyonu ile sonuçlanır. Bununla birlikte, düz bölge deforme olmaz (Şekil 2.10 (b) 'de gözlenmeyen alan). Yivli kalıp, yiv açısının (Θ) 45° olacağı ve tek bir presin deforme olmuş bölgede 1.00 kesme gerinimi verecek şekilde tasarlanır. Bu, 0,58' lik etkili bir gerinime (ϵ_{eff}) eşdeğerdir.



Şekil 2.10. SYP tekniğinin dizilerinin şematik gösterimi [31].

İkinci preslemede, yivli numune yassı kalıplar vasıtasıyla düzleştirilir (Şekil 2.10 (c)). Kısıtlı şartlar altında yapılan bu doğrultma, halihazırda deforme olmuş bölgenin etkilenmeden kalmasına rağmen halihazırda deforme olan bölgenin ters kayma deformasyonuna tabi tutulmasını sağlar. İkinci preslemeden sonra deforme olmuş bölgedeki etkili gerinim 1.16 (Şekil 2.10 (c) 'de çift çizgili alan) olur. Daha sonra numune, numunenin düzlemine dik olan eksen etrafında 180° döndürülür (Şekil 2.10 (d)). Bu, yivli kalıbın asimetrisi nedeniyle deforme olmamış bölgenin deformasyonunu sağlar. Üçüncü preslemede, düzleştirilmiş numune asimetric olarak yivli kalıpların yardımı ile tekrar yivli olur (Şekil 2.10 (e)). Bu, daha önce deforme olmamış bölgede 0,58'lik etkili bir gerinim yaratır. Dördüncü preslemede, yivli numune düz kalıplar

kullanılarak düzleştirilir (Şekil 2.10 (f)). Bir çift yivli kalıp (Şekil 2.10 (e)) ve bir çift düz kalıp (Şekil 2.10 (f)) ile yapılan bu art arda preslemeler, numune boyunca homojen etkili bir 1.16 gerinim ile sonuçlanmaktadır. Bu dört baskı bir geçiş olarak kabul edilir. Bu nedenle, bir geçiş, numune boyunca 1.16'lık homojen etkili bir gerinimi indükler. Bu işlemi tekrarlayarak, ilk boyutlarını değiştirmeden numunede çok büyük miktarda plastik gerilme birikebilir ve bir ultra ince taneli yapı elde edilebilir.

Yüklenen Yükün Tanımı

ϵ_{eff} 'in hesaplanması burada açıklanmıştır. Yivli kalıbın ve tabaka örneğinin geometrik detayları, Şekil 2.10 (a) 'da verilmiştir.

$$\text{Yiv açısı} = \theta (= 45^\circ)$$

$$\text{Yiv genişliği} = t$$

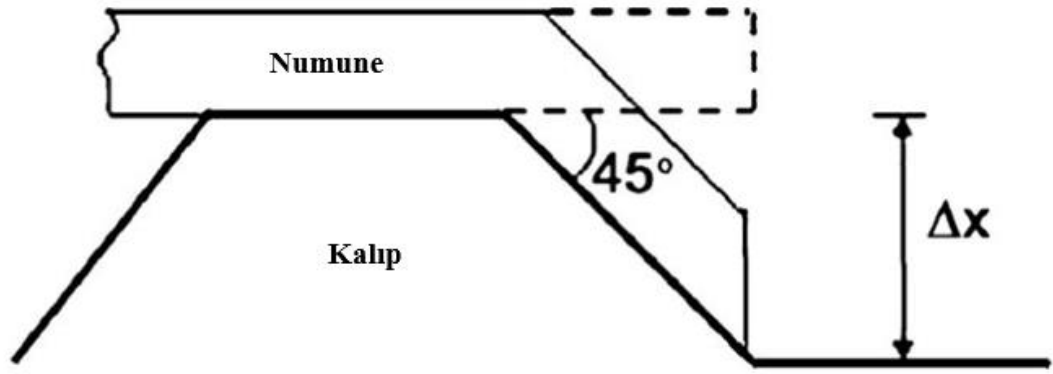
$$\text{Yiv uzunluğu} = t$$

$$\text{Yivler arasındaki arayüz mesafesi} = t$$

$$\text{Sac numunenin kalınlığı} = t$$

SYP için gereken şart, yiv genişliğinin ve yivler arasındaki arabirim mesafesinin eşit olması gerektiğidir. Tüm araştırmalarda, yiv genişliği, tabaka numunesinin kalınlığına eşit şekilde alınmış ve yiv açısında herhangi bir kısıtlama yoktur. Bununla birlikte, araştırmaların çoğunda, 45° yiv açılı kalıplar kullanılmaktadır. Yivli kalıplar tabaka örneğine bastırırken, tabaka ortogonal kesme deformasyonuna tabi tutulur [32]. Tabaka örneğinin kesme gerilmesinin şeması, Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Tek bir basışta, genişlik t kesme bölgesinde bulunan numune elemanı, 45° 'lik bir açı ile Δx 'lik bir mesafe ile kesilir. Bu durum ise, bir mühendislik kayma gerilimini indükler, $\gamma_{xy} = 1$ (Denklem 2.4).

$$\gamma_{xy} = \Delta x/t = \tan 45^\circ = 1 \quad (2.4)$$



Şekil 2.11. Sac numunenin kesme gerilmesi şeması [7].

Bu 1 değerindeki mühendislik kayma gerinimi, denklem 2.5 ve 2.6'da gösterildiği gibi, 0,58 değerindeki etkili bir gerinimden sorumludur.

Etkili zorlanma (ϵ_{eff}) denklem 2.5 aşağıdaki gibi verilmiştir [7]:

$$\epsilon_{eff} = \sqrt{\frac{2}{9} [(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2] + \frac{4}{3} [\epsilon_{xy}^2 + \epsilon_{yz}^2 + \epsilon_{zx}^2]} \quad (2.5)$$

Kayma gerinimi $\epsilon_{eff} = \gamma_{xy} / 2$ kullanımı ve deformasyonun uzunlamasına ve enine açılım olmadan basit bir kayma olduğu varsayımı ($\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z = \epsilon_{yz} = \epsilon_{zx} = 0$) denklem 2.5 aşağıdaki gibi basitleştirilebilir [7]:

$$\epsilon_{eff} = \sqrt{\frac{1}{3}} = 0,577 \approx 0,58 \quad (2.6)$$

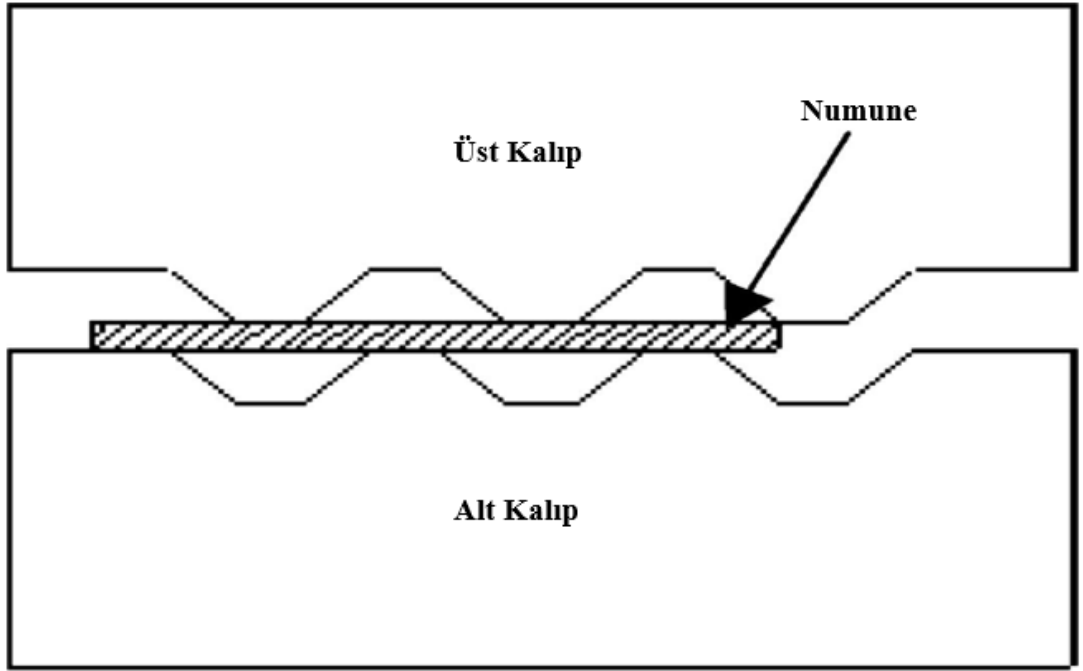
Bu nedenle, tek bir preslemenin, 0,58 değerinde etkili bir gerinim oluşturduğu sonucuna varılmıştır. İkinci örnekte bir çift yassı kalıp kullanılarak tabaka örneğinin düzleştirilmesi, eğimli bölgelerde ters kayma deformasyonuna neden olur ve etkili gerinim 1,16 değerine yükseltir. Aynı şekilde, üçüncü ve dördüncü baskılar, tabaka numunenin deforme olmamış bölgelerinde 1,16'lık etkili bir gerinim yaratır. Bu nedenle, dört baskı içeren bir geçiş, tabaka numunesi boyunca 1,16'lık homojen etkili bir gerinimi indükler. Benzer şekilde, iki geçiş, 2,32'lik etkili bir gerinim indükleyecektir; Üç geçiş, 3,48 gibi etkili bir gerinim yaratır. Teorik analiz için, etkili

gerinim tabaka örneği için homojen olduğu tahmin edilir, ancak asıl süreçte kaçınılması mümkün olmayan mekaniksel heterojenlik vardır [7].

Yivli presleme çeşitleri

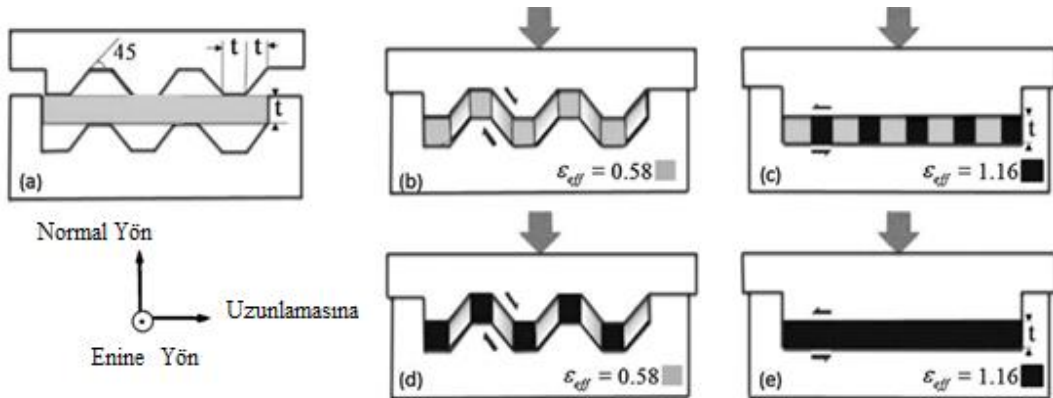
Uygulamada, farklı tip yivli presleme işlemleri vardır. Bunlar; sınırlandırılmış yivli presleme, sınırlandırılmamış yivli presleme (veya sadece yivli presleme), yarı sınırlandırılmış yivli presleme, lastik tamponla sınırlandırılmış yivli presleme, sınırlandırılmış yivli presleme yolu ve kaplanmış tabaka muhafazalı yivli preslemedir [33].

Yivli presleme ilkesi, tabaka örneklerinin alternatif olarak yivli preste basılmasını ve düzleştirilmesini içerir ve bu, bütün yivli presleme tipleri için yaygındır. SYP’de, tabaka örneği sıkıca kısıtlanacak şekilde bir kaptaki alt ve üst kalıpların arasına yerleştirilir ve bu işlem Şekil 2.12’ de gösterilmektedir. Bu durumda, kalıplar tabaka örneğine bastırıldığında, tabaka örneğine ne boyuna yönde (sola veya sağa) ne de enine yönde (düzlem dışı veya düzlem içine) hareket edemez. Sınırlandırılmış yivli preslemede veya basitçe yivli preslemede (YP), tabaka örneğinin hareketi üzerinde bir kısıtlama yoktur. Baskı sırasında, tabaka örneği hem uzunlamasına hem de enine doğrultuda hareket etmekte serbesttir. Şekil 2.12, sınırlandırılmamış yivli presleme işlemini göstermektedir [27,31].



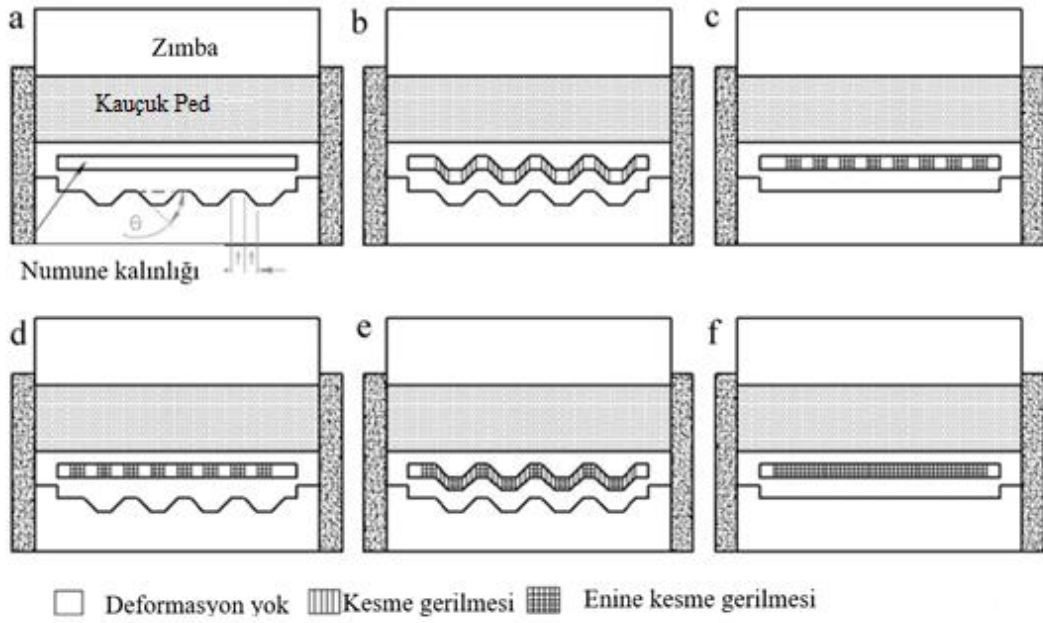
Şekil 2.12. Yivli presleme (YP) tekniğinin şeması [33].

Yarı sınırlı yivli presleme (YSYP) olarak bilinen başka bir yivli presleme tipi vardır [34]. YSYP işleminde, tabaka örneği SYP işleminde kullanılan bir konteyner yerine bir kanal tarafından sıkıca kısıtlanan kalıpların arasına yerleştirilir. Bu durumda, tabaka örneği sol ve sağ duvarlar arasında kısıtlanır, yani enine yönde hareket etmekte serbest iken uzunlamasına yönde hareket edemez. Normal, uzunlamasına ve enine yönler, şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. YSYP tekniğinin şeması [35].

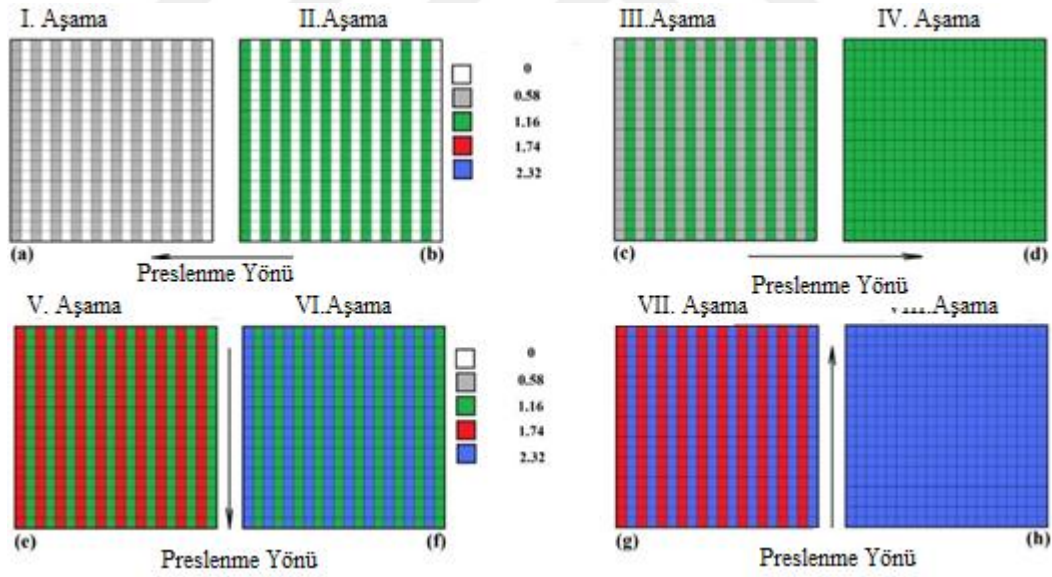
Bir başka yivli presleme tipi, Kauçuk Ped Sınırlı Yivli Presleme'dir (KP-SYP) [36]. Diğer yiv açma işlemlerinden farklı olarak (burada iki yivli kalıp ve iki düz kalıp kullanılır), KP-SYP işleminde sadece bir yivli kalıp ve bir düz kalıp kullanılır. Üst yivli kalıp ve üst düz kalıp her ikisi de esnek bir lastik ped ve bir zımba ile değiştirilir, lastik ped tabaka örneğine doğru gider. Bu, Şekil 2.14'te açıkça gösterilmektedir. Kauçuk ped, presleme aşamaları için yivli bir kalıp görevi görür (Şekil 2.14 (b) ve (e)) ve ayrıca düzleştirme aşamaları için düz bir kalıp görevi görür (Şekil 2.14 (c) ve (f)).



Şekil 2.14. KP-SYP sürecinin şeması [36].

Önerilen diğer değiştirilmiş SYP tipleri, sınırlı yivli presleme- çapraz yol (SYP-ÇY) yöntemi ve sınırlı yivli presleme- kaplı sac kaplama (SYP-KSP) yöntemidir. Khodabakhshi ve arkadaşlarının çalışmasında SYP-ÇY yöntemini kullanmışlardır. [37]. Geleneksel SYP işlemine benzer şekilde, SYP-ÇY işleminde de iki yivli ve düzleştirici kalıp seti kullanılır. Bu işlemdeki tabaka örneği kare kesitli olmalıdır. SYP-ÇY sürecinin her geçişinde sekiz aşama vardır- dört yivli ve dört düzleştirici. SYP-ÇY yönteminde, bir örnek içinde tabaka örneklerine SYP işleminin bir geçişinde yüklenen yükün iki katı olan plastik numunelere yaklaşık 2,32 büyüklüğünde bir plastik gerinim uygulanır.

Şekil 2.15, bir SYP-ÇY geçişinin sekiz aşamasını göstermektedir. İlk olarak, tabaka örneği, yuvarlanma yönünün (YY) kalıp uzunluğuna paralel olacağı şekilde yerleştirilir. Levha yivli preslenmiş ve yassılaştırılmıştır (aşama I ve II). Preslemenin ilk iki aşamasından sonra, tabaka örneği, düzlemine dik eksen boyunca 180° 'lik bir açı ile döndürülür, böylece YY yine kalıp uzunluğuna paralel, ancak ters yönde paralel olur. Tabaka yivli basılır ve tekrar yassılaştırılır (aşama III ve IV). Şimdiye kadar, süreç SYP sürecine benzer. SYP-ÇY işleminde tabaka, YY artık kalıp uzunluğuna dik olacak şekilde düzlemine dik eksen etrafında 90° 'lik bir açı ile döndürülür. Sonra tabaka yivli preslenir ve düzleştirilir (V ve VI aşamaları). Bu aşamalardan sonra, tabaka 180° döndürülerek, YY hala kalıp uzunluğuna dik, fakat ters yönde olacaktır. Yine tabaka yivli preslenir ve yassılaştırılır (aşama VII ve VIII). Tüm bu işlem, 2,32'lik etkili bir gerinimi indükleyen bir SYP-ÇY geçişine eşdeğerdir. Bu modifiye edilmiş işlemin SYP işlemine kıyasla en büyük yararı, tabaka içinde indüklenen türün nispeten daha homojen olmasıdır.



Şekil 2.15. Bir SYP-ÇY geçişinin sekiz aşaması [37].

2.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

2.2.1. Sertlik

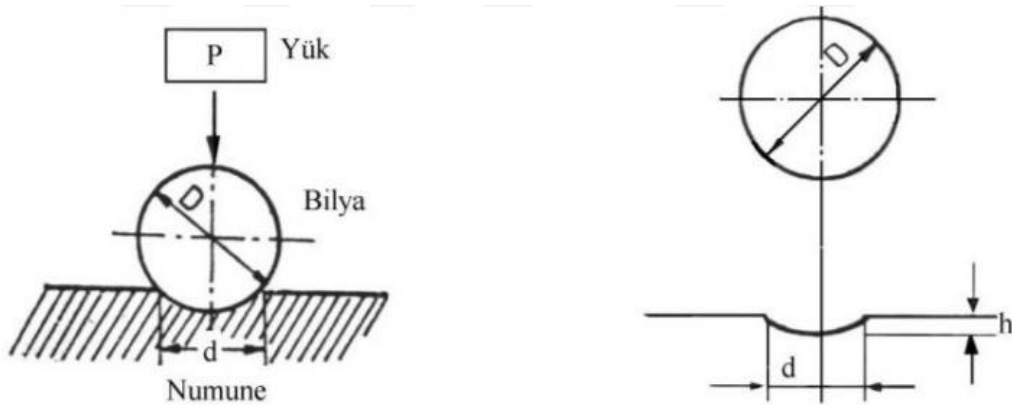
Sertlik ölçümü, bir malzemenin kendisine sivri veya küresel standart ucun batırılmasıyla o malzemenin göstermiş olduğu karşı tepkiyi, gösterdiği direnci ölçer. Sertlik ölçümünde uygun olarak seçilen uç, yük altında malzemeye batırıldığında o malzemenin yüzeyinde bir iz bırakır. Malzemenin sertliği ile ortaya çıkan izin büyüklüğü arasında ters bir orantı vardır [17].

Sertlik ölçme yöntemleri şunlardır:

- I. Brinell sertlik ölçme yöntemi
- II. Rockwell sertlik ölçme yöntemi
- III. Vickers sertlik ölçme yöntemi
- IV. Mikro-sertlik deneyi

I.Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi

Sert bir bilyenin, belirli zaman süresince belirli bir yüke maruz kalması ve sonucunda meydana gelen izin çapının ölçülmesi bu yöntemi oluşturur (Şekil 2.16) [20,38].



Şekil 2.16. Brinell sertlik deneyinin prensip şeması [38].

$$BSD = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.7)$$

P : Uygulanan yük

D : Bilye çapı

d : İzin çapı

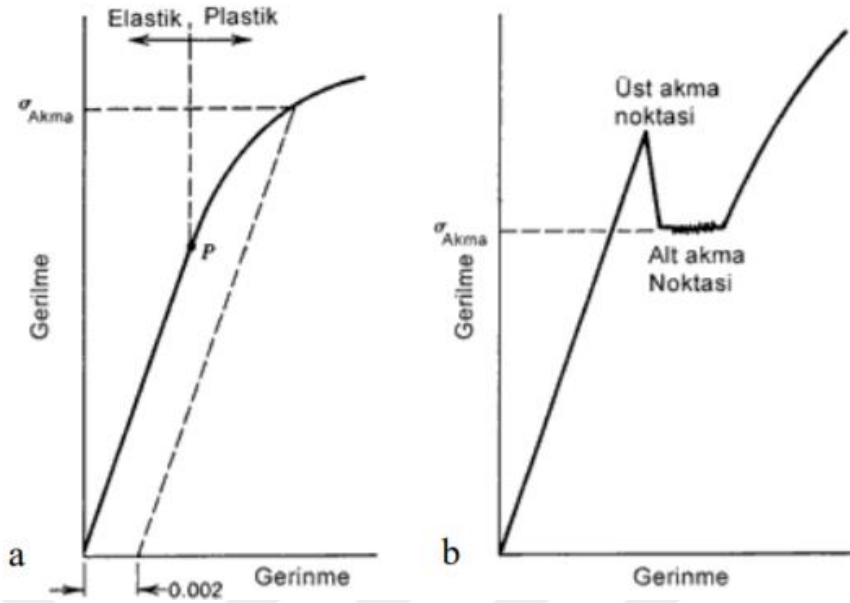
Yukardaki formül Brinell sertlik değeri hesaplanmasında kullanılmaktadır [38].

2.2.2. Çekme

Çekme deneyi, malzemelerin mukavemeti hakkında bilgi edinmemizin yanı sıra, onların özelliklerine göre gruplandırılması amacı ile kullanılır. Çekme deneyi, belirli bir hızda ve sıcaklıkta, tek eksen boyunca kopuncaya kadar malzemenin çekilmesi işlemidir [38].

Çekme numuneleri: Çekme deneyi uygulanan numunenin, sonuçlarının doğru şekilde sonuçlanması için, alındığı malzemeyi tüm özelliklerini yansıtmaları gerekmektedir. Numune malzemesi belirlendikten sonra, numunenin alınış şekli ve hazırlanışı, alındığı bölge deney sonuçlarını etkilemektedir [38].

Akma dayanımı: Numuneye uygulanan sabit kuvvete karşı, plastik şekil değiştirmenin büyük oranda arttığı ve çekme diyagramında orantılı değişimin bozulduğu bölgeye denk olan gerilme değeridir. Akmanın başladığı gerilme değerine üst akma sınırı, akmanın devam ettiği ortalama gerilmeye de alt akma sınırı denilmektedir (Şekil 2.17 (b)) [16].



Şekil 2.17. Çekme Eğrileri (a) Akma noktası belli olmayan malzemenin, (b) Akma noktası belirli malzemenin üst ve alt akma noktaları Gerilme-Gerinim grafiği [16].

Bütün malzemelerin akma dayanımı belli değildir. Bu yüzden elastik sınır; akma sınırı olarak bilinir. Şekil 2.17 (a)' da olduğu gibi net şekilde akma göstermeyen malzemelerde de akma sınırının olduğu varsayılabilir. Bu gibi akma göstermeyen malzemelerin (gri dökme demir gibi) çekme diyagramında belirli bir kalıcı uzama (örneğin; $\epsilon = \% 0,2$) oranında elastik doğruya bir paralel çizildiğinde, eğriyi kestiği noktaya karşıt olan gerilme akma gerilmesi olarak alınır [16].

Elastisite Modülü: Malzemenin kuvvet altındaki elastik şekil değiştirmesinin ölçüsü şeklinde tanımlanmaktadır. Diğer bir ismi de Young Modülü'dür. Malzemelerin rijitlik ölçüsü Elastisite Modülüdür. Bu modül büyüdükçe elastik uzama oranı da aynı oranda küçülür. Malzemenin Elastisite Modülü hesaplanırken çekme diyagramına bakılır; elastik sınır içindeki herhangi bir noktadaki gerilmenin değeri, bu gerilmeye karşılık gelen uzama oranına (e) bölünmesiyle bulunur [38].

Çekme dayanımı: Bir malzemenin maksimum yükün (P_{max}), numunenin orijinal kesit alanına (A_0) oranıyla bulunur [38].

$$\sigma_{\zeta} = \frac{P_{max}}{A_0} \quad (2.8)$$

Uygulanan yükün birimi kg ve kullanılan malzemenin kesit alanı mm² olarak ifade edilmiş ise, çekme mukavemeti birimi kg/mm² olur [38].



BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. MALZEME SEÇİMİ

Yapılacak olan deneylerde, otomotiv sektöründe, gelişen teknolojiye artık daha geniş bir almaya başlayan alüminyum malzemesinin AA1050 serisi tercih edilmiştir. Bu malzemedan kalınlığı 2 mm olan levhadan 55 mm x 100 mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kimyasal analizi ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de ve Çizelge 3.2’de aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 3.1. Al 1050 H14 serisi kimyasal bileşimi.

Fe	Si	Zn	Ti	Mg	Mn	Cu	Al
0,4	0,25	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	99,5

Çizelge 3.2. Al 1050 H14 temperleme koşulu ve mekanik özellikleri.

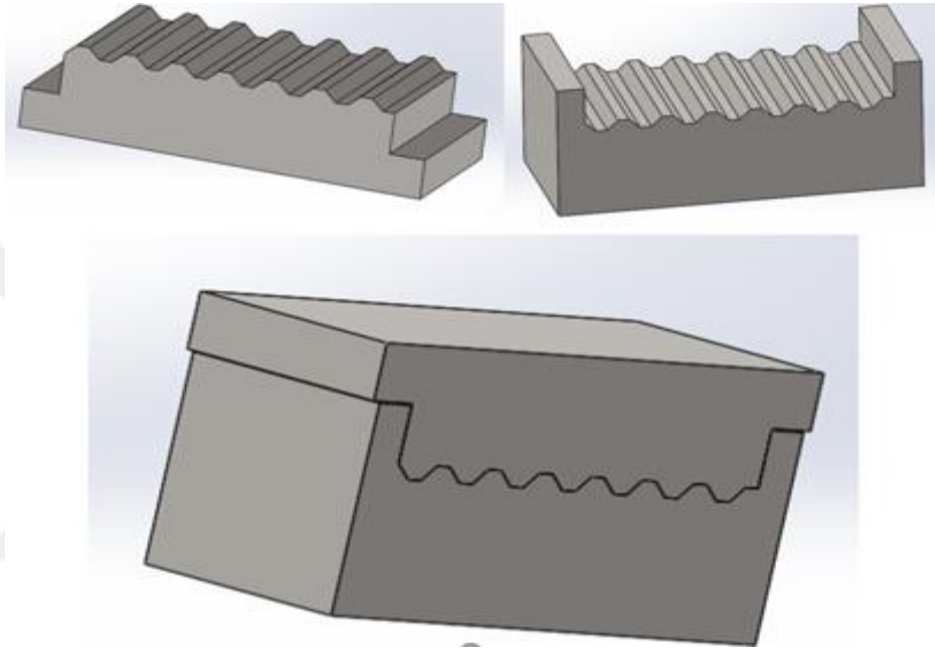
Temperleme koşulu	Akma dayanımı MPa (min-max)	Çekme dayanımı MPa (min-max)	Uzama %	Sertlik HV
H14	85-100	105-145	12	30-32

Levha şeklinde temin edilen numunelere kalıp ölçülerine göre CNC kesme makinasında 55 mm x 100 mm olarak kesilmiştir.

3.2. SINIRLANDIRILMIŞ YİVLİ PRESLEME

Sınırlandırılmış yivli presleme işlemi için kalıplar 42CrMo4 ıslah çeliğinden kalıp hazırlanmıştır. Piyasada daha çok AISI 4140 olarak bilinen ıslah çeliğinin en belirgin özelliği ısı işlem sonunda belirli yükler altında gösterdiği yüksek tokluk özelliğinden dolayı genellikle kalıp sektöründe en çok tercih edilen çelik türüdür.

Temin edilen elik CNC dik işlem freze tezgahında sabitlenen iş parçası daha önce Mastercam programında işlenmesi yapılmış ve g kodları alınarak tezgaha yüklenmiştir. Toplam dört parçadan oluşan set iki kalıp olarak imal edilmiştir. Bir adet yivli presleme işlemi için kalıp, ikinci kalıp ise yivli presleme işlemi sonrasında numuneleri düzlemek için yapılmıştır. Şekil 3.1’ de solid programında yapılan modellesi gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Yivli kalıp.

Hazırlanan 2 mm kalınlığındaki numuneler yapılan sınırlandırılmış yivli kalıpla presleme işlemine 1 paso, 2 paso ve 3 Paso ve 4 paso olarak üzere 4 ayrı Şekilde preslenmiştir.

Uygulama da 1 paso için 4 adım bulunmaktadır. İlk basamak yivli kalıpta presleme işlemi yapılmasıyla başlar, ikinci adım ise Şekil’ 3.2 de gösterilen düz kalıp kullanılarak numunenin düz hale gelmesi için pres yapılır. 3. adım ise numune ilk adımın kalıba yerleştirildiği Őeklin ters tarafı gelecek Şekilde yerleştirilir [31]. nk kalıp birinci yivli preslemede yiv kısmına gelmeyen bölgeler numuneler ters vrildiğinde yivlere denk gelecek formda tasarlanmıştır. İkinci yivli presleme sonrasında son kez düz kalıpta presleme işlemi yapılarak 1 paso tamamlanmıştır. Tüm

pasolarda aynı sıraya göre işlemler yapılarak numuneler üzerine kaçar paso oldukları yazılmıştır.



Şekil 3.2 Düz kalıp.

Hacimsel plastik deformasyon yöntemlerinden biri olan SYP işleminde yüzeysel plastik deformasyon uygulanacak ve sonuçlar gözlemlenecek kadar numune alınarak sonlandırılmıştır.

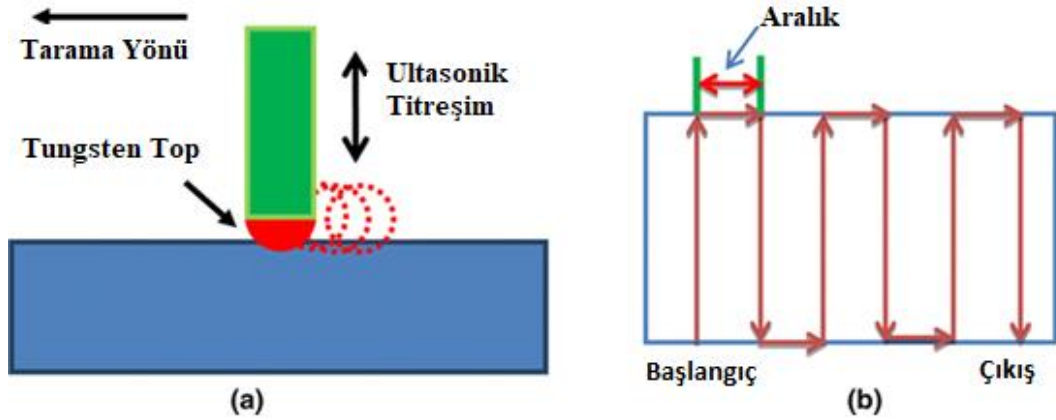
3.3. BİLYALI DÖVME

Malzemenin yüzey bölgesinde ince taneli yapıyı elde etmek için geleneksel bilyalı dövme şartları yerine belirlenmeye çalışılmıştır. Bilyalı dövme şartları, bilya boyutu, hava basıncı, bilya hızı, doyurma oranı ve dövme süresi esas alınarak şeritlerin eğrilik yüksekliği belirlenerek, “Almen Dövme Şiddeti” (ADŞ) değerleri bulunmuştur. Bilyalı dövme işlemi S2000 model kapalı hazneli bilyalı dövme makinasında yapılmıştır.

3.4. ULTRASONİK NANOKRİSTALİN YÜZEY MODİFİKASYONU

UNYM uygulamasında (Şekil 3.3 (a)), ultrasonik bir birime bağlanan bir tungsten karbür bilye malzemenin yüzeyine yüksek frekansta vurmaktadır. Titreşim genliği 8 ila 40 μm arasındadır. Aynı zamanda, topa metal yüzeye karşı statik bir yük (tipik olarak 10-50 N) uygulanır. Tungsten karbür bilya, bütün yüzeyin doğru olarak işlendiğinin kontrolünü yapmak için önceden belirlenmiş düzende metal yüzeyleri tarar. UNYM işlemindeki parametreler; statik yük, ultrasonik darbenin genliği, tarama hızı, komşu taramalar arasındaki aralıklar (Şekil 3.1 (b)) ve ultrasonik vurma sıklığıdır.

Bu çalışmada kullanılan parametreler; statik yük 20 N, bilya çapı 2,38 mm, ultrasonik titreşim genliği 8 μm , frekans 20 kHz, aralık 70 μm ve tarama hızı 3000 mm / dakika olarak belirlenmiştir. [14].



Şekil 3.3. UNYM süreci.

3.5. MİKROYAPI VE MEKANİK TESTLER

3.5.1. Mikroyapı Çalışmaları

İşlem görmemiş ve bilyalı dövme-UNYM uygulanan numuneler içinde tek tek EBSD modülünde mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı fotoğraflarının çekimi Bartın Üniversitesi, Mükemmeliyet Merkezi laboratuvarlarında bulunan TESCAN marka cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroyapısal inceleme için,

bakalite alınan numuneler standart yöntemlerle zımparalanıp parlatıldıktan sonra dağlanarak incelenmiştir.

3.5.2. Sertlik Deneyi

Yapılan deneylerde Şekil 3.4' de görülen Qness Q250M sertlik cihazı kullanılmış olup, Vickers ölçümü metodu seçilmiştir. Yük olarak $HV_{0.005}$ uygulanmıştır. Şekilde görülen cihazın skalalarından faydalanmıştır. Elde edilen numuneler standartlara uygun olarak hazırlanmış olup, 50x50x10 mm boyutlarındadırlar. Sertlik değerleri üç uygulamanın ortalaması olarak alınmıştır.



Şekil 3.4. Qness Q250M marka sertlik cihazı.

3.5.3. Çekme Testi

Sadece SYP yapılmış farklı pasolardaki numuneler, SYP sonrası UNYM uygulanmış numuneler ve SYP sonrası bilyalı dövme uygulanmış numune olmak üzere 3 ayrı tip uygulama ve farklı pasolardaki uygulamalardan alınan hassas kesme yapılarak çekme testi için numuneler hazırlanmıştır.

Hazırlanan bu numuneler Karabük Üniversite Demir Çelik Enstitüsü Dinamik Test laboratuvarlarında bulunan, şekil 3.5'teki MTS 100kN Servohidrolik Dinamik Test Cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.5 Servohidrolik dinamik test cihazı.

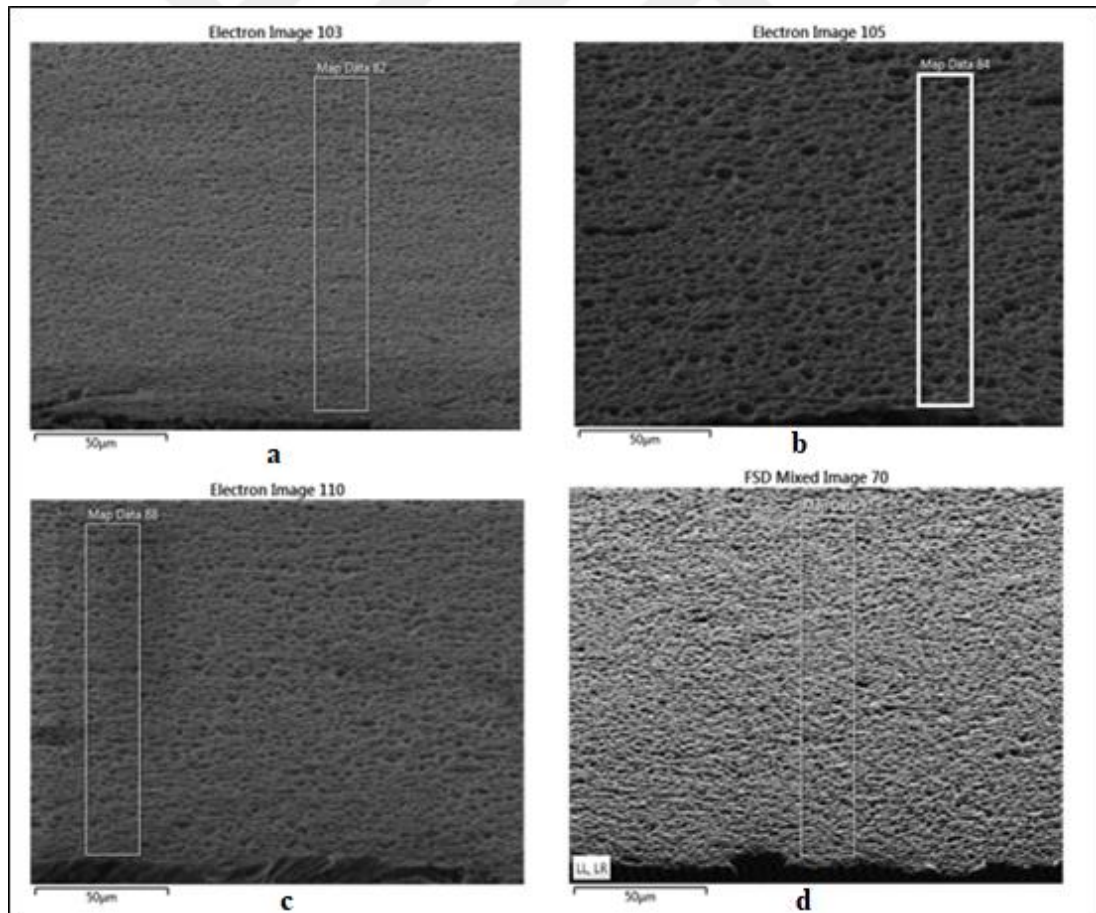
Hem çekme hem yorulma yapabilme özelliğine sahip cihaz hem düz numune hem de yuvarlak numune bağlayabilme kapasitesine sahiptir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. ELEKTRON GERİ YANSIMA DİFRAKSİYONU

Şekil 4.1 bilyalı dövme ve UNYM uygulanmış numunelerin EBSD incelemeleri sonrası görüntülerini göstermektedir. Analizlerde deformasyondan etkilenen yüzey bölgelerinin iç yapıdan farklı bir görüntüye sahip olduğu, yüzeylerde deformasyondan dolayı tümsek ve çukur oluştuğu dikkat çekmektedir.



Şekil 4.1. Deney başlangıcında her paso için alınan elektron geri yansımaya difraksiyonu görüntüleri (a) 1. Paso (b) 2. Paso (c) 3. Paso (d) 4. Paso.

Numunelerin EBSD analizlerinde her bir paso için belirlenen voltaj, numune eğimi, frekans ve impuls etkileri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Çizelge 4.1, 1 paso uygulaması, Çizelge 4.2, 2 paso uygulaması, Çizelge 4.3, 3 paso uygulaması, Çizelge 4.4, 4 paso uygulamalarını göstermektedir.

Çizelge 4.1. Al 1050 serisinin 1. Paso testinin ayarlaması.

İvmelenme Voltajı	20.00 kV
Numune Eğimi (derece)	70.00 °
Darbe Oranı	43.09 %
Kazanım Hızı	39.42 Hz

Çizelge 4.2. Al 1050 serisinin 2. Paso testinin ayarlaması.

İvmelenme Voltajı	20.00 kV
Numune Eğimi (derece)	70.00 °
Darbe Oranı	36.90 %
Kazanım Hızı	39.42 Hz

Çizelge 4.3. Al 1050 serisinin 3. Paso testinin ayarlaması.

İvmelenme Voltajı	20.00 kV
Numune Eğimi (derece)	70.00 °
Darbe Oranı	34.56 %
Kazanım Hızı	39.41 Hz

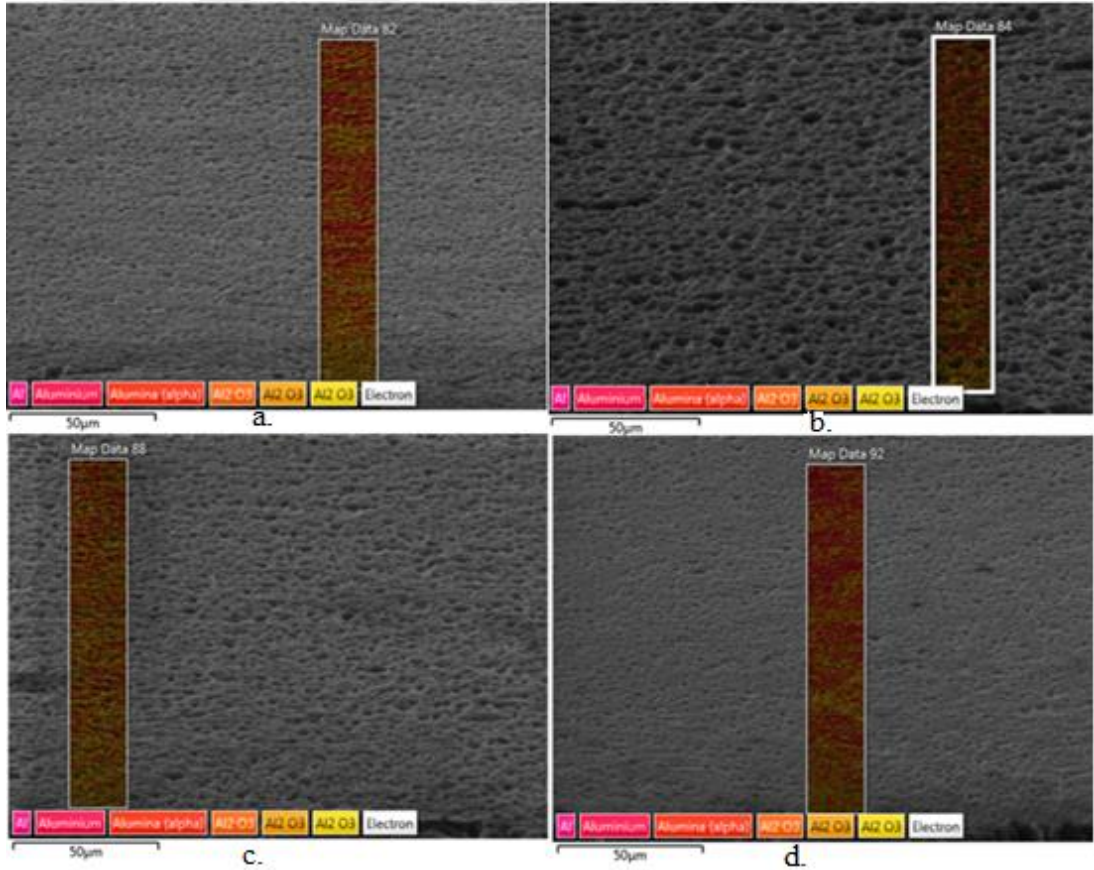
Çizelge 4.4. Al 1050 serisinin 4. Paso testinin ayarlaması.

İvmelenme Voltajı	20.00 kV
Numune Eğimi (derece)	70.00 °
Darbe Oranı	51.18 %
Kazanım Hızı	39.41 Hz

Çizelge 4.5 ise EBSD analizi ile taranan bölgelerde elde edilen elemental analizlerini göstermektedir. Belirtilen elementlere göre faz ve tane boyutu analizleri Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Al 1050 serisinin için faz edinimi.

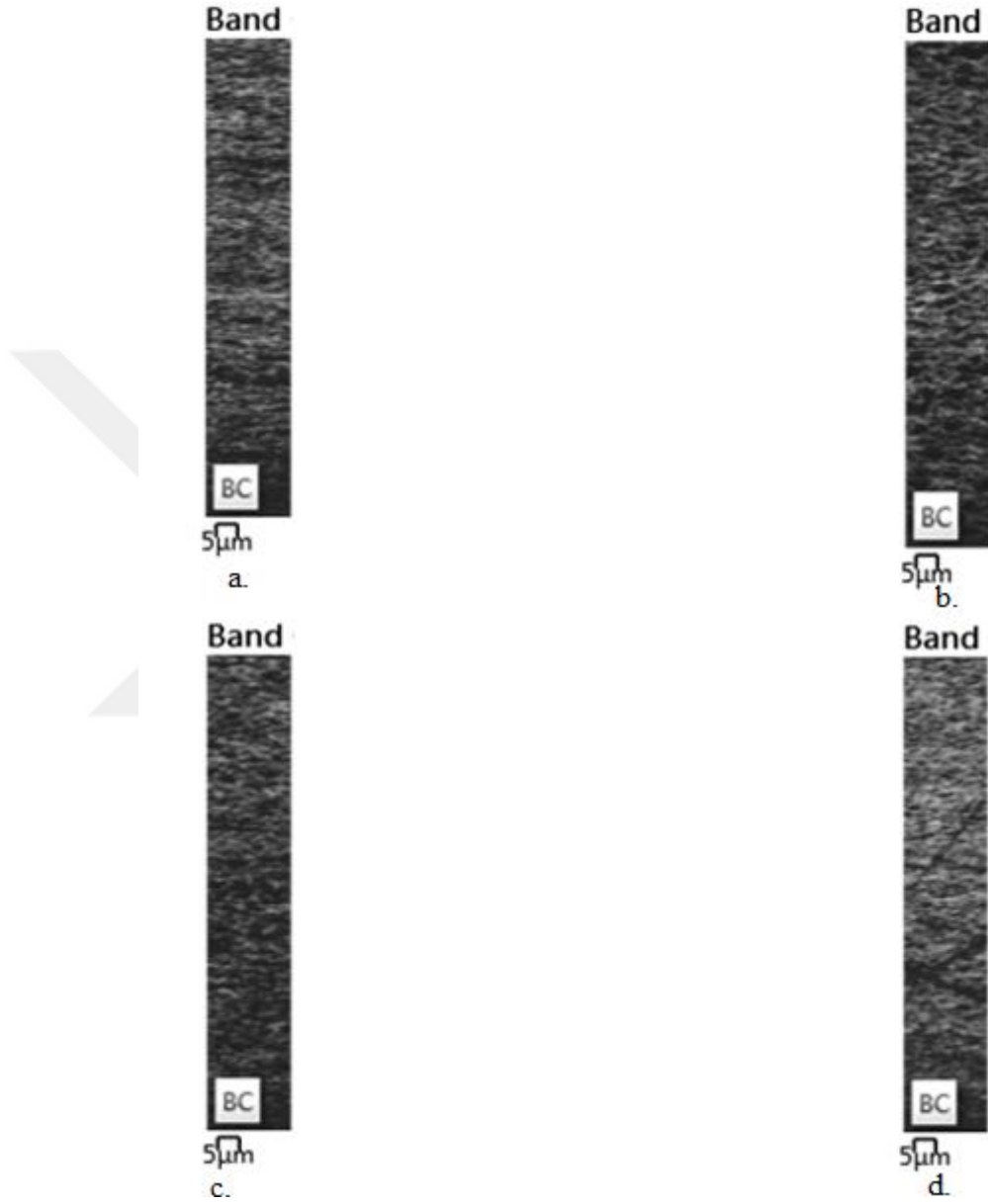
Faz	A	b	c	Alfa	Beta	Gamma	Uzay Grubu	Veri Tabanı
Iron	2.89 Å	2.89 Å	2.89 Å	90.00 °	90.00 °	90.00 °	229	ICSD
Aluminium	4.05 Å	4.05 Å	4.05 Å	90.00 °	90.00 °	90.00 °	225	HKL
Alumina (alpha)	4.75 Å	4.75 Å	12.98 Å	90.00 °	90.00 °	120.00 °	167	HKL
Al ₂ O ₃	4.76 Å	4.76 Å	12.99 Å	90.00 °	90.00 °	120.00 °	167	ICSD
Al ₂ O ₃	4.84 Å	8.33 Å	8.95 Å	90.00 °	90.00 °	90.00 °	33	ICSD
Al ₂ O ₃	11.80 Å	2.91 Å	5.62 Å	90.00 °	103.79 °	90.00 °	12	ICSD



Şekil 4.2. Elektron geri yansıma difraksiyonu görüntüleri. (a)1. Paso (b)2. Paso (c)3. Paso (d)4. Paso.

Şekil 4.3’ de görüntü skalası değerlendirildiğinde tane boyutu değişimlerinin söz konusu olduğu tane incelemeleri söz konusu olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.4

Euler renklendirme görüntülerini göstermektedir. Burada ultra ince tanelerin varlığı dikkat çekmektedir. Tanelerin deformasyon yönünde yönlendirilmiş olduğu, basma dolayısıyla kesit yönündeki boyutlarının oldukça daraldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. Elektron geri yansıma difraksiyonu sonrasında bant kontrastı görüntüleri. (a) 1. Paso (b) 2. Paso (c) 3. Paso (d) 4. Paso.

Euler Color 81



5µm

a.

Euler Color 83



5µm

b.

Euler Color 87



5µm

c.

Euler Color 91



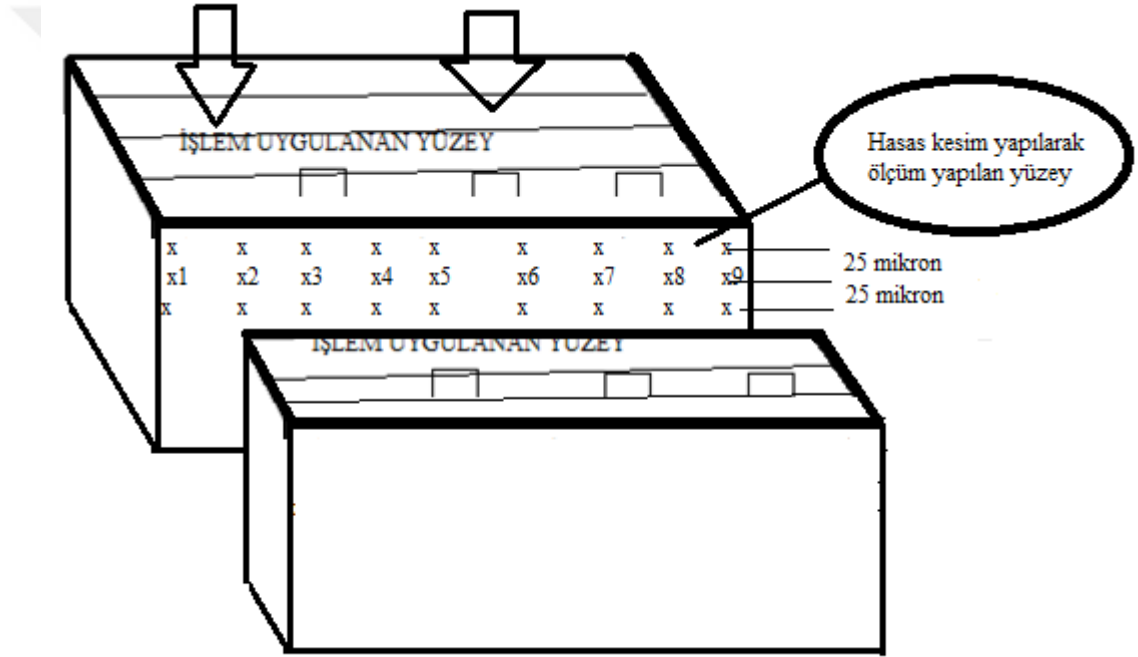
5µm

d.

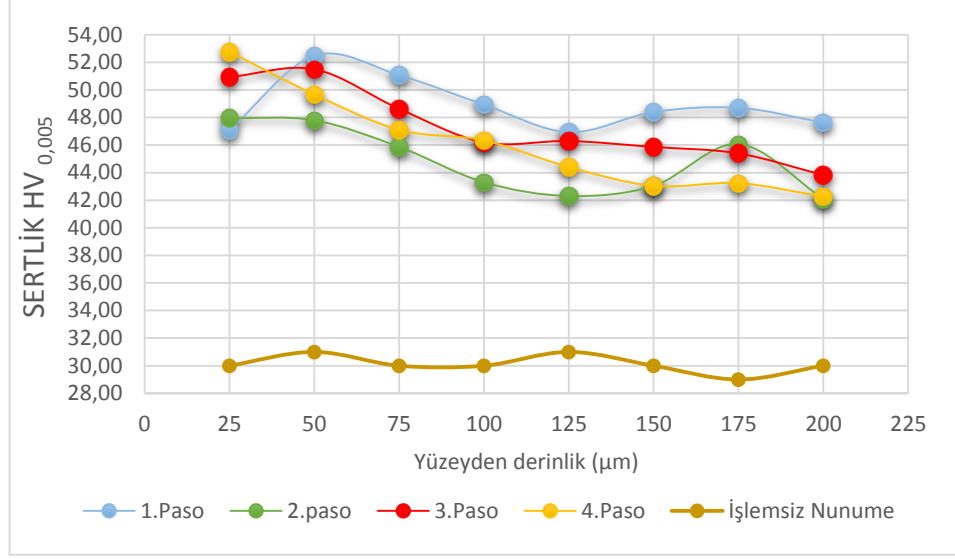
Şekil 4.4. Elektron geri yansıma difraksiyonu sonrası euler görüntüleri. (a)1. Paso (b) 2. Paso (c) 3. Paso (d) 4. Paso.

4.2. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI

Alüminyum 1050H14 malzemesinin sırayla önce farklı paso sayılarında SYP ve ardından ABD, diğer numunelere farklı paso sayılarında SYP sonrasında UNYM işlemleri uygulanmıştır. Numunelerden yüzeye dik olarak hasas kesme cihazında kesim yapılarak ve sonra zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinden sonra Şekil 4.5’ de gösterildiği gibi sırayla belirli noktalarda yüzeyden itibaren 25 mikron aralıklarla her nokta için üç ölçüm olacak şekilde, ve üç ölçüm ortalaması alınarak sertlik ölçümü yapılmıştır [23].



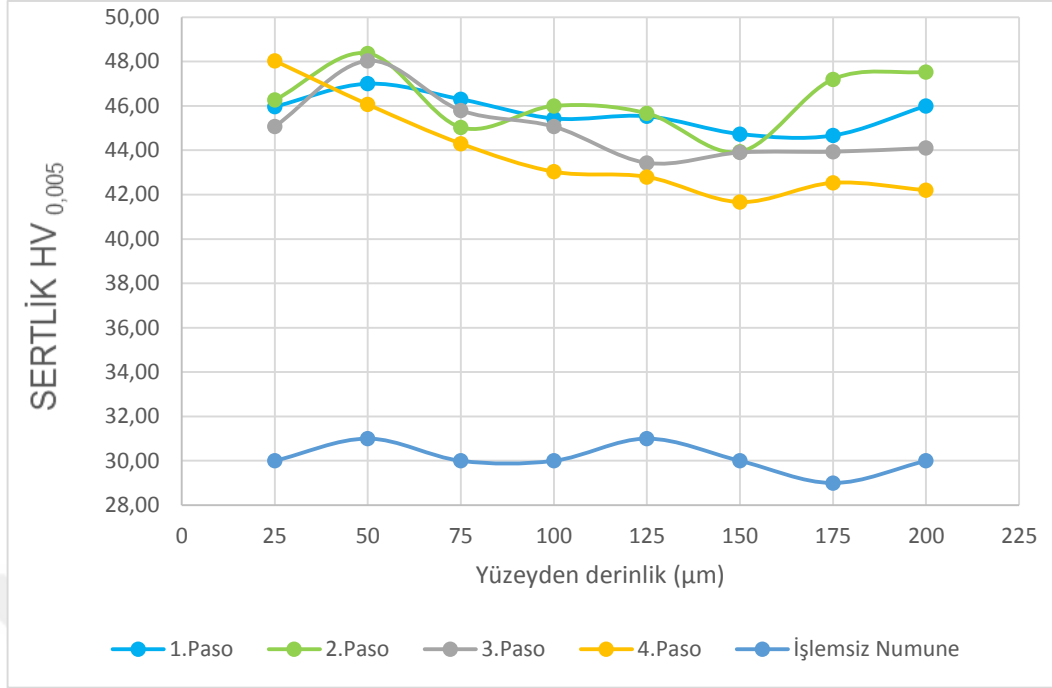
Ölçümler Qness Q250M sertlik cihazı kullanılarak yapılmıştır. Farklı paso sayıları uygulanmış malzemelerin tümüne yapılan ölçüm değerleri ve malzemenin işlem görmemiş halinin sertlik değer grafikleri Şekil 4.6, Şekil 4.7 Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.6. SYP +ABD uygulanan ve işlemsiz numune sertlik grafiği.

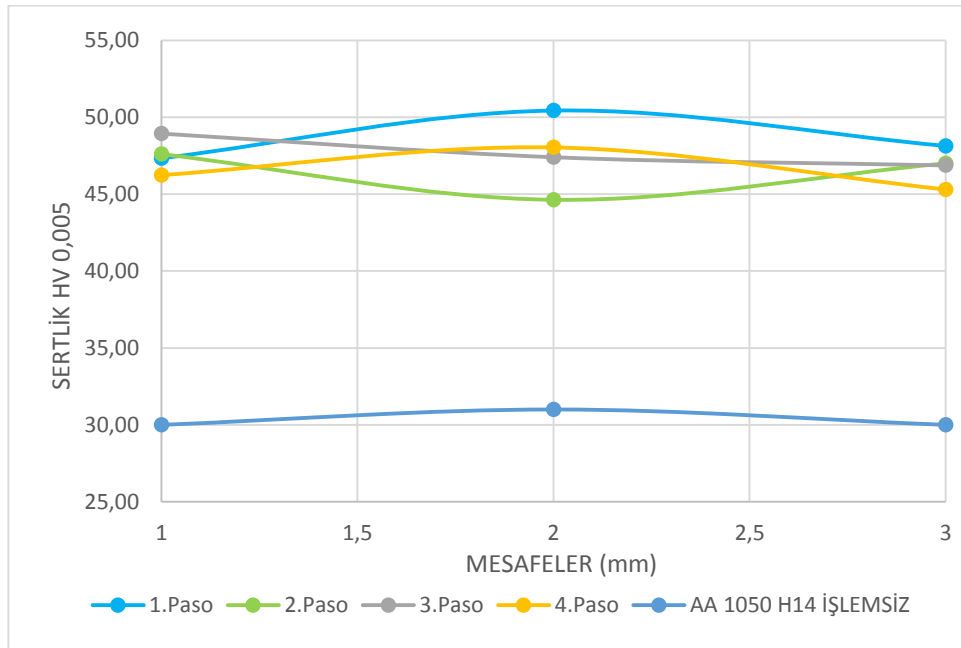
Şekil 4.6'teki grafiğin incelenmesiyle sertlik ölçüm mesafelerinin artmasıyla her pasodaki sertlik değerinde azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca ölçülen sertlik değerleri arasında en yüksek değer (52,77) 4. Pasoda 1 mesafesinde gerçekleşirken en düşük değer (42,10) 2. Pasoda 8 mesafesinde meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra ölçüm sırasında mesafe artmasının sertlik değeri ortalamasının azalmasına neden olduğu söylenebilir.

1,2,3 ve 4 paso SYP uygulamalarından sonra UNYM yapılmış numunelere ait sertlik grafiği Şekil 4.7 de gösterilmiştir. İşlem görmemiş malzemenin sertlik değeri 30-31 HV aralığında iken uygulama yapılan numunelerin sertlik değerleri 48 lere kadar artmıştır. Bu numunelerde en yüksek değer 4.pasonun 1. mesafesinde 48 olmuştur.



Şekil 4.7. SYP +UNYM uygulanan ve işlemsiz numune sertlik grafiği.

Ortadan sertlik ölçümü ise numunelerin hassas kesim cihazı ile uygulamaya yüzeyine dik kesimi yapıldıktan sonra yüzeyin tam ortasında denk gelen düzlemden Şekil 4.8 deki gibi üçer adet ölçüm yapılarak bunların ortalaması alınarak yapılmıştır.

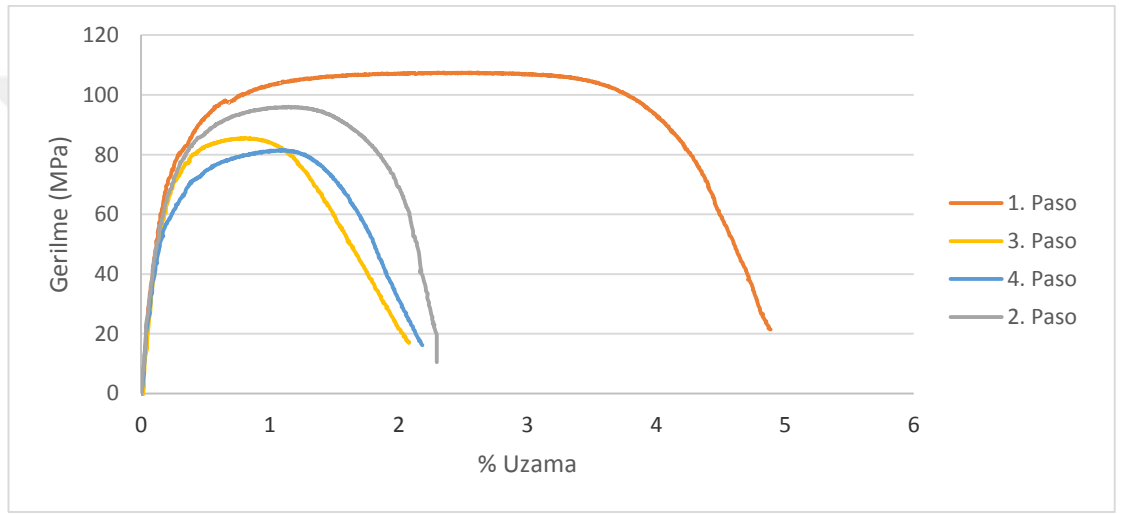


Şekil 4.8. Sadece SYP işlemi yapılmış numunelerde ortadan sertlik.

4.3. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

Alüminyum 1050 serisinin sınırlandırılmış yivli kalıpta preslenmesi sonucunda elde edilen numunelerin çekme grafikleri Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.

Şekil 4.9’te SYP + UNYM numunelerine uygulanan çekme testinden elde edilen gerilme-gerinim grafiği görülmektedir.



Şekil 4.9 SYP + UNYM numunelerinin gerilme-gerinim grafiği.

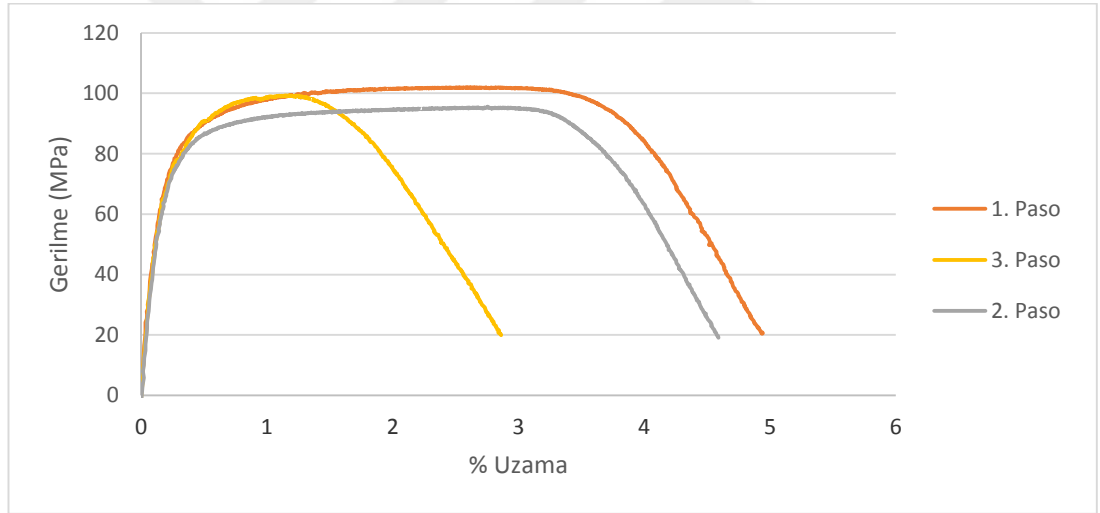
Çizelge 4.9’ dan anlaşılacağı gibi en büyük akma mukavemeti 79,947 MPa değeriyle 1. Paso da görülmüştür. En küçük akma dayanımı ise 4. Pasoda görülmüştür. Artan paso sayısı sertliği artırırken akma çekme değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. İşlem görmemiş malzemenin akma mukavemeti ise min. 85 MPa’dır.

Şekil 4.9 ve Çizelge 4.7 de görüldüğü üzere çekme sonuçlarında dalgalanmalar meydana gelmiştir. Akma mukavemetinin düşük olması, sertliğin artmasıyla uzama miktarında düşümlere neden olmuştur.

Çizelge 4.6. SYP + UNYM Çekme testi sonuçları.

Paso Numarası	Akma mukavemeti (MPa)	Max. çekme mukavemeti (MPa)	Uzama %
İşlem Görmemiş	85-105	105-145	12
1	79,947	107,5	4,88
2	77,507	81,5	2,29
3	72,734	85,5	2,07
4	64,342	81,5	2,18

Şekil 4.10'da SYP+ABD numunelerine uygulanan çekme testinden elde edilen gerilme-gerinim grafiği görülmektedir.



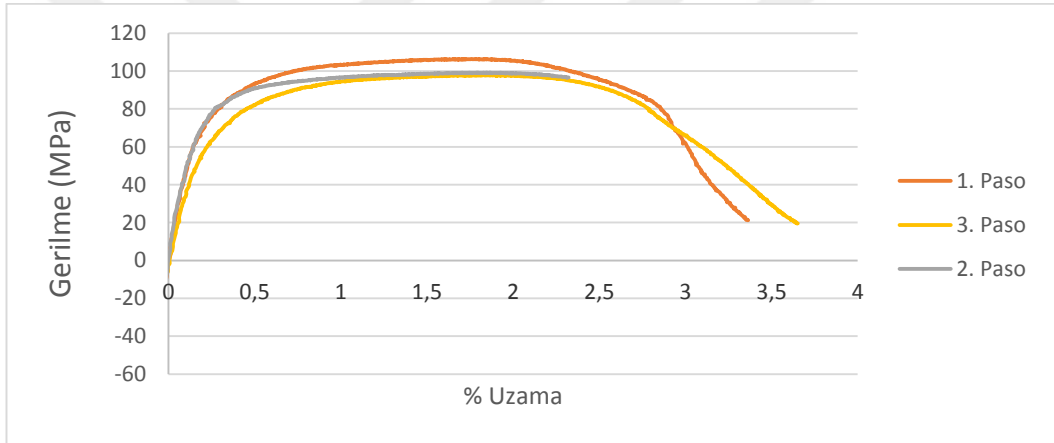
Şekil 4.10 SYP+ABD numunelerinin gerilme-gerinim grafiği.

Grafikten anlaşılacağı üzere 3.paso da uzama numunenin sertliğinden dolayı iyice azalmıştır. Diğer uygulamalara nazaran sertlik artarken akma ve çekme mukavemetlerinde büyük düşüşler olmamıştır.

Çizelge 4.7. SYP+ABD çekme testi sonuçları.

Paso Numarası	Akma mukavemeti (MPa)	Max. çekme mukavemeti (MPa)	Uzama %
İşlem Görmemiş	85-105	105-145	12
1	83,198	102	4,93
2	77,544	95,6	4,58
3	80,904	99,4	2,86

Şekil 4.10'te yalnız SYP numunelerine uygulanan çekme testinden elde edilen gerilme-gerinim grafiği görülmektedir.



Şekil 4.11 SYP numunelerinin gerilme-gerinim grafiği.

Sadece SYP uygulanmış numulardan yapılan deneylerde ise uzamalarda pasolar arasında büyük fark olmamasına rağmen akma mukavemeti 3. paso da büyük bir düşme olmuştur. Bunun nedeni ise malzemenin artan gevrekliğidir.

Çizelge 4.8. SYP çekme testi sonuçları.

Paso Numarası	Akma mukavemeti (MPa)	Max. çekme mukavemeti (MPa)	Uzama %
İşlem Görmemiş	85-105	105-145	12
1	82,483	106,4	3,36
2	82,4	99,1	2,32
3	69,723	97,8	3,64

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

EBSD analizlerinde tane boyutu değişimlerinin söz konusu olduğu gözlemlenmektedir. Euler renklendirme görüntülerinde ultra ince tanelerin varlığı dikkat çekmektedir. Tanelerin deformasyon yönünde yönlendirilmiş olduğu, basma dolayısıyla kesit yönündeki boyutlarının oldukça daraldığı gözlemlenmiştir.

Sertlik ölçüm mesafelerinin artmasıyla her pasodaki sertlik değerinde azalmalar meydana geldiği görülmektedir. İşlem görmemiş numunelerin sertlik değerlerine göre SYP, SYP'den sonra ABD ve UNYM uygulanan numunelerin sertlik değerlerinde ciddi bir artış gözlemlenmiştir.

SYP yöntemi UNYM yöntemine göre ortalama sertlik yönünden mukavemeti daha fazla arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan tüm uygulamalar ile işlem görmemiş malzemeye göre sertlik değeri ortalama %40-50 oranında artış olmuştur. Sertlik değerleri arasında en yüksek değer (52,77) 4. Pasoda 1 mesafesinde gerçekleşirken en düşük değer (42,10) 2. Pasoda 8 mesafesinde meydana gelmiştir.

Çekme deneyleri incelendiğinde bilyalı dövme uygulaması UNYM uygulamasına göre akma çekme mukavemetlerine etkisi daha fazla olduğu görülmektedir. İşlem UNYM uygulanan numunelerde en büyük akma mukavemeti 79,947 MPa değeriyle 1. Paso da görülmüştür. En küçük akma dayanımı ise 4. Paso da görülmüştür.

Çizelge 4.9. 1,2 ve 3 pasodalardaki karşılaştırma çizelgesi.

Paso Numarası	Uygulanan İşlemler	Akma mukavemeti (MPa)	Max. çekme mukavemeti (MPa)	Uzama %	Ortalama Sertlik HV
İşlem Görmemiş	H14	85-105	105-145	12	30-31
1	SYP+UNYM	79,947	107,5	4,88	45,7
	SYP+ABD	83,198	102	4,93	48,9
	SYP	82,483	106,4	3,36	
2	SYP+UNYM	77,507	81,5	2,29	46,25
	SYP+ABD	77,544	95,6	4,58	44,76
	SYP	82,4	99,1	2,32	
3	SYP+UNYM	72,734	85,5	2,07	44,92
	SYP+ABD	80,904	99,4	2,86	47,33
	SYP	69,723	97,8	3,64	

Yapılan tüm deneyler Çizelge 4.9. daki gibi birleştirildiğinde aşırı plastik deformasyon yöntemi uygulanan tüm numunelerin sertliklerinin arttığı, buna bağlı uzama oranlarının düştüğü fakat belli paso sayısına kadar akma ve çekme mukavemetlerinde büyük düşüşlerin olmadığı görülmektedir. 3 ve üzeri paso uygulamalarında numunelerin gevrekliği artmasından dolayı kırılmalar meydana gelmiştir.

Yüzeysel Deformasyon yöntemlerinden aşırı bilyalı dövme yöntemi, ultrasonik nanokristalın yüzey modifikasyonuna göre sonuçlarının daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. SYP yönteminde ise uygulanmanın 1 ve 2 pasolarda optimum değerlerin ortaya çıktığı artan pası sayılarında uzama oranlarının azaldığı, akma çekme değerlerinin iyice düşerek numunelerde kırılmalar meydana geldiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Furui, M., Kitamura, H., Anada, H. ve Langdon, T. G., "Influence of Preliminary Extrusion Conditions on the Superplastic Properties of a Magnesium Alloy Processed by ECAP", *Acta Materialia*, 1083-1091 (2007).
2. Malek, P., Cieslar, M. ve İslamgaliev, R. K., "The Influence of ECAP Temperature on the Stability of Al-Zn-Mg-Cu Alloy", *Journal of Alloys and Compounds*, 237-241 (2004).
3. Valiev, R. Z. ve Langdon, T. G., "Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement", *Prog. Mater. Sci.*, 881-981 (2006).
4. Tham, Y. W., Fu, M. W., Hng, H. H., Yong, M. S. ve Lim, K. B. "Bulk nanostructured processing of aluminum alloy", *J Mater Process Technol*, 575-581 (2007).
5. Wei, Q., Jiao, T., Mathaudhu, S. N., Ma, E., Hartwig, K. T. ve Ramesh, K. T., "Microstructure and mechanical properties of tantalum after equal channel angular extrusion", *Mater Sci Eng A*, 266-272 (2003).
6. Rajinikanth, V., Arora, G., Narasaiah, N. ve Venkateswarlu, K., "Effect of repetitive corrugation and straightening on Al and Al-0.25 Sc alloy", *Mater Lett*, 301-304 (2008).
7. Sivaraman, A. ve Chakkingal, U., "Flow properties of commercial purity aluminum processed by equal channel angular pressing", *Mater Sci Eng A*, 264-270 (2008).
8. Korznikov, A. V., İvanisenko, Y. V., Laptionok, D. V., Safarov, İ. M., Pilyugin, V. P. ve Valiev, R. Z., "Influence of severe plastic deformation on structure and phase composition of carbon steel", *Nanostruct Mater*, 159-167 (1994).
9. Horita, Z., Furukawa, M., Nemoto, M., Barnes, A. J. ve Langdon, T. G., "Superplastic forming at high strain rates after severe plastic deformation in metals and their deformation behavior", *Nanostruct Mater*, 913-916 (1995).
10. Wang, Y. M. ve Ma, E., "Strain hardening, strain rate sensitivity and ductility of nanostructured metals", *Mater Sci Eng A*, 46-52 (2004).
11. Valiev, R. Z., Alexandrov, I. V., Zhu, Y. T. ve Lowe, T. C., "Paradox of strength and ductility in metals processed by severe plastic deformation", *J Mater Res*, 5-8 (2002).
12. Mishra, R. S. ve Ma, Z. Y., "Friction stir welding and processing", *Mater Sci Eng R Reports*, 1-78 (2005).

13. Yamashita, A., Horita, Z. ve Langdon, T. G., “Improving the mechanical properties of magnesium alloy through severe plastic deformation”, *Material Science and Engineering A*, 142-147 (2000).
14. Özel, K., “Aşırı plastik deformasyon metotlarının alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 12-13 (2005).
15. Murudkar, R. R., “Deformation of a continuous equal channel angular extrusion (ECAE) process”, Yüksek lisans Tezi, *Texas A&M University Graduate Studies*, 1-4 (2009).
16. Dieter, G. E., “Mechanical Metallurgy”, *UK: McGraw-Hill*, 189-190 (1988).
17. Aytaç, A., “Eşit kanal açılmalı presleme yöntemi ile 7075 alüminyum alaşımlarında nano boyutlu tane üretimi ve mikroyapısal karakterizasyonun belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 3-56 (2010).
18. May, J., Hoppel, H. V. ve Göken, M., “Strain rate sensitivity of ultrafine – grained aluminium processed by severe plastic deformation”, *Scripta Materialia*, 189-194 (2005).
19. Schulze, V., “Modern mechanical surface treatments”, *WILEY WCH*, 368 (2004).
20. Varol, R., “2024 Alüminyum alaşımının yorulma ömrü üzerine farklı bilyalı dövme işlem parametrelerinin etkisi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 127 (1990).
21. Kostilnik, T., “Shot Peening”, *Metals Handbook Tenth Edition*, 126-135 (1994).
22. Varol, R. ve Sarıtaş, S., “Bilyalı dövme işleminin demir esaslı t/m parçaların yorulma özellikleri üzerine etkisinin araştırılması”, *1'nci Ulusal T/M Konferansı*, 407-417 (1996).
23. Ünal, O., “Bilyalı dövme işleminin tane boyutuna etkisinin deneysel incelenmesi”, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2011).
24. Pyun, Y. S., Kim, H. S., Son, G. H., Song, M. K., Kim, J. H., Kang, B. U., Choi, J., Park, I. H., Cho, C. S. ve Kinney, J., “Development of D2 Tool Steel Trimming Knives with Nanoscale Microstructure”, *Proceedings of the AISTech Conference*, 465-474 (2005).
25. Ye, C., Telang, A., Gill, A., Wen, X., Mannava, S. R., Qian, D. ve Vasudevan, V. K., “Effects of ultrasonic nanocrystal surface modification on the residual stress, microstructure, and corrosion resistance of 304 stainless steel welds”, *The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International*, 972-978 (2018).
26. Kaya, H., “Eşit kanal açılmalı presleme(ekap) ve yarı katı işleme ile üretilen AA7075 alaşımının mikroyapı, sertlik ve yorulma davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2013).

27. İpekçi, M. T., “Eşit kanal açısal yoğunlaşma/ presleme(EKAY/EKAP) yöntemi ile alüminyum tozlarda ince taneli yapıların üretilmesi ve bu malzemelerin deformasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2012).
28. Djavanroodi, F. ve Ebrahimi, M., “Effect of Die Parameters and Material Properties in ECAP with Paralel Channels”, *Material Science and Engineering A*, 7593-7599 (2010).
29. Saravanan, M., Pillai, R. M., Pal, B. C., Brahmakumar, M. ve Ravi, K. R., “Equal channel angular pressing of pure aluminium-an analysis Bull”, *Materials Science*, 679-684 (2006).
30. Furukawa, M., Horita, Z., Langdon, T. G. ve Nemoto, M., “Processing of metals by equal-channel angular pressing”, *Journal of Materials Science*, 28-35 (2001).
31. Shin, D. H., Park, J. J., Kim, Y. S. ve Park, K. T., “Constrained groove pressing and its application to grain refinement of aluminum”, *Materials Science and Engineering: A*, 98-103 (2002).
32. Niranjana, G. G. ve Chakkingal, U., “Deep drawability of commercial purity aluminum sheets processed by groove pressing”, *Journal of Materials Processing Technology*, 1511-1516 (2010).
33. Krishnaiah, A., Chakkingal, U. ve Venugopal, P., “Production of ultrafine grain sizes in aluminium sheets by severe plastic deformation using the technique of groove pressing”, *Scripta Materialia*, 1229-1233 (2005).
34. Shirdel, A., Khajeh, A. ve Moshksar, M. M., “Experimental and finite element investigation of semi-constrained groove pressing process”, *Materials & Design*, 946-950 (2010).
35. Morattab, S., Ranjbar, K. ve Reihanian, M., “On the mechanical properties and microstructure of commercially pure Al fabricated by semi-constrained groove pressing”, *Materials Science and Engineering: A*, 6912-6918 (2011).
36. Borhani, M. ve Djavanroodi, F., “Rubber pad-constrained groove pressing process: Experimental and finite element investigation”, *Materials Science and Engineering: A*, 1-7 (2012).
37. Khodabakhshi, F., Abbaszadeh, M., Eskandari, H. ve Mohebpour, S. R. “Application of CGP-cross route process for microstructure refinement and mechanical properties improvement in steel sheets”, *Journal of Manufacturing Processes*, 533-541 (2013).
38. Kayalı, E. S., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri”, *İstanbul, Ofset Atölyesi*, 132-193 (1990).
39. Budynas, R. G. ve Nisbett, J. K., “Shigley’s Mechanical Engineering Design”, *Higher Education*, 265-330 (2011).
40. Kalluri, S. ve Bonacuse, P. J., “Multiaxial Fatigue and Deformation: Testing and Prediction”, *ASTM International*, 1-100 (2000).

41. McKeighan, P. C. ve Ranganathan, N., “Fatigue Testing and Analysis Under Variable Amplitude Loading Conditions”, *ASTM International*, 26-34 (2005).



ÖZGEÇMİŞ

Osman MUTLU 1989 yılında Karabük' te doğdu; ilköğretim öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2007 yılında Safranbolu Anadolu Lisesi Fen Bilimlerinden mezun oldu. 2008 yılında Gaziantep Üniversitesi Gıda Mühendisliğine başlayıp, 2010 yılında bölümü bırakarak Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliğine başlamış ve 2014 yılında iyi derece ile mezun olmuştur. 2014 yılından özel sektörde çalışmaya başlamıştır. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başlamıştır. 2017 yılından Kardemir A.Ş.'de göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : KARDEMİR KARABÜK DEMİR ÇELİK ve TİCARET A.Ş.

Merkez / KARABÜK

Tel : (506) 562 7308

E-posta : osman_mutlu@hotmail.com.tr