

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEMENİN (EKAP)
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Deniz GÜRBÜZ**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MALZEME VE İMALAT

OCAK 2008

**EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEMENİN (EKAP)
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Deniz GÜRBÜZ
503031302**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Turgut GÜLMEZ
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Halit TÜRKMEN
Y.Doç.Dr. Murat TABANLI**

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Çalışmamın hazırlanması sırasında benden hiçbir yardımını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ'e, kalıpların ve numunelerin hazırlanmasında defalarca katkıları bulunan Sn. Mustafa CAN ve YILMAZCAN Makine Kalıp San. personeline, Sn. Ziya BİRCAN ve BİRCAN Makine personeline ve her aşamada desteklerini hissettiğim aileme, Selçuk Uçar ve Ufuk Çilek'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aralık 2007

Deniz GÜRBÜZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEME (EKAP)	2
2.1. EKAP Rotaları	3
2.2. EKAP Çalışma Prensibi	5
2.3. EKAP Yöntemiyle Tane İyileşmesi	7
2.3.1. EKAP İle Elde Edilen Mikro Yapı	8
2.3.1.1. Tek Kristalli Yapılarda Mikro Yapısal Gelişim	8
2.3.1.2. Çok Kristalli Yapılarda Mikro Yapısal Gelişim	10
2.3.2. Sonuçların Değerlendirilmesi	16
2.4. Alternatif Ekap Yöntemleri	17
2.4.1. Döner Kalıp	17
2.4.2. Kenar Ekstrüzyon Prosesi	18
2.4.3. Çoklu Geçiş Kalıpları	19
2.4.4. Paralel Kanallı Kalıplar	19
3. YENİ DİZAYN EKAP KALIBI	21
3.1. Belirli Dizayn Yaklaşımları	22
3.1.1. İstampa	22
3.1.2. Kalıp	23
3.1.3. Kalıp Malzemeleri	24
3.2. Yeni Kalıp ve Geleneksel Kalıp Deneysel Karşılaştırması	26
4. NUMUNELERİN VE KALIBIN HAZIRLANMASI	28
4.1. Numunelerin Katı Çözeltiye Alma İşlemi	28
4.2. İstampa	30
4.3. Kalıp Parçalarının İmalatı	31

5. DENEY DÜZENİĞİ	33
6. DENEY SONUÇLARININ YORUMLANMASI	36
7. KALIP DİZAYNIYLA İLGİLİ ÖNERİLER	42
8. KALIP DİZAYNIYLA İLGİLİ ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

KISALTMALAR

EKAP : Eş Kanallı Açısal presleme
APD : Aşırı Plastik Deformasyon

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.1 Deney sonrası numune tablosu	36
Tablo 6.2 Çözeltiye alınmış 2 numunenin sertlik değerleri.....	37
Tablo 6.3 1 sefer Ekaplanmış 3 numunenin sertlik değerleri.....	37
Tablo 6.4 Çözeltiye alınıp doğal yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri..	38
Tablo 6.5 1 sefer Ekaplanmış ve yapay yaşlandırılmış numunelerin sertlikleri.....	39

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Klasik EKAP Kalıbı..... 2
Şekil 2.2	EKAP parça yüzeyleri 3
Şekil 2.3	EKAP rotaları..... 4
Şekil 2.4	4 sefer EKAP sonrası birim elementteki değişim..... 4
Şekil 2.5	EKAP kayma düzlemleri..... 5
Şekil 2.6	EKAP kalıp açıları..... 6
Şekil 2.7	Isıtmalı EKAP kalıbı..... 7
Şekil 2.8	Kesme zonunun şematik gösterilmesi..... 9
Şekil 2.9	TEM ile görülen mikro yapı..... 10
Şekil 2.10	1 presleme sonrasında X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı..... 11
Şekil 2.11	3 rotada 4 sefere kadar ekaplamadan oluşan kayma görünüşleri... 12
Şekil 2.12	X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (2 geçiş-rota A)..... 13
Şekil 2.13	X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (2 geçiş-rota B _C)..... 13
Şekil 2.14	X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (2 geçiş-rota C)..... 14
Şekil 2.15	X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (4 geçiş-rota A)..... 15
Şekil 2.16	X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (4 geçiş-rota B _C)..... 15
Şekil 2.17	X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (4 geçiş-rota C)..... 16
Şekil 2.18	Döner EKAP kalıbı..... 18
Şekil 2.19	Kenar ekstrüzyon kalıbı..... 18
Şekil 2.20	Çoklu geçiş kalıbı..... 19
Şekil 2.21	Paralel kanallı EKAP kalıbı..... 20
Şekil 3.1	a) Geleneksel dizayn b) Geliştirilmiş dizayn c) Yeni Dizayn..... 22
Şekil 3.2	Von Misses eşdeğer gerilme dağılımı..... 23
Şekil 3.3	Piston kesitinin değişimi..... 23
Şekil 3.4	Eşdeğer Von Misses Gerilmeleri..... 24
Şekil 3.5	Komple Kalıp Dizaynı 25
Şekil 3.6	Geleneksel ve yeni kalıpla ekaplanan farklı malzemeler..... 26
Şekil 3.7	Kuvvet-Strok grafiği (Şekil 3.6 daki (i) ve (iii) için)..... 27
Şekil 4.1	AA2024'e ait Al-Cu faz diyagramı..... 29
Şekil 4.2	AA2024 numune..... 29
Şekil 4.3	Elektrikli fırın..... 30
Şekil 4.4	Istampalar..... 31
Şekil 4.5	EKAP kalıbı ana plaka..... 32
Şekil 4.6	EKAP kalıbı teknik resim..... 32
Şekil 5.1	Kullanılan EKAP kalıbının şematik montajı..... 33
Şekil 5.2	DARTEC basma çekme presi..... 34
Şekil 5.3	Kalıp içindeki ekaplanmış numune..... 35
Şekil 5.4	Ekaplanan numuneler..... 35
Şekil 6.1	AA2024 ün Sertlik (Hv)-Zaman (Sa) Grafiği..... 38
Şekil 6.2	1 sefer Ekaplanıp AA2024 ün Sertlik (Hv)-Zaman (Sa) Grafiği... 39
Şekil 6.3	Çekme numuneleri..... 40

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 6.4 Gerilme (MPa)- Birim Şekil Değişimi Grafiği (%)Tasarımı.....	41
Şekil 7.1 Sertlik Karşılaştırma Grafiği.....	42
Şekil 8.1 Orta plaka detayı.....	44
Şekil 8.2 Kalıp montaj detayı.....	45

SEMBOL LİSTESİ

ϵ	: Birim şekil değişimi
Φ	: Kanalların birleşme açısı
Ψ	: Yay Açısı
N	: Kalıptan geçiş sayısı
ϵ_N	: N geçiş sonrası toplan birim şekil değişimi
H_v	: Vicker cinsinden sertlik
S_a	: Saat
MPa	: Megapaskal

EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEMENİN (EKAP) DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, aşırı plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan eş kanallı açısallı presleme (EKAP) AA2024 alüminyum alaşımı için deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonrasında malzemenin mekanik karakteristikleri incelenmiş ve EKAP sonrası malzemenin sertlik ve dayanımında gözle görülür bir artış kaydedilmiştir. Bu sonuçlara ilaveten EKAP çalışma prensibi, EKAP rotaları ve EKAP sonrası mikro yapısal gelişim hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Bununla birlikte kullanılan değişik EKAP yöntemlerine kısaca değinilmiş ve geleneksel EKAP kalıplarından farklı yeni bir kalıp dizaynı hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Deneyler sırasında elde edilen tecrübelerin ışığı altında, bundan sonraki deneysel çalışmalara ışık tutabilecek kalıpla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Malzemenin sertlik ve dayanımı plastik deformasyonla artabilen malzeme özellikleridir. Aşırı plastik deformasyonla daha küçük taneli bir yapı oluştuğu ve dislokasyon yoğunluğundaki önemli artıştan dolayı sertlik ve dayanımda daha fazla artış elde edilebilmektedir. Deney sonrası elde edilen sertlik ve dayanım değerleri bu olayı doğrulamaktadır. Katı çözeltiye alınmış numunenin sertlik değeri 75 Hv iken bir sefer ekap sonrası sertlik 170 Hv ye yükselmiştir.

Çalışma başlıca sekiz ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kısaca aşırı plastik deformasyon, ikinci bölümde eş kanallı açısallı presleme, üçüncü bölümde yeni bir EKAP kalıp dizaynı anlatılmıştır, dördüncü bölümde numunelerin ve kalıbın hazırlanması, beşinci bölümde deney düzeneği açıklanmıştır, altıncı bölümde deney sonuçları gösterilmiş ve yedinci bölümde deney sonuçları yorumlanmıştır, sekizinci ve son bölümde bundan sonraki çalışmalara ışık tutabilecek deneyle ilgili öneriler yapılmıştır.

INVESTIGATIONS OF EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING (ECAP) BY EXPERIMENTS

SUMMARY

In this study, as one of the severe plastic deformation processes, equal channel angular pressing (ECAP) is investigated by set of experiments by using AA2024 aluminum alloy. After experiments, mechanical characteristics are investigated and noted that there is a remarkable increase in hardness and the strength. In addition to these results, theoretical information is given about ECAP working principle, micro structural refinement by ECAP and ECAP routes Moreover, different ECAP methods are briefly explained and new ECAP die design is explained in detail. By means of the experience obtained during set of experiments, in order to be considered for future studies, some recommendations are given about the die design and the process.

Strength and hardness are the material characteristics that can be increased by plastic deformation. By severe plastic deformation, they can be increased more because of more homogeneous micro structure, smaller grains and high dislocation density. The results obtained after set of experiments prove this statement. The hardness of the solution treated sample is increased by one pass ecap from 75 Hv to 170 Hv.

This study is divided into eight chapters. In the first chapter, brief information is given about severe plastic deformation. In the second and third chapters, equal channel angular pressing and new ecap die design are explained in detail respectively. In the fourth, fifth and the sixth chapters, preparations of samples and molds, experiment set-up and obtained results are explained consecutively. In the seventh chapter, obtained results are discussed. Finally, in the eighth chapter, recommendations are given about the ecap die design and the procedure.

1. GİRİŞ

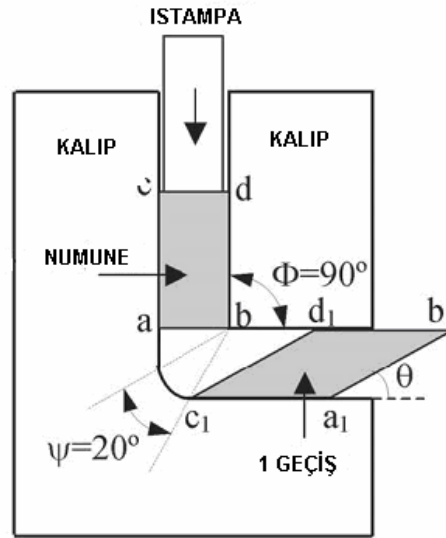
Aşırı plastik deformasyon (APD) parçaya yoğun bir birim şekil değişimi uygulanması ve dislokasyonların yeniden düzenlenmesi sonucunda geleneksel termomekanik yöntemlere kıyasla çok daha küçük, mikronaltı hatta nanometre boyutlarında taneler elde edilmesiyle sonuçlanan plastik şekil değişimidir. Aşırı plastik deformasyon bir metalik malzemenin genellikle düşük sıcaklıklarda yüksek miktarlarda plastik birim şekil değişimine maruz bırakılarak plastik deformasyona uğraması olarak bilinir.

APD ile üretilmiş nanoyapılı malzemelerin tıbbi implantlarda, biomedikal aletlerde ve yüksek performanslı bisikletlerde kullanılabilmektedir. Daha yeni metotlar keşfedildikçe de bu malzemelerin kullanım alanı da genişleyecektir.

Aşırı plastik deformasyon (APD) mikron altı veya nano yapılı malzemelerin üretimine olanak vermektedir. Bu şekilde üretilen malzemelerin dayanımları arttığı gibi sünekliklerinde de kayda değer artışlar görülmektedir. APD için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada APD yöntemlerinden biri olan eş kanallı açısallı presleme (EKAP) yöntemi ele alınıp incelenecektir. EKAP ilk olarak eski Sovyetler Birliğinde, 1980'lerde Minsk deki bir enstitüde görevli Segal ve arkadaşları tarafından uygulanmıştır. [1]

2. EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEME (EKAP)

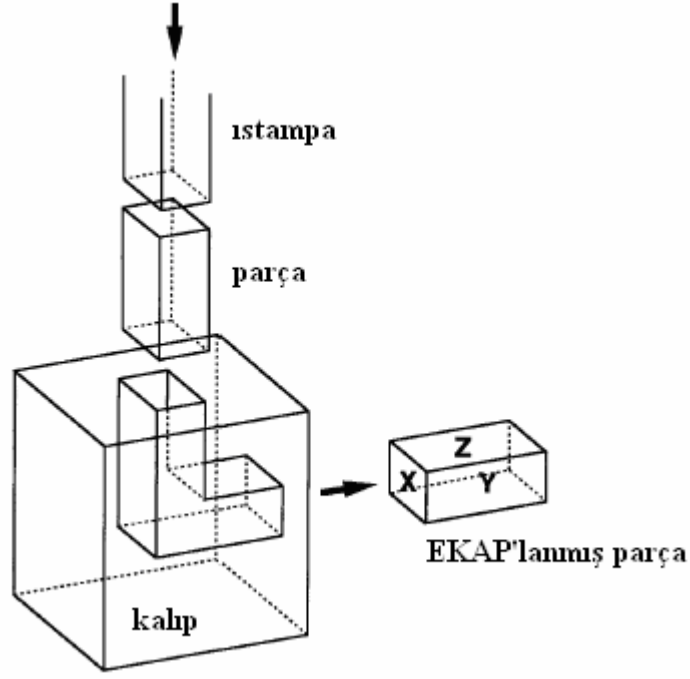
Eş kanallı açısallı presleme APD yöntemlerinden birisidir. EKAP birbirlerini Φ açısıyla kesip Ψ açısıyla kesme noktasındaki radyüsün belirlendiği iki eş kesitli kanaldan numunenin preslenmesi işlemidir. Bu işlem esnasında malzemenin kesitinde herhangi bir değişiklik olmamakta ve tekrarlanabildiği için yüksek birim şekil değişimleri elde edilebilmektedir. EKAP'ı diğer aşırı plastik şekil değişimi yöntemlerinden ayıran bir özelliği de başta alüminyum alaşımlar olmak üzere normalde süperplastik davranış göstermeyen alaşımlara yüksek süneklik ve süperplastik uzama özellikleri katabilmesidir.[2]



Şekil 2.1 Klasik EKAP Kalıbı [4]

Malzemeye uygulanan birim şekil değişimi direkt olarak iki kanalın kesme açısı olan Φ açısına ve iki kanal arasındaki dönüş radyüsünü belirleyen Ψ açısına bağlıdır. Bu açılar Şekil 2.1 de sırasıyla 90° ve 20° olarak gösterilmiştir.

Diğer APD yöntemlerinde parçanın şeklindeki değişim olduğu için birim şekil değişimi $\epsilon = 5$ civarındayken, EKAP işleminde parçanın şekli aynı kaldığı için birim şekil değişimi $\epsilon = 10$ üzerinde malzemeler elde edilebilir. Boyutun sabit kalmasının verdiği avantajla maksimum şekil değişimi elde etmek için herhangi bir engel kalmamaktadır.[5]



Şekil 2.2 EKAP parça yüzeyleri [3]

2.1.EKAP Rotaları

EKAP işlemi sırasında her presleme sonrasında numune x eksenini etrafında döndürerek değişik kayma mekanizmaları elde edilebilir. Bu rotalar şekil 2.3 de gösterilmektedir. Başlıca 4 farklı rotadan bahsedilebilir.

A rotası

Numune her defasında x, y ve z yüzeyleri değişmeyecek şekilde preslenir.

B_A rotası

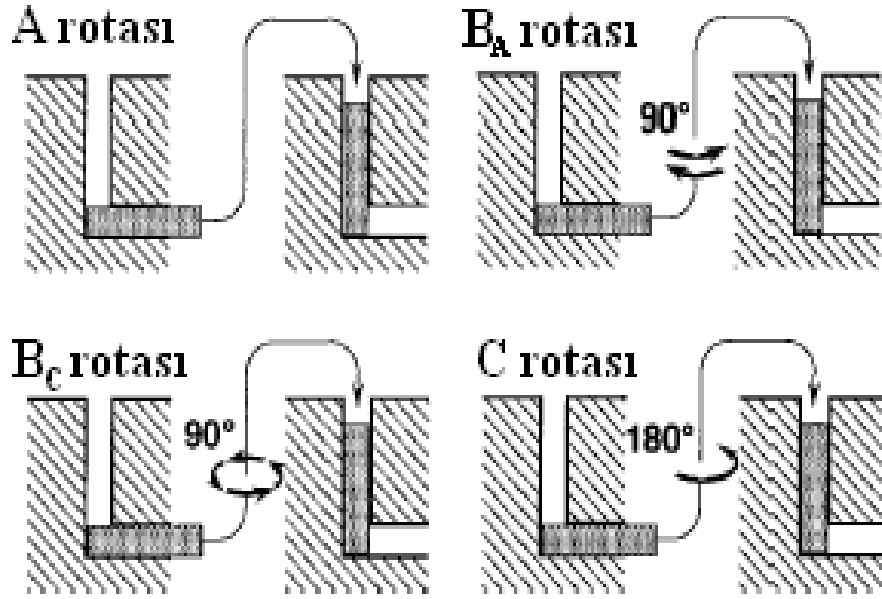
Numune her presleme sonrasında 90° döndürülür. Dönme yönü her defasında bir öncekinin tersi yönündedir.

B_C rotası

Numune her presleme sonrasında 90° döndürülür. Dönme yönü her defasında aynıdır.

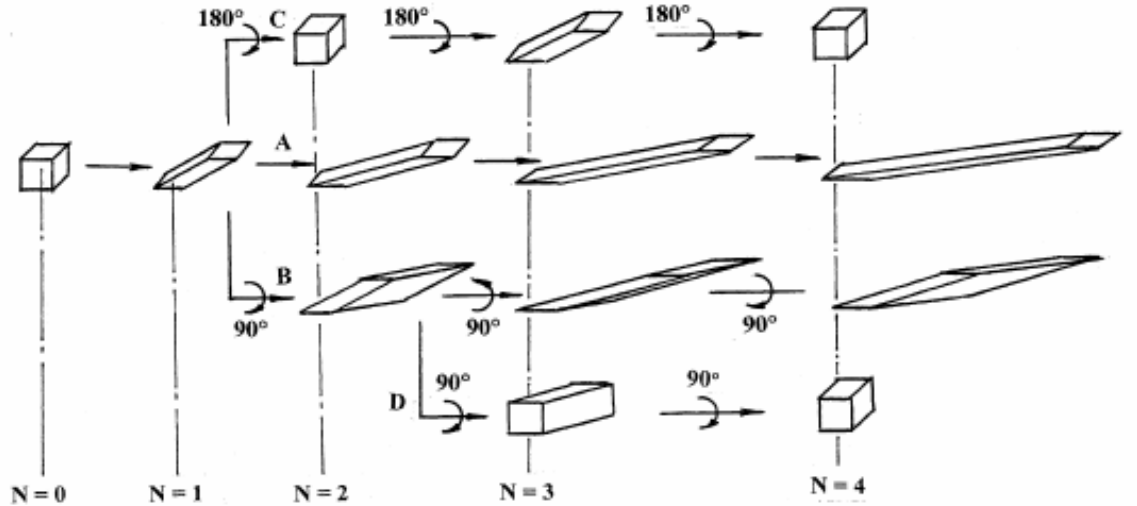
C rotası

Numune her presleme sonrasına 180° döndürülür.



Şekil 2.3 EKAP rotaları [3]

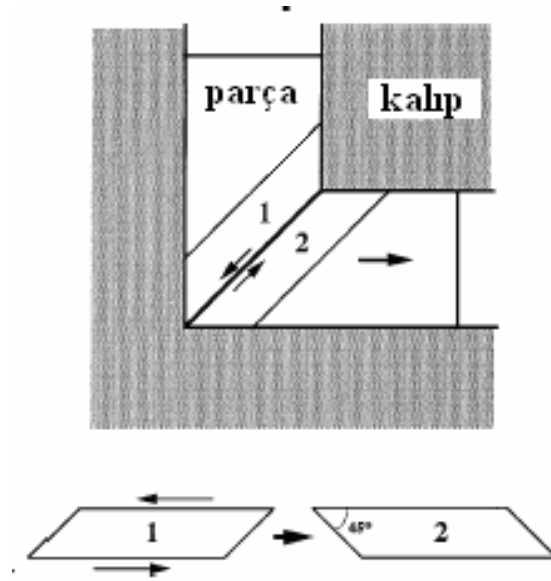
Rotalar arasındaki farklılıklar önemli olup numune üzerinde farklı kayma düzlemleri oluşturmaktadır. Bu farklı kayma düzlemleri tanelerin çok kristalli matris içersindeki makroskopik dağılımlarını etkilemekte ve homojen daha ince taneli bir mikro yapıya olanak vermektedir. [3]



Şekil 2.4 4 sefer EKAP sonrası birim elementteki değişim [6]

2.2.EKAP Çalışma Prensibi

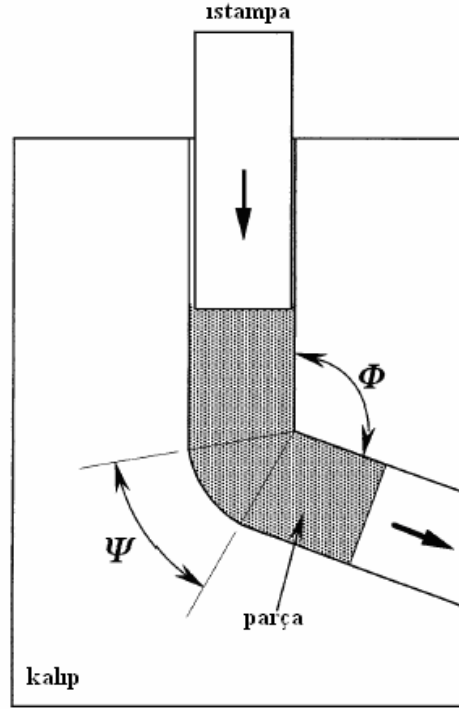
EKAP eş kesitli iki kanal içeren bir kalıpta aynı kesite sahip malzemenin preslenmesi ile yapılır. Kanallar arasındaki açı sebebiyle dönüş esnasında kayma bantları oluşarak malzeme plastik deformasyona uğrar. Şekil 2.5 teki gibi kayma 1 ve 2 düzlemleri arasındaki kayma düzleminde gerçekleşir. [14]



Şekil 2.5 EKAP kayma düzlemleri [1]

Şekil 2.2 de görüldüğü gibi parçada 3 adet ortagonal yüzeyden bahsetmek mümkündür. Bu yüzeyler şekilde x, y ve z olarak gösterilmektedir.

Kanallar arasında plastik deformasyonu etkileyen iki açı bulunmaktadır. Bunlar şekil 2.6 da gösterildiği gibi Ψ ve Φ açılarıdır. Kanallar arasındaki açı Φ , dış radyüs yayını gösteren açı ise Ψ dir.



Şekil 2.6 EKAP kalıp açıları [7]

Ekap sırasında yüksek birim şekil değişimi elde edilebilir. Parça şekli değişmediği için, parça tekrarlı olarak preslenebilir. Tekrarlı preslemeler sonucunda elde edilen toplam birim şekil değişimi formül 2.1 de ki gibi gösterilmektedir.

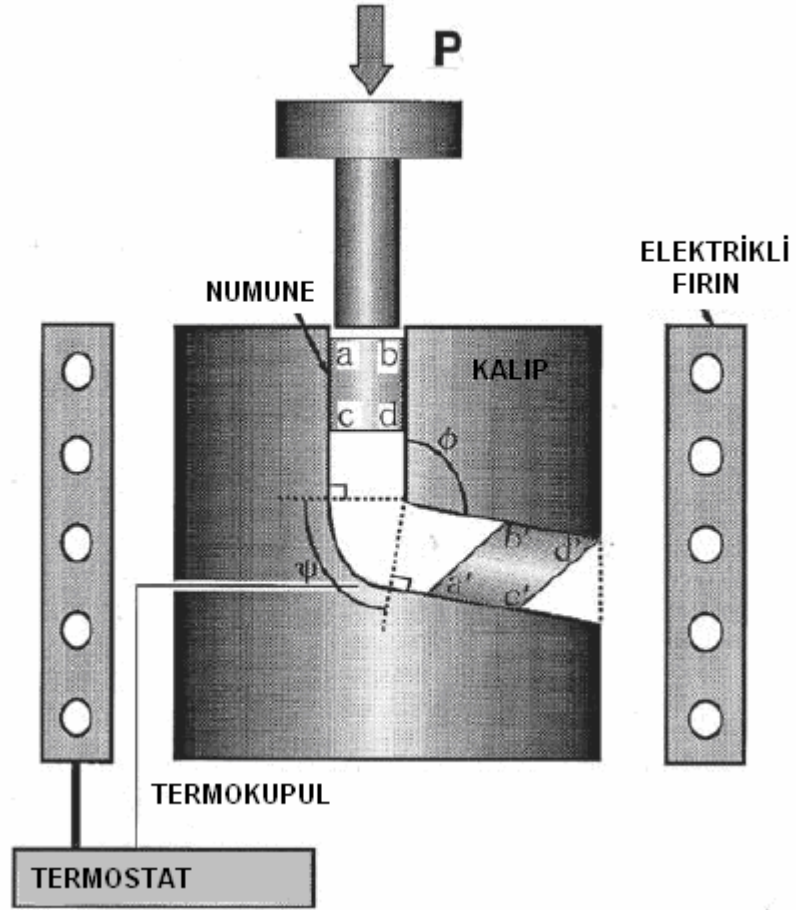
$$\varepsilon_N = \frac{N}{\sqrt{3}} \left[2 \cot \left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2} \right) + \Phi \operatorname{cosec} \left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2} \right) \right] \quad (2.1)$$

Burada N parçanın kaç kere basıldığını göstermektedir. ε_N ise N geçişte etkiyen toplam birim şekil değişimidir. Bu formüle alternatif olarak formül 2.2 de son zamanlarda kullanılmaktadır. [7].

$$\varepsilon_N = \frac{N}{\sqrt{3}} \left[2 \cot \left(\frac{\Phi + \Psi}{2} \right) + \Psi \right] \quad (2.2)$$

$\Phi=90^\circ$ olduğu durumlarda yay açısı Ψ den bağımsız olarak, her geçişte parçaya 1'e yakın birim şekil değişimi uygulanmaktadır. Böylelikle N geçiş sonrasında parçaya etkiyen birim şekil değişimi N ye eşittir.[13]

Oda sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda EKAP işlemini gerçekleştirmek için kurulan düzenek şekil 2.7 deki gibidir.[1]



Şekil 2.7 Isıtmalı EKAP kalıbı [1]

2.3.EKAP Yöntemiyle Tane İyileşmesi

Geleneksel metalürjide, küçük taneli yapılar özel farklı rotalarda termo-mekanik yöntemler geliştirilerek yapılır. Fakat bu yöntemlerin bazı dezavantajları vardır. Birinci olarak farklı alaşımlar için farklı yöntemler geliştirilmek zorundadır. İkinci olarak ise elde edilen en küçük tane boyutu $\sim 1-10\mu\text{m}$ dir. Aşırı plastik deformasyon yöntemleriyle mikron altı ve nanometre mertebelerinde ince taneli yapılar elde edebilmek mümkündür.

Eş kanallı açısallı presleme diğer aşırı plastik deformasyon yöntemleri arasında bazı özellikleri yönünden öne çıkmaktadır. Birinci olarak diğer yöntemlere göre proses daha kolaydır. Çünkü basit bir kalıpla gerçekleştirilebilir. İkinci olarak yüksek birim şekil değişimleri elde etmek mümkündür. Parça birçok defa preslenerek yüksek birim şekil değişimine maruz bırakılmaktadır. Üçüncü olarak ekaplanan numuneler kolaylıkla ölçülendirilip kullanılabilir. Kullanım alanları biyomedikal ve uzay endüstrisidir. Dördüncü olarak ekap çubuk şeklindeki parçalar için geliştirilmesine

rağmen plaka şeklindeki malzemelere de uygulanabilir. Beşinci olarak geleneksel haddeleme yöntemiyle birleştirilerek sürekli imalata dönüştürülebilir ve de birleştirici özelliği vasıtasıyla tellerin yapılmasında kullanılabilir. [3]

Her geçişte parçaya etkiyen birim şekil değişimi direkt olarak yay açısı Ψ ye ve kanalların kesişme açısı Φ ya bağlıdır. Optimum sonuç elde etmek için ekap genellikle $\Phi=90^\circ$ alınarak yapılır. Bu durumda parçaya uygulanan birim şekil değişimi yaklaşık olarak 1'e eşittir. Etkisi çok az olmakla birlikte Ψ açısında birim şekil değişimine katkısı bulunmaktadır. [15]

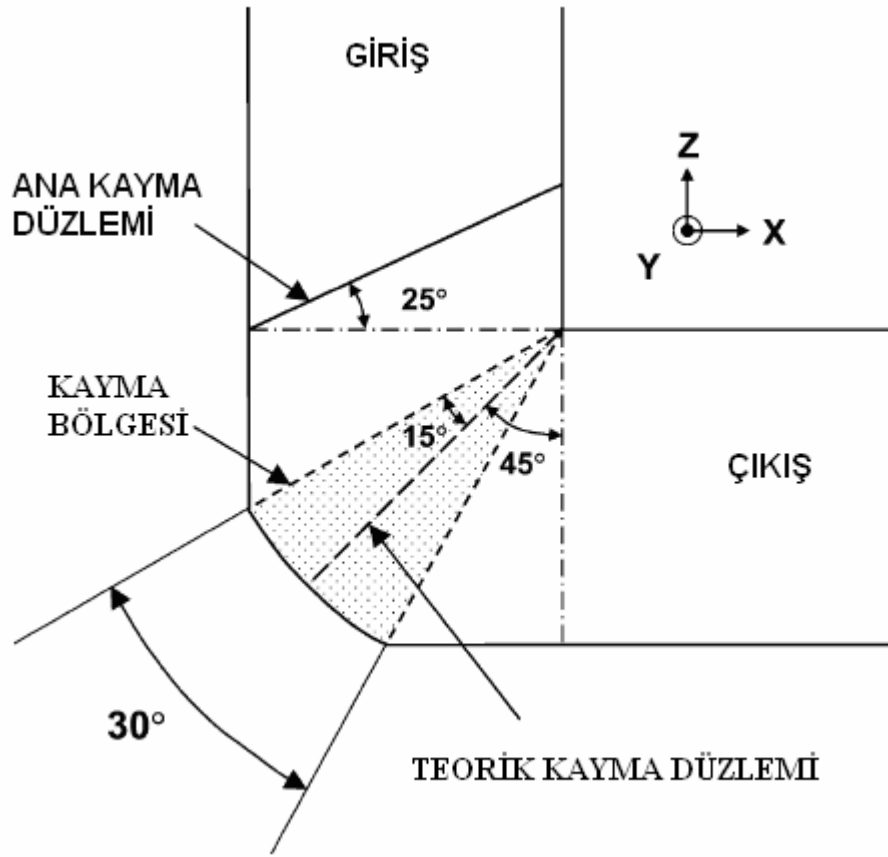
2.3.1. EKAP İle Elde Edilen Mikro Yapı

Bir metal ekaplandığında her geçiş sırasında oluşan yüksek birim şekil değişiminden dolayı yüksek dislokasyon yoğunluğu oluşmaktadır. Çok kristalli yapıların ekaplanmasından elde edilen mikro yapılarla ilgili birçok çalışma olmasına rağmen tek kristalli yapılarla ilgili çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden tek kristalli yapılarda ki mikro yapısal değişikliklerden bahsetmekte fayda vardır. [3]

2.3.1.1 Tek Kristalli Yapılarda Mikro Yapısal Gelişim

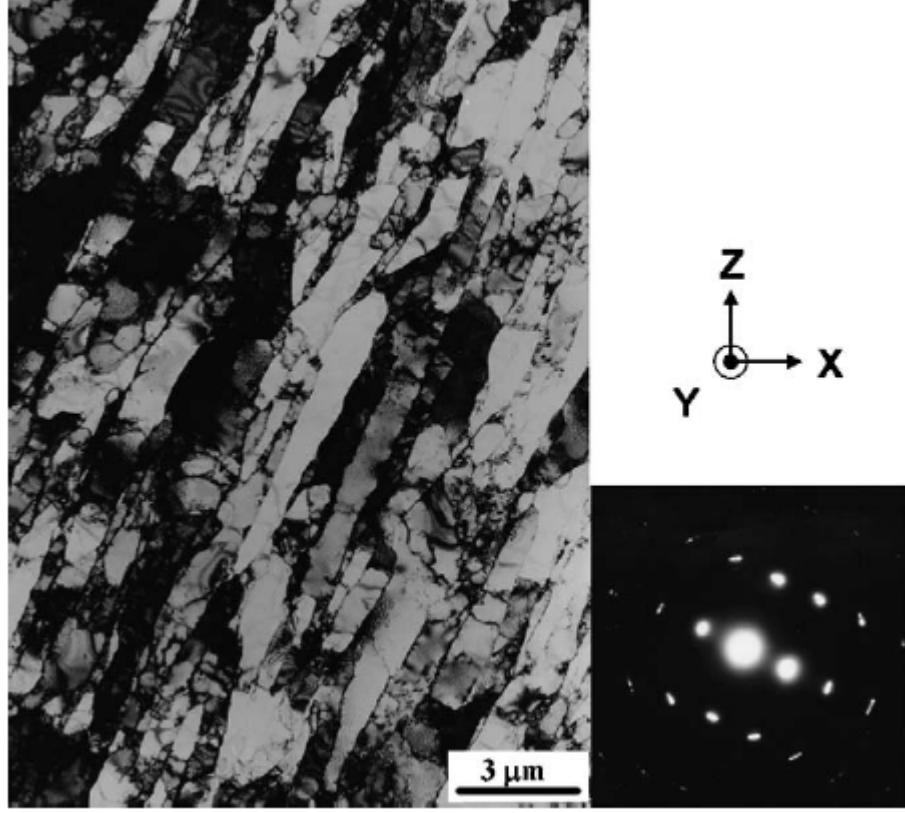
Tek kristalli yapıların ekaplanmasındaki önemli avantaj presleme öncesi kristallerin farklı oryantasyonlarda yerleştirilebilmesidir. Bugüne kadarki çalışmalarda, tek kristalli alüminyum ve bakır kullanılarak incelemelerde bulunulmuştur. Alüminyum için üç değişik başlangıç şeklinde bir defa presleme yapılmıştır. (i) teorik kayma düzlemine paralel $\{111\}$ kayma düzlemi ve kayma yönüne paralel $\langle 110 \rangle$ kayma yönüyle 0° (ii) teorik kayma düzlemi ve kayma yönüne saat yönünün tersinde -20° de dik olan $\{111\}$ kayma düzlemi ve $\langle 110 \rangle$ kayma yönüyle -20° ve (iii) saat yönünde 20° de dik $\langle 110 \rangle$ kayma yönüyle ve $\{111\}$ kayma düzlemi ile 20° . [3]

Kayma düzlemine saat yönünde 20° olan oryantasyonu ele alalım. Numune $\Phi=90^\circ$ ve $\Psi=30^\circ$ olan kalıpta 1 defa preslenmiştir. Deneylerde kullanılan kalıpta, yay açısıyla bağlantılı olarak $\sim 30^\circ$ aralıklarla kayma bölgeleri oluşmaktadır. Tek kristali teorik kayma düzleminden saat yönünde 20° çevirerek köşe radyüs yakınlarındaki kayma bölgesine girdiğinde maksimum kayma faktörüne maruz kalır. Bu etki şekil 2.8 de gösterilmiştir. Kayma bölgesi taralı şekilde gösterilmiştir. [3]



Şekil 2.8 Kayma bölgesinin şematik gösterilmesi. [3]

Şekil 2.9 Y düzleminde veya 1 sefer preslenen tek kristalin merkezindeki akma düzleminde TEM kullanılarak elde edilen mikro yapıyı göstermektedir. Bir sefer presleme sonrasında, X eksenine yaklaşık 65° uzanan çok düzgün şekilde uzamış alt taneler elde edilmiştir. Bu alt tanelerin ortalama genişliği $\sim 1.3\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

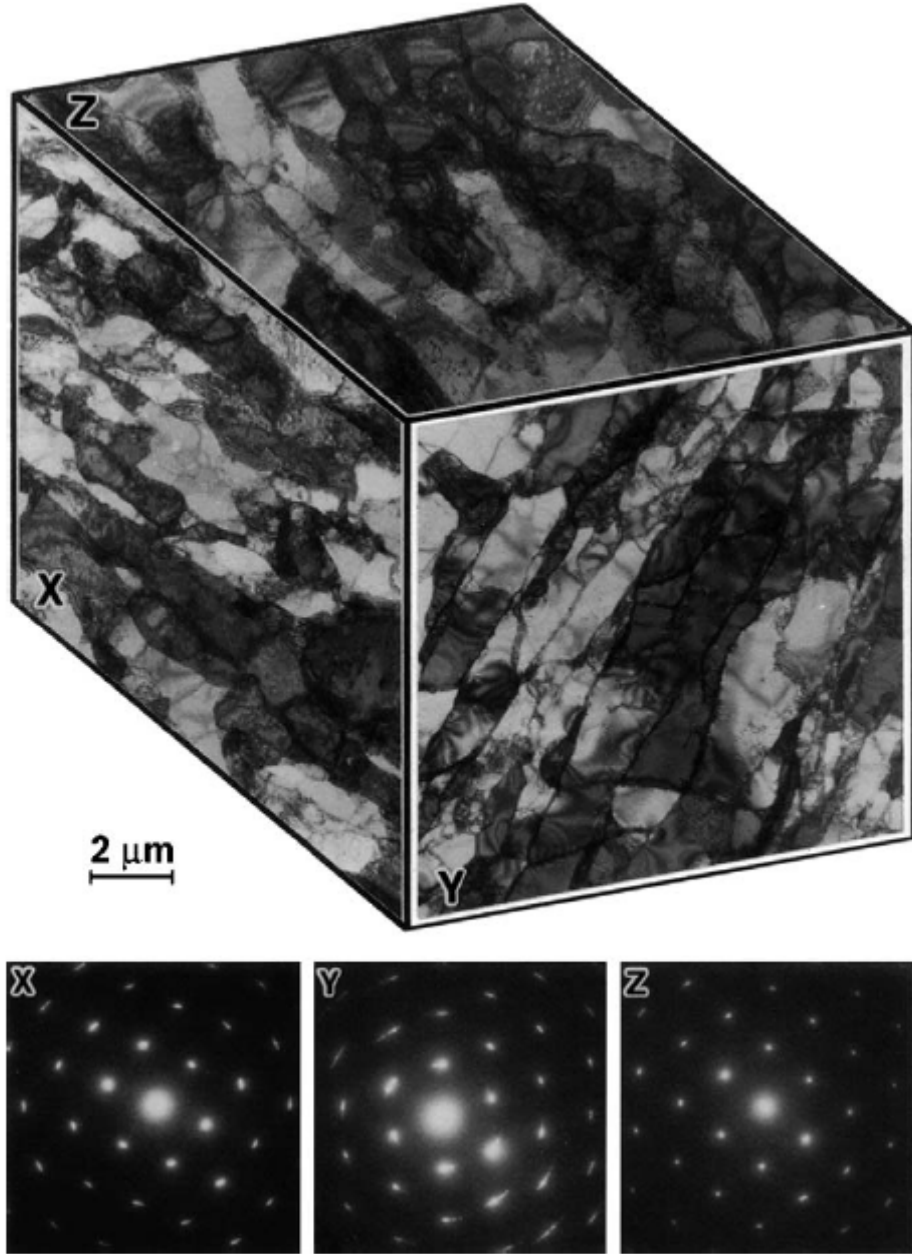


Şekil 2.9 TEM ile görülen mikro yapı [3]

Başlangıçta X eksenine 25° olarak uzanan kristal bir sefer presleme sonrasında tam olarak dönmüş ve şekil 2.9 dan elde edilen sonuçlar sonunda 65° olmuştur. [3]

2.3.1.2 Çok Kristalli Yapılarda Mikro Yapısal Gelişim

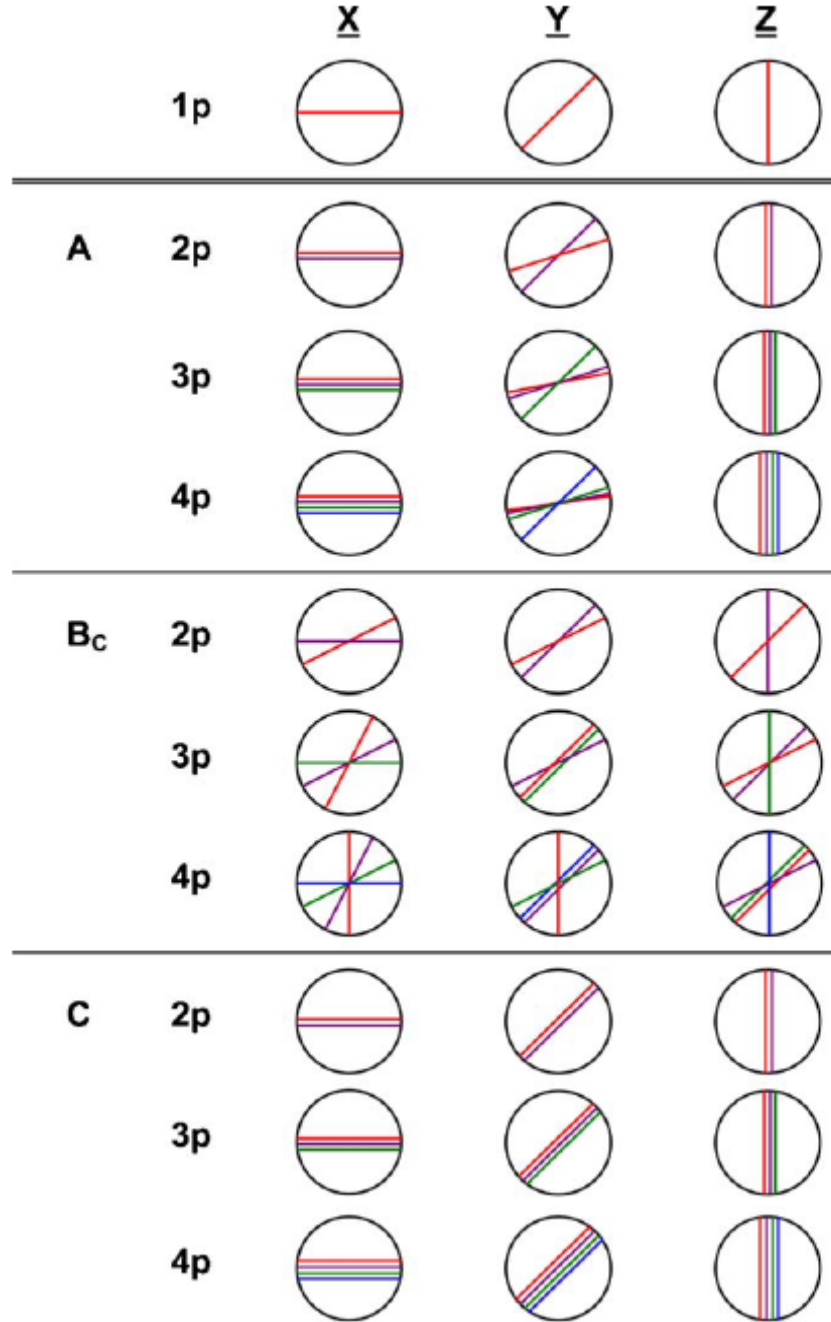
Geçmişteki çalışmalarda çok kristalli alüminyum üzerinde ekap sonrası oluşan mikro yapısal değişiklikler incelenmiştir. Yapılan deneylerde başlangıç tane boyutu $\sim 1\text{mm}$ olan saf alüminyum kullanılmıştır. Kullanılan ekap kalıbında $\Phi=90^\circ$ ve $\Psi=30^\circ$ dir. Şekil 2.10 1 sefer presleme sonunda X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapıyı göstermektedir. Mikro yapı düşük açılı tane sınırlarındaki uzamış alt tane kümelerinde ve X eksenine 45° ile uzanan alt tane kümelerinden oluşmaktadır.



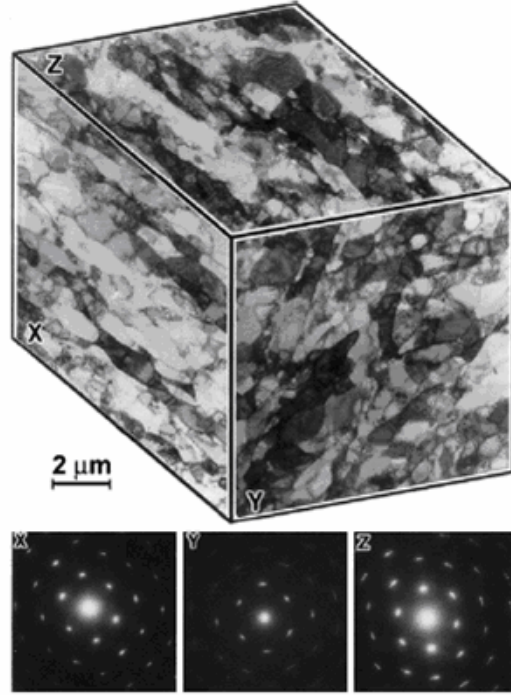
Şekil 2.10 1 presleme sonrasında X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı [3]

Bu oryantasyonu anlamak için presleme esnasında oluşan teorik kayma görünümlerini incelemekte fayda vardır. Bu görünümler değişik rotalarda 4 sefer preslemeye kadar geliştirilmiştir. Şekil 2.11 de değişik rotalarda oluşan kayma görünümleri gösterilmektedir. X, Y ve Z 3 ortagonal düzlemi göstermektedir. En üst sırada 1 defa ekpalanan, 2. sırada A rotasında 4 sefere kadar ekpalanan, 3. sırada B_c rotasında 4 sefere kadar ekpalanan ve son sırada C rotasında 4 sefere kadar ekpalamadan oluşan kayma görünümleri gösterilmektedir. Kayma çizgileri renkli olarak kodlanmıştır. Sırasıyla kırmızı, mor, yeşil ve mavi birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü preslemeyi göstermektedir. En üst sırayı göz önüne aldığımızda kayma

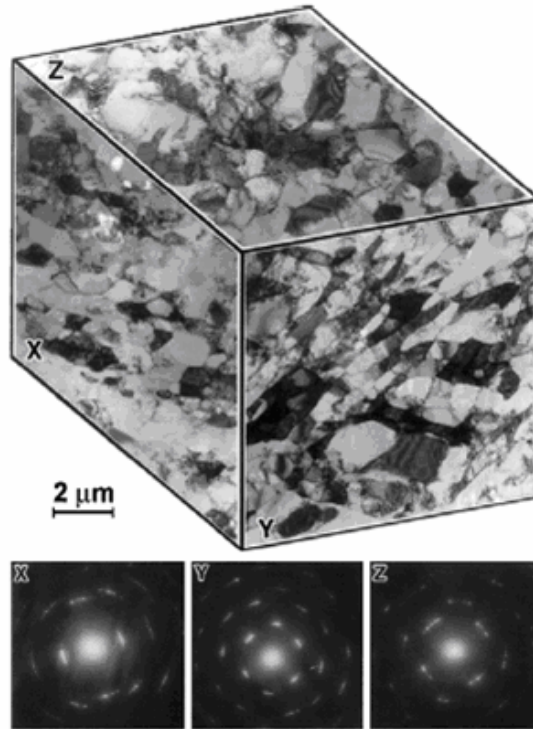
görünümleri şekil 2.10 da gösterilen ortagonal yüzeylerdeki alt tane kümeleriyle düzgün bir uyum içersindedir. [3]



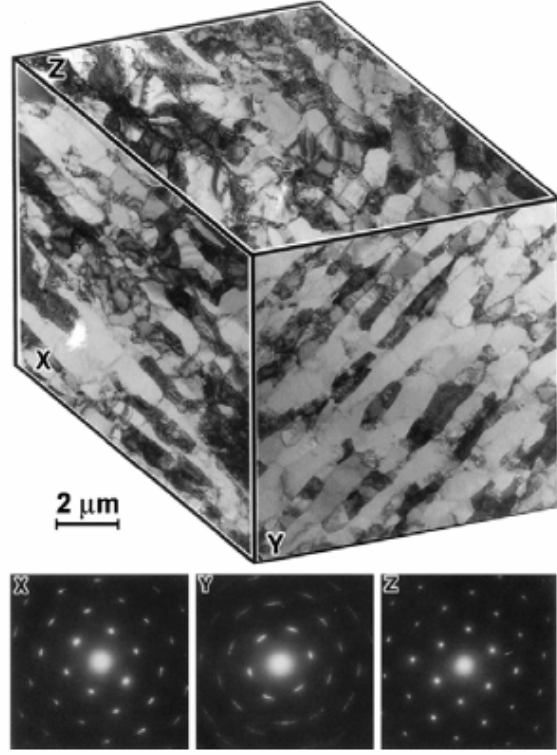
Şekil 2.11 3 rotada 4 sefere kadar ekaplamadan oluşan kayma görünümleri[3]



Şekil 2.12 X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (2 geçiş-rota A) [3]

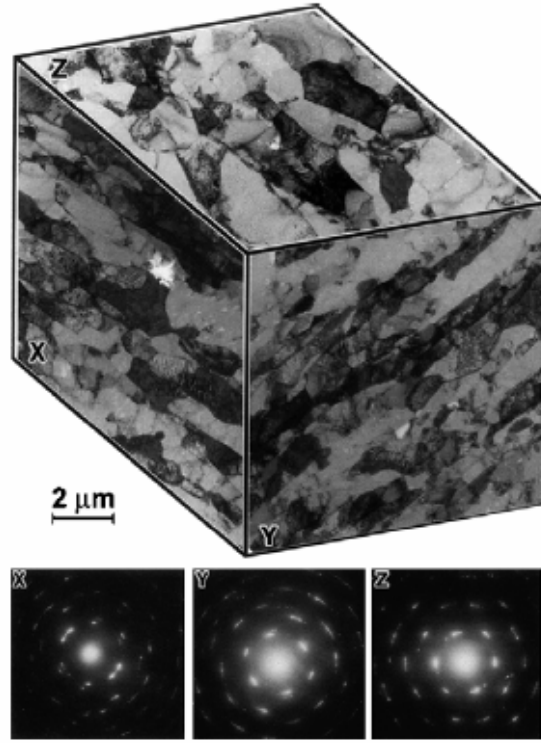


Şekil 2.13 X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (2 geçiş-rota B_c) [3]

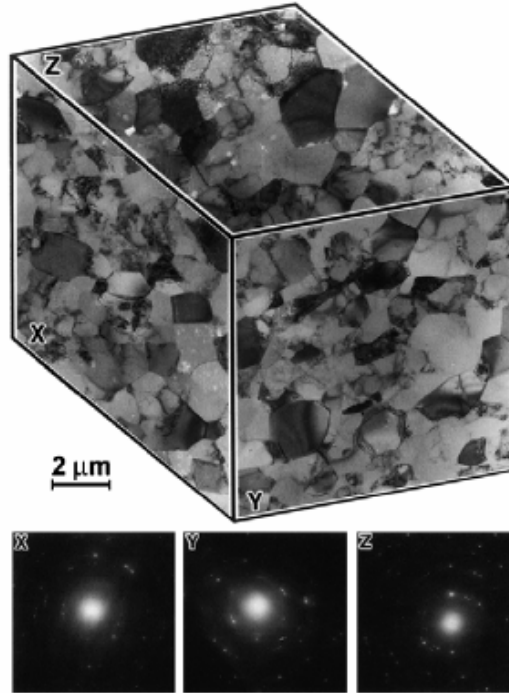


Şekil 2.14 X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (2 geçiş-rota C) [3]

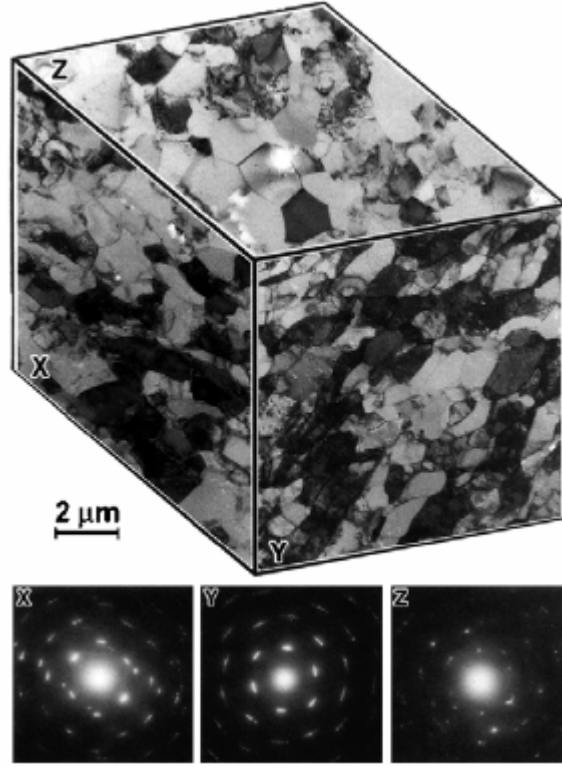
Şekil 2.12, şekil 2.13 ve şekil 2.14 sırasıyla A, B_C ve C rotalarında 2 sefer presleme sonrası X,Y ve Z düzlemlerinde elde edilen mikro yapıyı göstermektedir. Şekil 2.15, şekil 2.16 ve şekil 2.17 sırasıyla A, B_C ve C rotalarında 4 sefer presleme sonrası X,Y ve Z düzlemlerinde elde edilen mikro yapıyı göstermektedir. 2 sefer ve 4 sefer presleme sonrasında üç rota içinde etkiyen birim şekil değişimleri sırasıyla ~2 ve ~4 tür. Şekil 2.11 de 2 ve 4 sefer presleme için gösterilen kayma görünümüne uyumlu değişik mikro yapılar elde edilmiştir. Bu uyum paralel kesmelerin olduğu durumlarda daha belirgin olmaktadır. Örneğin C rotasında 2 sefer preslemeden sonra Y düzlemine baktığımızda kayma 2 geçişte de X eksenine 45° dir. Bu da Şekil 2.14 de Y eksenini üzerinde belirgin bir şekilde görülen alt tane bantlarıyla uyusmaktadır. [3]



Şekil 2.15 X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (4 geçiş-rota A) [3]



Şekil 2.16 X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (4 geçiş-rota Bc) [3]



Şekil 2.17 X, Y ve Z düzlemlerindeki mikro yapı (4 geçiş-rota C) [3]

Dört sefer preslendikten sonra bile A ve C rotalarında alt taneler uzama eğilimi içersindedir fakat B_C rotasında üç ortagonal yüzeyde elde edilen mikro yapı daha homojendir. Ayrıca B_C rotasında A ve C rotasına göre daha yüksek açılı tane sınırları elde edilir. [3]

Şekil 2.16 da görülen, B_C rotasında 4 sefer presleme sonrası ölçülen ortalama tane boyutu ~1.2-1.3 μm dir. Bu değer bir sefer preslenen tek kristali alüminyumun ölçülen tane boyutuyla uyushmaktadır. [3]

2.3.2. Sonuçların Değerlendirilmesi

Ekapla tane iyileşmesinde üç önemli sonuç çıkarılabilir.

Birincisi, tek kristalli ve çok kristalli alüminyumun ekaplanmasından elde edilen mikro yapısal gelişim birbiriyle uyumludur. Tek kristalde olduğu gibi çok kristalli alüminyumun bir sefer ekap sonrası oluşan uzamış alt taneler, onun kenarları kayma düzlemine paralel olacak şekilde yerleşmektedir. [3]

İkincisi, tekrarlı presleme sonrası oluşan eş eksenli tanelerin ortalama büyüklükleri, birinci preslemede alt tane kümelerinin genişliği ile belirlenmektedir. EKAP sonrası

elde edilen eş eksenli tanelerin büyüklükleri, geleneksel soğuk iş operasyonlarıyla elde edilen alt tane büyüklükleriyle hemen hemen aynıdır. Örneğin, oda sıcaklığında yüksek birim şekil değişim hızlarında 10^{-1} - $2.23 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ preslenen saf alüminyumun alt tane büyüklüğü ~ 1 - $1.13 \text{ }\mu\text{m}$ dir. Bu sonuçta oda sıcaklığında ekap sonrası oluşan eş eksenli tane büyüklüğüyle (~ 1.2 - $1.3 \text{ }\mu\text{m}$) uyumludur. [3]

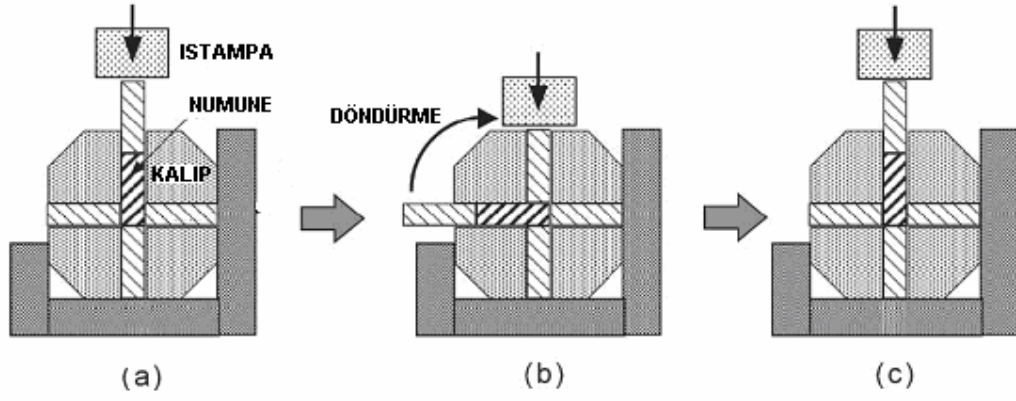
Üçüncüsü, yüksek tane sınırlarıyla ayrılan eş eksenli ve homojen tane kümeleri elde etmek için uygulanan birim şekil değişim miktarı önemlidir. Örneğin, B_C rotasında 4 sefer ekaplama sonrası oluşan eş eksenli taneler, A ve C rotalarında birim şekil değişiminin yetersizliğinden oluşmamaktadır. [3]

2.4. Alternatif Ekap Yöntemleri

Klasik EKAP yöntemlerinde preslenen parça kalıptan alınıp daha fazla geçiş sağlamak için ve yüksek deformasyon değerleri elde edebilmek için tekrardan kalıba yerleştirip preslenir. Bu yerleştirme işlemi değişik kombinasyonlarda yapılır. Bu işlem hem zaman alıcı bir işlem olup hem de kişiye bağlıdır. Bunu önlemek amacıyla yeni yöntemler geliştirilmiştir.

2.4.1. Döner Kalıp

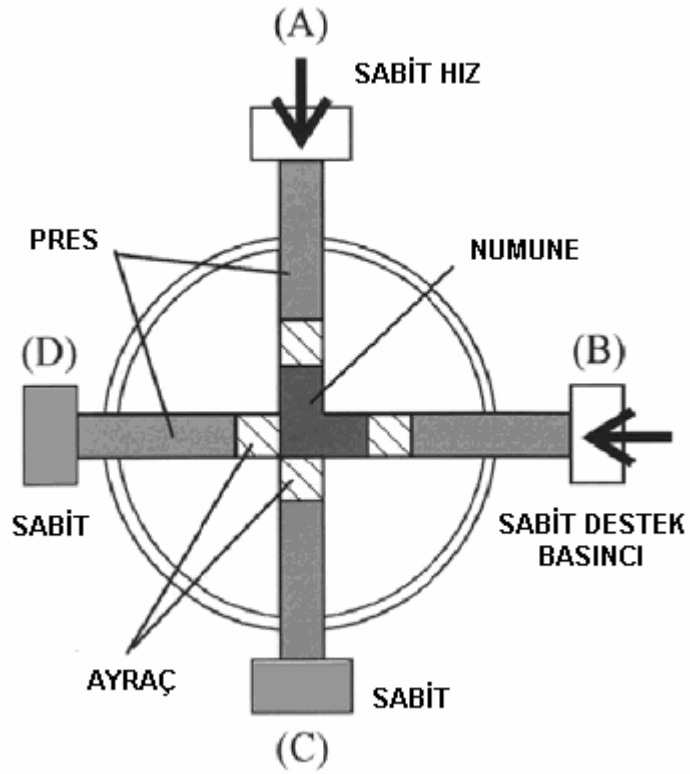
Malzemeyi kalıptan almadan tekrarlı EKAP uygulamak için en basit yöntem döner kalıp kullanmaktır. Bu işlemde kalıp birbirini kalıp merkezinde dik kesen eş kesitli iki kanaldan oluşmaktadır. Şekil 5a da görüldüğü gibi dik kanalın alt kısmına ve yatay kanallara destek plakaları konur ve malzeme bir ıstampa ile preslenir. İşlem bittiğinde kalıp şekil 5b görüldüğü gibi döndürülür ve tekrar preslenir. Böylelikle parçalar tekrar yerleştirilmeden defalarca preslenir. Bu işlem A rotasındaki işlemle eşdeğerdir ama daha basit kullanıma sahiptir. Maksimum 32 geçiş sağlanabilir. [1]



Şekil 2.18 Döner EKAP kalıbı [1]

2.4.2. Kenar Ekstrüzyon Prosesi

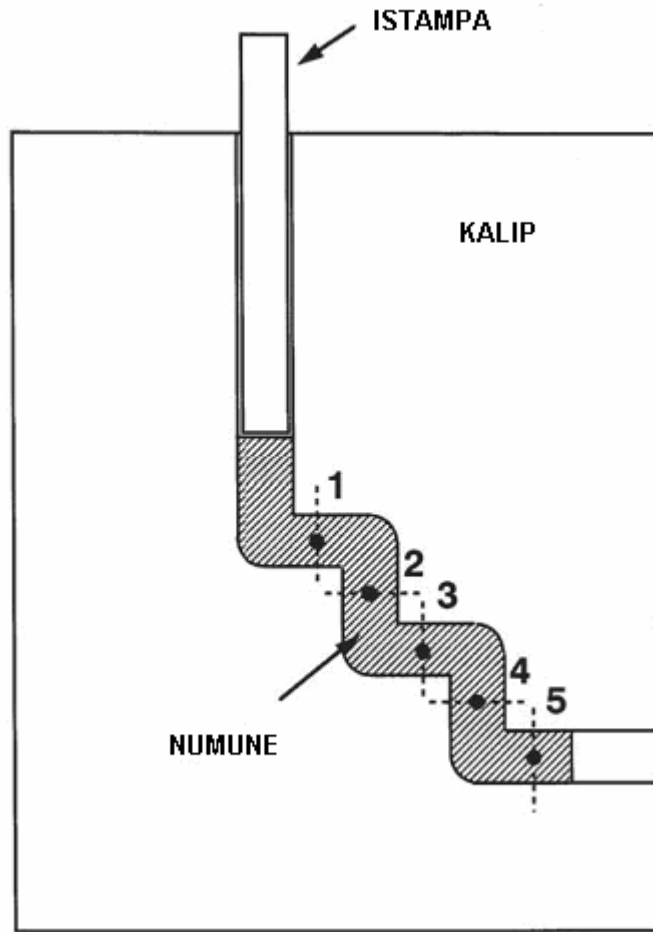
Fiziksel olarak döner kalıba eşdeğer bir yöntemdir. Şekilde de görüldüğü gibi malzeme A presi tarafından sabit hızda preslenir. Bu durumda B presi destek vazifesi görmektedir. İşlem bittiğinde B presi tarafından sabit hızla preslenip A presi tarafından desteklenir. Bu işlem maksimum 10 sefer tekrarlanabilir. Bu işlemde tıp ki döner kalıpta olduğu gibi A rotasına eşdeğer bir sistemdir. [1]



Şekil 2.19 Kenar ekstrüzyon kalıbı [1]

2.4.3. Çoklu Geçiş Kalıpları

Bu işlemde karmaşık presleme kombinasyonlarına gerek kalmadan çoklu geçişe olanak verecek kalıp kullanılmaktadır. Bu işlem C rotasına eşdeğer bir işlemdir. 1,2,3,4 ve 5 olarak gösterilen noktalar sıralı olarak 1,2,3,4 ve 5. geçişle aynı özellikleri gösterirler. Bu yöntem farklı geçişlerdeki mikroyapı ve sertlik değerlerinin karşılaştırılmasında kolaylık sağlayan bir yöntemdir. Kalıp kolaylıkla ayrılabilen iki parçadan oluşur farklı bölgelerdeki sertlik ve mikroyapı değerleri ölçülebilir. [1]

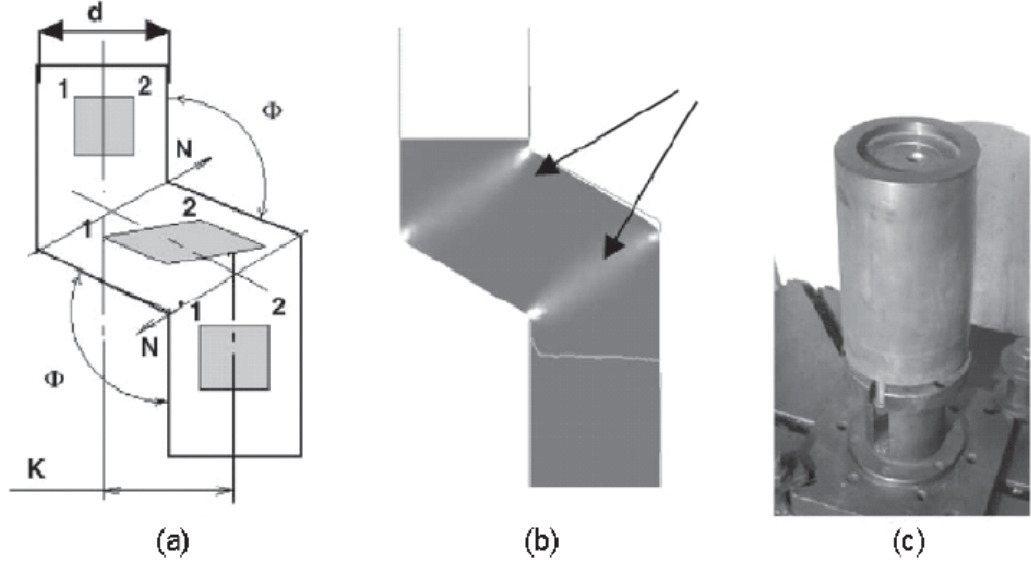


Şekil 2.20 Çoklu geçiş kalıbı [1]

2.4.4. Paralel Kanallı Kalıplar

Paralel kanallı EKAP işlemi klasik EKAP işlemine göre daha avantajlı bir yeniliktir. Şekil 2.10 da şematik olarak gösterilen sistemde Φ paralel kanallar arasındaki kayma açısı ve K kanallar arasındaki mesafedir. Bu işlemde iki kayma sistemi olduğu için, klasik EKAP işleminden daha az geçiş ile ultraince yapı elde edilebilir. K mesafesi

ve Φ açısı kalıp geometrisini oluşturan en önemli etkenler olup akış karakteristiğini direk olarak etkilemektedir. [1]



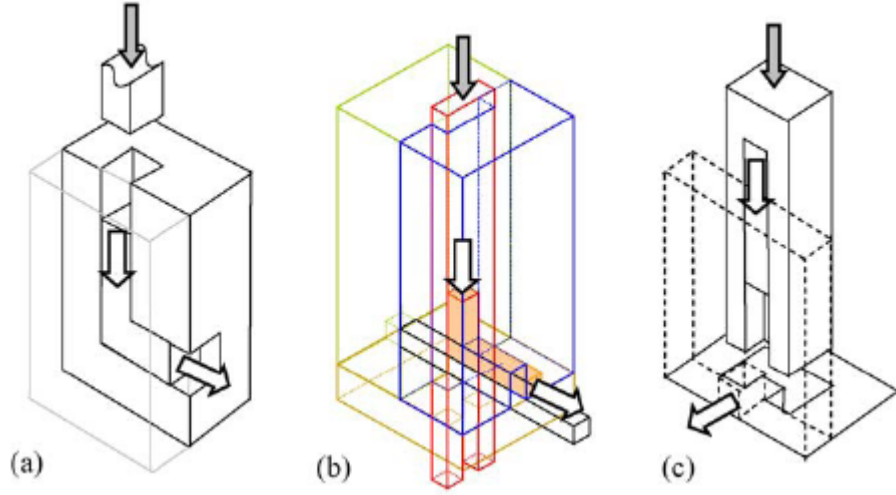
Şekil 2.21 Paralel kanallı EKAP kalıbı [1]

3. YENİ DİZAYN EKAP KALIBI

Geleneksel ekap işlemi sırasında prosesle ilgili çeşitli problemler çıkabilmektedir. Bu problemlerden biri kalıp yüzeyleri ve numune arasındaki etkileşim yüzeylerindeki sürtünme kuvvetidir. Bu sorun numunenin dayanımı ıstampa dayanımına yaklaştığında ve yüksek sıcaklıklarda kendini daha fazla hissettirmektedir. Bu yeni kalıp dizaynıyla birlikte sürtünme etkileri minimum düzeye çekilmesi hedeflenmiştir. Böylelikle daha dayanıklı ve uzun malzemelerin aynı presleme gücüyle ekap işlemi mümkün olacaktır.

Burada dikkate alınması gereken sürtünmeyi minimum seviyeye indirecek bir dizayn optimizasyonu ve bununla birlikte dayanım yönünden ve ekap işleminin yapıldığı sıcaklıkta diğer kalıp elamanlarıyla etkileşimi yönünden kalıp malzemesinin seçilmesidir.

Geleneksel yöntemlerde karşılaşacağımız diğer önemli bir problem ise kalıp elemanlarının presleme esnasında deforme olmasıdır. Bundan dolayı minimum bağlantı elemanı kullanılarak yüksek preslemelerde bile kalıp parçalarının arasına sızmayı engelleyecek bir dizayn yapılmalıdır. Bu durum özellikle yüksek sıcaklıklarda kendini fazlasıyla hissettirmektedir.



Şekil 3.1 a) Geleneksel dizayn b) Geliştirilmiş dizayn c) Yeni Dizayn [8]

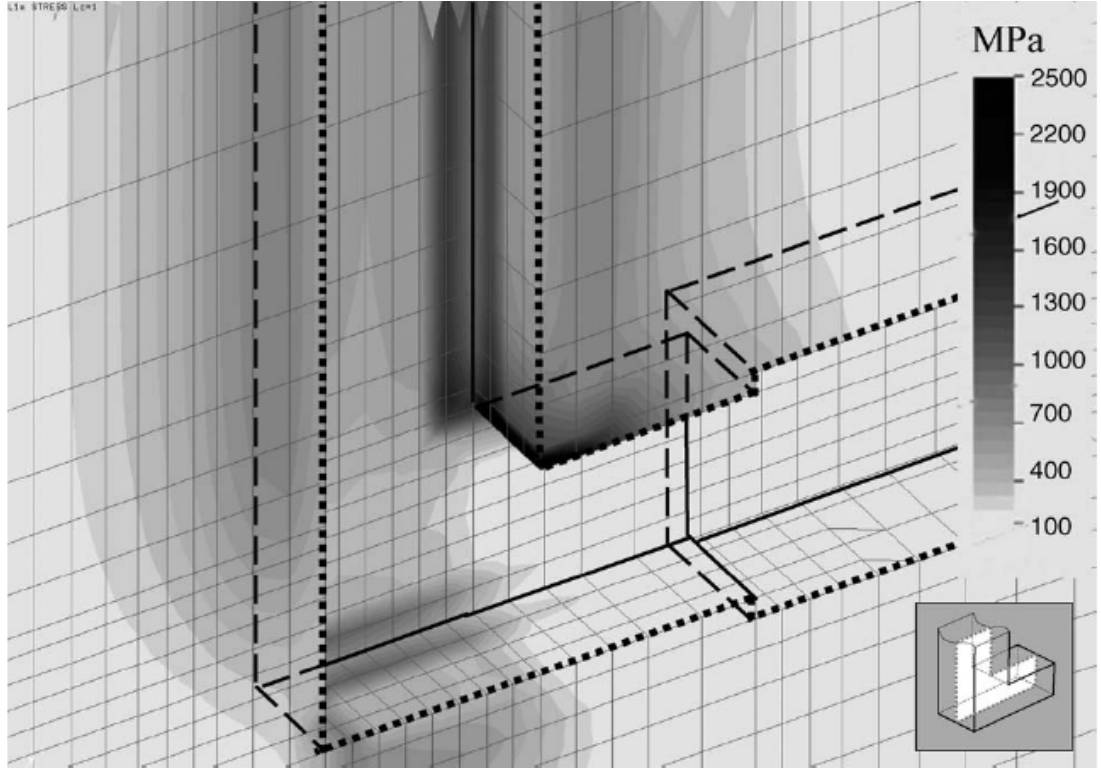
3.1. Belirli Dizayn Yaklaşımları

Bu kalıp dizaynında $\Phi=90^\circ$ ve maksimum deformasyon elde edebilmek için $\Psi=0$ seçilmiştir. Ayrıca 10x10 mm kesitli numune 100 mm ye kadar ekaplanabilecektir. Diğer önemli teknolojik yaklaşımlar ise (i) kalıp normal laboratuvar test makinelerine uygun olacaktır (ii) ayrılabilir bir dizayna sahip olacaktır ve (iii) 500 °C de çalışabilecek ve gerekli yalıtıma sahip olacaktır. [8]

3.1.1. İstampa

Şekil 3.1 de geleneksel dizayn, geliştirilmiş dizayn ve yeni dizayn ıstampalar gösterilmiştir. Geleneksel dizaynda ıstampa şekli numune ile aynıdır. Geliştirilmiş dizaynda numune iki yanından ıstampa tarafından çevrenir ve kalıbın alt parçası numune ile birlikte hareket eder. Yeni dizaynda ise numune ıstampanın 3 yüzeyi ile çevrenir ve yatay parça hareket etmez. Bu dizaynda hem sürtünme etkileri minimuma indirilir hem de ıstampanın presleme esnasında bükülmesi önlenir.

Ekap kalıbı üzerindeki yük dağılımlarını görebilmek amacıyla elastik bir simülasyon yapılmıştır. Simülasyon için kalıp ve kalıp elemanları elastik olarak kabul edilmiştir. Tek parçalı bir kalıp seçilmiş numune 10x10x 100 mm seçilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi hesaplamalarından elde edilen sonuçların ışığı altında Şekil 3.2 de gösterildiği gibi Von Misses eşdeğer gerilmeleri gösterilmiştir. Maksimum gerilme 2450 MPa olarak ölçülmüştür. [8]



Şekil 3.2 Von Misses eşdeğer gerilme dağılımı. [8]

Şekil 3.2 de görüldüğü gibi karesel kesitte özellikle köşe noktalarında gerilme değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Bundan dolayı köşeli dizayn yerine oval bir model geliştirilmiştir. Bu şekil hem etkiyen eşdeğer gelimleri azaltacak hem de kayan parçalar arasındaki sürtünmeyi minimuma indirecektir.

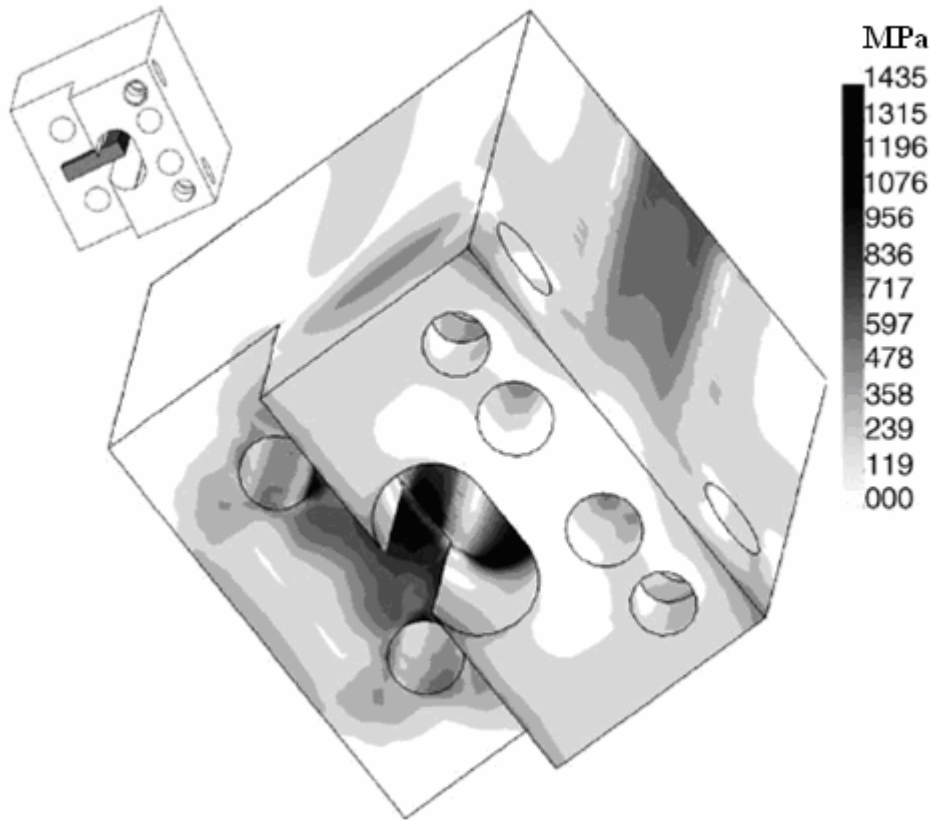


Şekil 3.3 Piston kesitinin değişimi [8]

3.1.2. Kalıp

Kalıp herhangi bir durumda içine müdahale edebilmek için ayrılabilir olarak tasarlanmıştır. Bunu yaparken kalıp parçaları arasında minimum bağlantı elemanı kullanılacak ve kolaylıkla sökülebilecek şekilde düşünülmüştür. Kalıp alt parçası sökülüp takılabilir. Böylelikle kalıp 3 ana parçadan oluşur ıstampa, ana gövde ve alt parça.

Bu yeni kalıp dizaynı, elastik sonlu elemanlar yöntemi ile test edilmiş ve Şekil 3.4 de görüldüğü gibi eşdeğer gerilmelerin önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir. Elde edilen bu sonucun ışığı altında yeni kalıp dizaynının sürtünmeleri önemli ölçüde azalttığı kanıtlanmıştır. Daha önceki durumda maksimum eşdeğer gerilme 2450 MPa iken yeni kalıpta oluşan maksimum eşdeğer gerilme 1435 MPa olarak not edilmiştir. Kalıp ömrünün arttırılması ve daha az presleme ile istenilen sonucun elde edilmesi bakımından yeni kalıp dizaynıyla önemli bir avantaj elde edilmektedir. [8]



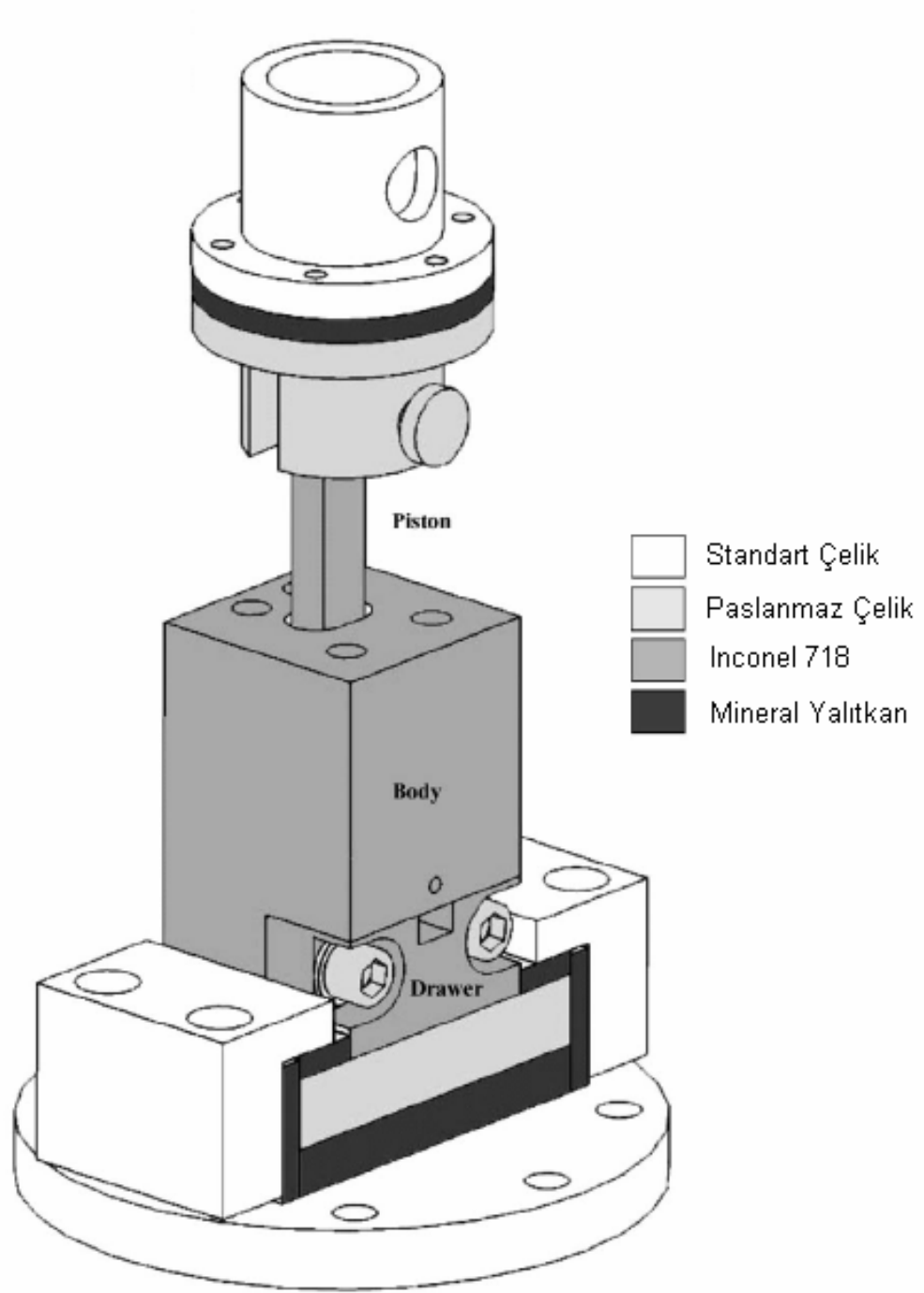
Şekil 3.4 Eşdeğer Von Misses Gerilmeleri [8]

3.1.3. Kalıp Malzemeleri

Kalıp ana parça, alt parça ve ıstampa malzemesi olarak Inconel 718 uygun bulunmuştur. Bu malzemenin yüksek dayanımı ve işleme kolaylığı kullanılmasıdaki en önemli özelliklerdir. Ayrıca çözeltiye alma ve yaşlandırma ısı işlemleri sırasında ölçüsel kararlılığı çok fazladır ve belirli işlemlerden sonra yüzey kalitesi kolaylıkla arttırılabilir.[8]

Şekil 3.5 de görüldüğü gibi, basma işlemi sırasında kullanılan laboratuvar ekipmanını ısı etkilerden korumak amacıyla ısı iletkenliği düşük paslanmaz çelik ve mineral

yalıtkan kalıp temas yüzeylerinde kullanılmıştır. Kalıbı ısıtmak için PID regülâtör ve K tipi termokupul kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Komple Kalıp Dizaynı [8]

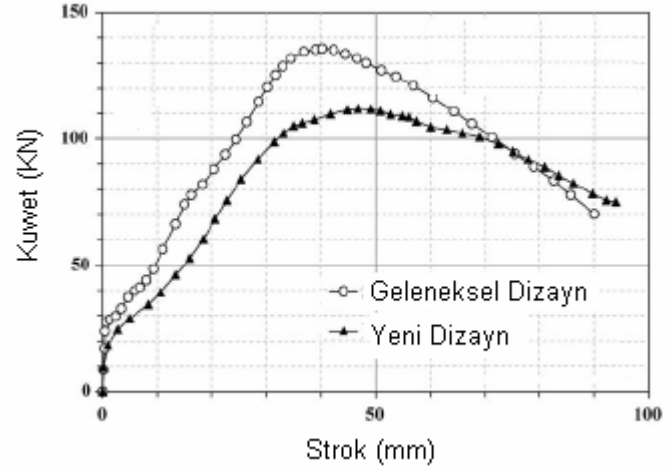
3.2. Yeni Kalıp ve Geleneksel Kalıp Deneysel Karşılaştırması

Birinci deney oda sıcaklığında saf Al ve Cu kullanılarak yapılmıştır. 10x10 mm kesitli 100 mm uzunluğunda numuneler hazırlanmıştır. Presleme hızı 1 mm/s olarak seçilmiş ve MoS₂ yağlayıcı olarak kullanılmıştır.

İkinci deneyde saf Cu ve Ti yüksek sıcaklıklarda test edilmiştir. Cu 100, 200 ve 300 °C de Ti ise 350, 400 ve 450 °C de ekaplanmıştır. Ölçüler bir önceki deney ölçüleriyle aynıdır. [8]



Şekil 3.6 Geleneksel ve yeni kalıpla ekaplanan farklı malzemeler [8]



Şekil 3.7 Kuvvet-Strok grafiği (Şekil 3.6 daki (i) ve (iii) için) [8]

Şekil 3.7 saf bakırın oda sıcaklığında geleneksel ve yeni dizayn kalıpla ekaplandığında oluşan kuvvet ve strok grafiğini göstermektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere yeni dizayn kalıpla 25 KN daha az kuvvet harcayarak ekap işlemi gerçekleşmiştir. Bu da özellikle presin maksimum kapasitesine yakın yüklerde önemli bir avantaj sağlamaktadır.

4. NUMUNELERİN VE KALIBIN HAZIRLANMASI

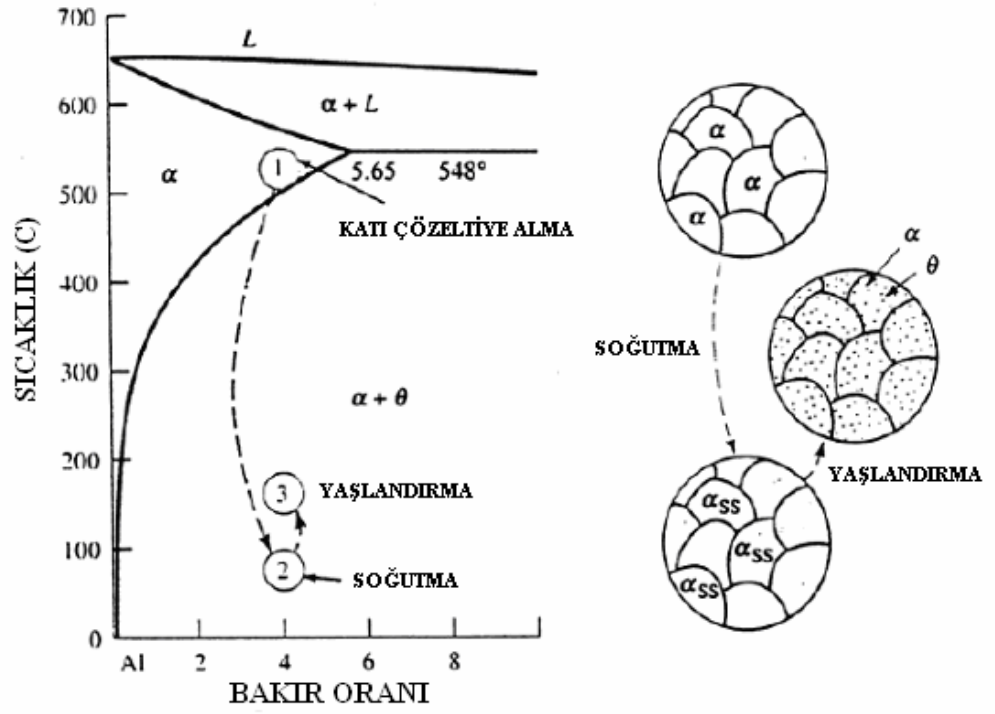
Bu çalışmada Al 2024 deney malzemesi olarak kullanılacaktır. Duralümin olarak da bilinen 2024 alüminyum alaşımı alüminyum alaşımları arasında en sert, elastisite modülü ve mukavemet değerleri en yüksek olanlarından biridir. Spesifik mukavemet (Akma gerilmesi/yoğunluk) ve/veya spesifik elastisite modülünün (Elastisite modülü/yoğunluk) önemli olduğu yerlerde, uçak gövde ve kanatlarında, ortopedik taban, perçin ve çekici tekerlekleri yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çözeltiliye alma ısıtıl işleminden sonra oda sıcaklığında doğal veya yapay olarak yaşlanır. İçinde Mg bulunması nedeni ile üretimi özel yöntemler ile mümkün olmasına rağmen diğer ısıtıl işleme tabi tutulabilen alüminyum alaşımlarına göre şekillendirilebilme yeteneği iyidir. Bu alaşımın iyi olan fiziksel ve mekanik özelliklerine karşılık korozyona karşı olan dayanımı zayıftır. Talaşlı üretim kabiliyeti iyidir [9]

12 mm kalınlığında levha olarak temin edilen AA2024 malzeme frezede 9,90x 9,90x70 mm çubuklar şeklinde işlenmiştir. Yüzeysel toleranslar homojen preslemeyi sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

4.1. Numunelerin Katı Çözeltiliye Alma İşlemi

İstenilen ölçülerde hazırlanan numuneler, Al-Cu faz diyagramından da görüldüğü gibi 495 °C sıcaklığındaki fırının içinde yaklaşık 14 saat tutularak α bölgesine alınıp θ fazının tamamen çözülmesi sağlanmıştır. Böylelikle α fazında oluşan tek fazlı bir yapı elde edilmiştir. Katı çözeltiliye alma işlemi olarak adlandırılan bu işleminden sonra, herhangi bir yayınma mekanizmasının çalışmasına olanak vermeyecek şekilde [11], fırından alınan numuneler oda sıcaklığındaki suyun içine atılarak hızlı bir şekilde soğuması sağlanmıştır. Fırın elektrikle ısıtılan ve elektronik kontrollü bir fırındır. Hassasiyet ± 1 °C'dir. Bu işlem Yılmazcan Makine'ye ait fırında gerçekleştirilmiştir.

Katı çözeltiliye alınan numuneler deney yapılana kadar doğal yaşlanmaya maruz kalmamaları için içersinde kuru buz bulunan strafor kutularda muhafaza edilmiştir



Şekil 4.1 AA2024'e ait Al-Cu faz diyagramı



Şekil 4.2 AA2024 numune



Şekil 4.3 Elektrikli fırın

4.2. Istamp

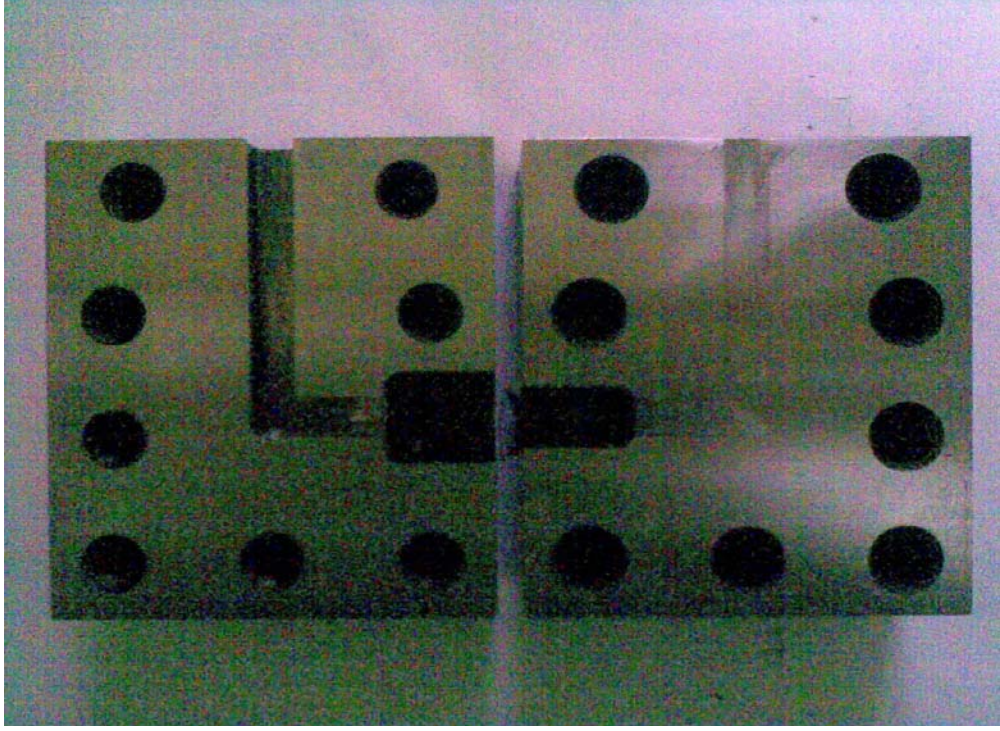
Istampa DIN 1.2379 hava çeliği malzemeden işlenmiştir. Presleme esnasındaki burkulma etkilerini azaltmak için 2 farklı ölçüde ıstampa imal edilmiştir. Bağlantı ölçüleri, deneyde kullanılan ITU Makine Fakültesi mekanik laboratuvarındaki hidrolik prese bağlanabilecek şekilde belirlenmiştir. Talaşlı imalat işlemi bittikten sonra ıstampaların ısıtılması yapılmış ve sertlikleri 58 HRC ye çıkarılmıştır. Isıtılma sonrası ıstampa presleme yüzeyleri taşlanmıştır.



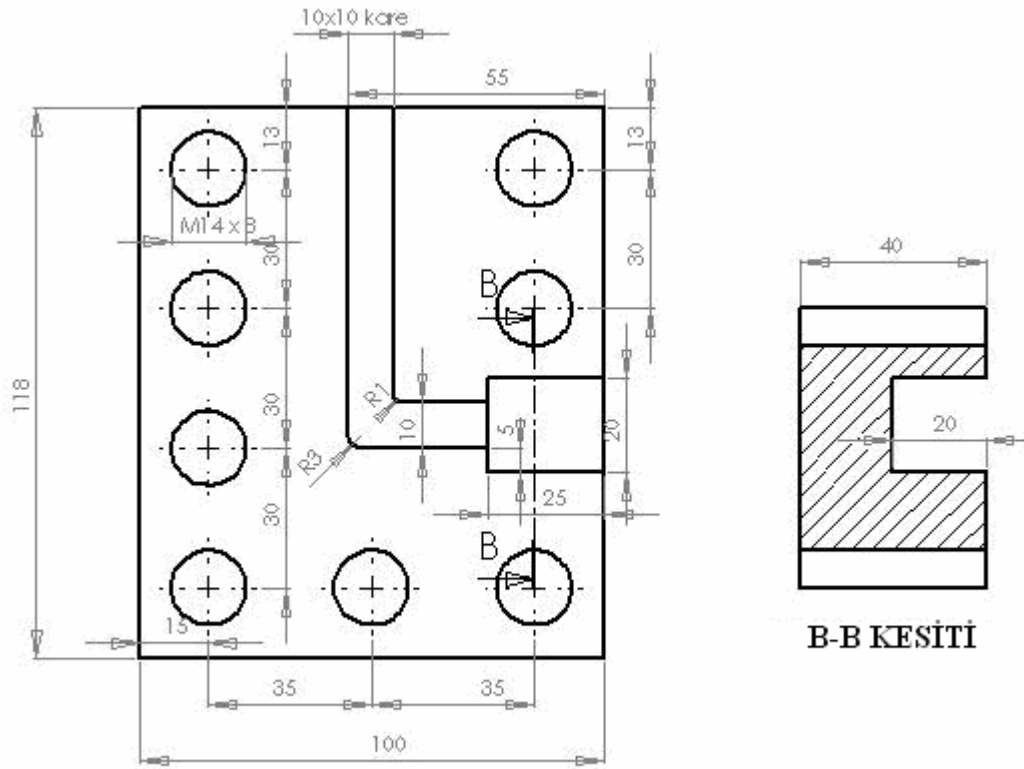
Şekil 4.4 Istampalar

4.3. Kalıp Parçalarının İmalatı

Kalıp malzemesi olarak DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Başlıca 2 plakadan oluşmaktadır. Ana plaka üzerinde kalıp profili CNC tezgahta işlenmiştir. Diğer plaka ana formun üzerine kapak vazifesi görmektedir. Talaşlı imalat işlemi sonrasında plakalara su verilmiş kalıp yüzey sertlikleri 50 HRC olacak şekilde sertleştirilmiştir. Su verme işlemi sonrasında kalıp yüzeyleri taşlanıp düzgün öpüşme yüzeyleri elde edilmiştir. Plakalar birbirine 8 adet M14 10.9 kalite çelik cıvatalarla bağlanmıştır. Bağlantıyı sağlamlaştırmak için, ana plaka üzerindeki dişe ilaveten kontra somunlar kullanılmıştır.



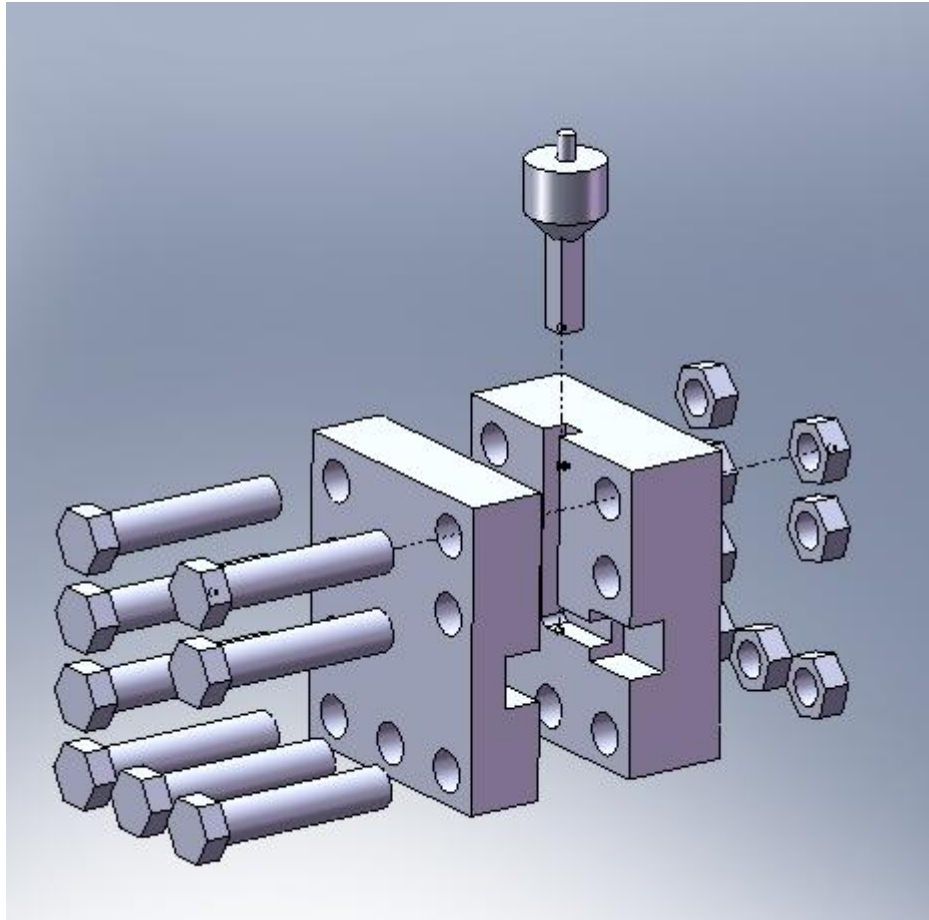
Şekil 4.5 EKAP kalıbı ana plaka



Şekil 4.6 EKAP kalıbı teknik resim

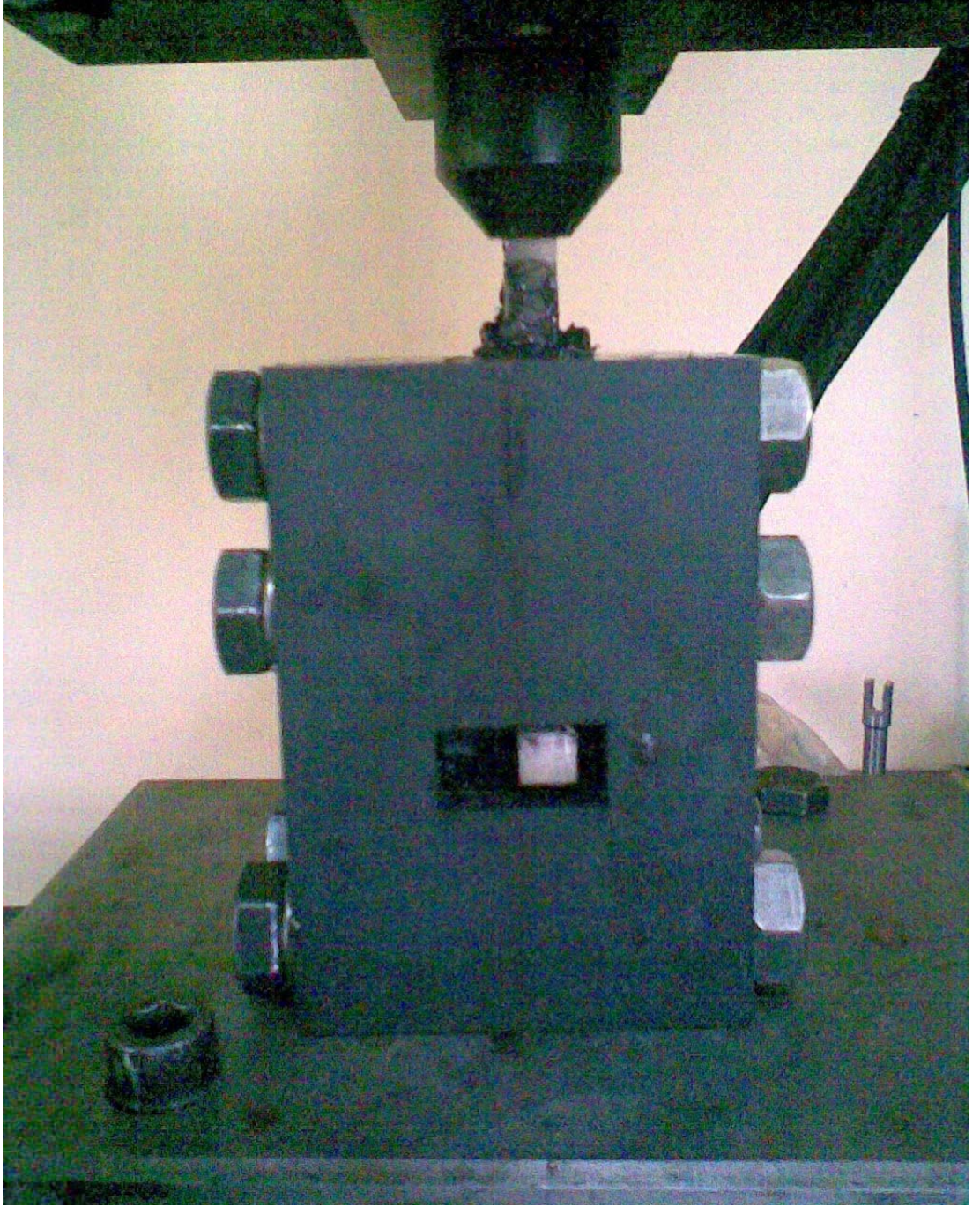
5. DENEY DÜZENEĞİ

Deney ITU Makine Fakültesi Mekanik Laboratuvarında yapılmıştır. Deney sırasında hazırlanan numuneler, EKAP kalıbı, ıstampalar ve strok kontrollü hidrolik pres kullanılmıştır. Sürtünmeyi en hafife indirebilmek için kalıp yüzeylerinde MoS₂ yağlayıcı olarak kullanılmıştır.

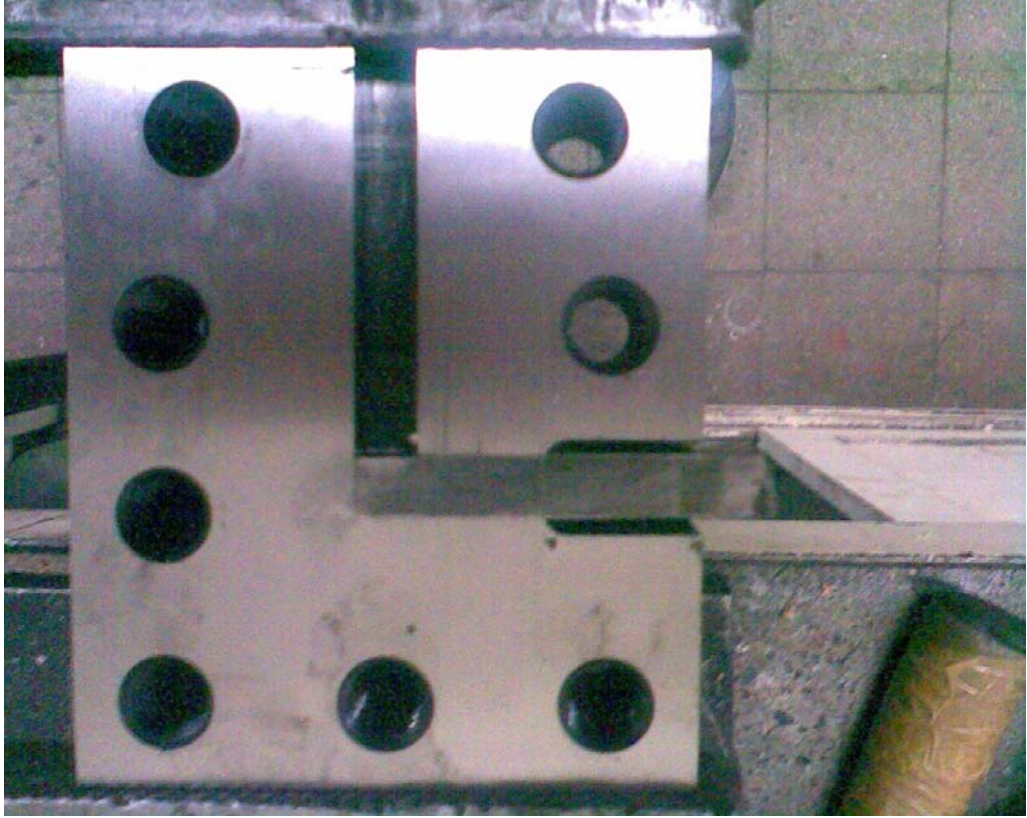


Şekil 5.1 Kullanılan EKAP kalıbının şematik montajı

Kalıp pres tablası üzerine bağlanmadan konulmuştur. Istampaya herhangi bir şekilde oluşabilecek burulma etkilerini azaltmak için prese oynayabilecek şekilde monte edilmiştir. Presleme hızı 0.1 mm/s olarak belirlenmiştir. Yaklaşık 60 KN presleme kuvveti ile malzemenin akması sağlanmıştır. Numunelere 1 sefer EKAP işlemi uygulanmıştır



Şekil 5.2 DARTEC basma çekme presi



Şekil 5.3 Kalıp içindeki ekaplanmış numune



Şekil 5.4 Ekaplanan numuneler

6. DENEY SONUÇLARI

Deney sonrasında toplam 13 numune elde edilmiştir. Bu numuneler arasında çözeltiye alınmış, çözeltiye alınıp doğal yaşlandırılmış, 1 sefer EKAP'lanmış ve 1 sefer EKAP'lanıp yapay yaşlandırılmış 4 farklı çeşit numuneler vardır. Numune sayıları Tablo 6.1 de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Deney sonrası numune tablosu

Numune Çeşidi	Adet
Çözeltiye Alınmış	2
Çözeltiye Alınmış ve doğal yaşlandırılmış	2
1 sefer Ekaplanmış	3
1 sefer Ekaplanmış ve yapay yaşlandırılmış	2

EKAP işleminin AA 2024 üzerindeki etkisini görebilmek için, bütün numunelerin sertlikleri ölçülmüştür.

Tablo 6.2. Çözeltiye alınmış 2 numunenin sertlik değerleri

Sertlik (H_v)	
Numune 1	Numune 2
74,3	74,7
75,1	74,3
74,7	77,1
76,5	75,1
75,15	75,3

Tablo 6.3. 1 sefer Ekaplanmış 3 numunenin sertlik değerleri

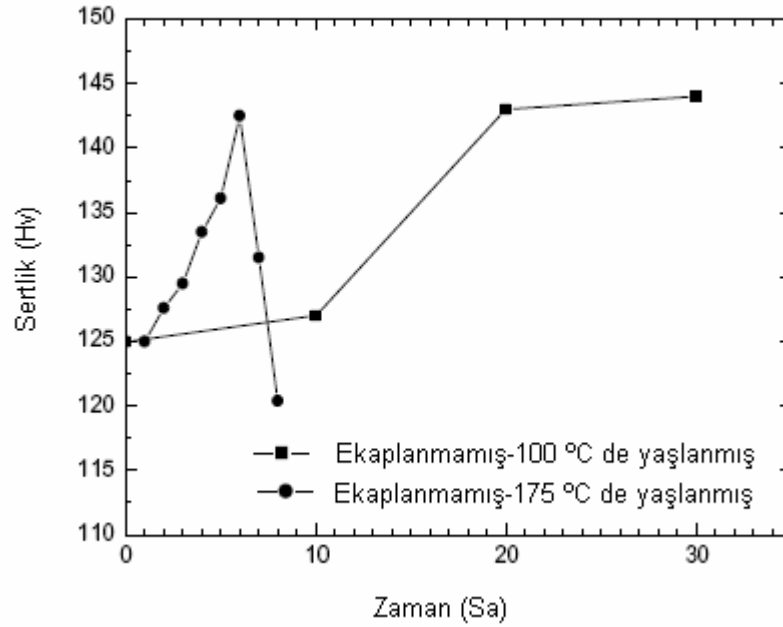
Sertlik (H_v)		
Numune 1	Numune 2	Numune 3
171,3	169,7	171,5
173,1	171,3	169,7
172,5	168,9	170,3
169,5	170,5	171,4
171,6	170,1	170,7

Bu testler sırasında yaşlandırılmak istenmeyen numuneler kuru buzun içersinde bekletilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemi için gereken numuneler buzun içersinden alınıp 72 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sertlik değerleri bu işlemeden sonra ölçülmüştür.

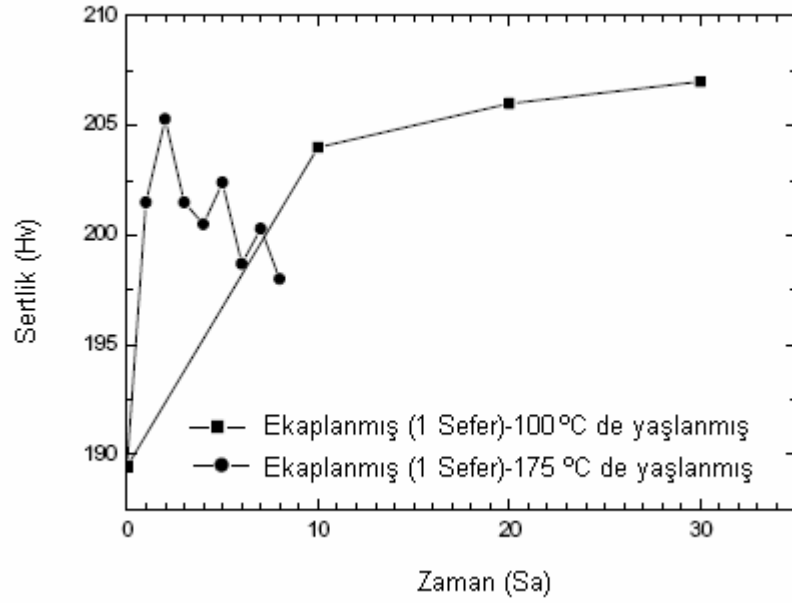
Tablo 6.4. Çözeltiye alınıp doğal yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri

Sertlik (H _v)	
Numune 1	Numune 2
125,4	128,3
127,8	127,1
126,4	128,3
129,8	127,4
127,3	127,8

1 sefer Ekaplanan numuneler 175 °C de fırında 2 saat süreyle yapay yaşlandırılmıştır. Ekaplanmamış AA2024 175 °C de 6 saat sonunda maksimum sertliğine ulaşırken Ekaplanan numune 2 saat sonunda maksimum sertlik değerine ulaşmaktadır.



Şekil 6.1 AA2024 ün Sertlik (H_v)-Zaman (Sa) Grafiği [12]



Şekil 6.2 1 sefer Ekaplanıp AA2024 ün Sertlik (Hv)-Zaman (Sa) Grafiği [12]

Tablo 6.5. 1 sefer Ekaplanmış ve yapay yaşlandırılmış numunelerin sertlikleri

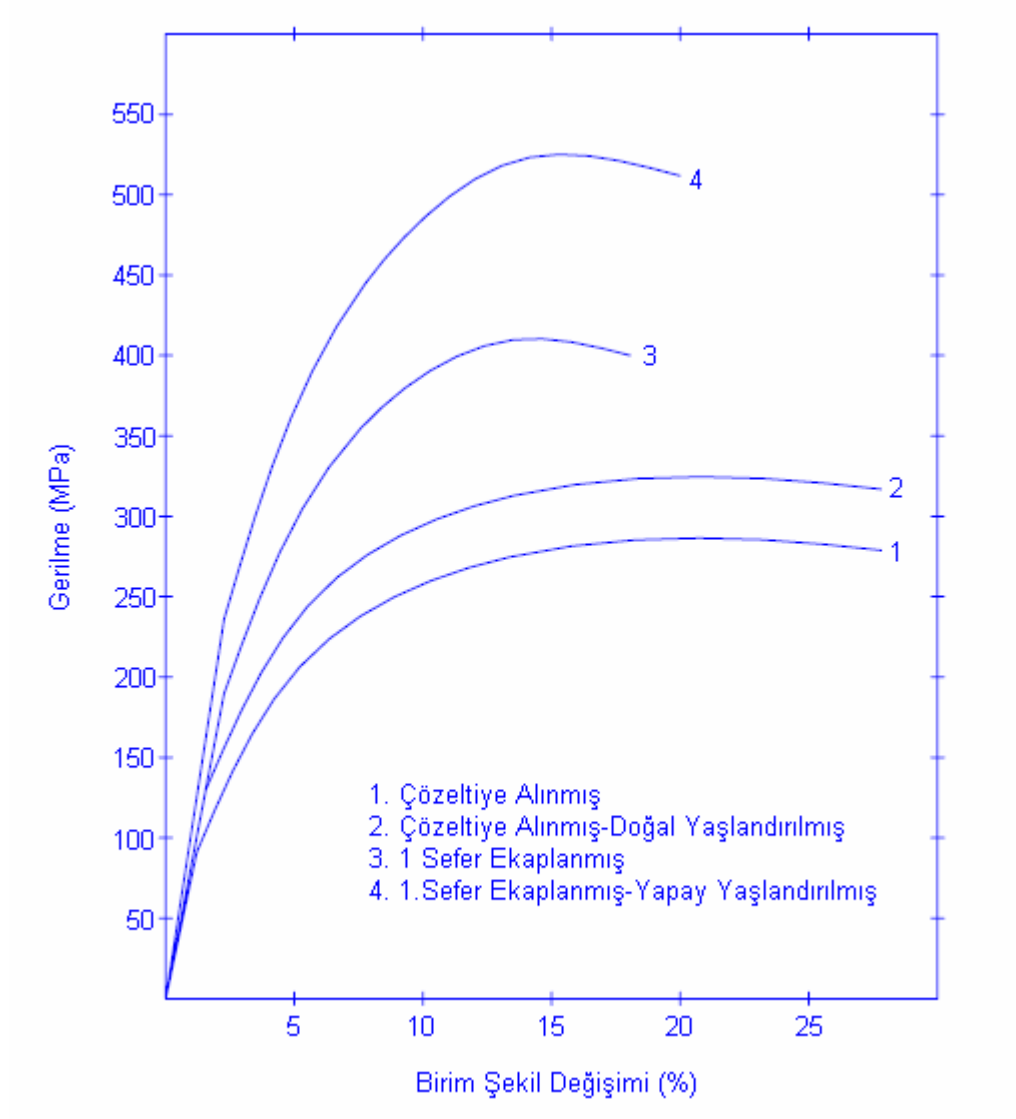
Sertlik (H _v)	
Numune 1	Numune 2
205,4	205,7
206,2	208,6
205,2	205,1
206,5	205,8
205,83	206,3

Sertlik ölçümleri tamamlandıktan sonra TSE-138'e göre yuvarlak çekme numuneleri tornada işlenerek hazırlanmıştır. Belirtilen adetlerdeki numuneler için çekme testleri uygulanmıştır. Bu testler ITU mekanik laboratuvarındaki çekme presi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.3 Çekme numuneleri

Çekme testleri sonrasında Şekil 6.4 deki gerilme ve birim şekil değiştirme grafiği elde edilmiştir.



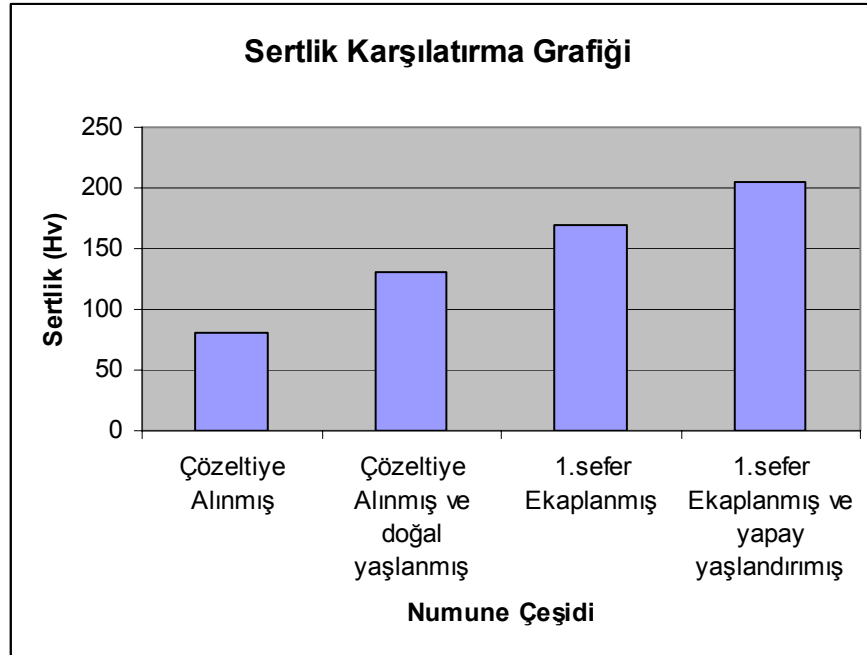
Şekil 6.4 Gerilme (MPa)- Birim Şekil Değişimi Grafiği (%)

7. DENEY SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Bu çalışmada amacımız AA2024 alaşımının ekaplandıktan sonra sertlik ve çekme mukavemetlerindeki değişimleri ve bununla beraber ekap işleminin yaşlandırmaya olan etkisini göstermektir.

Elde edilen sonuçların ışığı altında, çözeltiye alınmış numunelerin sertlik değeri 75 Hv civarında ölçülmüştür. 1 sefer Ekaplanma sonrası malzemenin sertlik değeri 170 Hv değerlerine ulaşmıştır. Bu sonuçla 1 sefer EKAP işleminden sonra AA2024 ün sertlik değeri 2 katından fazla bir değere ulaşmıştır. Katı çözeltiye alınan numuneler doğal yaşlandırmaya maruz bırakıldığında sertlik 130 Hv değerine çıkmaktadır. 1 sefer ekaplanan numuneler 175 °C de 2 saat süreyle yapay yaşlandırılmış ve sertlik 205 Hv değerlerine ulaşmıştır.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 deki grafiklerden anlaşıldığı gibi ekaplanmayan numuneler 175 °C de maksimum sertliğe 6 saatte ulaşmasına rağmen ekaplanan numuneler 2 saatte maksimum sertlik değerine ulaşmaktadır. Bu hızlanmış yaşlanmanın nedeni ekap sonrası artan dislokasyon yoğunluğudur. [12]

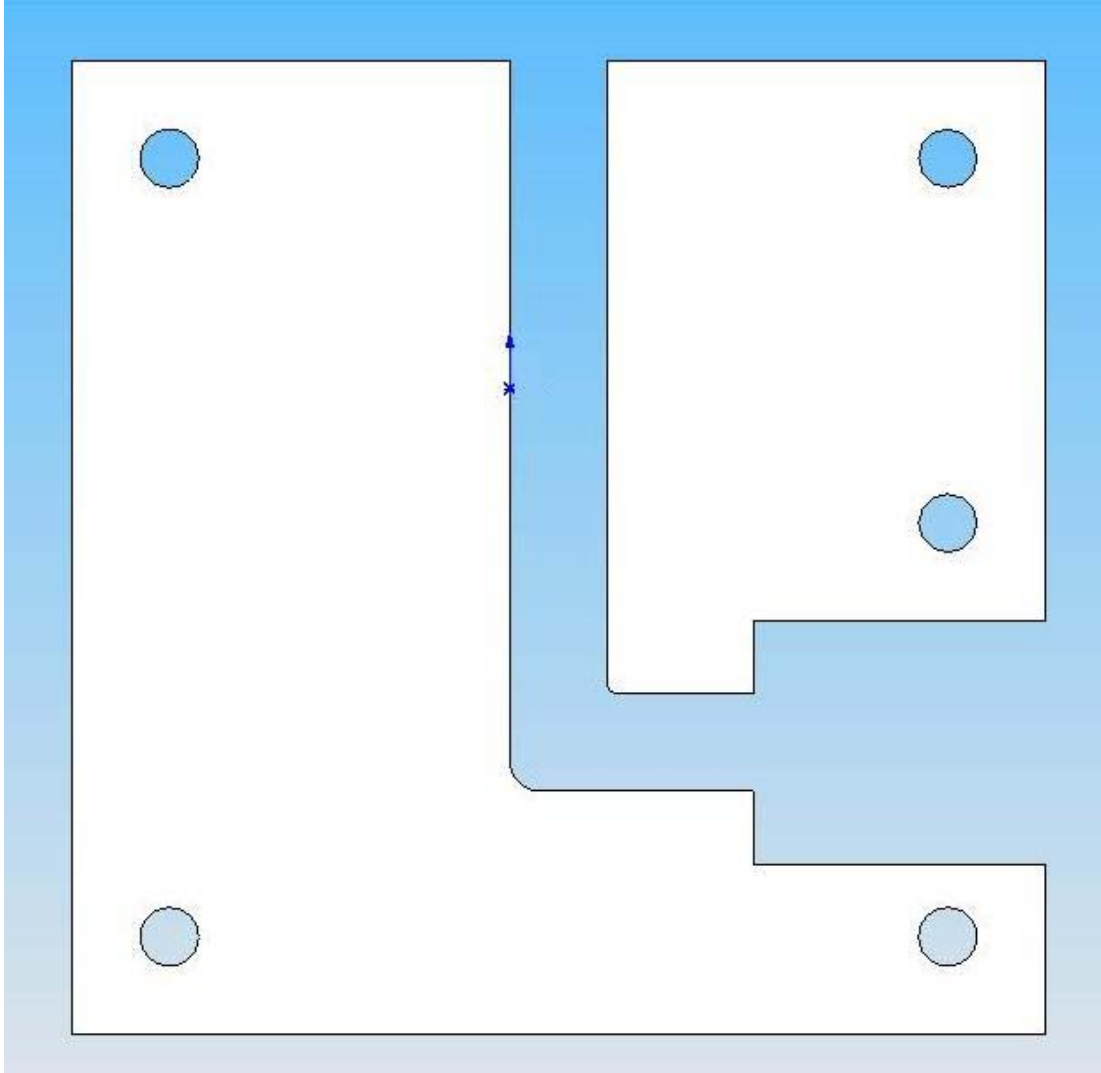


Şekil 7.1 Sertlik Karşılaştırma Grafiği

Çekme testleri sonrasında elde edilen değerlerin ışığı altında ekap işleminin malzemenin dayanımına katkısı tespit edilmiştir. Katı çözeltiliye alınmış malzemenin çekme dayanımı 260 MPa iken 1 sefer ekaplandıktan sonra bu değer 420 MPa değerlerine ulaşmıştır. Ekap sonrası yapay yaşlandırma ile çekme mukavemeti 520 MPa değerine ulaşmıştır. Katı çözeltiliye alındıktan sonra doğal yaşlandırma sonrası çekme dayanımı 310 MPa değerinde ölçülmüştür. Bu sonuçta 1 sefer ekaplama sonrası malzemenin çekme dayanımında gözle görülür bir artış olduğu gözlenmiştir. Malzemenin sertlik ve dayanımı plastik deformasyonla artabilen malzeme özellikleridir. Aşırı plastik deformasyonla daha küçük taneli bir yapı oluştuğu ve dislokasyon yoğunluğundaki önemli artıştan dolayı sertlik ve dayanımda daha fazla artış elde edilebilmektedir. Deney sonrası elde edilen sertlik ve dayanım değerleri bu olayı doğrulamaktadır.

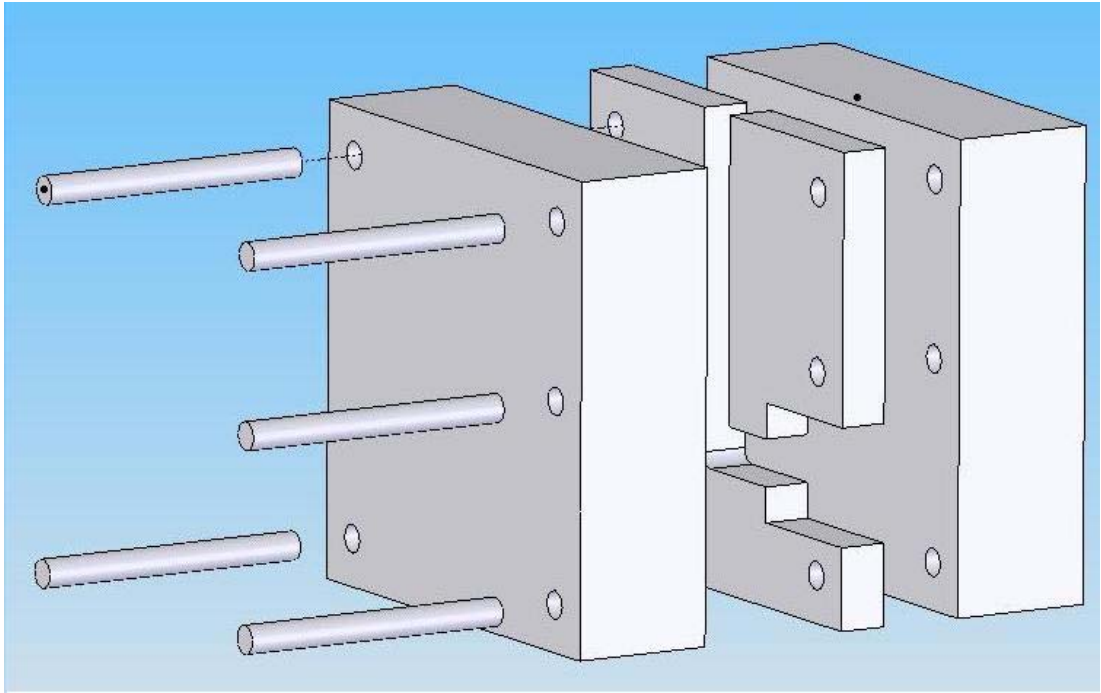
8. KALIP DİZAYNIYLA İLGİLİ ÖNERİLER

Yapılan deney çalışmalarında kullanılan kalıplarda şekil 5.1 de görüldüğü gibi kalıp formu ana plakaya işlenip yüzeyi taşlandıktan sonra yüzeyi taşlanmış düz bir plakayla kapatılmıştır. İki parça birbirine cıvata ile bağlanmıştır. İşleme yönünden kolay bir yöntem olmasına rağmen deney sırasında bazı problemlerle karşılaşmıştır. Bu problemler kalıp ana parçasının yük altında çatlaması ve basılan numunenin kalıp içinden çıkarılamamasıdır.



Şekil 8.1 Orta plaka detayı

Ana plakanın üzerinde açılan kanalda özellikle köşe bölgelerinde keskin köşeler oluşmaktadır. Şekil 3.2 de gösterildiği gibi bu bölgelerde presleme esnasında yüksek gerilmeler oluşmaktadır. İşleme veya ısıl işlemde oluşabilecek kılcal çatlaklar yük altında ilerlemekte ve kalıp ana plakasını çatlatmaktadır. Bunun için iki plaka yerine üç adet plaka kullanılacak ve kalıp formu ortadaki plakada olacaktır. Orta plaka detayları şekil 8.1 de gösterilmektedir. Orta plaka kendi içinde iki parçadan oluşmaktadır. Her defasında orta plakayı aynı şekilde takabilmek için parçalar üzerine pim delikleri delinecektir. Orta plakanın iki parçadan oluşmasının nedeni presleme esnasında parça yatay kanala sıkıştığı için çıkarılmasının zor olmasıdır. Şekil 8.2 de olduğu gibi orta plaka iki düz plaka arasına sıkılarak kalıp oluşturulacaktır.



Şekil 8.2 Kalıp montaj detayı

Bu üç plaka birbirine cıvatalarla bağlanabilir ama yapılan deneylerde cıvatalı bağlantı kullanılmış ve kalıp içine müdahale edebilmek için cıvatalın sökülmesi gerekmektedir. Kalıba etkiyen yükleri karşılayabilmek ve plakalar arasına numune sızmasını engellemek için plakaları 8 adet M14 cıvata ile bağlamak gerekmekte ve kontra somunlar ile cıvatalar desteklenmektedir. Cıvataların sökülmesi ve parça çıkarıldıktan sonra tekrar bağlanması zaman almaktadır. Bu zamanı minimuma indirmek ve kalıp içine kolaylıkla müdahale edebilmek için cıvata ile bağlantı yerine plakalar hidrolik mengene ile sıkılabilir. Gerekli sıkma kuvveti yağ basıncını

değiştirerek kolaylıkla ayarlanabilir. Kalıp açılmak istendiğinde mengene açılıp kolaylıkla parçalar ayrılabilir. Orta plaka iki parçadan oluştuğu için küçük parçanın pimleri alındığında numune kolaylıkla kalıptan alınabilecektir.

Malzeme olarak DIN 1.2344 sıcak iç takım çeliği kullanılabilir. Plakalar ısıtıl işlem yapılarak 50 HRC sertleştirilecek ve yüzeyleri taşlandıktan sonra bir araya getirilecektir. Burada dikkat edilmesi gereken husus sıkma esnasında parçaların birbirine gömülmemesi için parça sertlikleri aynı olacaktır. Orta plaka parçaları ısıtıl işleminden sonra CNC’de işlenecek ve kalıp formu ısıtıl işlemde oluşabilecek çarpmalardan korunacaktır. Ayrıca kanal köşelerine pah kırılmayacaktır. Pah kırılırsa numune presleme esnasında o bölgeye yürümekte ve ıstampa ile araya sıkışıp geri ekstrüzyon olmaktadır. Bu durumda presleme kuvveti artmakta ve Ekap işlemi gereği gibi yapılamamaktadır. Istampalar deneyde kullanılan ıstampalar ile aynı şekilde yapılabilir.

Bu kalıpla birlikte deney sırasında yaşanan problemler minimum seviyeye indirilebilir. Böylelikle her defasında basılan numuneler kolaylıkla çıkarılıp tekrar basılabilir. Deney sırasında zaman kaybı minimum seviyeye indiği için katı çözeltiye alınan numunelerin yaşlanmasını önlemek için kuru buz içinde muhafaza etme zamanı da otomatik olarak düşecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **R. Z. Valiev, T. G. Langdon**, 2006, Developments in the use of ECAP processing for grain refinement
- [2] **Furukawa, M., Horita, Z., Langdon T.G., Xu,C.**, 2003. Achieving a Superplastic Forming Capability through Severe Plastic Deformation, 5, 359
- [3] **Terence G. London** 2006, The principles of grain refinement in equal channel angular pressing
- [4] **Shun Cai Wang, Marco J. Starink, Nong GaoCheng Xu, T.G. Langdon**, 2005, Grain structure and texture development during ECAP of two heat-treatable Al-based alloys, Materials Science 10 (2006) 249-255
- [5] **Gholinia, A., Prangnell, P.B., Markushev, M.V.**,1999. The effect of strain path on the development of deformation structures in severely deformed alloys processed by ECEA, Acta Materialia, 48, 1115
- [6] **V.M. Segal**, 2004, Engineering and commercialization of equal channel angular extrusion (ECAE) Materials Science and Engineering A286 (2004) 269-276
- [7] **Furukawa, M., ., Horita, Z., Langdon, T.G., Nemoto, M.**, 2001. Processing of metals by equal-channel angular pressing, Journal of Materials Science, 36, 2835
- [8] **J.-P Mathieu, S.Suwas, A.Eberhardt, L.S. Toth, P.Moll** 2005, A New desing for equal channel angular extrusion, Journal of Materials Processing Technology 173 (2006) 29-33
- [9] **Enver Atik, Cevdet Meriç, Atilla Şahan**, 2001, TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş 2024 alüminyum alaşımının kaynak bölgesinin çökelme sertleşmesi bakımından incelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:3 Sayı.3 S.75-83
- [10] **Corin Chepko, Jaseem Dhanhani, Carlos Figueroa**, 2000, An experimental and analytical study of the properties of precipitation hardening alüminyum alloys

- [11] **Demirkol, M.**, 2006, Melzemelerin Mekanik Davranışı, ders notları, 3-10, 22 Ocak 2001, İTÜ, İstanbul.
- [12] **Kim,W.C., Chung,C.S., Ma D.S., Hong, S.I., Kim, H.K.**, 2003. Optimization of strenght and ductility of 2024 Al by equal channel angular pressing (ECAP) and post-ECAP aging, Scripta Materialia 49, 333-338
- [13] **Shubo Xu, Guoqun Zhao, Yiugo Luan, Yanjin Guan** 2006, Numerical studies on processing routes and deformation mechanism of multi-pass equal channel angular pressing process, Journal of Material Processing Technology 176 (2006) 252-259
- [14] **M.Saravanan, R.M. Pillai, B.C. Pal, M.Brahmakumar, K.R. Ravi** 2006, Equal channel angular pressing of pure aluminium-an analysis Bull. Materials Science, Vol.29, No.7 p.679-684
- [15] **Xing X.H., Nong C.X., Gang S.,Ping J.M., Jing X.X.**, 2006. Effect of ECAP on mechanical properties of 2024 Al alloy, Materials Science and Engineering A 1-3

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Manisa’da doğan Deniz Gürbüz. 2000 yılında Boğaziçi Üniversitesi Makine mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezun olduktan sonra Y&H mühendislikte 5 sene boyunca proje mühendisliğinden imalat müdürlüğüne kadar çeşitli görevlerde bulundu. Daha sonra bir Amerikan firması olan LYNCH sistemin yurtdışındaki belli projelerinde görev aldı. Aralık 2006 döneminde askere gidip Mayıs 2007 de askerlik görevini tamamladı. Şu an serbest olarak makine mühendisliği yapmaktadır. İngilizce dilini etkin olarak kullanabilmektedir.