

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

126508

**YÜKSEK HIZDA ŞEKİLLENDİRMEYE ETKİ EDEN
KALIP PAREMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Halil İbrahim DEMİRCİ , MSc.
(141201719960029)

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa KURT
Prof. Dr. İbrahim KADI**

126508

İSTANBUL 2002

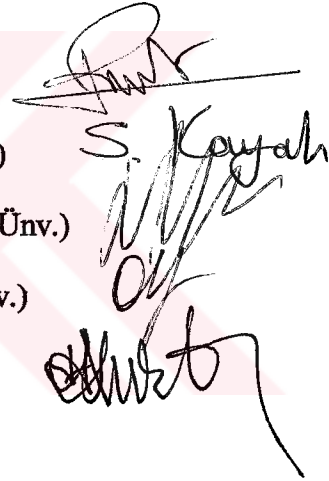
T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

**YÜKSEK HIZDA ŞEKİLLENDİRMEYE ETKİ EDEN KALIP
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Halil İbrahim DEMİRCİ'nin "Yüksek Hızda Şekillendirmeye Etki Eden Kalıp Parametrelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi" isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 29.05.2002 tarih ve B.30.2.MAR.0.C1.00.00/1457 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında DOKTORA Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mustafa KURT (Marmara Ün.)
Üye : Prof. Dr. E. Sabri KAYALI (İstanbul Tek. Ün.)
Üye : Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU (İstanbul Tek.Ünv.)
Üye : Prof. Dr. Osman YAZU ÇIOĞLU (Marmara Ün.)
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT (Marmara Ün.)

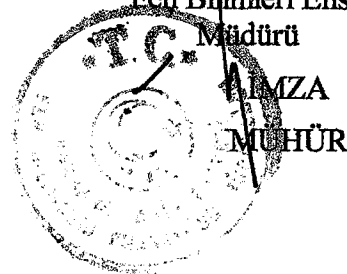


Tezin Savunulduğu Tarih : 17.06.2002

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17.2002 tarih ve 2002/11-70 sayılı kararı ile Halil İbrahim DEMİRCİ'nin Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında Doktora (Dr, PhD.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında Asetilen ve Oksijen gazları kullanılarak bir Çift Kademeli Detonasyonla Şekillendirme Makinası geliştirilmiştir. Elde edilen detonasyonla alüminyum alaşımlarının değişik kalıp ağız yarıçapı ve derinliklere sahip silindirik kalıplarda şekillenmesi esnasındaki kalıp parametreleri incelenmiştir. Geliştirilen Bilgisayar Kontrollü Ölçme sistemi ile şekillenme esnasındaki detonasyon hızı ve basıncı ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar aynı malzeme ile preste elde edilen sonuçlarla sistem olarak ve şekillenebilirlik miktarları açısından karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Mustafa KURT ve Prof. Dr. İbrahim KADI'ya deney donanımı için makine ve teçhizat temininde her türlü yardımı sağlayan Prof. Dr. Oğuz BORAT ve Prof. Dr. Zahit MECİTOĞLU'na, deney tesisatının kurulması için yer temini ve işlenmesinde atölye imkanı sağlayan Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Mustafa BALCI ve personeline, deneylerin yapılması sırasında yardımlarından dolayı Yrd. Doç .Dr. Mustafa YAŞAR'a, deneylerin analizi aşamasında ki yardımlarından dolayı KOSGEB'e, tezin yazılması aşamasındaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT'a, bu çalışmamda başından beri beni destekleyen aileme ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi'ndeki çalışmalarında beni yalnız bırakmayan tüm mesai arkadaşlarıma yardım ve tavsiyelerinden dolayı teşekkür ederim.

Mayıs 2002

Halil İbrahim DEMİRCİ

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖZET	I
SUMMARY	II
YENİLİK BEYANI	III
SEMBOL LİSTESİ	IV
KISALTMALAR	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLO LİSTESİ	VII
BÖLÜM I: GİRİŞ VE AMAÇ	1
I.1. GİRİŞ	1
I.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
BÖLÜM II: LİTERATÜR BİLGİLERİ	6
II.1.YÜKSEK HIZDA ŞEKİLLENDİRME	6
II.1.1.Yüksek Hızda Şekillendirmenin Özellikleri	6
II.1.2. Yüksek Hızda şekillendirmede Geri Esneme	10
II.1.3. Yüksek Hızda şekillendirmede Buruşuk ve Kırışıklıklar	12
II.1.4.Yüksek Hızda Şekillendirmenin Avantajları	13
II.1.5. Şok ve Basınç Dalgalarının Metaller Üzerindeki Etkileri.....	14
II.1.5.1. Yüksek Enerji ile Şekillenmede Mekanik davranışlar	14
II.1.5.2. Yüksek Hızda Şekillenmede Kullanılan Denklemler.....	18
II.1.6. Yüksek Hızda Sac Metallerin Şekillendirilmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar	20
II.2. PATLAYICILAR İLE ŞEKİLLENDİRME.....	23
II.2.1.Temas Halinde Olan Sistem	25
II.2.2.Temas Halinde Olmayan (Temassız) Sistem	26
II.2.2.1.Serbest Şekillendirme.....	26
II.2.2.2.Kalpla Şekillendirme.....	27
II.2.2.3.Patlamalı Şekillenmede Basınç Hesabı.....	28
II.2.2.4.Patlamalı Şekillendirmede Ortam Seçimi	28
II.2.2.5.Patlayıcı ile İş Parçası Arasındaki Mesafe (Stand-off)	29
II.2.2.6.Patlayıcının Miktarı ve Biçimi.....	30
II.2.3. Patlamalı Şekillendirmenin Avantajları.....	30

II.3.ELEKTRO MANYETİK (EMF) ŞEKİLLENDİRME	31
II.3.1. Deformasyon İşlemi	32
II.3.2 Parça ile İş Parçası Arasındaki Mesafe ve Radyal Boşluk	33
II.3.3 Gerilme Dağılımı.....	34
II.3.4 EM Şekillenmenin Avantajları.....	35
II.4.ELEKTRO-HİDROLİK ŞEKİLLENME.....	36
II.4.1. Şarj Voltajı ve Enerji Dönüşümü.....	38
II.4.2. Hidrostatik Mesafe	38
II.4.3. Elektrotlar ile İş Parçası Arasındaki Mesafe	39
II.4.4. Elektro-hidrolik Şekillendirmenin Teorik Analizi	39
II.5.GAZ DETONASYONU İLE ŞEKİLLENDİRME	40
II.5.1. Detonasyon Hızı	41
II.5.2. Detonasyon Basıncı.....	43
II.5.3. Üretim Örnekleri.....	44
II.5.5. Gaz Detonasyonu ile Şekillendirmenin Avantajları.....	45
II.6. DERİN ÇEKME.....	45
II.6.1. Derin çekme Yöntemleri	46
II.6.2. Derin Çekmenin Mekanığı	47
II.6.3. Silindirik Kapların Derin Çekilmesi	49
II.6.4. Çekme Aralığı (Zimba ile kalıp arasındaki boşluk).....	50
II.6.5. Sac Kalınlığının Derin Çekme İşlemi Esnasındaki Durumu	50
II.6.6. Derin Çekme Oranı ve Yeniden Derin Çekme.....	52
II.6.7. Derin Çekme Kabiliyetini Etkileyen Faktörler	53
II.6.7.1. Malzeme Özelliklerinin Etkisi.....	53
II.6.7.2. Kalıp Geometrisinin Etkisi	53
II.6.7.3. İşlem Koşullarının Etkisi	54
II.6.8. Derin Çekme İşlem Parametrelerinin Hesaplanması.....	55
II.6.8.1. Çekme Hızı	55
II.6.8.2. Baskı Plakası Basıncı	56
II.6.9. Metalik Sacların Derin Çekilme İşlemi Esnasında Görülen Hatalar	56
II.6.10. Kalıp Malzemeleri.....	58
II.7. SAC METALLERİN DETONASYONLA ŞEKİLLENMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	58
II.7.1. Plastik Anizotropi	59
II.7.1.1.Farklı R Değerine Bağlı Gerilme Ve Uzamalar.....	59
II.7.1.2. Kırışıklıklar(Oluklaşma).....	60
II.7.1.3. Kalınlık.....	63
BÖLÜM III: MATERYAL VE METOT	65
III.1 SUNUŞ.....	65
III.2.BİLGİSAYAR KONTROLLÜ KUMANDA VE ÖLÇME ÜNİTESİ...67	67
III.2.1.İyonizasyon Yöntemi.....	68
III.2.2.Kuvars Kristal Duyargaları ve Amplifikatörü	70
III.2.3.Dijital Osiloskop	70
III.2.4.Bilgisayar Destekli Ölçme (BDÖ) Sistemi.....	70
III.2.4.1.Detonasyon Hız Ölçümü.....	71
III.2.4.2.Detonasyon Basıncı Ölçümü	72
III.3. DERİN ÇEKME İŞLEM ÜNİTESİ	73
III.3.1. Çift Kademeli Detonasyon Tüpü (ÇKDT)	73

III.3.2. Kalıp Yuvası ve Hareketli Tabla.....	74
III.3.3. Baskı Plakası.....	75
III.3.4. Sabit Tabla ve Sütunlar	76
III.4. GAZ AKIŞ VE KONTROL ÜNİTESİ.....	76
III.5. ATEŞLEME ÜNİTESİ	77
III.6. VAKUMLAMA ÜNİTESİ.....	78
III.7. YAĞLAMA SİSTEMİ.....	80
III.8. SIZDIRMAZLIK SİSTEMİ	81
III.9. DENEYDE KULLANILAN KALIP VE HAZIRLANMASI.....	82
III.9.1. Kalıp Özelliklerinin Tespiti.....	83
III.9.2. Kalıp Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Parametreler.....	83
III.9.3. Kalıpların Sertleştirilmesi	85
III.10. ALÜMİNYUM SAC MALZEMELER VE DENEY İÇİN HAZIRLANMASI.....	86
III.10.1. Alüminyum Sacların Derin Çekme ve Presleme de Kullanımı	88
III.10.2. Alüminyum Levhanın Kodlanması.....	88
III.11. DENEYLERDE KULLANILAN PAREMETRELER VE ÖN DENEYLERİN YAPILIŞI	89
III.11.1. Reaktant Oranının Tespit Edilmesi.....	90
III.11.2. Şekillendirme ve İyonizasyon Deneylelerinin Yapılışı	92
III.11.3. Ön Deneyle ve Sonuçları	93
BÖLÜM IV: ÇKDŞM DENEYLERİ İLE DERİN ÇEKME DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	96
IV.1. SERBEST ŞEKİLLENDİRME DENEYLERİ	98
IV.1.1. Ortalama Detonasyon Basıncı 0,7 MPa Olan Serbest Şekillendirme Deneyleleri.....	99
IV.1.2. Ortalama Detonasyon Basıncı 0,6-0,68 MPa Olan Serbest Şekillendirme Deneyleleri.....	102
IV.1.2.1. 15 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Serbest Şekillenme Deneyleleri	102
IV.1.2.2. 10 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Serbest Şekillenme Deneyleleri	105
IV.1.2.3. 5 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Serbest Şekillendirme Deneyleleri	108
IV.1.3. Serbest Şekillenme Deneylelerinde Elde Edilen Sonuçların Kalıp Kavislerine Göre Değerlendirilmesi	111
IV.2. KALIP DERİNLİĞİNE GÖRE ŞEKİLLENDİRME DENEYLERİ	114
IV.2.1. $r = 5$ mm'lik Kalıp Üst Kavisinin Şekillenmeye Etkisi.....	116
IV.2.1.1. Kalıp derinliği 20 mm için yapılan deneyleler.....	116
IV.2.1.2. Kalıp derinliği 22,5 mm için yapılan deneyleler.....	121
IV.2.1.3. Kalıp derinliği 25 mm için yapılan deneyleler.....	123
IV.2.1.4. 5 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Deneylelerin Değerlendirilmesi ve Presto Elde Edilen Deneyle Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	125
IV.2.2. $r = 10$ mm'lik Kalıp Üst Kavisinin Şekillenmeye Etkisi.....	128
IV.2.2.1. Kalıp derinliği 20 mm için yapılan deneyleler.....	128
IV.2.2.2. Kalıp Derinliği 22,5 mm için yapılan deneyleler	131
IV.2.2.3. Kalıp Derinliği 25 mm için yapılan deneyleler	134
IV.2.2.4. Kalıp Derinliği 27,5 mm için yapılan deneyleler	137

IV.2.2.5. 10 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi ve Preste Elde Edilen Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	139
IV.2.3. r = 15 mm'lik Kalıp Üst Kavisinin Şekillenmeye Etkisi.....	142
IV.2.3.1. Kalıp derinliği 22,5 mm için yapılan deneyler.....	142
IV.2.3.2. Kalıp derinliği 25 mm için yapılan deneyler.....	145
IV.2.3.3. Kalıp derinliği 27,5 mm için yapılan deneyler.....	148
IV.2.3.4. Kalıp derinliği 30 mm için yapılan deneyler.....	150
IV.2.3.5. Kalıp derinliği 32,5 mm için yapılan deneyler.....	153
IV.2.3.6. 15 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi ve Preste Elde Edilen Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması.....	154
IV.2.4. Kalıp Üst Kavislerinin Şekillenmeye Etkisinin Karşılaştırılması.....	158
IV.2.4.1. Serbest Şekillendirme Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	158
IV.2.4.2. Kalıp Derinliği 25 mm, Kalıp Kavisini r= 5 mm, 10 mm ve 15 mm ile Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması.....	162
BÖLÜM V: SONUÇLAR.....	163
V.1. GAZ DETONASYONU İLE SERBEST ŞEKİLLENME DENEYLERİNDE VE PRESTE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	163
V.2. KALIP DERİNLİĞİ ESAS ALINARAK YAPILAN DENEYLERDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	170
V.3. GENEL SONUÇLAR.....	173
BÖLÜM VI: TARTIŞMA DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	175
VI.1. DENEY SONUÇLARININ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	175
VI.2. ÖNERİLER.....	179
KAYNAKLAR.....	181
EKLER.....	188
EK 1.ÇKDŞM İLE YAPILAN BAZI DENEY SONUÇLARI.....	188
EK 2. İYONİZASYON SİNYALLERİNİ FİZİKSEL BÜYÜKLÜKLERE ÇEVİRME VE HIZ ÖLÇÜMÜ.....	192
EK 3. BASINÇ DENEY SİNYALLERİNİ FİZİKSEL BÜYÜKLÜKLERE ÇEVİRME VE BASINÇ ÖLÇÜMÜ İÇİN HAZIRLANAN ALT PROGRAM.....	194
EK 4. KONVENSİYONEL METODLA (PRESTE) YAPILAN DERİN ÇEKME DENEYLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	196
EK 5. DETONASYON BİRİM UZAMA VE KALINLIK ÖLÇÜM DATALARINA ÖRNEKLER.....	198
EK 6. ÇİFT KADEMELİ DETONASYONLA ŞEKİLLENDİRME MAKİNASI (ÇKDŞM) YAPIM VE MONTAJ RESİMLERİ.....	199
ÖZGEÇMİŞ.....	200

ÖZET

YÜKSEK HIZDA ŞEKİLLENDİRMEYE ETKİ EDEN KALIP PAREMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Bu çalışmada, Yüksek Hızda Şekillendirme (YHS) tekniklerinden biri olan Gaz Detonasyonu ile Şekillendirme metodu kullanılarak alüminyum levhaların (Etial-5 ve Etial- 98) silindirik kap biçiminde şekillendirilmesine etki eden kalıp parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi araştırılmıştır. Bu amaçla Asetilen ($C_2 H_2$) - Oksijen (O_2) karışımıyla detonasyon elde edilen Çift Kademeli Detonasyonla Şekillendirme Makinası (ÇKDŞM) tasarlanarak imal edilmiştir. Sisteme gönderilen reaktant miktarı, Çift Kademeli Detonasyon Tüp (ÇKDT) hacminin % 50, % 60, % 80, %100, %120 veya % 140'ı oranında alınarak, manometre ve debi metrelerle bilgisayar kontrollü olarak yapılmış ve geliştirilen Bilgisayar Destekli Ölçme (BDÖ) sistemi ile detonasyon hızları ve detonasyon basınçları ölçülmüştür.

Kalıp derinliğinin serbest bırakıldığı şekillenme deneylerinde sisteme % 50 hacim oranında reaktant gönderilerek, kalıp üst yarıçapları (r) 5 mm, 10 mm ve 15 mm olan silindirik kalıplar içinde alüminyum levhaların şekillendirilme işlemi yapılmış, preste şekillendirilen parçalarla karşılaştırılmıştır. Kalıp derinliği sınırlanarak (20 mm - 22,5 mm- 25 mm - 27,5 mm - 30 mm -32,5 mm) çeşitli reaktant oranlarında ve kalıp kavislerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında detonasyon hız ölçümü ikinci tüp üzerinde, detonasyon basıncı ise kalıp üst yüzey bölgesinde yapılmıştır. Farklı kalıp kavislerindeki silindirik kalıplar içinde biçimlendirilen alüminyum levhaların uzama, kesitteki değişim ve kalıbı doldurma oranları ölçülerek analiz edilmiştir. Bu datalar preste, daha iyi şekillenme kabiliyeti olan Etial-5 malzemesi kullanılarak şekillendirilen parçalarla şekillenme oranı, birim uzama ve kesitteki değişim açısından karşılaştırılmıştır.

ÇKDŞM ile kullanılan her kalıp kavis ve kalıp derinliğinde yapılan deneylerde birim uzama, şekillenme, ulaşılan derinlik, kalıbı doldurma ve kesitteki daralma açısından preste elde edilen deneylerden % 30 ile % 50 arasında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Anahtar Kelimeler: Yüksek hızda şekillendirme, Gaz detonasyonu ile şekillendirme, Sacların şekillendirilmesi.

Mayıs 2002

Halil İbrahim DEMİRCİ

T.C. YÜKSEKÖCRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ABSTRACT

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF DEFORMATION OF ALUMINUM CYLINDRICAL CUPS FORMED UNDER HIGH VELOCITY BY USING GAS DETONATION

In this research, cylindrical cups formation of Aluminum alloy sheets (Etial-5-Etial-98) has been investigated by using detonation forming method. Double staged detonation forming machine system has been designed and manufactured to be achieved by Acetylene (C_2H_2) - Oxygen (O_2) mixture accepting as equal amount of the volume ratio of the mixture. % 60, % 80, % 100, % 120 or % 140 of volume of the reactant (mixture of $C_2H_2 - O_2$) for the Double Staged Detonation Tube (DSDT) has been controlled by manometer and flow meter in conjunction with a computer programme and PLG card. In the primary tube of the DSDT, it has been reached to shock speed and the detonation velocity was measured in the second tube and recorded by computer controlling system. The detonation energy achieved was directed towards the Aluminum sheet, inserted on the cup shaped die which is die radius 5, 10 and 15 mm and die height changed 20 to 32,5 mm, in order to achieve cup shaped formation. Volume of cup shape formability of the sheets has been evaluated. Formability amount of shaped Aluminum sheets obtained from detonation process of cylindrical dies has been measured for analysis of comparison of the results of conventional deep drawing.

The results obtained from experimental studies showed that the Double Staged Detonation machine system has better performances between 30 % and 50 % than conventional deep drawing process in this research.

Mayıs, 2002

Halil İbrahim DEMİRCİ

YENİLİK BEYANI

YÜKSEK HIZDA ŞEKİLLENDİRMEYE ETKİ EDEN KALIP PAREMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Bu çalışmada, yüksek hızda şekillendirmeye etki eden kalıp parametreleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla gaz (Asetilen -Oksijen) detonasyonu ile şekillendirme yapan, iki kademedan oluşan ve bilgisayar destekli olarak detonasyon basıncı, detonasyon hızını ölçebilen bir “Çift Kademeli Detonasyonla Şekillendirme Makinası” tasarlanmış ve imal edilmiştir. Şekillendirme işleminde Etial-5 ve Etial-98 alüminyum levhalar çeşitli derinlik ve kalıp üst kavisine sahip silindirik kalıplar üzerine yerleştirilerek çeşitli detonasyon basınçlarında biçimlendirilmiştir. Kalıp üst kavisleri ve kalıp derinlikleri esas alınarak şekillendirme işlemleri yapılmış, hangi kalıp kavisinde, hangi detonasyon basıncında ve hangi derinlikte ideal biçimlendirme olduğu saptanmıştır. İlk defa bu malzemelerin Yüksek Hızda Şekillenme kabiliyetleri incelenerek birbiri ile karşılaştırılmıştır. YHŞ kabiliyeti daha iyi olan Etial-5 ile aynı kalıplar ve özel olarak plastikten imal edilen zimbalarla geleneksel derin çekme deneyleri yapılarak, ÇKDŞM’de elde edilen deney sonuçları ile derinlik, birim uzama, kalıbı doldurma ve kalınlık değişimi yönünden karşılaştırılarak literatüre yenilik kazandırılmıştır. Ayrıca ÇKDŞM ile geleneksel (preste) derin çekme metotları karşılaştırılarak hangi sistemin daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur.

Bu konuyla ilgili yapılan literatür araştırmasında tek kademeli ve propan kullanılarak tas şeklinde yapılan çalışmaların olduğu görülmüştür. Bu çalışmalara ek olarak literatüre yeni bilimsel sonuçlar kazandırmak amacıyla daha yüksek detonasyon basıncının elde edilebildiği, yanıcı gaz olarak Asetilen kullanılmış ve başarılı bir sistemle silindirik şekilli parçalar biçimlendirilmiş ve derin çekme ile karşılaştırılmıştır.

Mayıs, 2002

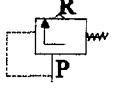
Prof. Dr. Mustafa KURT

H.İbrahim DEMİRCİ

SEMBOL LİSTESİ

ε	Deformasyon hızı	(mm/s)
ε	Birim şekil değişimi	
ε_{el}	Elastik deformasyon hızı	(mm/s)
ε_{pl}	Plastik deformasyon hızı	(mm/s)
σ	Gerilme	(MPa)
ρ	Dislokasyon yoğunluğu	(1/cm ²)
v	Dislokasyon hızı	(cm/s)
σ_0	Akma gerilmesi	(MPa)
$\sigma_{1,2,3}$	Asal gerilmeler	(MPa)
$\varepsilon_{1,2,3}$	Asal uzamalar	
σ_{eff}	Etkili gerilme	(MPa)
ε_{eff}	Etkili uzama	
σ_r	Referans gerilme	(MPa)
A	Statik akma gerilmesi	(MPa)
B	Burgers vektörü	
B	Mukavemet katsayısı	(MPa)
C	Uzama oranı katsayısı	(MPa)
D1	Kalıp dış çapı	
D2	Kalıp iç çapı	
DP_{mak}	Maksimum Detonasyon Basıncı	
DP_{ort}	Ortalama Detonasyon Basıncı	
D_v	Detonasyon Hızı	
D_{vort}	Detonasyon Ortalama Hızı	
E	Elastikiyet modülü	(MPa)
F	Kuvvet	(N)
k	Malzeme mukavemet katsayısı	(MPa)
K	Kullanılan patlayıcı sabiti	
L	Uzunluk	(m)
L₀	Başlangıç boyu	(mm)
L1	Kalıp boyu	
L2	Kalıp derinliği	
M	Kütlenin ağırlığı	(kg)
M	Deformasyon hızı duyarlılığı üssü	
N	Deformasyon sertleşmesi üssü	
P	Basınç	(MPa)
R	Patlayıcı ile iş parçası arasındaki mesafe	(mm)
R₁	Kalıp taban radisüs	
R₂	Kalıp üst kavisi	
S	Kalınlık	(mm)

t	Zaman	(s)
T	Sıcaklık	(°C)
t₁	Hız ölçüm başlangıç zamanı	s
t₂	Hız ölçüm bitiş zamanı	S
T_m	Ergime Sıcaklığı	(°C)
T_r	Referans sıcaklığı	(°C)
V	Kütlenin hızı	(m/s ²)
V₀	Başlangıç hacmi	(Mm ³)



Kontrol valfi



Debi metre



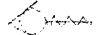
Kontrol vanası



Manometre



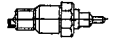
Alev kesici



Çek valf



Vakum pompası



Basınç ve Hız Sensörü

KISALTMALAR

BDÖ	: Bilgisayar Destekli Ölçme
YHŞ	: Yüksek Hızda Şekillenme
ÇKDT	: Çift Kademeli Detonasyon Tüpü
ÇKDŞM	: Çift Kademeli Detonasyonla Şekillendirme Sistemi
DSDT	: Double Staged Detonation Tube
DT	: Detonasyon Tüpü
DÇO	: Derin Çekme Oranı
DÇSO	: Derin Çekme Sınır Oranı
EHF	: Elektro Hidrolik Forming
EM	: Elektromanyetik
EMF	: Elektromanyetik Forming
HE	: High Explosive
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
HVF	: High Velocity Forming
HSS	: High Strength Steel
LPG	: Likit Petrol Gazı
MD	: Mild Steel
V_{ÇKDT}	: Çift Kademeli Detonasyon Tüp Hacmi
V_R	: Reaktant Hacmi

ŞEKİLLER LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil I.1. Yüksek Hızda Şekillendirmenin Zaman İçinde Gelişimi	2
Şekil II.1. Şekillenme Sınır Diyagramları	7
Şekil II.2. a) Alüminyum Alaşımı Kullanılarak YHŞ De Elde Edilen Dikdörtgen Şekilli Parça. b) 45°'lik Açılı ve Üstü Kapalı Yüzeyler Elde Etme. c) Alüminyum Malzemeden Düşük Isıda Şekillendirilmiş Bir Parça.....	8
Şekil II.3. Yüksek Hızda 31 mm Çapında ve 1x1 mm Ölçülerindeki (6061-T4) Halka Bir Parça Üzerinde Meydana Gelen Çatlak ve Yarıkların Süneklik ile Karşılaştırılması	9
Şekil II.4. Yüksek Hızda Parça Üzerinde Meydana Gelen Çatlak ve Yarıkların Süneklik ile Karşılaştırılması.....	10
Şekil II.5. Statik ve Yüksek Hızda Şekillenmede Geri Yaylanma İlişkisi	11
Şekil II.6. 6061-T6 Alüminyum Parçaların Elektromanyetik Olarak Bir Mandrel Üzerinde Şekillendirilmesi (E = Enerji Miktarı)	13
Şekil II.7. T-4 Alüminyum Sacların Elektromanyetik Metotla Çeşitli Hızlarda Şekillendirilmesi.....	13
Şekil II.8. Yüksek Hızda Şekillendirmede Gerilmenin Birim Şekil Değiştirmeye Etkisi.....	14
Şekil II.9. Ticari Saf Titanyumun Gerçek Gerilme-Gerçek Uzama Davranışının Birim Şekil Değiştirme Oranına Etkisi.....	17
Şekil II.10. 1100-O Alüminyumun akma gerilmesine bağlı olarak kesme birim şekil değiştirme oranının gösterilişi	17
Şekil II.11. Dome Testinde Deformasyon Hızının Maksimum Uniform Uzama Üzerindeki Etkisi	18
Şekil II.12. Toz Patlayıcı Kullanarak Temas Halinde Olan Sistem	25
Şekil II.13. Kapalı Bir Kalıpta Temassız Şekillendirme Metodu.....	25
Şekil II.14. (a)Açık Bir Kalıpla Serbest Şekillendirme Sistemi. (b)Yakın Kontak Serbest Şekillendirme Sistemi.....	26
Şekil II.15 Kalıp kullanarak gerçekleştirilen patlamalı şekillendirmenin safhaları 1- Sistemin hazırlanması 2- Patlama ve şekillenmenin başlangıcı 3- Şekillenmenin tamamlanması	27
Şekil II.16. a) Dökümle Elde Edilmiş b) Patlamalı Şekillendirme ile Elde Edilmiş Parçaların Karşılaştırılması (c). Patlamalı Şekillendirme ile Elde Edilen Dome	31
Şekil II.17. Elektromanyetik Şekillendirme.....	32
Şekil II.18. Deformasyon Esnasında Şekillenen Parçanın Yüksek Hızda Alınan Fotoğrafları	33
Şekil II.19. Parçanın Deformasyon Esnasında Oluşan Profilleri	33

Şekil II.20. Serbest Şekillendirilen Alüminyum Levhada Stand-Off Mesafesinin Merkezi Deformasyon Üzerindeki Etkisi	34
Şekil II.21. Çevresinden Şişirilerek Şekillendirilen Tüplerde Çevresel Ve Aksiyal Şekil Değiştirme Dağılımı	35
Şekil II.22. Elektro-Hidrolik Yöntemle Şekillendirme	36
Şekil II.23. Elektro-Hidrolik Yöntemle Şekillendirme A) Düz Sac Metalden Üretilen Parçalar İçin B) Tüp Şeklindeki Parçalar İçin.....	38
Şekil II.24. Serbest Şekillendirilmiş Alüminyum Sac Levhada Hidrostatik Mesafenin Merkezi Deformasyon Üzerindeki Etkisi	38
Şekil II.25. Serbest Şekillendirilmiş Bakır Sac Metalde Stand-Off Mesafesinin Merkezi Deformasyona Etkisi.....	39
Şekil II.26. Yüksek Patlayıcılarla Yanıcı Gaz Karışımlarının Verdikleri Enerjilerin Karşılaştırılması	40
Şekil II.27. Detonasyon Hızının Asetilen-Oksijen ve Asetilen Hidrojen Karışım Oranları İle Değişimi.....	42
Şekil II.28. O ₂ -Lpg Karışımları ile Yapılan Deneylerde Ateşleme Noktasından Uzaklığa Göre Detonasyon Hızının Ulaştığı Değerler	42
Şekil II.29. CH ₂ -O ₂ Ortamında Basıncın Patlama Limitine Etkisi	43
Şekil II.30. Gaz Detonasyonu ile Şekillendirilen Parçalardan Örnekler	44
Şekil II.31. Basit Bir Derin Çekme İşlemi.....	45
Şekil II.32. Derin Çekmenin Mekanığı A) Eğilme B) Sıkıştırma.....	47
Şekil II.33. Derin Çekme Esnasında Parçada Boylamsal Kısımlarda Meydana Gelen Gerilmeler.....	47
Şekil II.34. Silindirik Bir Kabın Derin Çekme İle Üretilmesi	49
Şekil II.35. Çekme İşlemi Esnasında Çekme Sacına Etki Eden Kuvvetler	50
Şekil II.36. Çekme İşlemi Başlangıcında ve İşlem Sırasında Sacın Durumu.....	51
Şekil II.37. Derin Çekme İle İmal Edilmiş Silindirik Bir Kapta Cidar Kalınlıkları (Sac Kalınlığı E = 1mm, D = 12 mm, D1= 22 mm, H = 21 mm)	52
Şekil II.38. Derin Çekme İşleminde Görülen Çekme Hataları	57
Şekil II.39. Farklı R Değerleri İçin a) Gerilme Düzlemi b) Uzama Düzlemi	60
Şekil II.40. Farklı R Değeri ile Birim Uzamanın Değişimi	62
Şekil II.41. Anizotropik Özelliğe Bağlı Kalınlık Davranışları.....	63
Şekil III.1. Çift Kademeli Detonasyonla Şekillendirme Makinesi (ÇKDŞM)	66
Şekil III.2. Detonasyonla Şekillendirme Deney Donanım Akış Şeması.....	67
Şekil III.3. Bilgisayar Kontrollü Kumanda ve Ölçme Ünitesi	68
Şekil III.4. Basit Bir İyonizasyon Yöntemi.....	68
Şekil III.5. Detonasyon Hızı Ölçümünde Kullanılan Elektronik Devre	69
Şekil III.6. Detonasyon Hız Ölçüm Grafiği.....	72
Şekil III.7. Ölçülen Detonasyon Basınç Grafiği.....	73
Şekil III.8. Detonasyonla Şekillendirme Makinası (ÇKDŞM)	74
Şekil III.9. Kalıp Yuvası ve Hareketli Tabla	75
Şekil III.10. Deneyler Esnasında Kullanılan Baskı Plakası	76
Şekil III.11. Ateşleme Ünitesi	77
Şekil III.12. Vakumlama Şeması.....	78
Şekil III.13. Vakumlama Yapılmadan ve Vakumlama Yapılarak Şekillenmiş Parçaların Karşılaştırılması.	79
Şekil III.14. Kalıp Boşluğu ve Yuvasının Sızdırmazlığının Sağlanması.....	82
Şekil III.15. Deneylerde Kullanılan Kalıplar	85
Şekil III.16. Deneylerde Kullanılan Kalıp Kesiti ve Ölçüleri.....	85
Şekil III.17. Şekillenecek Parçalar Üzerine Uygulanan Polar Koordinat Sistemi	89

Şekil III.18. Çkdt'ye Giren Gaz Miktarını Ölçmek İçin Kullanılan Deney Sistemi	91
Şekil III.19. Sızdırmazlık Sistemi	94
Şekil III.20. Kalıp Tabanına Derinlik Ayarı İçin Yerleştirilen İdeal Altlık	95
Şekil III.21. Bazı Ön Deney Sonuçları	95
Şekil IV.1. Derin Çekme Deneylerinde Kullanılan Kalıp Sistemi	97
Şekil IV.2. Derin Çekme İşleminde Kullanılan Zımbalar ve Ölçüleri a) Serbest Şekillenme İçin b) Kalıp Derinliği Sınırlanan Şekillenmeler İçin	97
Şekil IV.3. Serbest Şekillendirme Deney Düzenegi	98
Şekil IV.4. Ön Deneylerde % 60 Reaktant Oranında Etial-5 İçin Elde Edilen Maksimum Detonasyon Hızı ve Basınç Grafikleri.....	100
Şekil IV.5. 15 mm'lik Kalıp Kavisinde Preste Derin Çekmede Etial-5 İle Elde Edilen Deney Sonucu	103
Şekil IV.6. Kalıp Kavisini 15 mm İçin Etial-5 İle ÇKDŞM ve Presle Şekillendirilen Parçalarda Kalınlığın Kesit Boyunca Değişimi	104
Şekil IV.7. Kalıp Kavisini 15 mm İçin Etial-5 İle ÇKDŞM ve Presle Şekillendirilen Parçaların Birim Uzama Grafikleri	104
Şekil IV.8. 15 mm'lik Kalıp Kavisinin Etial-5 İle Preste Ve ÇKDŞM'da Yapılan Deneylerde Şekillenmeye Etkisi	105
Şekil IV.9. Kalıp Üst Kavisini 10 Mm İçin Etial-5 Malzeme İle Preste Yapılan Deney Sonucu.....	106
Şekil IV.10. Kalıp Kavisini 10 Mm İçin Etial-5 İle Preste Ve ÇKDŞM'da Elde Edilen Birim Uzama Grafiği	107
Şekil IV.11. Kalıp Kavisini 10 Mm İçin Etial-5 İle Preste Ve ÇKDŞM'da Elde Edilen Kalınlıkların Kesitlerdeki Değişimi	107
Şekil IV.12. 10 Mm'lik Kalıp Kavisinin Etial-5 Malzemede ÇKDŞM Ve Preste Şekillenmeye Etkisi	108
Şekil IV.13. Kalıp Kavisini 5 Mm İçin Geleneksel Metotla Etial-5 İle Yapılan Derin Çekme Deneyi.....	109
Şekil IV.14. Kalıp Kavisini 5 Mm İçin ÇKDŞM Ve Presle Elde Edilen (Etial-5) Derin Çekme Deneylerinin Birim Uzama Grafikleri	110
Şekil IV.15. Kalıp Kavisini 5 Mm İçin ÇKDŞM Ve Preste Yapılan (Etial-5) Deneylerinin Birim Uzama Grafikleri	110
Şekil IV.16. 5 Mm'lik Kalıp Kavisinin Etial-5 Malzemede Şekillenmeye Etkisinin Karşılaştırılması	111
Şekil IV.16. 5 Mm'lik Kalıp Kavisinin Etial-5 Malzemede Şekillenmeye Etkisinin Karşılaştırılması	111
Şekil IV.17. ÇKDŞM'da Ve Preste Elde Edilen Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması.	112
Şekil IV.18. Serbest Şekillenmede ÇKDŞM'da Ve Preste Elde Edilen Kalıp Derinliklerinin Karşılaştırılması	112
Şekil IV.19. Kalıp Altlığı Kullanarak Detonasyonla Şekillendirme.....	114
Şekil IV.20. ÇKDŞM'da Yapılan Deneylerde Reaktant Oranı İle Detonasyon Hızı Arasındaki İlişki.....	115
Şekil IV.21. ÇKDŞM'da Yapılan Deneylerde Reaktant Oranı İle Ortalama Detonasyon Basıncı Arasındaki İlişki.....	116
Şekil IV.22. ÇKDŞM'da Yapılan Deneylerde Reaktant Oranı İle Maksimum Detonasyon Basıncı Arasındaki İlişki.....	116
Şekil IV.23. Deney Sırasında Ölçülen Detonasyon Basınç ve Hız Grafiği.....	119

Şekil IV.24. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 5 mm'lik Kalıp Kavisinde 20 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması	122
Şekil IV.25. Etial-5 Ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 5 mm'lik Kalıp Kavisinde 20 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması	122
Şekil IV.26. % 80 Reaktant Oranında 22,5 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 Deneyinde Ölçülen Hız ve Basınç Grafiği.....	123
Şekil IV.27. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 5 mm'lik Kalıp Kavisinde 22,5 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması.....	123
Şekil IV.28. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 5 mm'lik Kalıp Kavisinde 22,5 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması.....	123
Şekil IV.29. 25 mm Kalıp Derinliğinde % 60 Reaktant Oranında Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Basınç ve Hız Grafiği.....	125
Şekil IV.30. Kalıp Kavis Yarıçapı 5 mm İçin Etial-5 İle Preste ve ÇKDŞM'da Şekillendirilen Parçalar.....	126
Şekil IV.31. Kalıp Üst Kavis 5 mm İçin Presle ve Detonasyonla Şekillenen Parçaların Birim Uzama Grafikleri.....	126
Şekil IV.32. 5 mm'lik Kalıp Üst Kavis İçin Presle ve Detonasyonla Elde Edilen Kesitteki Değişim Oranları.....	127
Şekil IV.33. 5 mm'lik Kalıp Kavisinde Kalıp Derinliğinin Şekillenmeye Etkisinin Karşılaştırılması.....	127
Şekil IV.34. % 100 Reaktant Oranında Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Hız ve Basınç Grafiği	130
Şekil IV.35. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 10 mm'lik Kalıp Kavisinde 20 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} Ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması.	130
Şekil IV.36. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 10 mm'lik Kalıp Kavisinde 20 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması	131
Şekil IV.37. 22,5 mm Kalıp Derinliğinde % 100 Reaktantta Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Hız ve Basınç Grafiği.....	133
Şekil IV.38. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 10 Mm'lik Kalıp Kavisinde 22,5 mm Derinlikte Elde Edilen Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması	134
Şekil IV.39. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 10 mm'lik Kalıp Kavisinde 22,5 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması.	134
Şekil IV.40. 25 mm Kalıp Derinliğinde % 100 Reaktant Oranında Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Hız ve Basınç Grafiği.....	136
Şekil IV.41. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 10 mm'lik Kalıp Kavisinde 22,5 mm Derinlikte Elde Edilen Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması	137
Şekil IV.42. Etial-5 Ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 10 mm'lik Kalıp Kavisinde 22,5 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması.	137
Şekil IV.43. 25 mm Kalıp Derinliğinde % 100 Reaktant Oranında Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Hız ve Basınç Grafiği.....	139

Şekil IV.44. Kalıp Kavisi 10 mm İçin Preste (a) ve ÇKDŞM'da Etial-5 ile 20 mm (B), 22,5 mm (C), 25 mm (D) Ve 27,5 mm(E) Derinlikte Elde Edilen Dene Sonuçları.....	140
Şekil IV.45. Kalıp Kavisi 10 mm İçin 10 mm'lik Kalıp Kavisinde ÇKDŞM ve Preste Elde Edilen Parçaların Birim Uzama Grafikleri.....	141
Şekil IV.46. Preste ve ÇKDŞM'da Etial-5 ile Elde Edilen Parçaların Kesitteki Değişim Oranları.....	141
Şekil IV.47. 10 mm'lik Kalıp Kavisinde Kalıp Derinliğinin Şekillenmeye Etkisi.....	142
Şekil IV.48. % 120 Reaktant Oranında Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Hız ve Basınç Grafiği.....	144
Şekil IV.49. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 15 mm'lik Kalıp Kavisinde 27,5 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması.....	145
Şekil IV.50. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 15 mm'lik Kalıp Kavisinde 22,5 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması.....	145
Şekil IV.51. % 120 Reaktantta Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Hız ve Basınç Grafiği.....	147
Şekil IV.52. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 15 mm'lik Kalıp Kavisinde 25 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması.....	148
Şekil IV.53. Etial-5 Ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 15 mm'lik Kalıp Kavisinde 25 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması.....	148
Şekil IV.54. % 100 Reaktantda Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Hız ve Basınç Grafiği.....	149
Şekil IV.55. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 15 mm'lik Kalıp Kavisinde 27,5 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması.....	150
Şekil IV.56. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 15 mm'lik Kalıp Kavisinde 27,5 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması.....	150
Şekil IV.57. % 100 Reaktant Oranında Etial-5 Deneyinde Ölçülen Detonasyon Basınç ve Hız Grafiği.....	152
Şekil IV.58. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 15 mm'lik Kalıp Kavisinde 30 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Taban Çaplarının Karşılaştırılması.....	152
Şekil IV.59. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle 15 mm'lik Kalıp Kavisinde 30 mm Derinlikte Elde Edilen D_{port} ve Kalıbı Doldurma Oranlarının Karşılaştırılması.....	153
Şekil IV.60. Kalıp Kavisi 15 mm İçin Preste (a) Ve ÇKDŞM'da 22,5 mm (b), 25 mm (c), 27,5 mm (d) ve 30 Mm(e), Derinliklerinde Yapılan Dene Sonuçları.....	155
Şekil IV.61. Kalıp Kavisi 15 mm için Yapılan Deneylerin Birim Uzama Grafikleri a) Presle $H = 27,5$ mm b) ÇKDŞM'da $H = 22,5$ mm c) ÇKDŞM'da $H = 25$ mm d) ÇKDŞM'da $H = 27,5$ mm e) ÇKDŞM'da $H = 30$ mm.....	156
Şekil IV.62. Kalıp Kavisi 15 mm İçin Yapılan Deneylerin Kesitteki Değişim Grafikleri A) Presle $H = 27,5$ mm B) ÇKDŞM'da $H = 22,5$ mm C) ÇKDŞM'da $H = 25$ mm D) ÇKDŞM'da $H = 27,5$ mm E) ÇKDŞM'da $H = 30$ mm.....	157

Şekil IV.63. 15 mm Kalıp Kavisinde Kalıp Derinliğinin Şekillenmeye Etkisinin Karşılaştırılması	157
Şekil IV.64. ÇKDŞM İle Serbest Şekillenme Deneylerinde Elde Edilen Sonuçlar. A) Kalıp Kavis 15 mm İçin B) Kalıp Kavis 10 mm İçin C) Kalıp Kavis 5 mm İçin Elde Edilen Deney Sonucu	158
Şekil IV.65. ÇKDŞM İle Serbest Şekillendirilen Parçaların Birim Uzama Grafikleri.....	159
Şekil IV.66. ÇKDŞM İle Serbest Olarak Elde Edilen Parçaların Kesitteki Değişim Oranları	160
Şekil IV.67. Farklı Kalıp Üst Radüslerinde Presle Şekillendirilen Parçalar.....	161
Şekil IV.68. Presle Serbest Olarak Şekillendirilen Parçaların Birim Uzama Grafikleri.....	162
Şekil IV.69. Preste Serbest Olarak Şekillendirilen Parçaların Kesitteki Değişim Oranları	162
Şekil IV.70. 25 mm Kalıp Derinliğinde Farklı Kalıp Kavisleri İçin ÇKDŞM İle Yapılan Deney Sonuçları.....	163
Şekil IV.71. 25 mm Kalıp Derinliğinde ÇKDŞM İle Elde Edilen Parçaların Birim Uzama Grafikleri	163
Şekil IV.72. 25 mm Kalıp Derinliğinde ÇKDŞM İle Elde Edilen Parçaların Birim Uzama Grafikleri	164
Şekil IV.73. Farklı Kalıp Üst Radüslerinde Zimba İle Presle Şekillendirilen Parçalar.	165
Şekil IV.74. Presle Farklı Kalıp Üst Kavislerinde Şekillenen Parçaların Birim Uzama Grafikleri	166
Şekil IV.75. Presle Farklı Kalıp Üst Kavislerinde Şekillenen Parçaların Kesitteki Değişim Grafikleri.....	166
Şekil VI.1. ÇKDŞM İle Serbest Olarak Üç Kalıp Kavisinde (5,10,15 mm) Elde Edilen Sonuçların Literatürden Elde Edilen Datalar İle Uzama Oranı Açısından Karşılaştırılması.....	176
Şekil VI.2. ÇKDŞM İle Serbest Olarak Üç Kalıp Kavisinde Elde Edilen Sonuçların Literatürden Elde Edilen Datalar ile Kesitteki Değişim Açısından Karşılaştırılması.....	177
Şekil VI.3. 0,55 mm Kalınlığında Deformasyona Uğrayan Bakır Diskler. Merkez Nokta Deformasyon Miktarı (Soldan Sağa) : 10,95-13,45-14,4-16,15 mm.....	178
Şekil VI.4. 0,9 mm Kalınlığında Deformasyona Uğrayan Bakır Diskler. Merkez Nokta Deformasyon Miktarı (Soldan Sağa) : 10,95-13,45-14,4-16,15 mm.....	178

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo II.1. Çekme Kuvvetinin Hesabında d/D Oranına Bağlı Olarak m Değerleri	49
Tablo II.2. Çekme İşinin Hesabında d/D Oranına Bağlı Olarak x Değerleri	49
Tablo II.3. Silindirik Çekmelerde Malzemelerin Cinsine Göre Çekme Hızları	55
Tablo II.4. Malzemelerin Cinsine Göre Müsaade Edilen Maksimum Yüzde Çekme Azalma Oranları	56
Tablo II.5. Çeşitli Malzemeler İçin Gerekli Baskı Plakası Basınçları	56
Tablo III.1. Asetilen Gazının Fiziksel Özellikleri	77
Tablo III.2. Deneylerde Kullanılan Kalıplara Ait Ölçüler	85
Tablo III.3. Deneylerde Kullanılan Alüminyumun Kimyasal Bileşim Limitleri (% Ağırlık)	86
Tablo III.4. Deneylerde Kullanılan Alüminyumların Diğer Standartlardaki Karşılıkları.....	86
Tablo III.5. Deneylerde Kullanılan Alüminyumların Mekanik Özellikleri ve Tipik Kullanım Yerleri (Ts 923)	86
Tablo III.6. Deneylerde Kullanılan Alüminyumların Çekme Deney Sonuçları	86
Tablo III.7. Etial-98 ve Etial-5 malzemelerin kimyasal analiz Sonuçları.....	87
Tablo III.8. Debi Kalibrasyon Deneyleri Sonuçları.	91
Tablo III.9. Deneylerin Yapılış Sırası.....	93
Tablo IV.1. Derin Çekme Deneylerinde Kullanılan Kalıpların Özellikleri	97
Tablo IV.2. r = 15 mm'lik Kalıpta % 60 Reaktant Oranında Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle Yapılan Deney Sonuçları ve Özellikleri.....	99
Tablo IV.3. r = 15 mm'lik Kalıpta % 50 Reaktant Oranında Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle Yapılan Deney Sonuçları ve Özellikleri.....	102
Tablo IV.4. r =10 mm'lik Kalıpta % 50 Reaktant Oranında Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle Yapılan Deney Sonuçları ve Özellikleri.....	116
Tablo IV.5. r = 5 mm'lik Kalıpta % 50 Reaktant Oranında Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum Malzemelerle Yapılan Deney Sonuçları ve Özellikleri.....	119
Tablo IV.6. Kullanılan Kalıp Ağız Yarıçaplarına Göre Ulaşılan Derinlik ve Kalıbı Doldurma Oranları.	112
Tablo IV.7. ÇKDŞM'de Ölçülen Ortalama Detonasyon Hızı, Ortalama Detonasyon Basınç ve Maksimum Detonasyon Basınç Değerleri.	115
Tablo IV.8. Kalıp Kavisi 5 mm için % 60 Reaktant Oranında Elde Edilen Şekillendirilmiş Levhalar	117
Tablo IV.9. Kalıp Kavisi 5 mm için % 80 Reaktant Oranında Elde Edilen Şekillendirilmiş levhalar	117
Tablo IV.10. Kalıp Kavisi 5 mm için % 100 Reaktant Oranında Elde Edilen Şekillendirilmiş levhalar	118

Tablo IV.11. Kalıp Kavisi 5 mm için % 120 Reaktant Oranında Elde Edilen Şekillendirilmiş levhalar	119
Tablo IV.12. Kalıp Kavisi 5 mm için % 140 Reaktant Oranında Elde Edilen Şekillendirilmiş levhalar	120
Tablo IV.13. Kalıp Kavisi 5 mm için % 60 ve % 80 Reaktant Oranında 22,5 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile ÇKDŞM'da Şekillendirilmiş levhalar	122
Tablo IV.14. Kalıp Kavisi 5 mm için % 60 Reaktant Oranında 25 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile Elde Edilen Şekillendirilmiş levhalar	124
Tablo IV.15. Kalıp Kavisi 10 mm için % 60, % 80, % 100 ve % 120 Reaktant Oranında Etial-5, Etial-98 ile Elde Edilen Şekillendirilmiş levhalar	128
Tablo IV. 16. Kalıp Kavisi 10 mm için, 22,5 mm derinlikte % 60, % 80, % 100 ve % 120 Reaktant Oranında Elde Edilen Şekillendirilmiş levhalar.....	132
Tablo IV.17. Kalıp Kavisi 10 mm için % 60, % 80, % 100 ve % 120 Reaktant Oranında 25 mm Kalıp Derinliğinde Elde Edilen Şekillendirilmiş levhalar.....	135
Tablo IV.18. Kalıp Kavisi 10 mm için % 60 ve % 80 Reaktant Oranında levhalar 27,5 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile Yapılan Deney Sonuçları.	138
Tablo IV.19. Kalıp Kavisi 15 mm için % 60 ve % 80 Reaktant Oranında 22,5 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile Yapılan Deney Sonuçları.	143
Tablo IV.20. Kalıp Kavisi 15 mm için % 60 ve % 80 Reaktant Oranında 25 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile Yapılan Deney Sonuçları.	146
Tablo IV.21. Kalıp Kavisi 15 mm için % 60 ve % 80 ve % 100 Reaktant Oranında 27,5 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile Yapılan Deney Sonuçları.	149
Tablo IV.22. Kalıp Kavisi 15 mm için % 60 ve % 80 ve % 100 Reaktant Oranında 30 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile Yapılan Deney Sonuçları.	151
Tablo IV.23. Kalıp Kavisi 15 mm için % 60 Reaktant Oranında 32,5 mm Kalıp Derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile Yapılan Deney Sonuçları.....	153
Tablo V.1. 5 mm'lik Kalıp Radüsünde ÇKDŞM ve Preste Elde Edilen Sonuçlar.....	171
Tablo V.2. 10 mm'lik Kalıp Radüsünde ÇKDŞM ve Preste Elde Edilen Sonuçlar.....	172
Tablo V.3. 15 mm'lik Kalıp Radüsünde ÇKDŞM ve Preste Elde Edilen Sonuçlar.....	173
Tablo VI.1. Deneylerde başlangıç basıncına bağlı olarak elde edilen maksimum detonasyon basınç değerleri.....	175

BÖLÜM I: GİRİŞ VE AMAÇ

I.1. GİRİŞ

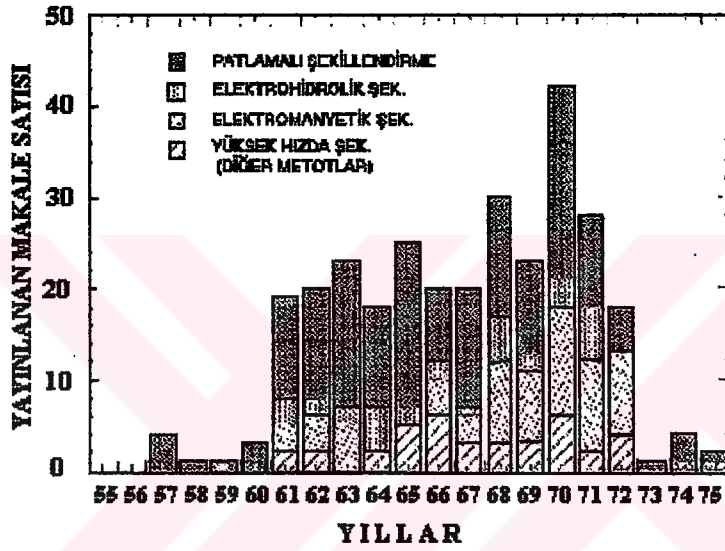
Teknolojinin baş döndürücü bir hızla gelişmesi insanların artan ihtiyaçlarını karşılamada bir rekabet oluşturmakla birlikte daha kaliteli ve ekonomik ürünlere olan talebi de beraberinde getirmektedir. Özellikle son yıllarda krizlere maruz kalan otomotiv endüstrisi yeni arayışlar peşinde olup ağırlık ve yakıttan tasarruf etmek amacıyla alüminyum kullanımına yönelmiştir. Otomobil kasa ve parçalarında alüminyum kullanımı araç ömrünü uzatmakta, yakıttan önemli tasarruf sağlamakta ve ağırlıktan kazanç getirmektedir. Bunun yanında alüminyumun hafif, tekrar kullanılabilir bir malzeme olması, çevre sağlığı ve problemlerinin azalması yönünden de insanlığa kazanç sağlamaktadır.

Günümüzde sac metallerin şekillendirilmesinde malzeme ve enerji kaynaklarının verimli olarak kullanımını sağlayan daha iyi ve ekonomik sonuçlar veren metotlar istenmektedir. Bu ihtiyaçlara en iyi cevap veren metotlardan biri yüksek hızda şekillendirilmedir. Sac metallerin şekillenme proseslerinde kimyasal, elektriksel ve manyetik kaynaklardan elde edilen enerjiler kullanılır. Enerji çok kısa zamanda ve aniden kullanıldığı için bu işleme “Yüksek Enerji Hızında Şekillenme” yada kısaca “Yüksek Hızda Şekillendirme” (YHS) adı verilmektedir. Bu metot kendine özgü bir geçmişe sahip olup konvensiyonel metotlara göre sac metallerin şekillendirilmesinde büyük avantajlara sahiptir. Bu avantajlar yüksek hızda şekillendirme tekniklerinin 15 senede hızlı bir şekilde gelişmesine yol açmış ve bazı teknikler çeşitli şirketlerde üretim sistemlerine entegre edilmiştir. Daha sonra ise aniden bu konuda yapılan çalışmalar herhangi bir neden gösterilmeden terkedilmiştir [1].

Buna rağmen bu teknolojinin bazı metotları endüstride kalmış ve günümüze kadar ulaşmıştır. Bu çalışmalar daha çok patlayıcılarla, yanıcı gazların karışımları ile, elektro hidrolik ve elektro-manyetik metotlar kullanılarak yapılmıştır.

Yüksek hızda şekillendirme tekniklerinin zaman içinde gelişimini gösteren grafik Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yapılan çalışmalar 1970’li

yıllarda yoğunluk kazanmış ve çalışmaların çoğunluğunda patlamalı şekillendirme metodu kullanılmıştır. Bu periyotta ki literatür çalışmalarına bakıldığı zaman yüksek hızda şekillendirme tekniklerinin konvensiyonel metotlara nazaran, şekillenmenin daha iyi sonuç vermesi, çok yakın sonuçlarda tolerans elde edilebilmesi, geri yaylanma, buruşuk ve kırışıklıkların daha az olması, montaj ve şekillendirmenin birleştirilebilmesi, zaman ve maliyetten kazanılması gibi avantajlara sahip olduğu görülmektedir. Bütün bunlara rağmen bu konuda henüz çok az sistematik çalışma yapılabilmektedir. Literatürün çoğunluğu bu teknikleri kullanarak spesifik problemleri çözmeye yöneliktir.



Şekil I.1. Yüksek hızda şekillendirmenin zaman içinde gelişimi [1].

Endüstride yüksek hızda şekillendirme kompleks parçaların üretilmesinde ve düşük esneklik oranına sahip malzemelerin şekillendirmesinde daha iyi sonuçlar veren bir teknik olarak rağbet görmektedir. 1961-1972 arasında yani yoğun olarak bu teknolojinin kullanıldığı zamanlardaki literatüre bakarsak her yıl için 20-40 makale basıldığını görmekteyiz. 1973'ten günümüze kadar olan literatüre bakıldığında ise her yıl için 5'den az makale görmekteyiz [1]. 25 yıl önce yüksek hızlı şekillendirmenin problemlere kolay, sağlam ve konvensiyonel metotlara göre daha iyi bir şekillendirme ile çözümler sunduğu bir sırada beklenmeden, ani bir şekilde bu konuya olan ilginin azalması çok azı keşfedilen bu şekillendirme tekniklerine karşı daha ileri derecede araştırma yapılmasını gerektirmektedir [2].

Bütün bunlara rağmen yüksek hızda şekillendirme günümüze kadar ulaşmış ve aktif olarak kullanılmaktadır. Bunlardan birkaç örnek verecek olursak;

Dynamic Materials in Lafayette şirketi Colorado'da patlamalı şekillendirme metodunu 25 yıldır kullanmaktadır. Bu şirket özel bir parça üretimi yapmakta olup, bu parçayı konvensiyonel veya diğer metotlarla üretmek mümkün değildir. Çünkü üretilen parça çok büyük olup konvensiyonel metotlarla şekillendirilememektedir. Üretilen parçalar ileri teknoloji şirketleri olan Boeing ve Rocketdyne şirketlerine gönderilmektedir [2].

Yüksek hızda şekillendirme metodu olan elektromanyetik şekillendirme ise 30 yıldan fazla bir zamandır aktif olarak kullanılmaktadır. Bu metotta kullanılan kondansatörler halen Maxwell-Magneform şirketi tarafından üretilmektedir. Bu metot çoğunlukla geri esnemesi istenmeyen boru ve tüplerin genişletilmesinde veya kompresyonunda kullanılmaktadır. Boeing 777 uçaklarında şok emici olarak kullanılan sistemde alüminyum tork tüplerinde bu metot uygulanmıştır. Bu teknik Grumman Aerospace tarafından geliştirilmiş ve Boeing tarafından kullanılmaktadır. Bu örnekler yüksek hızda şekillendirmenin konvensiyonel üretim metotlarıyla rekabet edebileceğini göstermektedir [2].

I.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Günümüz metal sac tabakalarının konvensiyonel derin çekme metotları ile şekillendirilmesinde bir çok problemle karşılaşmaktadır. Bunlar; derin çekme işlemi esnasında oluşan kalıp ile baskı plakası arasında radyal çekme, kalıp ağız çevresi boyunca oluşan çekilme, basılma ve kayma, kalıp ile zimba arasında malzeme sürtünmesi ve malzemedeki çekme gerilmesi, zimba uç kavisi boyunca malzemedeki eğilme, kayma, basma ve çekme gerilmesi, zimba alt yüzeyinde uzama ve kayma gerilmesi neticesinde radyal çekme kuvvetleri malzemenin kalınlaşmasına, diğerleri ise incelmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla oluşan kalıptaki cidar kalınlıkları üst kısımlarda sacın ilk kalınlığına göre artmakta, dipten belirli bir yüksekliğe kadar ise azalmaktadır. Bir diğeri ise, derin çekme işlemleri esnasında çoğu zaman aşağıdaki sebeplerden dolayı kabın flanş veya ağız kısmı düzgün olarak elde edilememektedir [3].

1. Çekme işlemi süresince metal malzemenin kalıp içerisinde homojen olmayan plastik deformasyonu.
2. Kalıp, çekilen malzeme ve zimba arasındaki sürtünme katsayısının farklı oluşu.

3. İş parçası yüzeyinin düzgün olmaması ve baskı plakası temas yüzeyinin de zamanla düzgünlüğünü kaybetmesi nedeniyle baskı kuvvetinin iş parçası yüzeylerine homojen olarak dağılmaması.
4. Çekilecek parçanın kalıba simetrik veya merkezi olarak yerleştirilmemesi.
5. Çekilen sac parçanın üretimi sırasında hadde yönünün tek yönlü olması ve bunun sonucu olarak çekme işlemi sırasında farklı uzamaların meydana gelmesi veya muhtelif bölgelerde yırtılmaların olması.

Ayrıca çekme hızı, çekme kademeleri ve çekme hızının iyi ayarlanamaması sonucunda malzemede buruşma, bilezikleşme, çizilme, pürüzlenme, germe çizgileri, yırtılma, kulaklanma, simetrik olmayan çekme ve yanma gibi hatalar oluşmaktadır.

Yüksek hızda şekillendirme bu problemlere çözümler sunmaktadır. Çünkü bu metotlarda herhangi bir zımba kullanılmamakta, patlayıcılardan, gaz detonasyonundan veya elektromanyetik enerjiden faydalanılarak, tek taraflı dişi kalıp kullanılarak şekillendirme yapılmaktadır. Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar yetersiz olup henüz uygulama alanı bulamamıştır. Bunun nedeni olarak literatüre bakıldığında, bu konuda ülkemizde ve yurt dışında yeterince akademik çalışma yapılmadığı görülmüştür.

Bu metot çok büyük parçaların şekillendirilebilmesi için gerekli olan pres kuvvetlerinin konvensiyonel metotlarla sağlanmasının çok zor hatta imkansız olduğu, şekillendirilecek olan parçaların farklı metallere yapılmış olması, çok değişik parçaların şekillendirilebilmesi, üretim periyodunun kısa olması ve dolayısı ile prototip parçaların üretiminde tasarruf sağlanması gibi özelliklerinden dolayı cazip bir hale gelmiştir. Ayrıca bu metot kalıp boşluklarını doldurma özelliğine sahip ve girift parçaların üretilmesine elverişlidir. Özellikle uçak ve roket sanayisinde kullanılan sac metallere şekillenen bazı parçaların üretiminde yüksek hızda şekillendirilmeden yararlanmak zorunlu hale gelmiş bulunmaktadır. Bununla birlikte bu teknolojinin uygulama alanları sınırlı olmakla beraber, şekillendirmenin daha iyi sonuçlar verdiği, buruşuk ve kırışıklıkların kaybolduğu ve işlemlerinin kolayca yapıldığı için tercih edilen bir sistemdir.

Bu çalışmanın amacı, yüksek hızda şekillendirme tekniklerinden olan gaz detonasyonu ile şekillendirme tekniğini kullanan bir sistem geliştirerek, şekillendirmeye etki eden kalıp parametrelerinin ve özelliklerinin incelenerek bilimsel olarak tespit edilmesi, konvensiyonel derin çekme metodu ile karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla Çift Kademeli Detonasyon Tüpü (ÇKDS) kullanarak

bir şekillendirme sistemi geliştirilmiş ve 0,5 mm kalınlığında Alüminyum saclar (Etial-5, Etial-98) ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Etial-5 ile konvensiyonel derin çekme deneyleri yapılarak her iki sistem karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sac metallerin kullanılması açısından geniş bir potansiyele sahip olan ülkemize, yüksek hızda şekillendirmeden faydalanma olanakları açısından yeni bir bakış açısı ve yeni bir uygulama sahası olarak bilimsel sonuçlar ve kriterler kazandıracaktır.

Bunun yanında alüminyum sacların çelikle karşılaştırıldığında, konvensiyonel metotlarla yapılan şekillendirmelerinde düşük bir şekillenebilirlik ve güçlü bir anizotropi davranışı elde edilmektedir. Bunun nedeni ise tane yapısının şekillendirmeyi etkilemesidir [4]. Yüksek hızda yapılan deneyler ile konvensiyonel derin çekme deneyleri karşılaştırılarak hangi sistemin daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur.

Bölüm II'de YHŞ özellikleri ve çeşitleri geniş olarak ele alınarak günümüzde aktif olarak kullanılan Konvensiyonel derin çekme genel hatları ile ele alınıp anlatılmıştır.

Bölüm III'de deneyleri yapmak amacıyla tasarlanan ve imalatı yapılan otomatik kontrollü ÇKDŞM ile şekillendirme metodu, donanımı ve yazılımı tanıtarak yapılan ön deneyler ve sonuçları verilmiştir.

Bölüm IV'de ÇKDŞM ve konvensiyonel derin çekme ile yapılan deneyler, deney şartları ve bu deneylerin derinlik, birim uzama ve kesitteki değişim oranları açısından karşılaştırmaları anlatılmış, Etial-5 ve Etial-98 malzemelerinin hacim oranlarına göre oluşan taban çapı ve kalıbı doldurma oranları irdelenmiş ve hangi sistemin daha üstün olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bölüm V'de ÇKDŞM ve presle yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar ortaya konulmuştur.

Bölüm VI'da yapılan ÇKDŞM deneyleri, literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanarak, tartışılmış, getirmiş olduğu yenilik ve katkılar ortaya konularak değerlendirilmiştir. Ayrıca ileride bu konuda yapılacak olan çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM II: GENEL BİLGİLER

Bu bölümde YHŞ genel olarak ele alınıp özellikleri incelenecek daha sonra YHŞ tekniklerinden patlamayla şekillendirme, elektromanyetik şekillendirme, detonasyonla şekillendirme, elektro-hidrolik şekillendirmenin özellikleri, yöntemleri, kullanılan malzemeler ile mekanik davranışları, incelenecek ve bu konuda yapılan literatür taraması sonucu bulunan çalışmalar hakkında kısaca bilgi verilecektir.

II.1. YÜKSEK HIZDA ŞEKİLLENDİRME

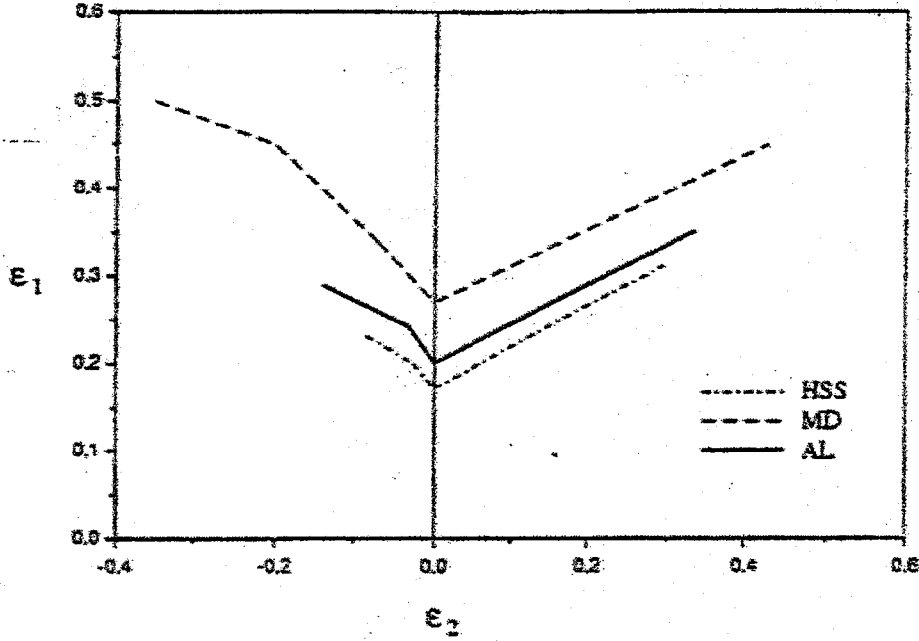
YHŞ günümüzde askeri, sivil ve endüstriyel alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Askeri alanlarda YHŞ çeşidi olan patlayıcılar askeri amaçlarla kullanılırken, sivil alanlarda ise patlayıcılar daha çok patlayıcı ile kırma, petrol hatlarının genişletilmesinde, sismoloji çalışmalarında kullanılmaktadır [5].

Endüstride ise Yüksek hızda şekillendirme geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu nedenle öncelikle YHŞ'nin özellikleri, metotları, uygulama alanları ve çeşitleri ele alınarak incelenecektir.

II.1.1. Yüksek Hızda Şekillendirmenin Özellikleri

Endüstride bir çok malzeme için şekillenebilirliğin belli limitler arasında olması parça üretiminde önemli sıkıntılar meydana getirmektedir. Örnek olarak sac malzemelerin yoğun olarak kullanıldığı otomobil sanayisini ele alırsak çelik yerine alüminyumun kullanılması sadece ağırlıktan % 30 dolayında bir kazanç sağlayacaktır [6]. Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemelerin Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) Şekil.II.1'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Alüminyum, Yüksek mukavemetli çelikten daha az şekillenme kabiliyetine sahiptir.

Alüminyumun şekillendirilmesindeki yetersizlik nedeniyle daha iyi şekillenebilen Al alaşımları araştırılmaktadır. Ayrıca alüminyumun şekillendirilerek oto sanayiinde kullanılması için gereken maliyet şu anda kullanılan çeliğinkinden daha fazladır. Fakat yüksek hızda şekillendirme teknikleri kullanılarak alüminyumun bu sahada kullanılması mümkün olabilir ve maliyeti de daha aşağı çekilmiş olabilir.



Şekil II.1 Şekillenme Sınır Diyagramları (HSS- High Strength Steel) Yüksek Mukavemetli Çelik, (MD-Mild Steel) Az Karbonlu Çelik, Al- Al6111-T4) [4].

Öncelikle şekillenebilirliğin yüksek deformasyon hızından nasıl etkilendiğini anlamak gerekmektedir. Burada ana faktör olarak sac metalin yırtılması karşımıza çıkmaktadır. Yırtılmanın başlangıcı genellikle potansiyel olarak malzeme içinde var olan bir çatlak civarında veya yüksek hızın etkisiyle kalıba çarpan kısımlarda oluşmaktadır.

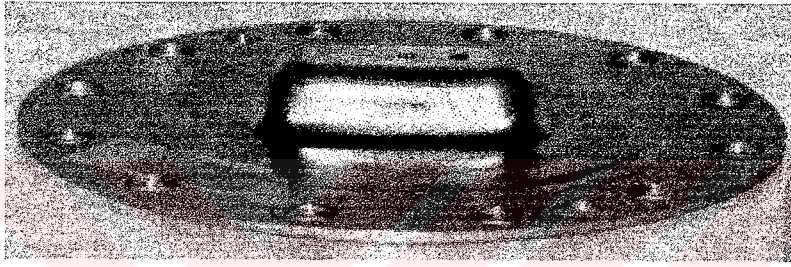
Son zamanlarda Balanethiram ve Daehn [7] elektro-hidrolik metotla, tek taraflı konikal bir kalıpla demir, bakır, alüminyum saclarla yüksek hızda yaptıkları deneylerde olağanüstü süneklik sağlamışlardır. Her deneyde birim uzama miktarı yırtılma olmadan yaklaşık % 100 civarında elde edilmiştir. Düşük hızlarda bu malzemeler yaklaşık olarak % 20-% 40 arasında uzama oranına sahiptirler. Yüksek hızda yapılan bu çalışmada hız yaklaşık olarak 200 m/s civarındadır. Buda yaklaşık şekillenme hızı olarak 600 s^{-1} karşılık gelmektedir.

YHS'de en çok göze batan ve bu tekniği önemli kılan özellik deformasyon oranının yüksek olmasıdır. Bu teknikte kullanılan bütün metotlar da deformasyon hızı, derin çekme ve diğer konvansiyonel şekillendirme metotlarından $10^2 - 10^3$ kat daha fazladır (0,1 m/s, 100 m/s) [8].

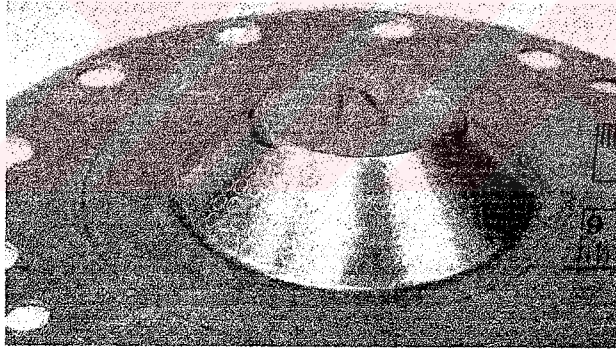
Yüksek hızda şekillenme oranının artmasının sebepleri henüz tamamen açıklanamamış olmasına rağmen çok kullanışlıdır. Daehn ve arkadaşları [9] tarafından bu teknikle çeşitli sıcaklıklarda değişik alüminyum alaşımları ile yapılan birkaç basit parça Şekil II.2'de verilmiştir. Şekil II.2-a'da dikdörtgen biçimindeki

parçada, birim uzama miktarının % 100 dolayında olduğu ölçülmüştür. Şekil II.2-b'de koni tepesindeki keskin köşeler net olarak şekillenmiştir. Şekil II.2-c'de ise kullanılan alüminyum düşük bir ısıda şekillenmiş ve bu göstermiştir ki sınırlı süneklığe sahip olan parçalar bu metotla şekillendirilebilir. Ayrıca parçanın dayanıklılığı artmış ve şekillenmede problem yaşanmamıştır.

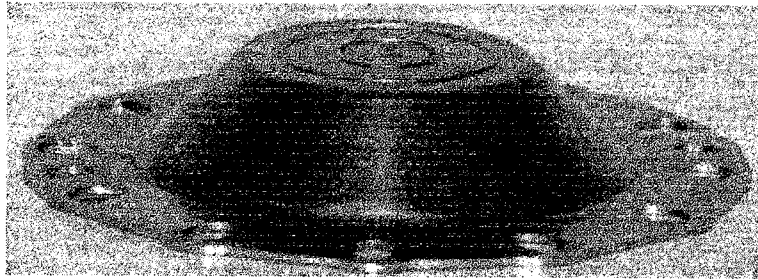
Bu örnekler konvensiyonel şekillendirme yöntemlerinde görülen süneklilik sınırının çok ötesine geçmiş durumdadır. Hatta bu tekniklerin çoğu yönden özellikle birim uzama miktarının yüksek olması ve şekillenme proseslerinin basitliği yönünden süperplastikliğe benzediği söylenmiştir. Bunun sonucu olarak da bu değişimi ifade etmek için Daehn ve arkadaşları "hyperplastiklik" kelimesini kullanmışlardır [9].



(a)



(b)

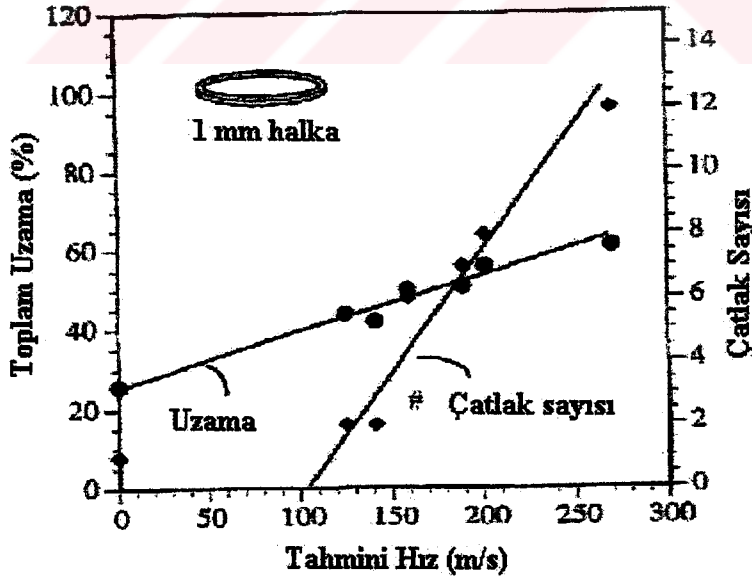


(c)

Şekil II.2. a) Alüminyum alaşımı kullanılarak YHŞ de elde edilen dikdörtgen şekilli parça. b) 45°'lik açılı ve üstü kapalı yüzeyler elde etme. c) Alüminyum malzemeden düşük ısıda şekillendirilmiş bir parça [9].

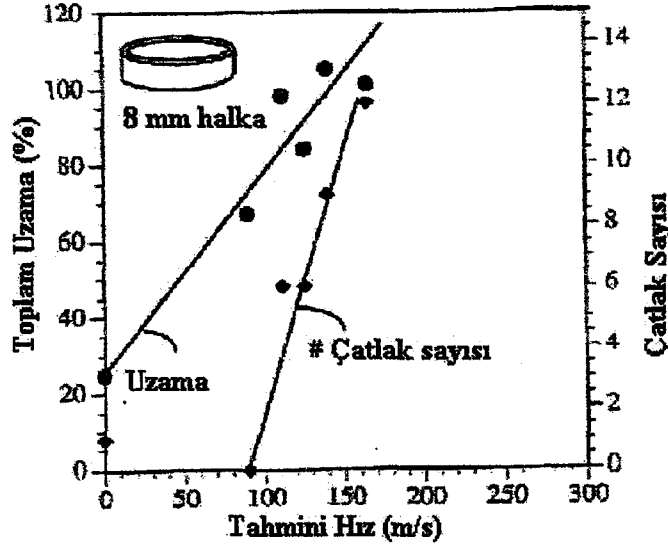
Daehn ve arkadaşları [9] yüksek hızda deformasyon olayının şu üç sebepten etkilenebileceğini söylemişlerdir. Birincisi yüksek deformasyon hızı malzemenin davranışlarını etkilemektedir. Malzemenin uzama yada deformasyon sertleşmesi hızı artabilir buda malzemenin daha iyi şekillenmesinin nedeni olabilir. Fakat deformasyon hızı 600 s^{-1} değerine ulaşmadıkça veya geçmedikçe bu olası değildir. İkinci olarak, özellikle boyun veren kısımlarda eylemsizlik etkileri yayılarak sünekliği arttırabilir. Üçüncü olarak da, yüksek hızda malzemenin kalıp duvarları ile çarpışması yanıl olarak yayılma etkisi yapabilir. Aynı zamanda bu işlemin geri esnemeyi de olumlu yönde etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Bu son gelişmeler yüksek hızda şekillendirmeyi neler kontrol etmektedir sorusunu gündeme getirmektedir. Altınova ve arkadaşları [10] süneklik ile yüksek hız arasındaki ilişkiyi anlamak için 31 mm çapında ve 1mm x 1 mm ebatlarındaki yüzük şeklindeki bir parça üzerinde elektromanyetik metodu kullanarak çeşitli hızlarda deneyler yaparak Şekil II.3'deki grafiği elde etmişlerdir. Yüksek hızlarda ince yüzük şeklindeki parçalarda çatlak ve yarıklar oluştuğunu ve bunların hız arttıkça daha da çoğaldığını görmüşlerdir. Buna rağmen bu çalışma sonucunda parçada oluşan uniform uzamanın yaklaşık olarak iki misli arttığını belirlemişlerdir. Fakat süneklikte ki bu değişim oranı da elektro-hidrolik metotla koniksel kalıplarda elde edilen şekilleri ifade etmede yeterli olmamıştır.



Şekil II.3. Yüksek hızda 31 mm çapında ve 1x1 mm ölçülerindeki (6061-T4) halka bir parça üzerinde meydana gelen çatlak ve yarıkların süneklik ile karşılaştırılması [9] .

Şekil II.4'te ise aynı deneyin aynı çapta fakat 8 mm boyundaki bir parça üzerinde yapılması sonucu elde edilen değerler gözükmektedir.



Şekil II.4. Yüksek hızda parça üzerinde meydana gelen çatlak ve yarıkların süneklik ile karşılaştırılması [9].

Her iki deneyde elde edilen değerler birbirine oldukça yakındır. 8 mm'lik halka deneyinde 90 m/s'lik bir hızda toplam uzama % 67 oranında çıkmış ve herhangi bir çatlak ve yırtık oluşmamıştır.

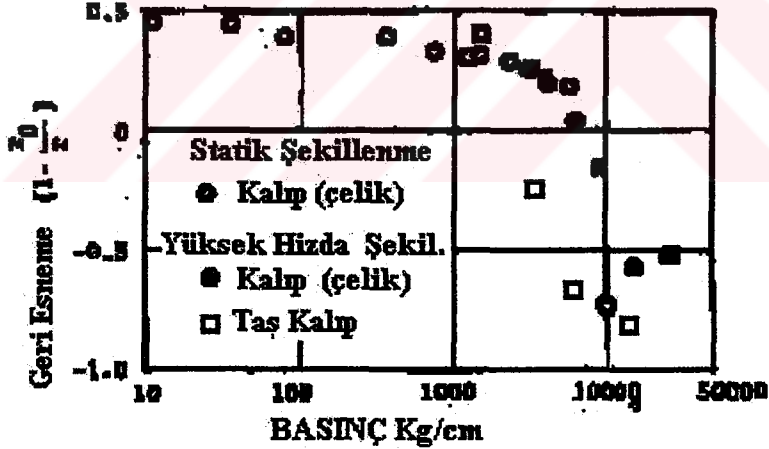
Son yıllarda YHŞ, şekillendirilmesi zor olan malzemelerde şekillenebilirliği arttırmış ve geri esneme olayını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu etkiler özellikle alüminyumun oto ve uçak sanayisinde kullanımı için önemlidir. Şu nokta açıkça görülmektedir ki yüksek hızda şekillendirme geleceğin teknolojisinde önemli bir yer tutacaktır.

II.1.2. Yüksek Hızda Şekillendirmede Geri Esneme

Yüksek hızda şekillendirmenin geri esneme olayını önemli ölçüde azalttığı bilgisine literatürde rastlanmaktadır. Bu konuda elde edilen ilk çalışma 1964 yılında H.G.Baron ve R.H.Henn [11] tarafından RDX/TNT patlayıcıları ile alüminyum alaşımları (% 5,5 Zn, Mg,Cu) (%1 Si, Mg) kullanılarak, yarım küre şeklinde oyuk açılmış çelik kalıp üzerinde gerçekleştirilmiştir. Enerji iletim ortamı olarak su kullanılmıştır. Bu çalışmada iki çeşit (4 in. ve 16 in.) patlayıcı mesafesi kullanmışlardır. Patlayıcı mesafesinin geri esneme üzerinde çok az etkisinin bulunduğunu ve geri esnemenin yaklaşık 2,5 mm olduğunu görmüşlerdir. Patlayıcı miktarının artırılması ile geri esnemenin azaldığını fakat şeklin kalıp yüzeyinden daha çok uzaklaştığını, yüzey kalitesinin kötüleştiğini ve merkezde küçük bir çukur oluştuğunu belirtmişlerdir.

Yamada ve arkadaşları [12] dikdörtgen şeklindeki titanyum tabakaları, küresel çelik kalıpta düşük ve yüksek hızda şekillendirerek bir çalışma yapmışlardır. Statik durumda tabakalar kalıp içine preslenmiş, yüksek hız olarak ise hidrolik basınç kullanmışlardır. Çalışmalarında sıkıştırılmış basıncın geri yaylanmadaki kalınlık yönüne etkisini araştırmışlardır. Statik durumda parça üzerindeki basınç artırıldığında geri yaylanmanın azaldığını tespit etmişlerdir. Dinamik durumda ise geri yaylanmanın çarpma hızının artırılması ile azaldığını görmüşlerdir. Çarpma hızı 66 m/s olduğunda geri yaylanmanın negatif ve parçada oluşan radüslerin, kalıp radüslerinden küçük olduğunu ve çarpışma hızı 47 m/s olduğunda geri yaylanmanın sıfır düzeyine çok yakın olduğunu görmüşlerdir. Bu sonuçlar geri yaylanmanın optimum çarpışma hızı kullanılarak sıfıra veya minimum seviyeye indirilebileceğini göstermiştir.

Burada geri yaylanmanın, kalınlık ve basıncın artırılması ile azalması yüksek hızda ve düşük hızda alınan sonuçları desteklemektedir. Şekil II.5'deki grafikte yüksek hızdaki basınç ve düşük hızdaki basınç ile yapılan deney sonuçları görülmektedir. Şekilde sonuçların birbirine çok yakın olması Yamada ve arkadaşlarını basıncın geri esnemeyi kontrol ettiği fikrine götürmüştür.



Şekil II.5. Statik ve Yüksek Hızda Şekillenmede Geri Yaylanma İlişkisi [1].

Yüksek ve düşük hızda meydana gelen deformasyon olayının yüksek hız fotoğraf tekniği kullanılarak resimleri çekilmiş, düşük hızda şekillenmenin parçanın merkezinden başlayarak kenarlara doğru yayılmakta, yüksek hızda şekillenmenin dış kenarlardan başlayarak içe doğru yayıldığı tespit edilmiştir [13]. Deformasyon esnasındaki bu farklılık büyük bir olasılıkla geri esneme olayını da etkilemektedir.

Kesik koni şeklindeki kalıp üzerinde [14] yapılan çalışmada değişik enerji miktarları verilerek yapılan deneyler, koordinat ölçme cihazı ile değerlendirilmiştir.

Minimum geri esneme olayının orta seviyede enerji kullanıldığı zaman meydana geldiği tespit edilmiştir. Düşük enerjilerde sac metal kalıp şeklini tam olarak alamamış ve kalıp içine tam oturmamıştır. Enerji arttırıldıkça sac metalin tamamen kalıp içine oturduğu ve koordinat ölçme cihazı ile yapılan ölçümlerde de parçanın şeklinin çoğu yerde kalıp içindeki şekil ile aynı olduğu görülmüştür. Koninin taban kısmındaki merkezde ufak tepe şeklinde bir şekil bozukluğu oluşmuştur. Bunun sebebi ise kalıp boşluğundaki havanın tamamen vakumlanamayışı ve kalıp içinde kalan gazın sıkışarak tepecik oluşturmasıdır. Daha yüksek enerjilerde sac metal iyi şekillenmemiştir. Özellikle koninin dış kenar kısımları kalıp dışına taşarak erimektedir. Bunun nedeni de sac metalin kalıptan geri esnemesi olarak açıklanmıştır.

Son yıllarda bu konuya olan ilginin artması üzerine M. Padmanabhan [1] elektromanyetik şekillendirme metodunu kullanarak bir çalışma yapmış ve eski yapılan çalışmalara ek olarak bazı datalar toplanmıştır.

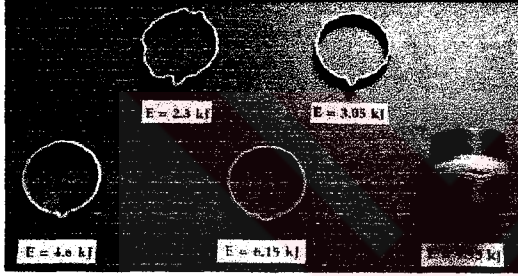
Literatüre bakıldığında, özellikle elektro-manyetik şekillendirme konvensiyonel şekillendirme ile kıyaslandığında geri esnemenin daha az olduğu görülmektedir [15,16]. Deneysel olarak elektromanyetik şekillenme proseslerinin tasarımı çok az veya hiç geri esneme olmayacak şekildedir. Bu konuda sızdırmaz contaların şekillendirilmesi örnek olarak verilebilir. Conta malzemesini diğer bir metal üzerine veya seramik üzerine sıkıştırarak yapılan şekillendirmede, eğer önemli bir geri esneme olduğu takdirde conta şekillenmemiştir [15]. Bu nedenle yüksek performanslı parçaların üretiminde son yıllarda elektromanyetik şekillendirmeden faydalanılmaktadır. Boeing şirketi alüminyum tüplerin çelik üzerine montajını tüpün uç kısmında tork tüpleri oluşturarak sağlamıştır. Bu dizayn ile çok uçağın düşmesi ve kaybolması engellenmiştir [9].

Sonuç olarak yüksek hızda şekillenme olaylarında geri esneme azalmakta ve daha iyi ölçü toleransları elde edilmektedir.

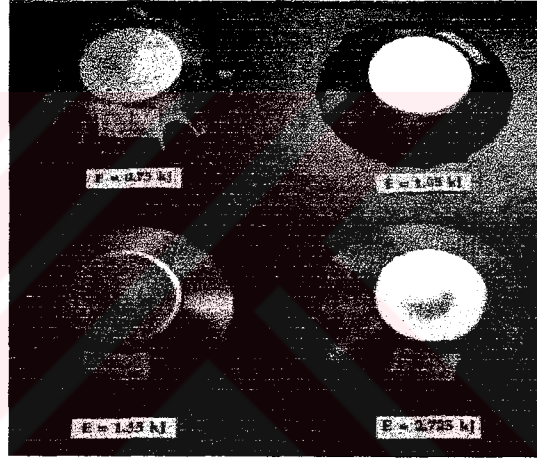
II.1.3. Yüksek Hızda Şekillenmede Buruşuk ve Kırışıklıklar

Yüksek hızda şekillenmede buruşuk ve kırışıklıkların azaldığı tespit edilmiştir. M. Padmanabhan [1] bu konu ile ilgili iki çeşit deney yapmıştır. İlk deneyde alüminyum malzemedeki (6061-T6) elektro-manyetik yöntemle halka yüzük şeklinde parçalar şekillendirmiştir. Şekil II.6'da görüldüğü gibi hız arttırıldıkça kırışıklık ve buruşuklukların azaldığı ve şekillenmenin daha iyi olduğu tespit

edilmiştir. İkinci deneyde ise alüminyum ve bakır diskler tepesi kesik koni şeklindeki çelikten yapılmış kalıp kullanılarak elektromanyetik metotla çeşitli enerji miktarlarında şekillendirilmiştir. Şekil II.7’de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar bir önceki deneyle hemen hemen aynıdır . Şekil II.7’de görüldüğü gibi 2,3 kj ve 3,05 kj gibi enerjide şekillenen parçada buruşuklukların çok olduğu ve şekillenmenin tam olmadığı görülmektedir. Enerji arttıkça parça daha net olarak kalıp şeklini almaktadır. Özellikle parçaya uygulanan kuvvetinin artması buruşuklukları azaltmaktadır. Bu olayın iki dezavantajı olabilir. Parçanın kenar kısımlarının kesilmesi gerekir ki buda diğer bir operasyona ve malzeme israfına yol açar. Diğer ise parçaya gelen kuvvet arttırıldıkça daha fazla gerilmeler olacağından malzemenin gerçek şekillenebilirliği azalır. Şekil II.7’de elde edilen sonuçlarda % 100 uniform uzamalar elde edilmiştir [9].



Şekil II.6. 6061-T6 Alüminyum parçaların elektromanyetik olarak bir mandrel üzerinde şekillendirilmesi (E = Enerji miktarı) [17].



Şekil II.7. T-4 Alüminyum sacların elektromanyetik metotla çeşitli hızlarda şekillendirilmesi [17].

II.1.4. Yüksek Hızda Şekillendirmenin Avantajları

Yüksek hızda şekillendirme yüksek miktardaki şekillenme enerjisini iş parçası üzerine çok hızlı bir şekilde etki ettirerek ani yüksek birim şekil değiştirmeler elde edebilen yöntemdir [18].

Yüksek hızda meydana gelen şekillenmelerde malzemenin şekillenme kabiliyeti dramatik olarak artmakta, buruşuk ve kırışıklıklar azalmakta, geri yaylanma olayı minimuma inmektedir [9].

Geri yaylanmanın azalmasında, şekillenme esnasında kalıba bastırılan metal üzerinde yüksek basınç oluşması ve bu basınç nedeniyle kalıbın az da olsa elastik şekil değiştirmesinin de etkisi vardır [19].

YHŞ'nin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Konvansiyonel metotlarla çözülemeyen problemlere çeşitli çözüm önerileri getirerek kompleks parçaların üretilmesini sağlamıştır.
- Tek taraflı genellikle dışı kalıp kullanılmakta böylece işçilik ve malzemenin tasarruf sağlanmaktadır.
- Bu yöntemlerle büyük parçalar ve şekillendirilmesi zor metaller daha az takım ve donatıyla daha ucuza imal edilebilmektedirler.

II.1.5. Şok ve Basınç Dalgalarının Metaller Üzerindeki Etkileri

Yüksek enerji ile şekil değiştirmede şekillenme işlemi aniden ve preste yapılan bir üretime göre çok daha hızlı olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle yüksek hızda şekillendirmede meydana gelen birim şekil değiştirme oranı da artmaktadır. Birim şekil değiştirme oranı, zaman ile uzamadaki değişim oranıdır ve birimi 1/s'dir.

1959 yılında Johnston ve Gilman [18], Lif Kristali üzerinde yaptıkları çalışmalarda, süreksiz akma olayını dislokasyon dinamiği ile açıklayan yeni bir model geliştirmişlerdir. Daha sonra bu model Hahn tarafından geliştirilerek çok kristalli malzemelere uygulanmıştır. Bu modele göre deney esnasında uygulanan deformasyon hızının ($\dot{\epsilon}$), akma bölgesinde malzemenin elastik deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}_e$) ile plastik deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}_p$) toplamına eşit olduğu kabul edilmiştir.

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_e + \dot{\epsilon}_p \quad (2.1)$$

Birim şekil değişimi için $\epsilon = \sigma / E$ ve deformasyon hızı için $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$ bağıntıları yardımıyla, elastik deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}_e$),

$$\dot{\epsilon}_e = (1/E)(d\sigma / dt) \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir. Öte yandan plastik deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}_p$) Taylor denkleminde göre,

$$\dot{\epsilon}_p = (1/2)b\rho v \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada b: Burgers vektörü, ρ : Dislokasyon yoğunluğu ve v: Dislokasyon hızıdır [18].

Spektrum ve sürünme testlerinde uzama oranı $10^{-7} s^{-1}$ den daha düşüktür. Bu uzama oran sınırları kesin olarak tam bilinmemektedir. Fakat nükleer detonasyonda birim şekil değiştirme oranının $10^8 s^{-1}$ den yüksek olduğu bilinmektedir. Şok

dalgasının ön cephe kalınlığı, basınç artarken azalmakta. fakat V/V_0 oranı artmaktadır. Bundan dolayı birim şekil değiştirme oranı tahminen 10^9 s^{-1} veya daha yüksek olabilir. Ancak malzemenin nasıl davranacağı kesin olarak bilinmemektedir. Yüksek birim şekil değiştirme oranlarının ölçümünde genişleme halkası, Hopkinson çubuğu ve Taylor testi kullanılmaktadır. Bu testlerde birim şekil değiştirme oranı yaklaşık 10^3 - 10^5 s^{-1} arasındadır. 10^5 ila 10^8 s^{-1} oranları ise, kesme dalgaları ve şok dalgalarıyla elde edilir. Bu işlemin mantığı, malzeme yüzeyine çok hızlı olarak enerji depolama işlemidir. Buda hızlı bir detonasyon veya patlama dalgasının malzemeye çarpmasıyla, lazer şok dalgasıyla ve radyasyon kaynakları ile elde edilebilir [20, 21,92].

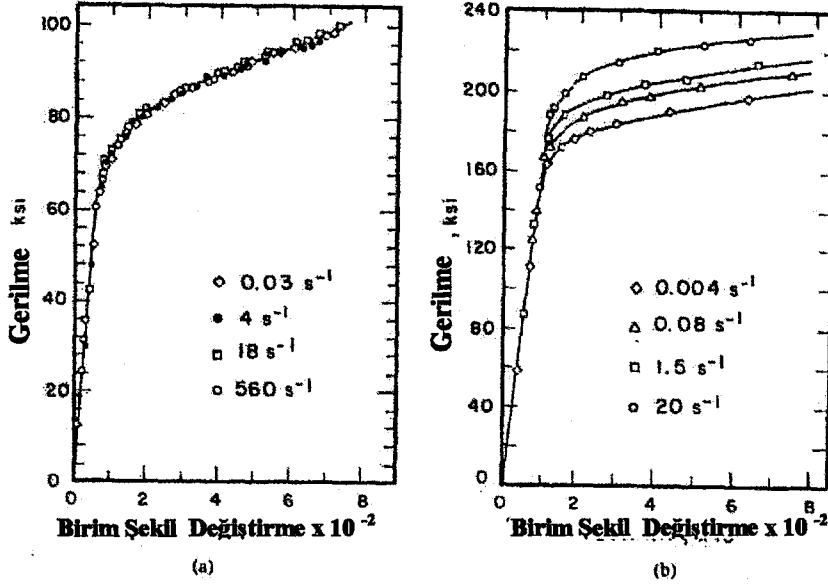
II.1.5.1. Yüksek Enerji İle Şekillenmede Mekanik Davranışlar

Malzeme dayanımının birim şekil değiştirme oranı üzerindeki davranışları hakkında bir çok araştırmacı tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu durumun izahı için her malzeme üzerinde ayrı ayrı testler yapılmıştır. Bu çalışmalar için hızın düşük olduğu basınçlı şekillendirme sistemi olan hidrodinamik modeller kullanılmıştır. Hesaplamaların gerçekçi olması için hesaplamalarda kullanılan akma gerilmesi birim şekil değiştirme oranını belirlemek için gereklidir. Bu konuyu açıklamada en yaygın kullanılan Johnson-Cook denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_{\text{eff}} = \left[\sigma_0 + B \varepsilon_{\text{eff}}^n \right] \left[1 + C \ln \dot{\varepsilon} \right] \left[1 - T^{*m} \right] \quad (2.4)$$

Burada σ_0 , B, C, n ve m malzeme parametreleridir. Bunların aldıkları değerler, uzamanın, deformasyon hızı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gerilmeyi verir. $\sigma = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)$, bu etkili gerilme σ_{eff} ve etkili uzama ε_{eff} (veya buna eşit) değerlerdir. T^* normal sıcaklıktır.

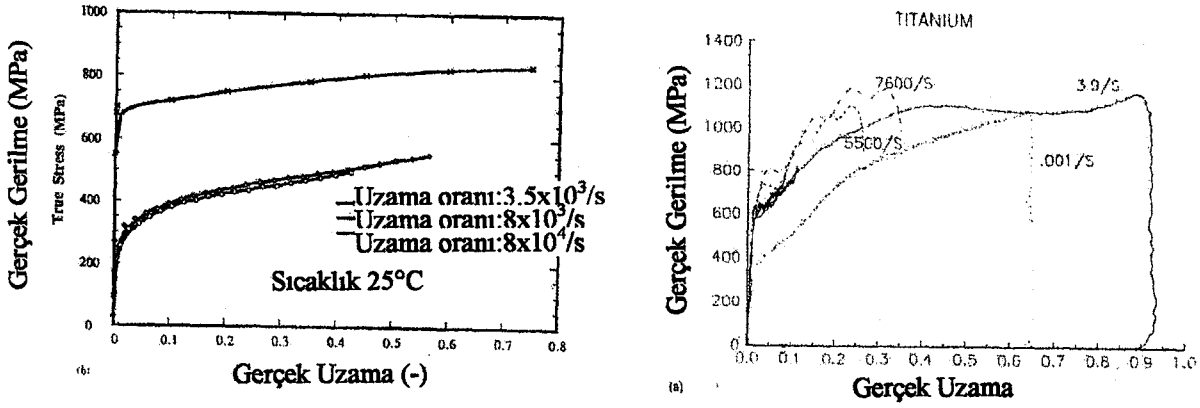
Bu nedenle, σ_0 , B, C, n ve m gibi değerlerin belirlenmesi için her malzeme üzerinde farklı deneysel çalışmalar yapmak zorunda kalınmıştır. Bu konuda değişik tepki örnekleri Şekil II.8' de sunulmuştur. Bu grafikte 7075-T6 alüminyum ve titanyum alaşımı % 6 Al- % 4 V için gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi karşılaştırması verilmiştir. Testler, alüminyum alaşımları için birim şekil değiştirme oranlarının 3×10^{-2} ve $5 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ arasındaki davranışların gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi üzerindeki etkileri net olarak görülmemektedir [20, 21,92].



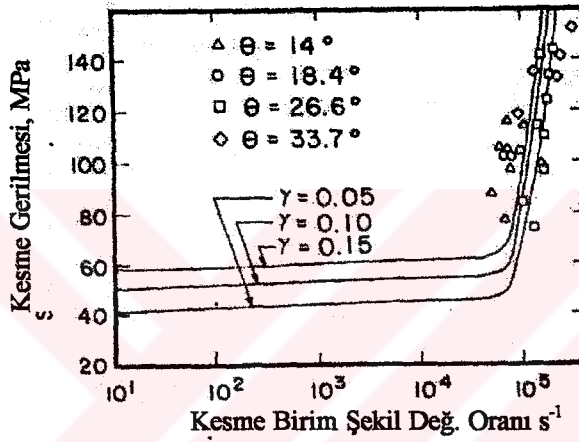
Şekil II.8. Yüksek hızda şekillendirmede gerilmenin birim şekil değiştirmeye etkisi [21]

Titanyum alaşımı için çizilen grafik incelenirse açık bir fark gözükmemektedir. Birim şekil değiştirme oranı $4 \times 10^{-3} - 2 \times 10^1 \text{ s}^{-1}$ arasında değişen bu grafikten de açıkça görülmektedirki, birim şekil değiştirme oranı arttıkça dayanım da artmaktadır [92].

Şekil II.9'da ticari saf titanyum ve tantalumun gerilme-birim şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Tantalum için birim şekil değiştirme oranı eğrisi ($\epsilon = 3,5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$) sabit sıcaklıkta ve arka arkaya çekmeyle elde edilmiştir. Bu işlem S.Nemat, Y.F. Li, ve J.B. Isaacs tarafından tanımlanmıştır [21, 92]. Birim şekil değiştirme oranları $10^{-3} - 10^3 \text{ s}^{-1}$ aralığındadır. Birim şekil değiştirme oranının artışıyla meydana gelen akma gerilmesindeki artış Şekil II.10'da görülmektedir. Bu etki "birim şekil değiştirme oranı duyarlılığı" olarak bilinir. Şekil II.8'de YMK (alüminyum), HSP (Titanyum), HMK (Tantalum) metallerde gerilme-uzama diyagramını göstermektedir. Klifton, birim şekil değiştirme oranında 10^5 s^{-1} lik artışta akma gerilmesinde aşırı bir artış olduğunu belirtmiştir [20,1,92]. Bu sonuçların önemi, şekil tahmini hesaplamalarında ve diğer olaylarda büyük etkiye sahip olmasıdır. Şekil II.10'da ise malzemenin kesme gerilmesinin kesme hızına bağlı olarak artışı görülmektedir. Bu artış normal denklemlerle açıklanamamaktadır. Açıklamak için özel yorumlamalara ihtiyaç vardır. Bu artış bazı bilim adamlarını malzemenin mukavemetini sonsuz yapan, bir sınır çekme oranı olduğu düşüncesine götürmüştür [20, 92].



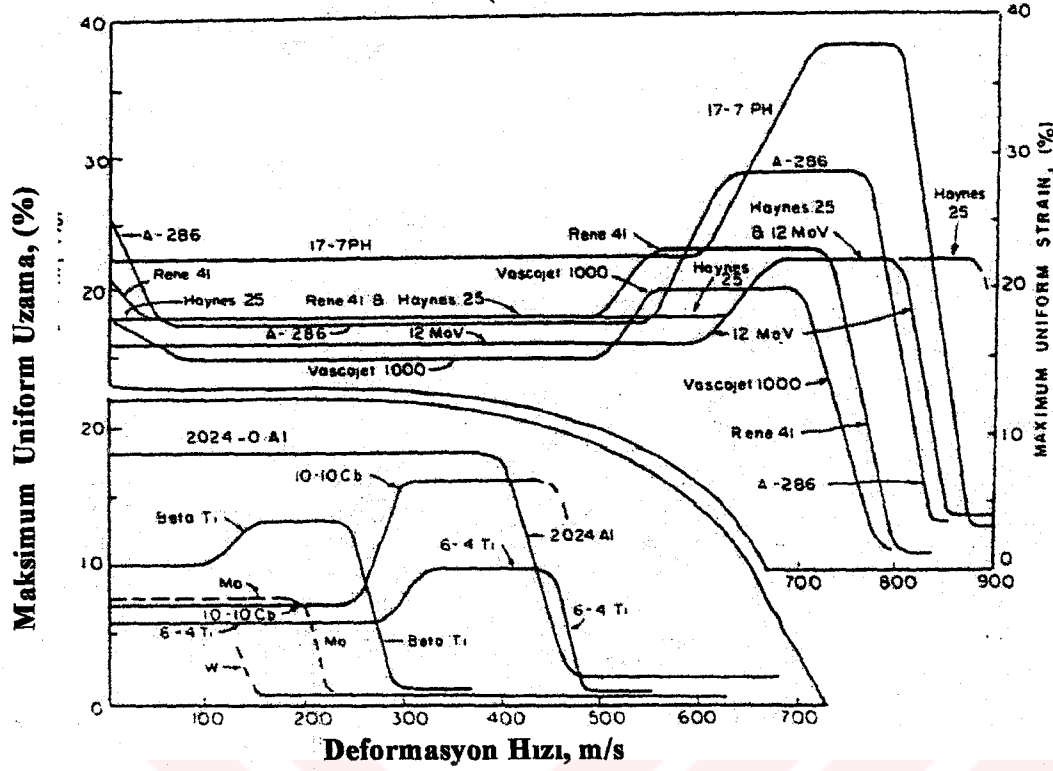
Şekil II.9. Ticari saf titanyumun gerçek gerilme-gerçek uzama davranışının birim şekil değiştirme oranına etkisi [21].



Şekil II.10. 1100-O Alüminyumun akma gerilmesine bağlı olarak kesme birim şekil değiştirme oranının gösterilişi [18].

Yüksek hızda şekillenmede deformasyon hızının da birim şekil değiştirme oranı ve gerilme üzerinde etkisi vardır. Patlayıcılarla şekillenmede çeşitli alaşımlar üzerinde yapılan testlerde (Şekil II.11) şekillenebilirliğin ve tokluğun arttığı, bozulma ve boyun verme olaylarının belli deformasyon hızlarında meydana geldiği görülmüştür.

Metallerin mekanik davranışlarına deformasyon hızı bağımlılığının etkisini bilmek önemlidir. Çünkü üretim tekniklerinin çoğu, çekme testlerinde kullanılan deformasyon hızının çok üstünde işlem yapmaktadırlar. Campbell [23] bazı deformasyon hızlarını talaşlı imalatta $10^5 s^{-1}$ sac, çubuk veya tel çekmede 1 ve $10^3 s^{-1}$ arasında, derin çekmede $10^2 s^{-1}$ kadar olduğunu belirtmektedir.



Şekil II.11. Dome testinde deformasyon hızının uniform uzama üzerindeki etkisi [23].

10^4 'e kadar olan deformasyon hızlarında basınç iş parçası üzerine homojen olarak yayılmaktadır. Bütün bu deformasyon hızlarında sistemin ataleti çok önemlidir. Çünkü elastik ve plastik dalgaların iş parçasına yayılması sonucu etkileyecektir. Deformasyon hızının en üst limiti şok dalgası ile sağlanır [23].

Bu konunun açıklanmasında şu noktalar dikkate alınmalıdır [92].

- Yüksek hızda şekillendirmede deformasyon aniden ve çok kısa bir zamanda gerçekleştiği için, şekillenme esnasında ortaya çıkan sıcaklığın parçadan dışarı çıkması için yeterli zaman yoktur. Bundan dolayı uzama oranı arttıkça deformasyon işlemi tamamıyla isotermden, adiabatik hale geçer. Bu, malzemenin mekanik tepkisi üzerinde etkili olan adiabatik kesme düzensizliğini artırır.
- Bu konudaki en iyi geliştirilen model Johnson-Cook modelidir.

II.1.5.2. Yüksek Hızda Şekillenmede Kullanılan Denklemler

Metallerin mekanik davranışları ortam sıcaklığı, deformasyon hızı, gerilim durumu ve ortamdaki diğer şartlara bağlıdır. Bu parametreleri birleştirerek, çeşitli şartlar altındaki metallerin davranışlarını belirleyerek tek bir formülde toplamak, yani gerilme-uzama davranışını uzama oranı etkisini matematiksel olarak ifade

etmek için araştırmacılar çalışmalar yapmışlardır. Düşük (ve sabit) uzama oranlarında, metallerin bilinen deformasyon sertleşme ilişkisi Denklem 2.5’de verilmiştir [92].

$$\sigma = \sigma_0 + k\epsilon^n \quad (2.5)$$

Burada σ_0 akma gerilmesini, n ise deformasyon sertleşmesi üssünü, k ise mukavemet katsayısını ifade etmektedir. Akma gerilmesine sıcaklığın etkisi, denklem 2.6’da verilmiştir [92].

$$\sigma = \sigma_r \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (2.6)$$

Bu denklemde T_m , ergime sıcaklığını; T_r , işlemin yapıldığı sıcaklığı yani referans sıcaklığını; σ_r , ise referans sıcaklıkta ölçülen referans gerilmeyi ve T ise σ ’nın hesaplandığı sıcaklığı göstermektedir [92].

Johnson ve Cook, bu temel denklemleri kullanarak, denklem 2.4’te verilen.

$(\sigma = (\sigma_0 + B\epsilon^n) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) [1 - (T^*)^m])$ formülü oluşturmuştur. Bu denklem beş deneysel çalışmayla elde edilmiş parametreleri içermektedir (σ_0, B, C, n, m) [94]. T^* terimi denklem 2.7’deki formülle bulunabilir [92].

$$T^* = \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \quad (2.7)$$

Johnson ve Cook denklemdeki T_r değerini, σ_0 ’ın ölçüldüğü referans sıcaklığını, birim şekil değiştirme oranı $\dot{\epsilon}_0$, referans uzama oranını (uygunluk için 1’e eşit kabul edilir), birçok malzemeyi test ederek bulmuştur [22].

Bunun yanında diğer araştırmacılar da bazı formüller geliştirmişlerdir. Örneğin Meyer ve Klopp denklem 2.8’i kullanmışlardır [22, 92].

$$\tau = \tau_0 \gamma^n T^{-v} \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^m \quad (2.8)$$

burada τ ve γ sırasıyla, gerilmeyi ve uzamayı, v ise sıcaklıktan dolayı yumuşama parametresini, n deformasyon sertleşmesi ve m ise uzama oranı duyarlılığını göstermektedir. Bazı araştırmacılar tarafından da aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$\tau = \tau_0 \left(1 + \frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^N \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^m e^{-\lambda \Delta T} \quad (2.9)$$

burada τ_0 referans uzama oranındaki ($\frac{\sigma}{\epsilon}$), malzemenin akma gerilmesini ($\gamma=0$) ve ΔT referans değerinden $T - T_0$ 'a kadar sıcaklıktaki değişimi göstermektedir. Bu denklem üstel termal yumuşama katsayısına sahiptir [20].

II.1.6.Yüksek Hızda Sac Metallerin Şekillendirilmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar

“C. E. Munreo” tarafından 1888 yılında sac metallerin patlama ile şekillendirilmesi ile ilgili ilk çalışmalardan biri yapılmıştır. Bu çalışmalarda Munreo, yüksek patlayıcı enerjilerinin nasıl yoğunlaştırılacağını bulmuştur. Ayrıca patlayıcılar kullanarak demir tabak üzerine çeşitli kabartma şekiller yapmayı başarmıştır [24].

Yüksek hızda şekillendirme işlemleri ile ilgili çalışmaların sonuçları 1898 yılında, İngiltere’de (21,840) patent numarası ile yayımlanmıştır. Bu yayında; bisiklet gövdesini oluşturan boruların düşük enerjili patlayıcılarla genişletilerek üretildiği belirtilmiştir [25].

Patlama ile şekillendirme konusunda Amerika Birleşik Devletlerindeki çalışmaların ilk sonuçları 1909 yılında “Isaac Newton Jones” tarafından (939,702) patent numarası ile yayımlanmıştır. Bu çalışmada, silindirik tüp şeklindeki sac metalin kalıp içerisinde çevresel olarak şekillendirilmesinden bahsedilmiştir [25].

1950 yıllarında “Moore” şirketi kesik küre şeklindeki büyük elektrikli aspiratör gövdesini patlama ile şekillendirerek üretmiştir. Bu olay bu şekillendirme tekniği için önemli bir başlangıç olmuştur. Ayrıca bu üretimde konvansiyonel metoda göre %15 maliyet azalması sağlanmıştır [25].

İlk defa 1961 Yılında “Cole” tarafından (2,983,242) patent numarası ile yapılan yayında şekillendirme ortamı olarak sudan ve kalıp ile iş parçası arasındaki havanın boşaltılmasından bahsedilmiştir. “Cole” yaptığı bu çalışmada baskı çemberinin şekli ile ilgilenmiştir [26].

Patlayıcıların su altında patlatılmaları ile ilgili bilgiler geniş ölçüde “Cole” tarafından [26] geliştirilmiş ve ABD’nin deniz araştırmaları dairesi tarafından yayımlanmıştır.

Patlama ile serbest şekillendirme esnasında dairesel diskin deformasyon safhaları “Hudson” tarafından incelenmiştir. “Hudson yaptığı deneylerde; işleme sertleşmesi, patlayıcının etkisi, patlayıcı ile iş parçası arasındaki mesafe, patlayıcının

şekli, basıncın yansıması, boşluk, kırılma ve diğer parametrelerin disk yüzeyi üzerinde her noktada eşit bir basınç meydana gelmesine engel olduğunu ve bu nedenle şekillendirilen parçanın teorikte tahmin edildiği gibi mükemmel olmadığını tespit etmiştir [27].

“Noble” ve “Oxley”, patlayıcı miktarının tahmini konusunda yaptıkları çalışmalarda; şekillendirilen parçanın yüzey alanının etkili olduğu, deformasyon için gerekli olan enerjinin iş parçası üzerine etki eden patlama enerjisine eşit olduğu sonucuna varmış ve bu tür işlemler için verimin % 38 olduğunu tahmin etmiştir [28].

Patlayıcı miktarının tahmini konusunda daha ileri düzeydeki teorik çalışmalar “Johnson” tarafından yapılmıştır. “Johnson”, yaptığı çalışmalarda patlama ile şekillendirilmiş parçalardaki gerilme değişikliklerini esas alarak, patlayıcı miktarı konusunda elde ettiği sonuçların deneysel çalışmalardan elde ettiği sonuçlarla aynı olduğunu göstermiştir [29].

“Johnson, Corbett ve Bicker”, hidrostatik mesafenin deformasyon miktarı üzerindeki etkileri ile ilgili çalışmalarında hidrostatik mesafenin azalması nedeniyle deformasyon etkisinin kaybolmasını; ilk etki dalgasında basıncın düşmesine sebep olan gaz kabarcığının hava kütlesi oluşturmaya ve aynı zamanda serbest su yüzeyinden yansıyan düşük basınçlı dalgaların oluşumuna bağlamışlardır [30, 31].

“Remmerswaal”, kalıpla şekillendirme işlemlerinde iş parçasının elastik olarak geri yaylanması konusunda yaptığı çalışmalarda patlayıcı miktarının artması ile geri yaylanma miktarının azalarak minimum değere ulaştığını tespit etmiştir [24]. “Baron ve Henn” aynı konuda yaptığı teorik çalışmalarda Remmerswaal’ın bulduğu sonuçlara çok yakın sonuçlar elde etmiştir [32].

“Corbet ve Bicker” şekillendirme işlemlerinin dinamik ölçümleri konusunda yaptığı çalışmalarda iş parçasındaki profil oluşum hızını yüksek hızlı fotoğraf yöntemiyle ölçmüşler ve maximum hızları 45,72 m/s ile 91,44 m/s olarak tespit etmişlerdir [31]. “Johnson, Hobson ve Amiri” aynı konuda yaptığı çalışmalarda iğne kontakt ve çizgi fotoğraf yöntemi kullanarak işlemler esnasındaki hız değişimlerini baştan sona kadar sürekli şekilde kaydetmişlerdir. “Hobson”, işlemin etkisini artırmak için yaptığı çalışmalarda parabolik biçimli reflektör (su kabı) kullanmış ve patlayıcının da odak noktasına yerleştirilmesi şartı ile reflektörsüz sistemde %16 olan verimi % 24’e çıkarmayı başarmıştır [33, 34].

Detonasyonla şekillendirme konusundaki ilk çalışmalar Amerika Birleşik Devletlerinin Illions – Niles Şehrindeki “General American Transportation Company” adlı şirket tarafından yapılmıştır [35].

“Kadı, I.” [36] tarafından yapılan çalışmada; propan-buhar O₂ karışımları ile yapılan çalışmada muhtelif hava fazlalık katsayısı değerlerine göre ateşleme noktasında belirli uzaklıklarda detonasyon hız ve basıncının nasıl değiştiği incelenmiş, detonasyon hızının belli bir maksimuma ulaştıktan sonra hafif düşme gösterip sonra sabit kaldığı tespit edilmiş, detonasyon hızının ise 2500 m/s’ye kadar çıktığı tespit edilmiştir.

“K. Raghu, M. Rathinasabapathi ve P. V. Vaidyanathan” [37], patlama ile iki metalin plakajı (Cladding) konusunda yaptıkları çalışmada 1,5 mm kalınlığında benzer metal çiftlerini (Bakır-bakır, orta karbonlu çelik-bakır, bakır-alüminyum) özel jelatin patlayıcılar kullanarak (SG 90) yarıküresel şekilde belirtmişler, iki ayrı proses olan patlama ile şekillendirme ve patlama ile plakaj yapmayı tek bir işlemde gerçekleştirmişlerdir.

“Z. Tiesheng, L. Zhesheng, G. Changli ve T. Zheng”, küresel metal kapların patlama ile şekillendirerek üretilmesi konusunda yaptığı çalışmalarda bu yöntemle elde edilen kapların daha yüksek yükleme kapasiteli, daha ekonomik ve daha iyi bir görüntüye sahip olduğunu belirtmişlerdir [38].

Al-Hassani ve arkadaşları [39-40] 1965-1970 yılları arasında yaptıkları çalışmalarda Elektromanyetik metotla sac metal şekillendirme modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde bobin ve iş parçası bir elektrik devresi ile birleştirilmiştir. Bobin ve iş parçasına ait parametreler belirlenmiştir.

Al-Hassani ve arkadaşları [41] eşit devre modelleri oluşturarak bobin ve iş parçasına verilen akımı zenginleştirerek deneyler yapmışlar ve iş parçasına gelen kuvvetleri hesaplamışlardır.

1980 yıllarında bilgisayarların aktif olarak kullanılmaya başlanması ile elektromanyetik şekillendirme alanında çalışan araştırmacılar Takatsu [42], Gourdion [43, 44] ve Fenton [45] manyetik ortamın deformasyon olayına etkisini araştırmışlardır.

Belly ve arkadaşları [46] Rusya’da metallerin elektromanyetik şekillenmesi ile alakalı ilk kitabı çıkarmışlardır. Bu kitapta elektromanyetik şekillenmenin prensipleri, formüllerinin yanın kullanılan araç ve gereçlerden de bahsedilmiştir. Bu alanda çalışanlara bir el kitabı ve rehber olmuştur.

“Z. Rui ve Z. Tie-Sheng”, küresel basınç kaplarının patlama ile şekillendirilmesi konusunda yaptığı çalışmalarda, 1Cr18Ni9Ti paslanmaz çelik malzemeden sıvı amanyok kabı olarak 4 m çapında 33 m³ hacminde dört konili kaptan, küresel basınç kabını üretmeyi başarmışlar ve 18 mm kalınlığındaki paslanmaz çeliğin şok dalgalara gayet duyarlı olduğunu, şekillendirme işleminden sonra malzemenin sertleştiğini, bu sebeple ardışık patlama işleminin gerektiği hallerde parçanın tavllanması gerektiğini ifade etmişlerdir [47].

“Gavas M”., tarafından yapılan çalışmada sac metallerin konvansiyonel derin çekme yöntemleri dışında yeni bir yöntem olan detanasyonla derin çekme işlemine etkili parametreler incelenmiştir [48].

II.2. PATLAYICILAR İLE ŞEKİLLENDİRME

Patlayıcılar kullanarak şekillendirmeye gelişen teknoloji ile birlikte 1950’lerde özellikle uzay programlarının başlamasıyla, konvansiyonel metal şekillendirme sistemlerinin kapasitelerinin yetersiz kalması sonucu ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Bu ilgi özellikle patlayıcılarla şekillendirme metotlarına yönelmiştir. Bu alandaki gelişmeler hızlı bir ilerleme göstererek 1960 ortalarına gelindiğinde uçak ve uzay sanayi çok ve çeşitli büyüklükteki parçaları bu metotla üretmeye başlamışlardır. Bu parçaların ağırlığı birkaç kilodan birkaç tona, çapları 6 m ye’ ve kalınlıkları 15 cm kadar varmaktaydı [37, 38]. Bazı geniş parçalar için kullanılan geniş kalıpların ağırlıkları 60 tona kadar çıkmaktaydı [47]. Üretilen parçalar günümüzde kullanılan hemen hemen tüm metalleri içermekte ve kompleks parçalar şekillendirilmekteydi.

Günümüzde malzeme ve enerji kaynaklarının en verimli ve etkili kullanımı gittikçe önem kazanmaktadır. Bu nedenle parça üretimindeki metal işleme proseslerinde verimli ve ucuz enerji kaynağı olarak patlamalı şekillendirmenin kullanımına doğru bir eğilim vardır [49]. Böylece parça üretim şartlarının yenilenmesi, temel çalışmaların değerlendirilmesi ve çalışmalara ödenek ayrılması konusunda gelişmeler olmuştur.

Patlama ile şekillendirmede enerji kaynağı olarak kimyasal patlayıcıların detonasyonundan elde edilen kısa süreli fakat etkili enerji kullanılmaktadır. Bu yöntemde patlama sonucu detanasyon ve deflegrasyon veren patlayıcılar kullanılır, fakat günümüzde çoğunlukla detonatif patlayıcılar kullanılmaktadır [50].

İdeal bir patlamalı şekillendirme sistemi şu özellikleri taşımalıdır. Sistem basit olmalı, kontrolü ve kullanımı kolay olmalı, enerjinin yayılması için açık bir alanda hava ile temas halinde yapılmalı ve güvenli olmalıdır. Operasyon kontrol edilebilir bir alanda yapılmalı ve çevrede su bulundurulmalıdır. Operasyonun kontrol edildiği yere patlama çemberi adı verilir. Patlama çemberi kullanılan patlayıcının etki alanının haricinde, ses dalgalarından ve operasyon sonrası çıkan gazlardan etkilenmemelidir [23].

Yüksek ve düşük enerjili patlayıcılar kapalı ve açık kalıplarda, çeşitli şekillerdeki tasarımlarda ve büyüklüklerde kullanıldılar. Kapalı ve iki parçadan oluşan sökülüp takılabilen kalıplar genellikle karmaşık, silindirik ve konik parçaların şekillendirilmesinde aktif olarak kullanılmışlardır. Özellikle uzay sanayiinde geniş ve büyük parçaların istenen kalitede üretilmelerinde büyük ebatlardaki kalıp setleri kullanılarak üretimler yapılmıştır. Böylece tasarım ile üretim arasındaki zaman kısaltmakta, kısa zamanda çok büyük parçalar ekonomik olarak ve avantajlı bir şekilde üretilmektedir.

1960 sonlarına doğru motorlu taşıtlarda özellikle deniz altılarda kullanılan büyük ebatlardaki parçalar başarılı bir şekilde üretilmeye başlandı [48]. Günümüzde ise bu metotla üretilen parçalar gemi sanayisinde, tanklarda ve depolama amaçlı kova ve fiçilerde kullanılmaktadır.

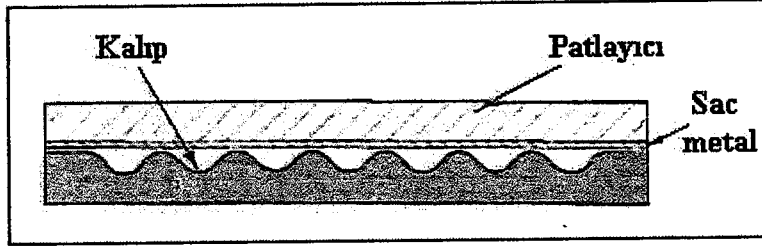
Büyük ebatlardaki parçaların açık kalıplarda üretimi atmosfer ortamında ve su içinde gerçekleştirilmiştir. Orijinal olarak, su içinde şekillendirme çoğunluk olarak Amerika'da, atmosfer ortamında şekillendirme ise Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır. İki tip operasyonda kendilerine has bazı avantajlara sahiptirler. Enerji iletim ortamı olarak hava kullanılan patlamalı şekillendirme operasyonları tank ve hassas kalıp setlerinin üretimi haricinde daha düşük bir maliyette ve daha kısa zamanda üretim yapabilme kabiliyetine sahiptir.

Patlama ile şekillendirme metodunu temas halinde olan ve temassız sistemler olarak iki grupta incelenebilir.

II.2.1. Temas Halinde Olan Sistem

Bu sistemde patlayıcılar iş parçası ile temas halinde veya iş parçasının yüzeyini korumak amacıyla ince ara tampon malzemesi içindedir. Şekil II.12'de görüldüğü gibi oluklu bir kalıp üzerine konan sac metal, üzerinde bulunan

patlayıcının etkisi ile şekillenir. Bu sistem genellikle şekillendirmede avantaj sağlamak ve zaman kazanmak amacıyla kullanılır.

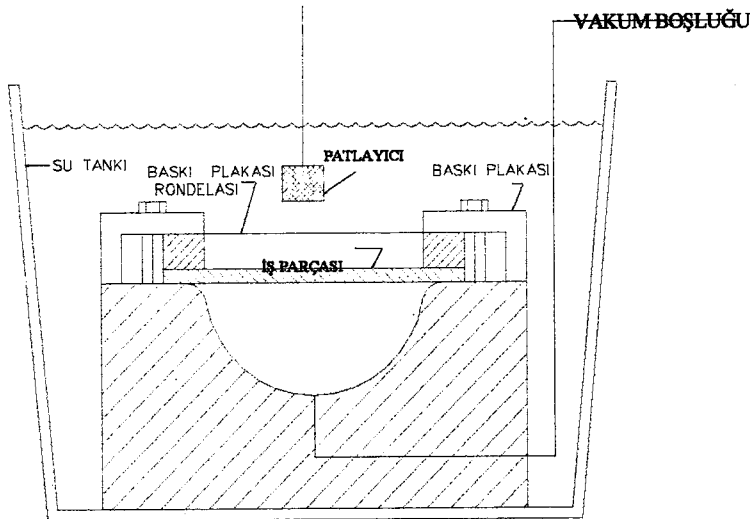


Şekil II.12. Toz patlayıcı kullanarak temas halinde olan sistem [51].

Ayrıca bu sistem genellikle sac metallerin kaynaklarının patlama ile yapılmasında veya sac metallerin üzerine kabartma şekillerin işlenmesinde de kullanılmaktadır [52, 92].

II.2.2. Temas Halinde Olmayan (Temassız) Sistem

Yaygın olarak kullanılan patlamalı şekillendirme metodu temassız sistemdir. Şekil II.13’de görüldüğü gibi iş parçası kalıp üzerine yerleştirilir ve hareket etmesini engellemek amacıyla çevresinden baskı plakası ile bağlanır. Kalıp boşluğunda bulunan hava vakumlanarak, iş parçası ile kalıp bir tank içinde bulunan iletkenin (genellikle su veya hava) içine yerleştirilir. Patlayıcı, şekillenecek sac metal parçadan belli bir mesafeye ve parçanın merkezi üzerinde olacak şekilde monte edilir. Patlayıcının aniden patlatılması ile iletken ortamda şok dalgası oluşur. Bu dalganın oluşturduğu basınç, sac metalin kalıbın şeklini almasını temin eder ve böylece şekillenme tamamlanmış olur [92].

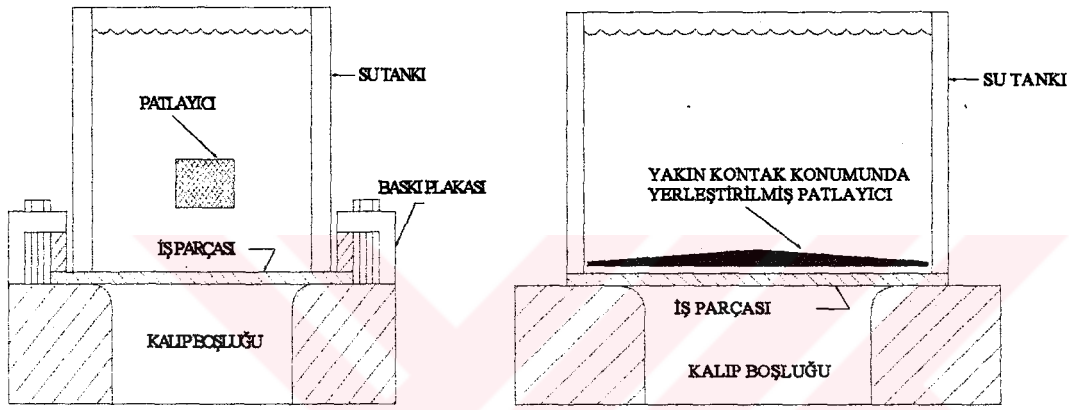


Şekil II.13. Kapalı bir kalıpta temassız şekillendirme metodu [48].

Temassız sistemi kendi arasında serbest şekillendirme ve kalıpla şekillendirme olarak ikiye ayrılır.

II.2.2.1. Serbest Şekillendirme

Kalıp kullanılmadan yapılan şekillendirmelere genellikle kalıpsız şekillendirme yada serbest şekillendirme adı verilmektedir. Genellikle hassas tolerans ve ölçü sınırları içinde istenmeyen simetrik parçaların üretiminde kullanılan bir metottur. Bu metotta parçanın şekillenmesinde patlayıcının miktarı ve şekillenecek parçaya olan mesafesi önemlidir. Şekil II.14'de serbest şekillendirme sisteminin detayları verilmiştir.



Şekil II.14 (a) Açık bir kalıpla serbest şekillendirme sistemi. (b) Yakın kontak serbest şekillendirme sistemi [48].

Sac metal kenarlarından sisteme monte edilerek patlama gerçekleştirilir. Burada amaç, patlamanın etkisi ile meydana gelen basınçla kalıp boşluğuna itilen parçanın kenarlarında oluşacak olan kırışık ve buruşuklukları önlemektir. Patlamadan sonra parça derin bir çukur şeklini alır. Bu patlamalı şekillendirme metodu genellikle elips, küresel ve hiperbolik şekillendirmeler için uygundur [92].

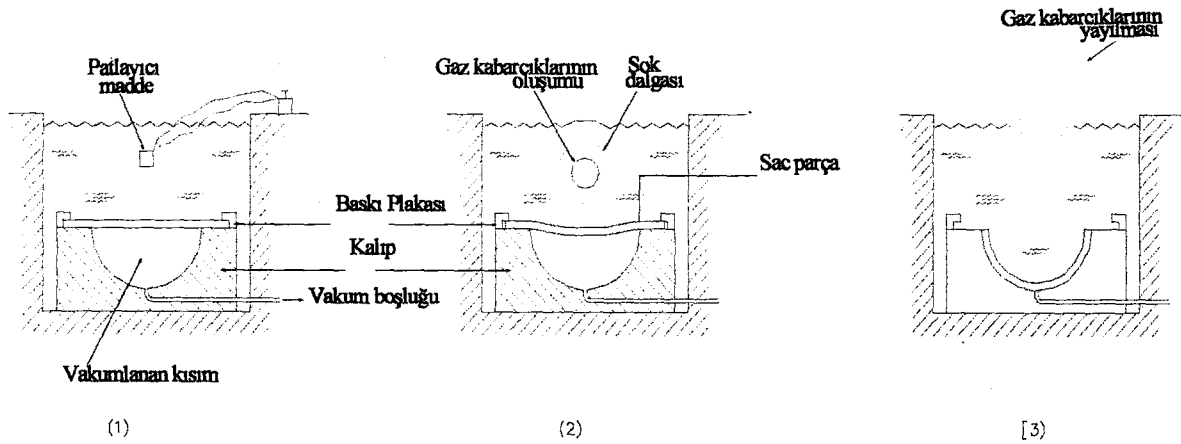
Serbest şekillenmede kullanılan diğer bir metot ise patlayıcıların iş parçası yüzeyine çok yakın yerleştirilmesi ile oluşturulan sistemdir. Berman ve Schroeder [53] patlayıcının dağılımı, tipi, şeklini ortam faktörleri ile bağlantılı olarak, oluşacak olan enerjinin büyüklüğünü, süresini, yayılmasını, iş parçasına etkisini göz önüne alarak bir yakın kontak serbest şekillendirme metodu tanımlamışlardır (Şekil II.14 b). Burada parça kenarlardan basit bir sistemle desteklenmiştir. Patlayıcı iş parçası üzerine istenen deformasyonu vermek amacı ile çeşitli miktarlarda yayılmıştır. Patlama ile oluşan enerji direk olarak iş parçasına etki ederek şekillenme gerçekleşir. Gerekli takdirde lokal olarak enerjinin büyüklüğü kontrol edilebilir [92].

II.2.2.2. Kalıpla Şekillendirme

Patlamalı şekillendirmede genel olarak kullanılan metot kalıpla şekillendirme değildir. Ancak şekillenme belli bir ölçüde istenmediği durumlarda kalıpsız şekillendirme adı verilen metot kullanılır. Kalıpla şekillendirmede hazırlanan dişi kalıp üzerine sac metal yerleştirilir ve kenarlarından sıkıştırılır. Kalıp içinde kalan havanın patlama esnasında sıkışarak şekillenecek parçaya ve kalıba zarar vermesini engellemek için vakumla boşaltılır. Kalıp genellikle su dolu bir tank içine yerleştirilir. Belirlenen bir mesafeye ve direk olarak kalıp üzerine de patlayıcı yerleştirilir. Patlama gerçekleştiğinde şok dalgası ve gaz kabarcıkları oluşturur. Oluşan şok dalgası büyük bir enerji kaynağıdır ve 5-10 μ sn içinde birkaç bin MPa gücünde basınç oluşturur. Bu basınç şekillenecek sac metale etki ederek onu kalıp içine doğru iter. Böylece sac metal patlamadan bir veya iki milisaniye sonra şekillenmiş olur [15, 92].

Patlama esnasında iş parçasının kenarlarının buruşmasını engellemek amacı ile baskı plakası yardımıyla şekillenmeyi etkilemeyecek kadar kenarlardan sıkıştırılması gerekmektedir [92]. Kapalı kalıplarda oluşan şekillendirmeler son derece düzgün ve simetrik sonuçlar verir. Bu nedenle patlamalı şekillendirme ile elde edilen parçaların, konvansiyonel metotlarla elde edilen parçalardan özellikle ölçü toleransları olarak daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir [16].

Şekil II.15'de kalıpla şekillendirme metodunun üç aşaması (hazırlanma, patlatılma ve şekillendirme) görülmektedir. Burada dişi veya erkek kalıp kullanarak şekillendirme işlemi belirli toleranslar dahilinde yapılabilmektedir.



Şekil II.15. Kalıp kullanarak gerçekleştirilen patlamalı şekillendirmenin safhaları 1- Sistemin hazırlanması 2- Patlama ve şekillenmenin başlangıcı 3- Şekillenmenin tamamlanması [35].

II.2.2.3. Patlamalı Şekillenmede Basınç Hesabı

atlamalı şekillendirmede ortam içinde oluşturulan basınç (p) genel olarak aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$P = K \left(\frac{\sqrt[3]{W}}{R} \right) a \quad (2.10)$$

Burada,

P = Her cm²'ye gelen basınç.

K = Kullanılan patlayıcı sabiti (TNT için 21600).

W = Kullanılan patlayıcının ağırlığı (kg).

R = Patlayıcı ile iş parçası arasındaki mesafe (cm).

a = Sabit (genel olarak 1,15 alınır).

Pik noktadaki basıncı belirlemede önemli bir faktör enerjinin transfer edildiği ortamın sıkıştırılabilirliği ve akustik iç direncidir. Buda kullanılan ortamın yoğunluğuna ve ortamdaki ses hızına bağlıdır. Ortamın düşük sıkışabilirliği ve yüksek olan yoğunluğu basıncın yükselmesini sağlar. Su seviyesi ve patlayıcı arasındaki mesafe çok küçük olmamalıdır. Aksi halde enerji hızlı bir şekilde tank dışına yayılır. Detanasyon hızı tipik olarak 6700 m/s ve sac metalin şekillenme hızı tahminen 30 ile 200 m/s arasındadır [23].

II.2.2.4. Patlamalı Şekillendirmede Ortam Seçimi

Patlamalı şekillendirmede ortam seçimi, pratik oluşundan dolayı genellikle hava ile su arasında yapılır. Hava suya oranla sıkıştırılabilir bir özelliğe sahiptir. Bu nedenle şok basınçlar hava ile çok daha yavaş ve yumuşak bir şekilde üretilir. Hava kullanmanın diğer bir avantajı ise su tankına gerek olmaması dolayısı ile daha ekonomik olmasıdır. Bunun yanında mum, plastik, yağ, mum gibi sıvı ve katı ortamlarda kullanılmaktadır [92].

Şok dalgasının hızı kullanılan ortam tarafından kontrol edilir. Patlamalı şekillendirmede çoğunlukla kullanılan ortam sudur. Bunun nedeni ise suyun mükemmel bir transmisyon karakteristiğine sahip olması, ucuz olması, akışkan olması ve iş parçasının şekline uyumlu olmasıdır [92].

Su ile şekillendirme veya iletken ortam olarak su kullanılması durumunda patlamanın şok etkisini kaldırabilecek bir tank tercih edilmelidir. Bu amaçla tasarlanacak su tankında patlayıcının enerjisi direk olarak şekillenecek parçaya

gitmelidir. Kalan diğerk enerji ise şok dalgası olarak su içinde merkezden dışı doğru dairesel olarak yayılmalıdır. Tasarım esnasında güvenlik faktörü de göz önüne alınmalıdır. Genellikle tank için orta sertlikte çelik kullanılmaktadır. 8.6 kg TNT 6.1 m uzaklıktan 13765 kPa basınç oluşturmaktadır [24]. Bu şoku karşılayabilen ve dikey duvarları olan bir su tankının maliyeti oldukça fazladır.

Su altında yüksek patlayıcılar patlatıldığında; yüksek yoğunluktaki basınç, hızla şok dalgaları meydana getirir ve bu dalgalar suyun içinde ilerler. Bunlar başlangıç şok dalgaları olarak bilinir ve saniyede $1463.p^{0.3}$ m'lik bir hızla hareket ederler [52, 92].

Radyal yayılma ilerlemesi dışı doğru olan radyal hareketin durmasıyla son bulur ve o anda hareket geriye doğru çevrilmiş olur. Sonra gaz kabarcıkları çökeler ve benzer şekilde bu kabarcıklar yüksek basınca sahip sıkıştırılmış bir top şeklini alıncaya kadar denge pozisyonunda çok hızlı hareket ederek ikinci şok dalgası olarak bilinen dalgaları meydana getirirler. patlayıcılarla şekil verme operasyonu esnasında bu durum, gaz kabarcıkları 12 çevrim yapıncaya kadar devam eder [54]. Fakat çevrim sayısı arttıkça şok dalgalarının sayısı ve etkisi azalacağından, ilk şok dalgası deformasyon da en etkili olanıdır [92].

II.2.2.5. Patlayıcı ile İş Parçası Arasındaki Mesafe (Stand-off)

Patlayıcının yerleştirildiği yer ve mesafe iş parçası üzerine gelen enerjinin büyüklüğünü ve yönünü belirleyeceği için önemlidir. Şekillendirme esnasında eğer tek patlayıcı kullanılıyorsa optimum mesafe iş parçasının merkez eksenine üzerindedir. Böylece maksimum deformasyon elde edilir [92]. Patlayıcı ile iş parçası arasındaki mesafe çok iyi ayarlanmalıdır. Bu mesafe büyük olursa aşırı bir patlama gücü gerekecek, dolayısı ile patlayıcı miktarı artacak, yakın olması durumunda ise iş parçası üzerinde lokal deformasyonlara ve incelmelere yol açabilir. Bu nedenle optimum mesafe çok iyi tespit edilmelidir. Optimum mesafe kullanılan patlayıcının cinsine, miktarına, şekline, yerleştirilmesine, kullanılan ortama ve iş parçasının geometrisine bağlıdır. Bu nedenle üniversal bir optimum mesafe belirlemek mümkün değildir [55,92]. Genel kaide olarak tek noktadan patlayıcı kullanıldığında bu mesafe çapı 0,60 m'ye kadar olan küçük boyutlu dairesel iş parçası için yaklaşık iş parçasının çapı kadar, daha geniş iş parçaları için ise iş parçası çapının yarısı kadar olmalıdır [48].

II.2.2.6. Patlayıcının Miktarı ve Biçimi

Patlamalı şekillendirme sisteminde önemli etkenlerden biride kullanılacak olan patlayıcının miktarı ve biçimidir. Noble ve Oxley [56] bu konuda çalışmalar yapmışlar ve basit analizler geliştirmişlerdir. Şekillendirme işleminde iş parçasının yüzey alanının artışında kullanılan analizler istenilen şeklin hesaplanmasında temel teşkil eder. Aynı zamanda bu deformasyonu oluşturmak için gerekli olan enerji iş parçası üzerine etki eden patlama enerjisine eşittir. Bu enerji, patlayıcının ortasında rijit açı yapan iki ucun birleştirilmesi sonucu oluşan patlama ile elde edilir. Deformasyonun dairesel şekilde oluşması aşağıdaki eşitlikle açıklanmaktadır [92];

$$ty\pi h^2 = \frac{W_n \theta^2}{4} \quad (2.11)$$

W = Detonasyonda açığa çıkan kimyasal enerji

h = Maksimum deformasyon miktarı (Maksimum çekme derinliği)

t = İş parçasının kalınlığı (sabit olarak alınır).

y = Kullanılan malzemenin akma gerilmesi

η = Enerji transferinin verimi

θ^2 = Şarj esnasında birleşen iki uç arasındaki rijit açı (Radyan).

Şekillenecek olan iş parçasının büyüklüğüne ve istenen yerlerde deformasyon miktarını arttırmak için iş parçası üzerinde değişik yerlerde farklı miktarlarda patlayıcı kullanılır. Bu metot genellikle simetrik olmayan iş parçalarında uygulanır.

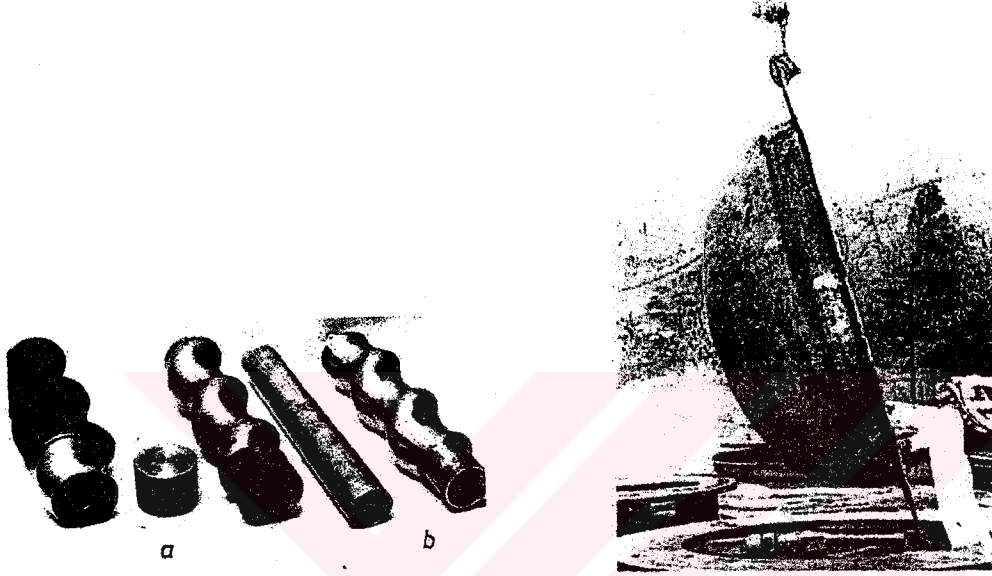
II.2.3. Patlamalı Şekillendirmenin Avantajları

- 1- Kalıp tasarımı basittir, erkek kalıba gerek yoktur ve kalıp maliyeti geleneksel metotlara göre daha düşüktür. Gerek parça gerekse kalıp ebatlarını değiştirmek ve çeşitlendirmek çok kolay ve ekonomiktir.
- 2- Sistem içinde patlayıcıların kullanımı çeşitli şekillerde olabilir (tabaka, sıvı, palet, rulo, yuvarlak). Bu durum verilen kalıp şekli için optimum konfigürasyonu sağlamaya yarar.
- 3- Büyük ebattaki parçalar basit kalıplar kullanılarak (kumdan veya betondan) rahatlıkla şekillendirilebilir.
- 4- Sert malzemelerden roket başlığı gibi kompleks parçalar üretilebilir.
- 5- Özellikle büyük ebattaki parçaların üretiminde işçilik ve maliyetten tasarruf sağlar.

6- Geleneksel metotlara nazaran daha ekonomiktir. Şekillendirme için herhangi bir ekipmana (pres, zımba, baskı plakası v.s.) gerek yoktur.

7- Patlamalı şekillendirme yüksek derecede hızlı ve verimli çalışan randımanlı bir sistemdir [57].

Patlamalı şekillendirme ve dökümle elde edilen parçaların karşılaştırılması Şekil II.16'da verilmiştir. Şekil II.16-c'de verilen parça ise patlamalı şekillendirme ile büyük çapta parçaların elde edilmesine bir örnektir.



Şekil II.16. a) Dökümle elde edilmiş b) Patlamalı Şekillendirme ile elde edilmiş parçaların karşılaştırılması [49] (c). Patlamalı şekillendirme ile elde edilen dome [58].

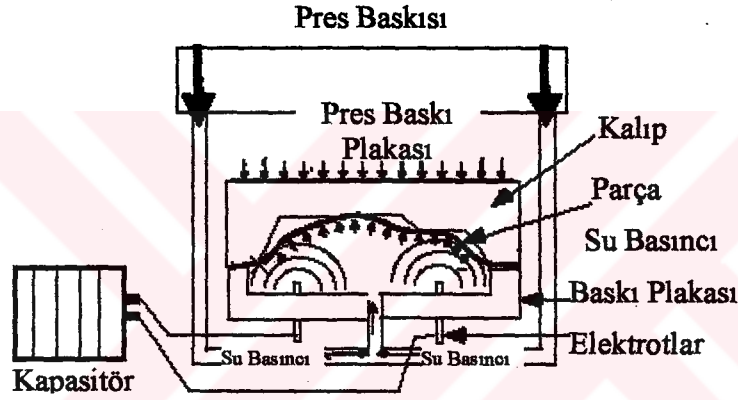
II.3. ELEKTRO MANYETİK (EM) ŞEKİLLENDİRME

Yüksek hızda şekillendirmenin en yaygın olarak kullanılan ve sac metallerin şekillendirilmesinde önemli yeri olan bir şekillendirme tekniğidir. Bu tekniğin diğer bir adı da "Manyetik İtme ile Şekillendirme"dir.

Bakır sülfat elektrotlar kullanarak ilk defa 1838 yılında Rusya İlimler Akademisinde Profesör Jacobi şekillenmiş parçalar elde etti [59, 92]. 1900 yılından sonra bakırın aktif olarak kullanılması ile tabak, kap ve kabartma şeklindeki parçalarda bu metot kullanılmıştır. 1930 yılından sonra motorlu taşıtların kütleli üretimi ile bu metot üretim sistemlerinde daha çok kullanım alanı bulmuş oldu. Fakat 1960 yılından beri bu teknik endüstri tarafından çok az bir sahada kullanılmış olup adeta unutulmuştur. Bu nedenle EM şekillendirme ve şekillenme esnasında malzemenin davranışları yeterince araştırılmamıştır [92].

Son zamanlarda yayınlanan az sayıdaki makalelerde bu teknolojinin günümüz problemlerine nasıl çözümler sunduğunu görmekteyiz [60,61]. Bu alanda yapılan literatür çalışmalarında yayınlanan çalışmaların çoğunun 1960 ile 1970 yılları arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Elektromanyetik şekillendirme, doğru akım güç kaynağı tarafından şarj edilen kondansatörlerin bobine deşarjı sonucunda oluşan birkaç milisaniyelik çok yoğun bir manyetik alanın iletken iş parçasında Eddy akımı oluşturması ile başlar. Bu akımda kendi manyetik alanını oluşturur. Her iki manyetik alanın etkileşmesi ile bobinle iş parçasının birbirlerini itmesi sonucunda şekillenme başlar. Bu arada iş parçası kalıp üzerine çarpar (Şekil II.17). İki taraf arasındaki itme kuvvetleri iş parçasında indüklenen akıma ve bu nedenle de esas olarak bobindeki akım değişikliğinin oranına bağlıdır [92].



Şekil II.17. Elektromanyetik Şekillendirme [62].

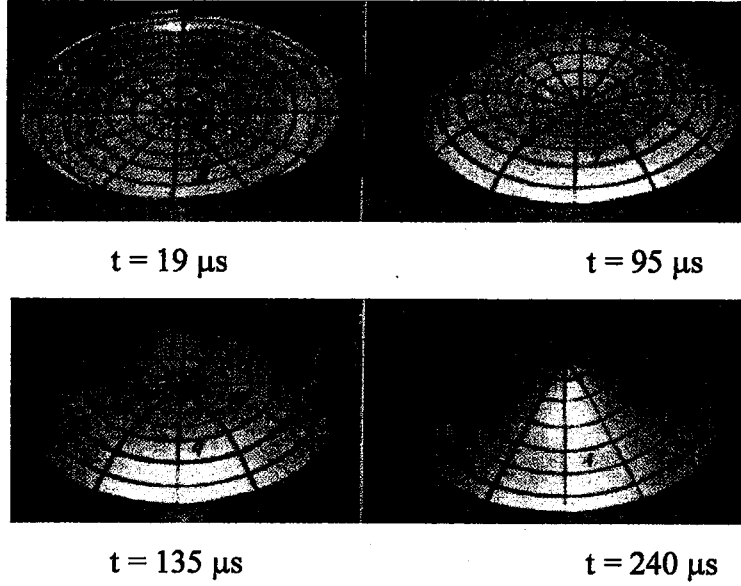
İş parçasının manyetik olması gerekli değildir. Fakat elektriksel iletkenliği önemli bir faktördür. İletkenliği zayıf veya iletken olmayan malzemeler için özel metotlar geliştirilmiş olmasına rağmen en iyi sonuçlar bakır ve alüminyum gibi iyi iletkenliğe sahip metallerle elde edilir. Bu metot ince cidarlı tüplerin üretiminde, ince sac veya tüplerden yapılacak hafif parçaların şekillendirilmesinde ve montajında kullanılır [92].

II.3.1. Deformasyon İşlemi

Deşarjdan sonra deformasyon çok hızlı başlar. Şekil II.18'de şekillenen parçanın yüksek hızda çekilmiş fotoğrafları verilmiştir. Deşarjdan 19 μ s sonra şekillenme başlamakta ve 240 μ s sonra ise şekillenme işlemi tamamlanmaktadır.

Normal olarak yapılan bir elektro-manyetik şekillendirmede iş parçası ile kalıp arasında 1 cm'lik bir boşluk bırakılır. 100 m/s'lik bir şekillenme olduğunu

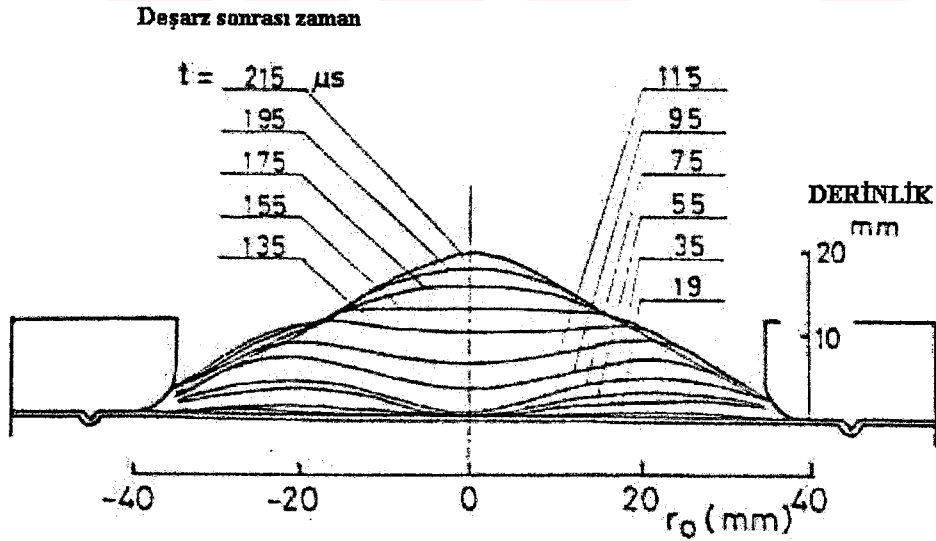
varsayarsak $100 \mu\text{s}$ 'de şekillenme tamamlanır. Operasyonun tekrarlanabilmesi için kondansatörlerin yeniden doldurulması gereklidir. Buda genellikle kondansatörlerin kapasitesine ve elektrik devresine bağlıdır.



Şekil II.18. Deformasyon esnasında şekillenen parçanın yüksek hızda alınan fotoğrafları [63].

Tipik bir elektromanyetik şekillenme makinası bir saatte 600-1200 operasyon gerçekleştirebilir. Tam otomatik bir sistemle bu rakam saatte 12000 operasyona ulaşabilir [1].

Şekil II.19'da ise şekillenme esnasındaki profillerin oluşum zamanları ve derinlikleri görülmektedir.



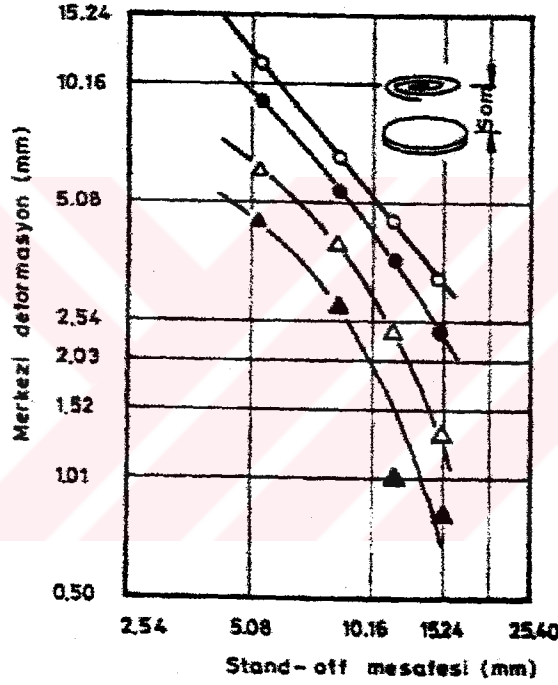
Şekil II.19. Parçanın deformasyon esnasında oluşan profilleri [63].

Alüminyum bir tüp üzerinde şişirme metodu kullanılarak şekillenme yapılmış ve deformasyon hızı $20 \mu\text{s}$ 'den sonra $121,92 \text{ m/s}$ olarak bulunmuştur. Zaman arttıkça

hızda düşme görülmüş ve 150 μ s'nin üzerinde hız 67,05 m/s olmuştur [60]. Deneysel sonuçlar 200 k Gauss'luk alan içinde 31,75 mm çapındaki alüminyum tüpte hızın 300 m/s'ye kadar ulaştığını göstermektedir [64, 92].

II.3.2. Parça ile İş Parçası Arasındaki Mesafe ve Radyal Boşluk

Maksimum deformasyonu elde etmek için bobin veya alan şekillendiricisi iş parçasının çevresine en uygun aralıkta yerleştirilmelidir. EM şekillendirmede 0,635 mm'lik boşluk yükleme ve boşaltma için uygundur [52]. 50 mm çapında ve et kalınlığı 1,27 mm olan alüminyum levha üzerinde değişik mesafeler ile yapılan deney sonuçları Şekil II.20'de görülmektedir. Mesafe arttırıldıkça elde edilen merkezi deformasyonda artmaktadır [92].

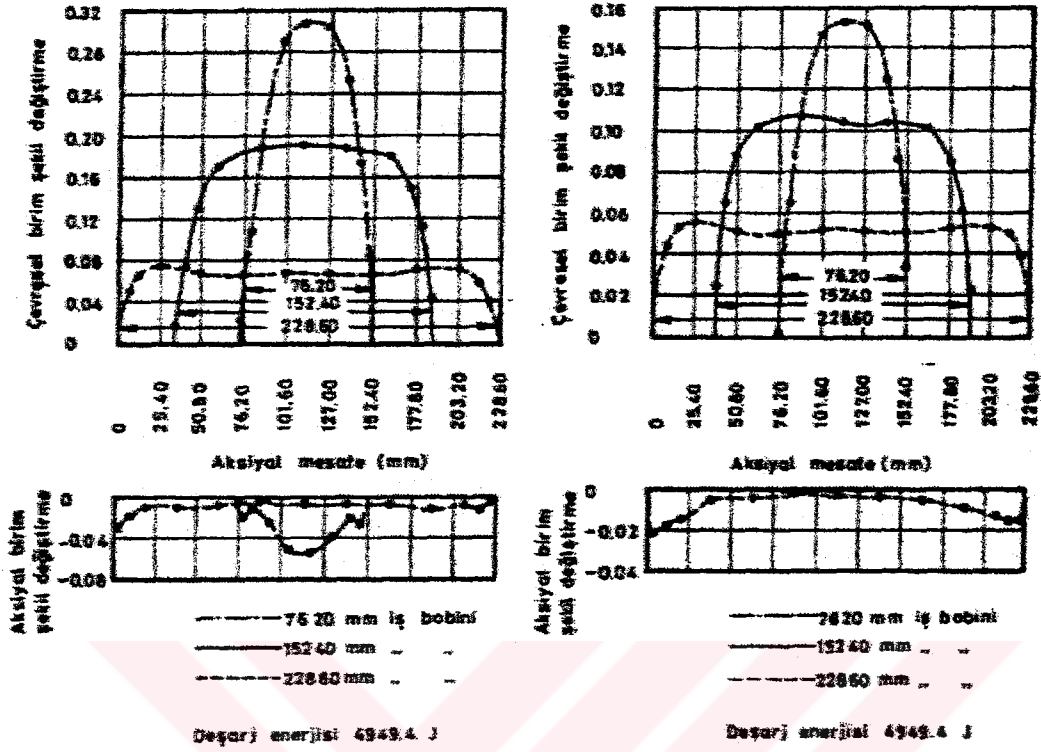


Şekil II.20. Serbest şekillendirilen Alüminyum levhada parça ile iş parçası arasındaki mesafenin (Stand-off mesafesi) merkezi deformasyon üzerindeki etkisi [66].

II.3.3. Gerilme Dağılımı

EM şekillenmede kullanılan malzemenin öz direnci, iletken olması şekillendirme işlemi için önemlidir. Genellikle kullanılan malzemelerin öz dirençlerinin 15 mikro-ohm/cm'den az olması istenir [65, 92]. Bunlar alüminyum, bakır, princi, düşük karbonlu çelik gibi malzemelerdir. İletken olmayan malzemelerin şekillendirilmesinde iş parçasının çevresine genellikle alüminyumdan yapılmış iletken sürücüler yerleştirilir [92].

Baines ve arkadaşları [20] \varnothing 50,8 mm olan alüminyum ve bakır tüpleri çevreden şişirerek gerilme dağılımını incelemişlerdir (Şekil II.21).



Şekil II.21. Çevresinden şişirilerek şekillendirilen tüplerde çevresel ve aksiyal şekil değişimi dağılımı [52].

II.3.4. EM Şekillenmenin Avantajları

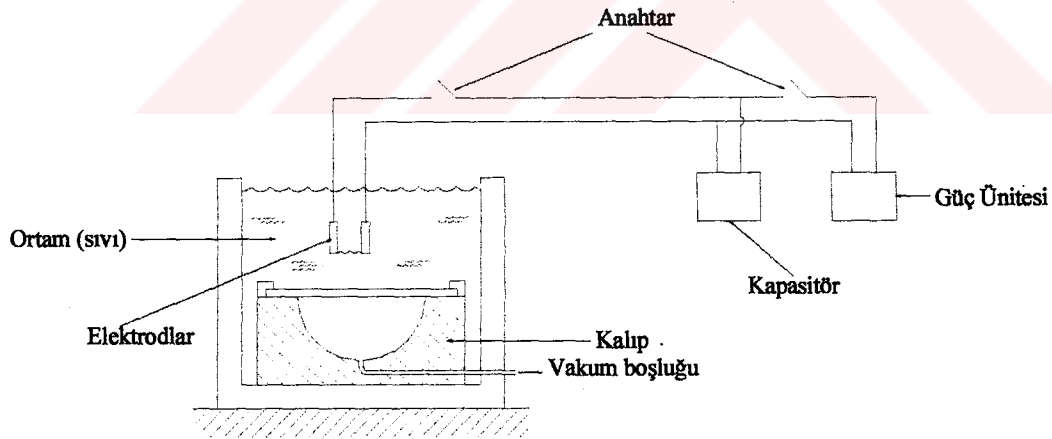
- Çok hassas tolerans istenen parçaların üretiminde, geleneksel metotlarla tek kademede üretilmeyen karışık kompleks parçaların üretiminde, hatta bazı parçalar sadece bu metotla üretilmektedir.
- Üretim prosesi küçük ve kütleli üretime elverişlidir.
- Sistem için gerekli olan malzemeler pahalı değildir ve operasyon, işçilik ücretleri oldukça düşüktür.
- Şekillenmede önemli derecede başarı sağlayan bir metottur.
- Buruşma ve kırışmalar en aza indirilebilir hatta yok edilebilir.
- Elde edilen yüzey düzgün ve pürüzsüzdür. Bu nedenle bu teknik yüzey kabartma ve süslenmesinde kullanılabilir.
- Çevre kirliliğine yol açmayan ve yağlama gerektirmeyen bir prosestir.

Dezavantaj olarak yüksek voltajlı elektrik akımı kullanıldığı için güvenlik önlemleri alınmalıdır. Ayrıca bobin tasarımındaki problemlerden dolayı çok geniş ebatlardaki parçaların üretimi için elverişli değildir.

EM şekillenmede kullanılan kalıp malzemeleri genellikle çelik veya epoksi reçineden yapılırlar. Kalıp malzemelerinin düşük elektrik iletkenliğine sahip olması dolayısıyla manyetik tampon etkisini minimize etmesi istenir. Kalıp içindeki hava sık sık boşaltılmalıdır.

II.4. ELEKTRO-HİDROLİK ŞEKİLLENME

Depolanan elektrik enerjisinin aniden sıvı (genellikle su) bir ortam içinde deşarj edilmesi esasına dayanan bu sistem elektro-hidrolik şekillenme olarak adlandırılır. Bu metotta en önemli kısım kilo-joule seviyesinde depolanan elektrik enerjisinin sıvı ortam içinde bulunan elektrotların uçlarındaki boşlukta aniden deşarj edilmesidir. Elektrik enerjisi su içinde şok dalgalarına dönüştürülür [92]. Şekil II.22'de görüldüğü gibi su içine yerleştirilen kalıp üzerindeki iş parçası, oluşan şok dalgalarının etkisiyle deformasyona uğrar. Ani deşarj sonucunda suda buharlaşma ve binlerce sıcaklık derecesinde küçük bir plazma oluşurken yüksek basınç meydana gelir. Plazma çekirdeğinin çok hızlı şekilde su içinde enerjiyi bir şok dalgası halinde iş parçası üzerine transfer etmesi ile gaz kabarcıkları yayılır. Gaz kabarcıkları su içinde birkaç kez genişleyip daralarak dağılır. Deformasyon işleminin büyük bir kısmı ilk şok dalgasında meydana gelir [92].



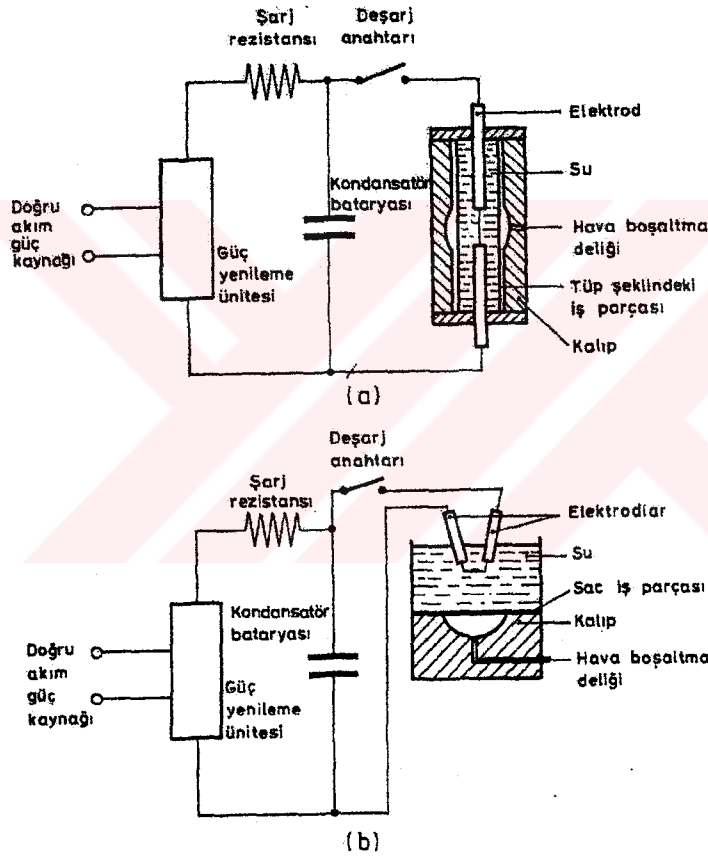
Şekil II.22. Elektro-hidrolik yöntemle şekillendirme [1].

Elektrotların uçları ince bir tel ile bağlanarak (tetikleme teli) yani bir köprü oluşturularak yapılan operasyonlarda daha tutarlı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Buna rağmen köprü oluşturmak işlemi otomatikleştirmek için zorluk çıkarmaktadır. Piyasada bulunan elektro hidrolik şekillendirme makinelerin de her iki sistemde kullanılmaktadır [2, 92].

Şok dalgası deşarj edilen enerjinin hemen hemen yarısını taşıyarak iş parçasına etki eder. Geriye kalan enerji plazma kabarcıkları etrafında hareket eden sıvının kinetik enerjisi tarafından taşınır. Akışkanın kinetik enerjisi kullanılan deformasyon enerjisinin çoğunu sağlamaktadır [2].

Elektrotlar arasındaki boşluk, suyun iletkenliği, iş parçasının büyüklüğü gibi etkenlere bağlı ise de direk olarak şarj voltajı ile alakalıdır. Eğer sistemde tetikleme teli kullanılmamış ise bu boşluk 10 kilovolt'ta 12,7 mm, 50 kilovolt'ta ise 50,8 mm'dir [26, 62].

Bu metodun verimliliği sistem parametrelerine bağlı olarak çoğu operasyonlarda % 10, maksimum % 15 civarındadır [68].



Şekil II.23. Elektro-hidrolik Yöntemle Şekillendirme a) Düz sac metalden üretilen parçalar için b) Tüp şeklindeki parçalar için [52].

Elektro-hidrolik şekillendirmenin en çok kullanıldığı alanlar sac metallerin serbest, kalıpla şekillendirilmesi veya boru, tüp gibi parçaların üretimidir. Şekil II.23. a ve b'de bu metotlara birer örnek verilmiştir. En büyük avantajı ise seri üretime elverişli ve deşarj edilen enerjinin kontrol edilebilir olmasıdır. Tek dezavantajı ise çok büyük kondansatörlere ihtiyaç duyulmasıdır [92].

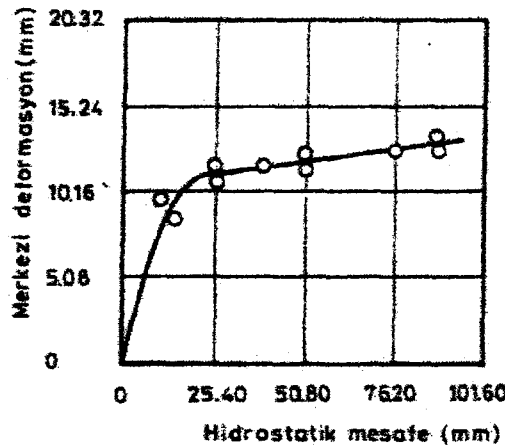
II.4.1. Şarj Voltajı ve Enerji Dönüşümü

Kondansatör bataryasında depo edilen elektrik enerjisi elektrotların ucunda bulunan ateşleme teli ile veya tel kullanılmıyorsa boşlukta sıvı ortam içinde deşarj edilmesi ile elektro-hidrolik şekillenme oluşur. Tel kullanılarak yapılan işlemlerde 4 kw ile 7 kw arasındaki bir değerde kondansatörün şarj edilmiş olması gereklidir. Tel kullanılmayacaksa bu şarjın 40 kw civarında olması gereklidir. Ateşleme teli kullanılan enerji miktarında azaltma sağlar. Deşarj olayından sonra ateşleme telinin mutlaka yenilenmesi gereklidir [92].

Su içinde deşarj edilen elektrik enerjisi yüksek bir elektrik akımı, çok hızlı iyonizasyon ve yüksek derecede ısı meydana getirir. İyonlaşmış kanalı çevreleyen su, genişleyen gaz için atalet direnci meydana getirdiğinden sıcaklığın yükselmesi oranında gaz genişlemesi olmaz. Bu nedenle gaz yastığındaki basınç çok kısa bir zamanda yüksek bir değere ulaşır. Basıncın boşalması suyun dinamik hareketleri ile olur. Boşalan bu basınç dik durumda ön basınç dalgası şeklini alır. İş parçası üzerine etki eden şok dalgalarının etkisi ile şekillenir veya kalıp içine itilerek preslenir [48].

II.4.2. Hidrostatik Mesafe

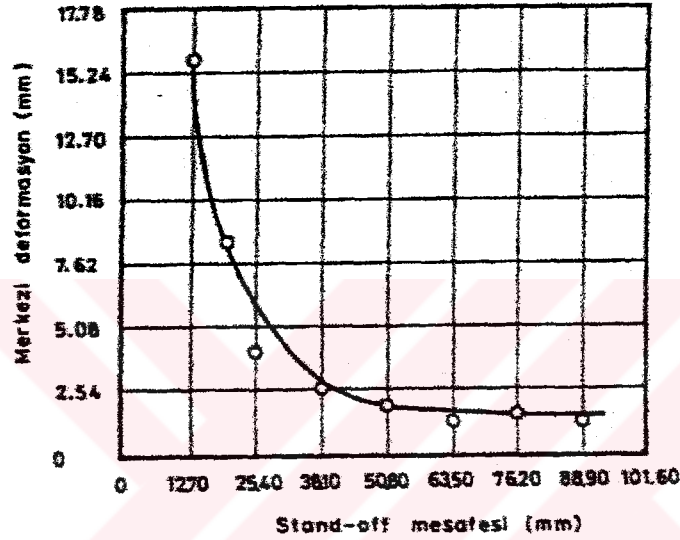
Bu mesafe elektrotların ucunda meydana gelen kıvılcım ile su yüzeyi arasındaki dik mesafedir. genellikle elektro-hidrolik şekillendirme kapalı ortamda yapıldığı için hidrostatik mesafe önemli değildir. Fakat su yüzeyinin açık ve serbest olduğu durumlarda elektrotların deşarj yerinin deformasyon üzerinde önemli bir etkisi vardır. Maksimum deformasyon elde etmek için hidrostatik mesafenin en azından elektrotlar ile iş parçası arasındaki mesafeye eşit olması gerekir [48, 92]. Şekil II.24'de hidrostatik mesafenin merkezi deformasyona etkisi görülmektedir.



Şekil II.24. Serbest şekillendirilmiş alüminyum sac levhada hidrostatik mesafenin merkezi deformasyon üzerindeki etkisi [69].

II.4.3. Elektrotlar ile İş Parçası Arasındaki Mesafe (Stand-off) Mesafe

Bu mesafe elektro-hidrolik şekillenmede deformasyon üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Deşarj sonucu oluşan şok dalgaları küresel olarak büyümekte ve deşarj noktasından uzaklaştıkça doğrusal olarak azalacağı için deformasyon miktarı Şekil II.25'de görüldüğü gibi stand-off mesafesinin artması ile azalır. Ayrıca sistemin içinde bulunduğu su tankı ebatlarının stand-off mesafesinden daha az olması durumunda oluşan şok dalgaları su tankı duvarlarından geri döneceğinden deformasyon oluşumu azalır [92].



Şekil II.25. Serbest şekillendirilmiş bakır sac metalde Stand-off mesafesinin merkezi deformasyona etkisi [48].

Tüplerin genişletilerek şekillendirilmesinde stand-off mesafesi tüpün çapı ile kontrol edilir ve değişken olarak göz önünde bulundurulamaz. Büyük çaplı tüplerin şekillendirilmesi stand-off mesafesinin büyük olması ile mümkündür ve bu sebeple tepe basıncı ve deformasyon miktarı orantılı olarak azalır [48].

II.4.5. Elektro-hidrolik Şekillendirmenin Teorik Analizi

Bu şekillenmenin teorik analizlerinden biri Kegg [69] tarafından gerçekleştirilmiştir. Burada sac metalin serbest olarak şekillenmesi ele alınmış ve parametreler incelenmiştir [48].

$$d = \frac{Kr(1/2CV^2)^m g^{1/2}}{TR^n \sigma \rho} \quad (2.12)$$

d = sac metalin merkezi deformasyonu, m.

r = Kalıptaki deliğin ağız yarıçapı, m.

T= İş parçası kalınlığı, m

C= Kondansatör bataryasının kapasitansı, F

V= şarj voltajı, V

R= Stand-off mesafesi, m

g = Yerçekimi ivmesi, m/s²

σ = İş parçasının çekme gerilmesi, Pa

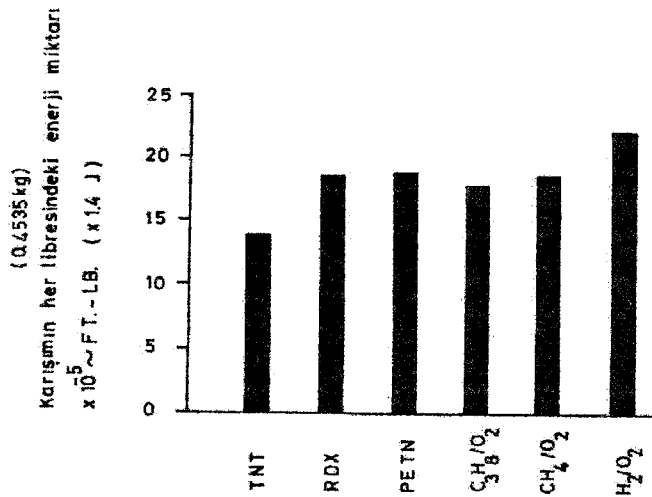
ρ = İş parçası malzemesinin yoğunluğu, N/m³

K, m, n = Ampirik sabitler.

Genellikle metallerin çoğu için K, m, n katsayıları sırası ile 0,00295, 0,363 ve 0,822 olarak belirlenmiştir [48].

II.5. GAZ DETONASYONU İLE ŞEKİLLENDİRME

Birbiri ile karışabilir gazların uygun bir ortamda belli oranlarda karıştırılarak yüksek hızda yanması sonucu elde edilen kısa süreli fakat etkili enerji iş parçası üzerine yönlendirilerek sac metale istenilen şekil verilmesine gaz detonasyonu ile şekillendirme denir. Yamma olayı çok hızlı ve ani olduğundan ses üstü yanma “Detonasyon” adını alır. Genellikle enerji kaynağı olarak patlayıcı ve yanıcı gazlardan oluşan hidrojen-oksijen, propan-oksijen veya asetilen-oksijen karışımları kullanılmaktadır. Yüksek patlayıcılarla yanıcı gaz karışımlarının verdikleri enerjilerin karşılaştırılması Şekil II.26’da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi patlayıcı gazlardan elde edilen enerji miktarları daha fazladır.



Şekil II.26. Yüksek patlayıcılarla yanıcı gaz karışımlarının verdikleri enerjilerin karşılaştırılması [48].

Detonasyonla şekillendirme ile alakalı ilk çalışmalar A.B.D.de “General Amerikan Transportation Company” adlı şirket tarafından yapılmıştır [35, 92].

Gaz detonasyonu ile şekillendirme tekniğinin endüstri ile entegre olması, üretim sistemleri içinde yerini alması gerekmektedir. Çünkü detonasyonla elde edilen enerji patlayıcılarla elde edilen enerjiye eşit ve sistem olarak daha basittir [70]. Literatürde gaz detonasyonu ile şekillenme üzerine çok az sayıda çalışmanın yapıldığını ve bunların bilimsel analizler olduğunu görmekteyiz. Bu şekillendirme metodu büyük ebattaki özellikle uçak ve roket başlığı v.s. gibi parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Aynı zamanda ince cidarlı malzemelerden fazla derin olmayan kompleks şekillerin hızlı bir otomasyonla üretilmesi için en uygun metotlar arasındadır. Birkaç saniyede operasyonu gerçekleştirmek mümkündür [92].

Gaz detonasyonu ile şekillendirme gelecek için umut vadeden yeni bir metottur. Pek yakında patlamalı şekillendirme ve elektro hidrolik şekillendirme arasındaki boşluğu dolduracaktır [48, 92].

Cam ve plastik endüstrisinde kullanılan tekniklere benzer tekniklerle süperplastik malzemelerin çoğunluğu gaz detonasyonu ile şekillendirilmektedir. Özellikle son yıllarda süperplastik malzemelerin şişirilerek şekillendirilmesi araştırmacılar tarafından çalışılmaktadır.

II.5.1. Detonasyon Hızı

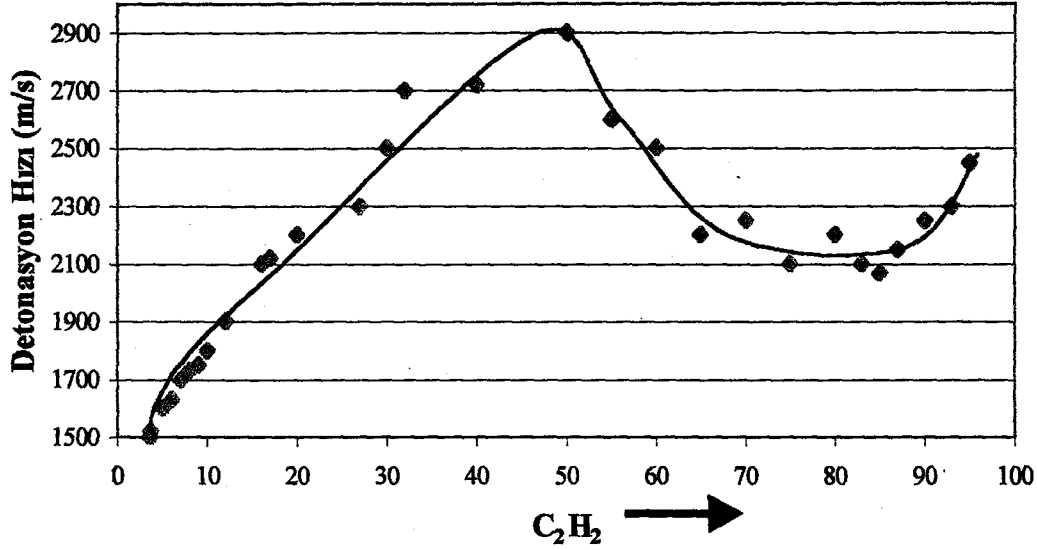
Detonasyon olayı Mallard Le Chatelier ve Berthelot ve Vieille [71] tarafından ilk defa 1881 yılında keşfedildi. Berthelot ve Vieille iki önemli olayı gözlemlediler;

- Normal basınç ve ısıda kapalı bir tüpte bulunan gaz karışımı ateşlendiği zaman yanma hızı genel olarak maksimuma ulaşıncaya kadar artar ve sonra sabit kalır.
- Her karışım hava fazlalık katsayısına göre belli bir maksimum hıza sahiptir.

Bu hızlar genellikle 1000-3500 m/s arasındadır. Bazı olağan üstü durumlarda ses hızından birkaç kez fazladır.

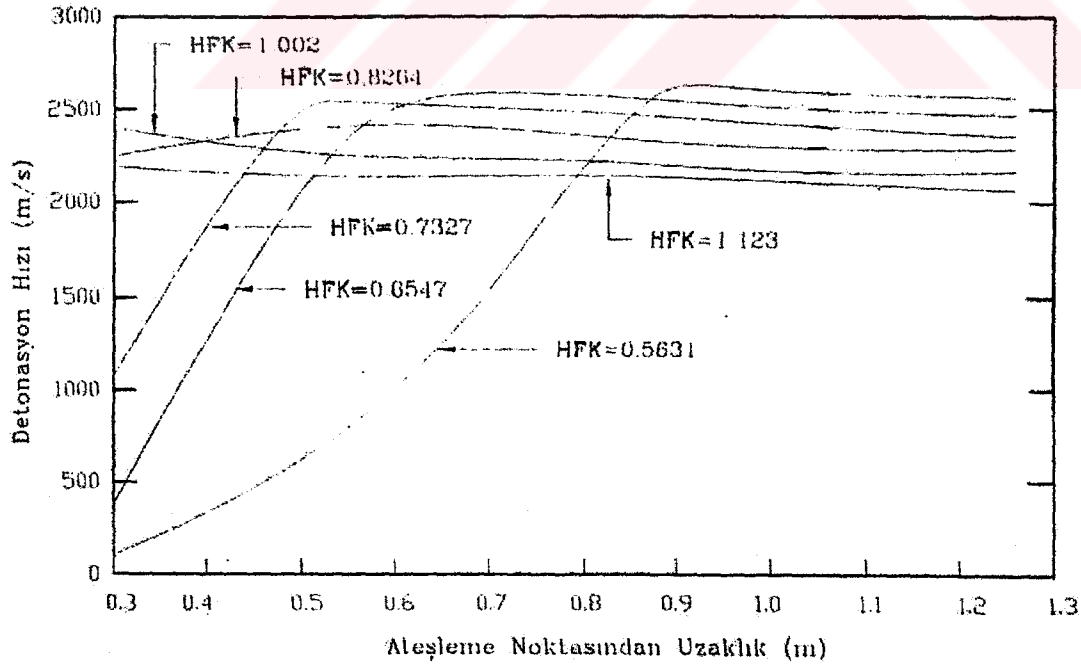
Bütün karışımlar detonasyon üretmezler. Detonasyon olayında ön yanma hızı aniden değişir ve yanmada kesintiler olur [71]. Detonasyon hızı gaz karışımının basınç ve sıcaklığından az da olsa etkilenir. Fakat esas itibarı ile karışım oranına bağlıdır. Şekil II.27’de detonasyon hızının Asetilen-O₂ ve Asetilen Hidrojen karışım oranları ile değişimi verilmiştir Hava fazlalık katsayısının birden az olduğu durumlarda yani zengin karışımda HFK düştükçe detonasyon hızının başlangıç değerinin düşük olduğu saptanmıştır. Bu tip karışımlarda detonasyon hızının

maksimuma ulaşma mesafesi ve zamanın HFK ile ters orantılı olduğu görülmektedir. HFK düştükçe maksimum deformasyon hızına ulaşma mesafesi artmakta, aynı zamanda maksimum detonasyon hızı da artmaktadır [92].



Şekil II.27. Detonasyon hızının Asetilen-O₂ ve Asetilen Hidrojen Karışım Oranları ile Değişimi [71].

Oksijen ve LPG karışımları ile İ. Kadı [36] tarafından gerçekleştirilen deneylerde her HFK değeri için detonasyon hızının maksimuma ulaştığı ve çok az bir düşüştikten sonra sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Şekil II.28'de ateşleme noktasından belli uzaklığa göre detonasyon hızının ulaştığı değerler verilmiştir.



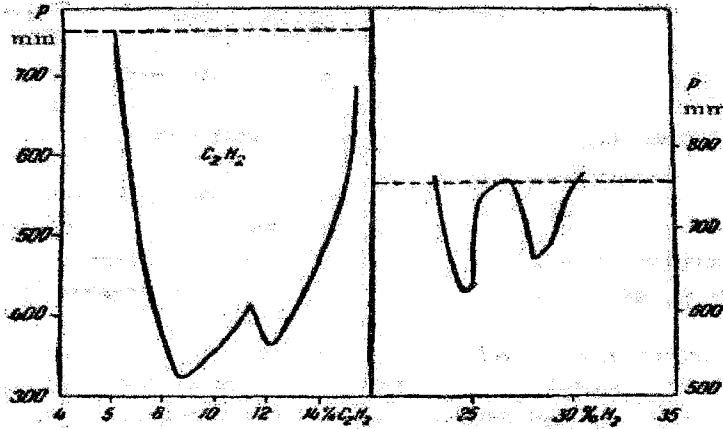
Şekil II.28. O₂-LPG karışımları ile Yapılan Deneylerde Ateşleme Noktasından Uzaklığa göre Detonasyon Hızının Ulaştığı Değerler [36].

Aynı zamanda yanma başlangıcının da detonasyon hızına etkisi vardır. Yanıcı gazın özellikleri de önemlidir. Literatürde en yüksek hız $2H_2+O_2$ karışımının yanması ile 2821 m/s olarak elde edilmiştir.

II.5.2. Detonasyon Basıncı

Detonasyon tüpünde yanma olayı sonucunda, detonasyon hızına ulaşılması için belli bir mesafe gereklidir. Crussard tarafından “detonasyon limiti” olarak adlandırılan bu mesafe normal yanmadan detonasyona olan mesafe olarak ifade edilir. Bu limit aynı zamanda detonasyon limiti olarak kabul edilir [71]. Detonasyon limitine basıncın etkisi Asetilen (C_2H_2)-Oksijen (O_2) ortamında Şekil II.29’da verilmiştir.

Detonasyon tüpleri ile yapılan deneysel çalışmalarda detonasyon basıncının belli bir maksimuma ulaştıktan sonra sabit kalmayıp alçalıp yükseldiği gözlenmiştir. Bu durum tüp içindeki ilerleyen ve dönen basınç dalgalarının basıncı sabit bir seviyede tutmayı sürekli değiştirdiğini göstermektedir. Maksimum basınca ulaşma zamanı ve mesafesi karışım oranına bağlıdır. Karışım zenginleştikçe maksimum basınca ulaşma gecikmektedir. Detonasyon sistemlerinde detonasyon basıncı başlangıç basıncının 30-40 katı mertebesine kadar çıkabilir. Başlangıç basıncının atmosfer basıncından yüksek tutulması ile literatürde 650 MPa kadar çıktığı yazılmıştır [70]. Şekil II.29’da CH_2-O_2 ortamında basıncın patlama limitine etkisi verilmiştir.



Şekil II.29. CH_2-O_2 Ortamında basıncın patlama limitine etkisi [71].

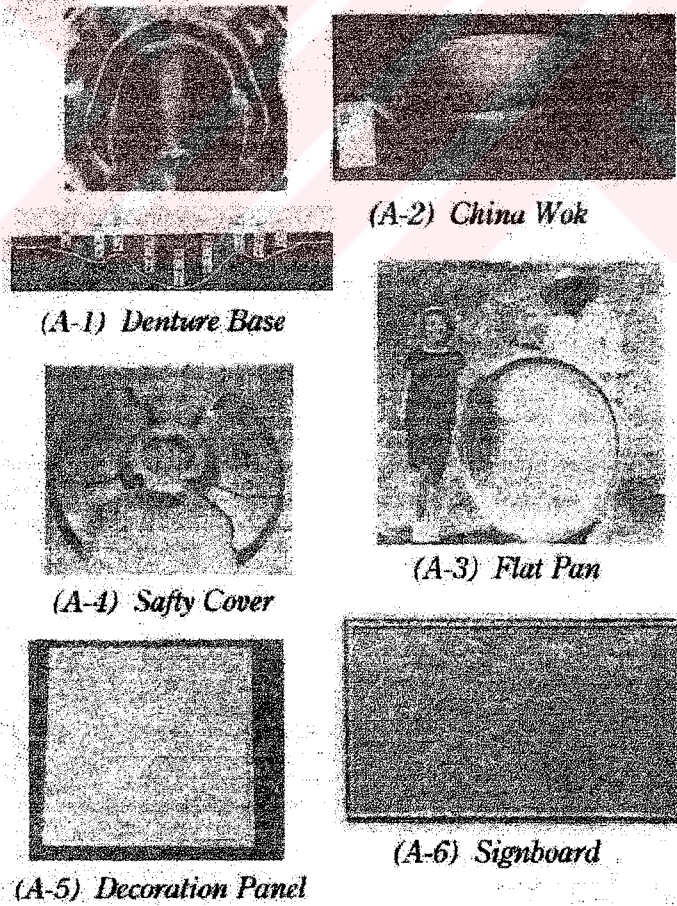
Kadı [36] tarafından LPG- O_2 ile yapılan deneylerde maksimum basıncın ateşleme mesafesine göre değişimi deneyleri yapılmış ve yatay basıncın dalgalanmalar halinde olduğu tespit edilmiştir.

Patlama ile şekillendirme işleminde önemli olan parametrelerden biri detonasyon sonucu iş parçası üzerine gelen basınçtır. Davies ve arkadaşlarına göre [52] bu basınç ateşleme noktasından itibaren değişmektedir. Detonasyon tüpü çıkışından sonra parça üzerinde değişik etkiler meydana getirmektedir. Ateşleme noktası ile parça arasındaki mesafenin artması ile çekilen parça konikleşmekte, azalması ile elips veya küre şeklini almaktadır. Detonasyonla şekillendirme olaylarında iş parçası üzerine etki eden basıncın $758,4 \text{ N/mm}^2$ kadar ulaştığı tespit edilmiştir [70].

II.5.3. Üretim Örnekleri

A.Honda ve arkadaşları [70] geliştirmiş oldukları gaz detonasyonu şekillendirme sistemi ile çelik sac kullanarak yapmış oldukları deneylerde aşağıdaki parçaları şekillendirmişlerdir (Şekil II.30).

Kalıp malzemeleri olarak ebatları büyük olan parçalarda üretim miktarına göre kum, beton, küçük parçalarda meşe kayın gibi sert ağaçlar ve takım çeliği kullanılmaktadır.



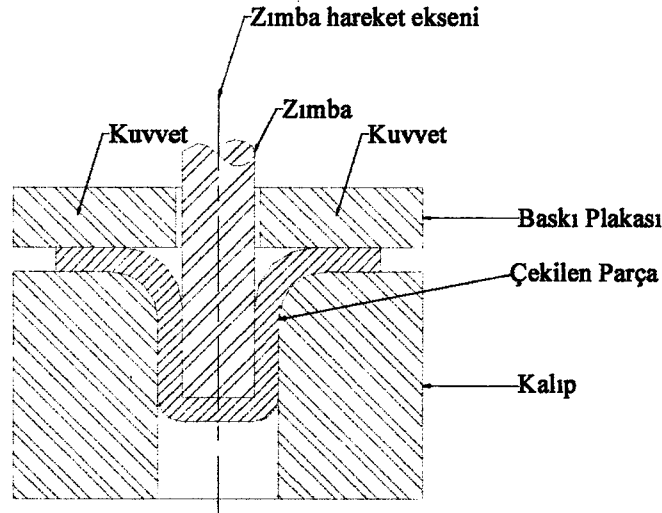
Şekil II.30. Gaz Detonasyonu ile şekillendirilen parçalardan örnekler [70].

II.5.4. Gaz Detonasyonu ile Şekillendirmenin Avantajları

- İşlem sayısının azlığından dolayı yatırım maliyeti düşük ve çalışma süresi kısalmıştır. Bu nedenlerle üretim maliyeti ucuzdur.
- Büyük çapta ve ebattaki parçaların üretimi konvansiyonel metotlara göre çok daha kolay ve ucuzdur.
- Konvansiyonel metotlarla üretimi zor ve karışık olan parçaların tek aşamalı olarak üretimi mümkündür.
- Hurdaya giden parça azlığından dolayı % 10-20 arasında malzeme tasarrufu sağlanmaktadır.
- İş parçası ısıtılmadığından ve patlama enerjisi şekillendirme enerjisi olarak kullanıldığından enerji sarfiyatı düşüktür.
- Patlayıcı gazların ucuzluğu, sınırsız sayıda ve oranda gaz karışımı kullanılabilmesi ince cidarlı malzemelerden fazla derin olmayan kompleks biçimli parçaların üretilebilmesi ve çok hızlı otomasyon gerektiren operasyonların gerçekleştirilmesi bakımından tercih edilmektedir.
- Şekillenme esnasında zımba kullanılmadığı için zımbanın olumsuz etkileri yoktur ve kalıp maliyeti daha ucuzdur.

II.6. DERİN ÇEKME

Derin çekme; düz levha durumundaki sac metal malzemelerden içi boş, üç boyutlu, dikışsiz, kap, çömlek, şeklinde veya otomobil benzin depoları gibi parçaların biçimlendirilmek suretiyle üretildiği işleme denir.



Şekil II.31. Basit bir derin çekme işlemi.

Derin çekme işlemi eğme, bükme, basma gibi farklı biçimlendirme işlemlerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Basit olarak konvensiyonel bir derin çekme işlem ünitesi uç köşeleri radüslü bir zimba, kenarları geniş radüslü bir kalıp ve sac malzemeyi sıkıştırmaya yarayan baskı plakasından oluşur. Zımbanın hareketi ile sac malzeme radyal olarak kalıp içine doğru itilerek şekillenme sağlanır (Şekil II.31).

II.6.1. Derin çekme Yöntemleri

Günümüzde derin çekme işlemlerinin çoğu preslerde yapılmaktadır. Bu safhaya gelinceye kadar el çekici ile başlayan şekillendirme işlemi 1769 yılından sonra buhar enerjisinden faydalanılarak buhar güçlü çekiçlerle devam etmiş, elektrik enerjisinin bulunması ile mekanik ve hidrolik preslerle günümüze kadar ulaşmıştır. Dikkat çekici olan nokta bütün bu işlemler düşük hızda yapılmaktadır. 1898 yılından sonra yüksek hızda işlem yapan patlama, elektromanyetik şekillendirme, elektrohidrolik şekillendirme ve gaz detonasyonu ile şekillenme yöntemleri bu prosese katılmışlardır.

Derin çekme işlemini kullanılan enerji çeşidine göre üç bölüme ayırabiliriz;

1. Pres, kalıp, zimba ve baskı plakası kullanılarak yapılan derin çekme işlemi.
2. Basınç ortamı veya içi dolu plastik bir torba kullanılarak yapılan derin çekme işlemi. Bu metotta pres, hidrolik pompa veya patlayıcılar kullanılır. Bu metot daha çok konik, parabolik veya küresel yüzeylerin elde edilmesinde kullanılır.
3. Enerji aktivasyonu ile derin çekme. Manyetik enerji kullanılarak iş parçası şekillendirilir.

Bu durumda günümüzde kullanılan derin çekme çeşitlerini şu şekilde sınıflandırabiliriz.

1-Konvensiyonel Metotla Derin çekme (Presle)

2-Yüksek Hızda Derin Çekme

Yüksek hızda derin çekme kendi arasında dört gruba ayrılır. Bunlar;

1-Patlama ile Derin Çekme

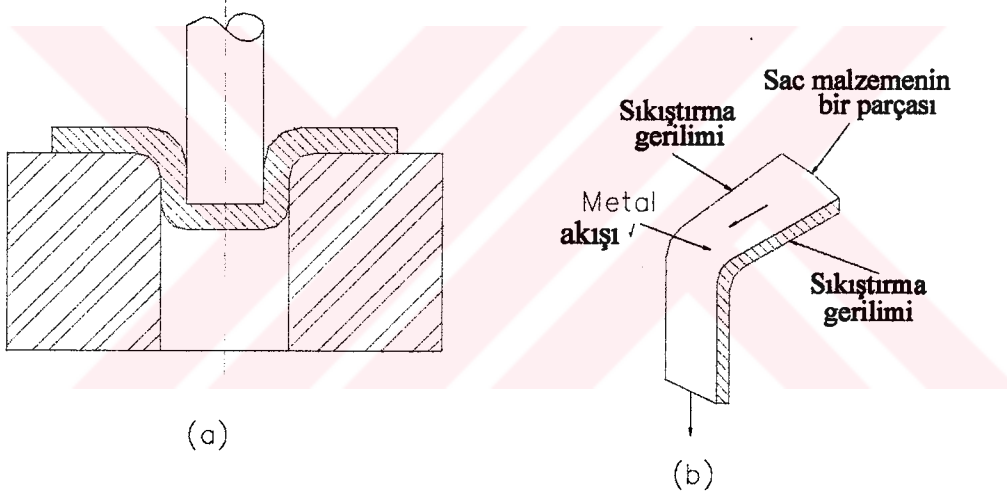
2-Elektromanyetik Metotla Derin Çekme

3-Elektrohidrolik Metotla Derin Çekme

4- Detonasyonla Derin Çekme

II.6.2. Derin Çekmenin Mekanikliği

Çekme olayında zımbanın sac levhaya baskı yapması ile sac levha kalıp kenarlarındaki radüsler (kalıp kavis yarıçapı) üzerine doğru eğilerek kalıp boşluğuna girmeye başlar. Zımbanın ileri hareketi ile sac levha zımba ile kalıp arasında halka şeklinde bulunan çekme aralığından kalıp içine doğru hareket ederek düz düşey duvar oluşturmaya başlar. Son aşamada sac levhanın kalan kısmı radyal olarak akarak kalıp boşluğuna oturur, fakat sac levhanın kalıp üstünde yani baskı plakasının altında kalan kısmı sürtünme kuvveti oluşturarak bu olayı engellemeye çalışır. Bunlar başlangıçta statik sürtünme kuvvetleridir ve sac levha hareket etmeye başladığında kuvvetler azalır. Şekil II.32 b'de ki gibi çekilmekte olan bir sac parçasını ele aldığımızda, sac levha radyal olarak akmaya başladığında kalınlığı azalmaya başlar ve geniş olan dış çevresi küçük olan kalıp deliğinin iç çapına göre şekillenmeye başlayarak düşey duvarlar oluşmaya başlar.



Şekil II.32. Derin çekmenin mekanikliği a) Eğilme b) Sıkıştırma

Bu olay levha yüzeyinde dairesel sıkıştırma gerilimine sebep olur. Zımbanın daha aşağı hareketi ile sac levhanın büyük bir kısmı kalıp deliğinde küçük dairesel flanş oluşturur (Şekil II.32). Şekilden de anlaşıldığı gibi düşey duvarlarda kalıp dibine doğru gittikçe büyüyen tek eksenli gerilmeler oluşur.

Derin çekme olayı beş safhayı içermektedir. Bunlar eğilme, düşey doğrultma, sürtünme, sıkıştırma ve gerilme safhalarıdır. Sac levhanın derin çekmeye maruz kalan farklı kısımları farklı durumdaki gerilmelerle karşılaşır. Bu nedenle deformasyon olayı sac levhanın her yerinde aynı değildir. Şekil II.33'de çekilen bir kaptaki boylamsal kısımlarda meydana gelen gerilmeler görülmektedir. Sac levhanın

flaş kısmı kalınlaşırken, düşey duvar kısmı incelmektedir. İncelmenin maksimumuna ulaştığı nokta duvarın en altta yani kabın dip kısmına bitişik olan kısımdır. Eğer derin çekme esnasında kap şeklindeki parça yırtılırsa yırtılmanın beklendiği nokta incelmenin en çok olduğu kısımdır. Buna göre çekme kuvveti şu şekilde hesaplanabilir.

$$P = \pi \cdot d \cdot e \cdot m \cdot \sigma_T \quad (2.13)$$

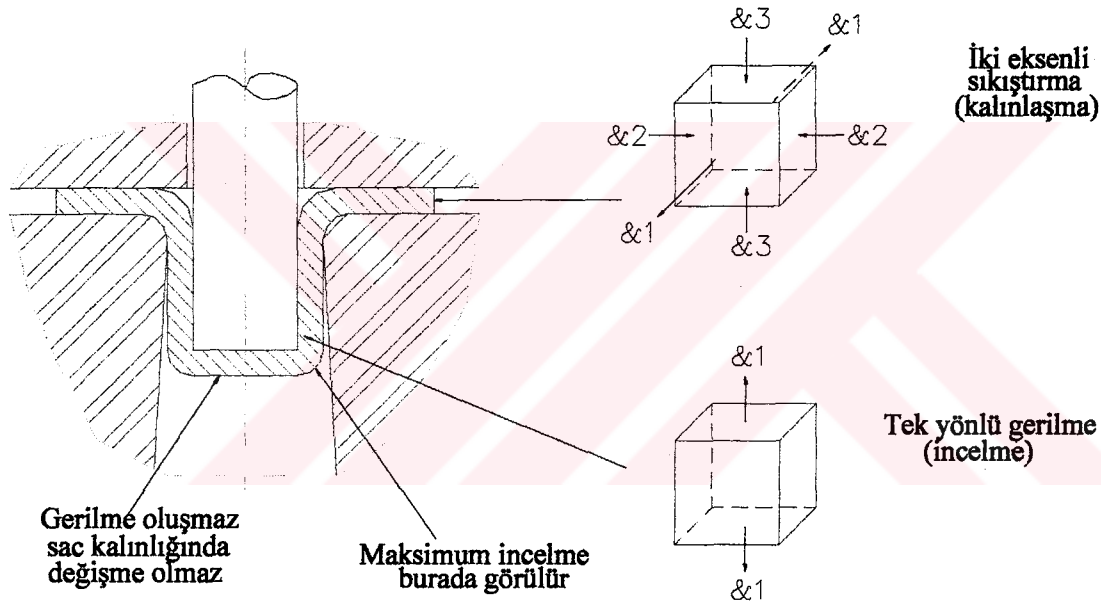
P = Maksimum çekme kuvveti, N

d = Zımba çapı, mm

e = Sac levhanın kalınlığı, mm

σ_T = Sac malzemenin çekme dayanımı, N / mm²

m = d / D oranına bağlı bir katsayı (Tablo II.1)



Şekil II.33. Derin çekme esnasında parçada boylamsal kısımlarda meydana gelen gerilmeler.

Çeşitli malzemeler için σ_T değerleri çizelgeler halinde belirlenmiştir. Çekme kuvveti için yukarıda verilen formül sadece birinci kademe için geçerlidir. İkinci ve daha sonraki kademelerde çekme kuvveti birinci kademe için hesaplanan değerın 5/4 katı olarak alınır. Çekme işi tek tesirli bir preste pratik olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir [18].

$$W = (P \cdot x + P_s) \cdot h, Nm \quad (2.14)$$

W = Çekme işi

P = çekme Kuvveti

x = Çekme kuvvetinin strok sırasındaki değişimi (Tablo II.2)

$P_s =$ Baskı plakası kuvveti, N

$h =$ Çekme derinliği, m

Tablo II.1. Çekme Kuvvetinin Hesabında d/D oranına Bağlı Olarak m Değerleri [72].

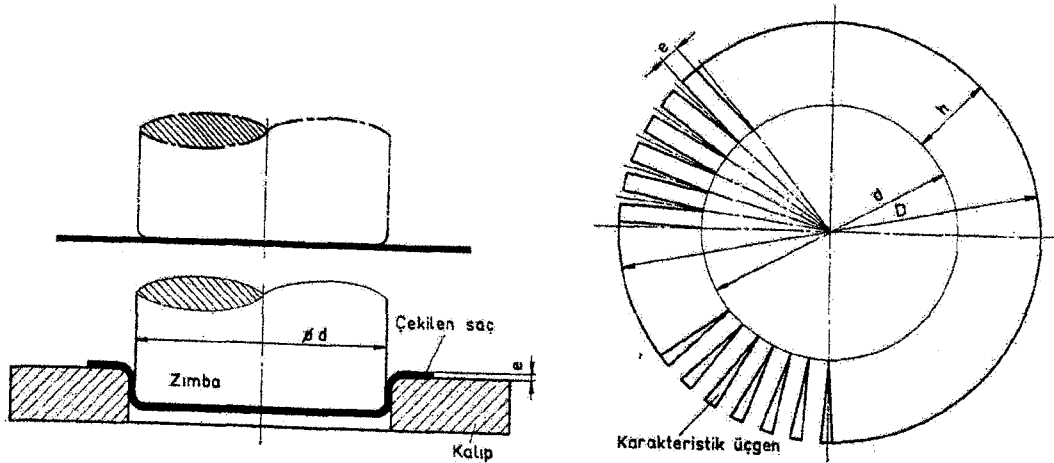
D	0,55	0,575	0,60	0,625	0,65	0,675	0,70	0,725	0,75	0,775	0,80
m	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40

Tablo II.2. Çekme İşinin Hesabında d/D oranına Bağlı Olarak x Değerleri [72].

D	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
x	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64

II.6.3. Silindirik Kapların Derin Çekilmesi

D çapında dairesel bir levhadan, iç çapı d olan silindirik bir kabın çekilmesi Şekil II.34'de görülmektedir. Sac kalınlığını e olarak kabul edersek ve d çapındaki daire üzerinde, aralarındaki daire yayı uzunluğu e olan noktalar alarak daire merkezine birleştirelim. Böylece d çapındaki daire üzerinde aralıkları e olan yarıçaplar elde edilir. Bu yarıçapları D çapındaki daireye kadar uzatarak bu iki dairenin sınırladıkları halka üzerinde kenar uzunlukları e ve h olan dikdörtgenleri çizersek, bu dikdörtgenleri birbirinden ayıran üçgenleri yani karakteristik üçgenleri elde etmiş oluruz. D çapındaki dairesel sac'tan d çapında bir kap elde etmek için kenar uzunlukları e ve h olan dikdörtgenleri d çapındaki daire etrafında $\pi/2$ kadar kıvrıma yeterlidir. Böylece karakteristik üçgenleri meydana getiren malzemenin fazla olduğu görülür [72].



Şekil II.34. Silindirik bir kabın derin çekme ile üretilmesi [48].

Bu fazla malzeme katlanmalara neden olabilir. Bu nedenle baskı plakası kullanılır. Baskı plakası sac malzemeyi radyal doğrultuda akmaya zorlayarak katlanmalara engel olur. Pratikte $D/d > 21/20$ olduğu takdirde baskı plakası kullanılır.

$D/d < 21/20$ olduğu takdirde ise karakteristik üçgenleri meydana getiren malzeme miktarı az olduğundan işlem baskı plakası kullanılmadan ve katlanmalar meydana gelmeden yapılabilir [72]. Her iki durumda da karakteristik üçgenlere ait malzemeler belirli bölgelerde yığılarak malzemenin kalınlığından daha fazla bir kalınlık oluşumuna sebep olur.

II.6.4. Çekme Aralığı (Zımba ile kalıp arasındaki boşluk)

Çekme işleminde bu aralığın az olması, sürtünmenin artmasına, ısı oluşumuna ve takımın aşınmasına, fazla olması ise yumuşak malzemelerde çekilen parça cidarının bozulmasına yol açar. Bu nedenle zımba ile kalıp arasında belirli toleranslarda bir aralık bulunmalıdır.

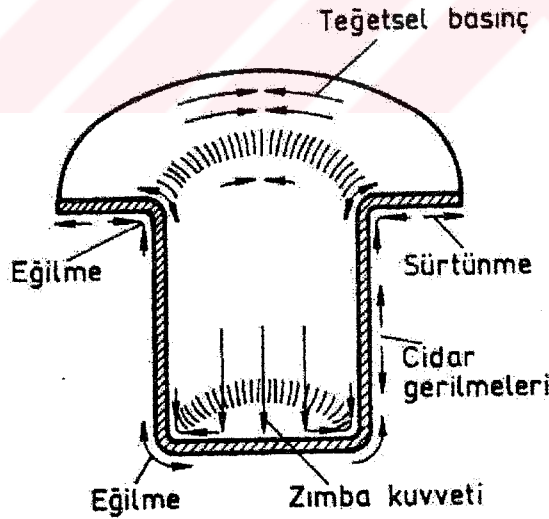
Çekme aralığı (w) için belirlenmiş aşağıdaki ampirik formüllerin kullanılması tavsiye olunmaktadır [9].

$$\text{Çelik için} \quad w = e + 0,07 \cdot 10 e \quad (2.15)$$

$$\text{Alüminyum için} \quad w = e + 0,02 \cdot 10 e \quad (2.16)$$

II.6.5. Sac Kalınlığının Derin Çekme İşlemi Esnasındaki Durumu

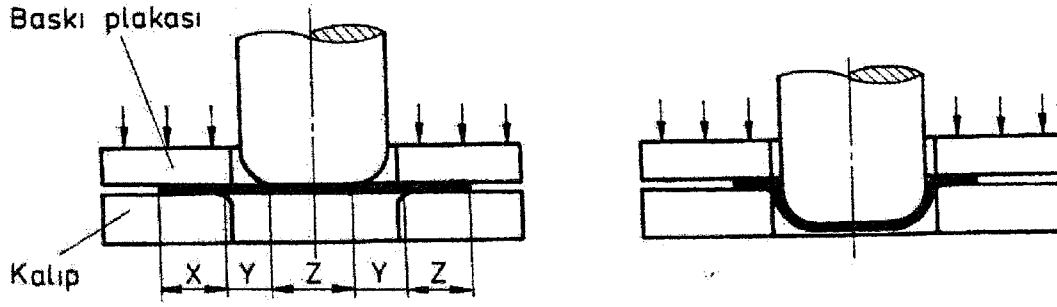
Silindirik kapların derin çekilmesi esnasında çekme sacına etki eden kuvvetler Şekil II.35'de görülmektedir.



Şekil II.35. Çekme işlemi esnasında çekme sacına etki eden kuvvetler [48].

Çekme sacını x, y, z ile belirtilen üç ayrı bölgeye ayırılabilir (Şekil II.36). X ile belirtilen dış bölge kalıpla temas eden kısımdır. Y ile gösterilen iç bölge ise çekme başlangıcında ne kalıp nede zımba ile temas halinde değildir. Z ile ifade edilen dairesel bölge ise zımbanın alt yüzeyi ile temas halindedir. Çekme esnasında X ile

ifade edilen bölge radyal bir çekme gerilmesinin etkisi altında kalıp boşluğuna itilir [48].



Şekil II.36. Çekme işlemi başlangıcında ve işlem sırasında sacın durumu [48].

Bu bölgede bulunan noktalar çekme işlemi süresince hem basmaya hem de çekilmeye zorlanır. Bu nedenle meydana gelen teğetsel gerilmeler sac kalınlığının artmasına sebep olur. X bölgesindeki malzeme kalıp kenarı radüsü üzerinde çekme gerilmesinin etkisiyle kıvrılarak kalıcı şekil değişimine uğrar. Kalıp ile baskı plakası arasında kalan kısım sacın ataleti ve oluşan sürtünme kuvvetleri nedeniyle çekme gerilmesine maruz kalır. Bu nedenle çekme kabının dip kısımlarında cidar kalınlığının azalmasına neden olur. X bölgesinin dış kısımlarında ise malzeme kalınlığı artar.

Y bölgesine baktığımızda çekme kenarı boyunca bu kısım eğilmeye, kalıp ve zımba arasında uzamaya, zımba kenarı radüsü boyunca da eğilme ve kaymaya maruz kalır.

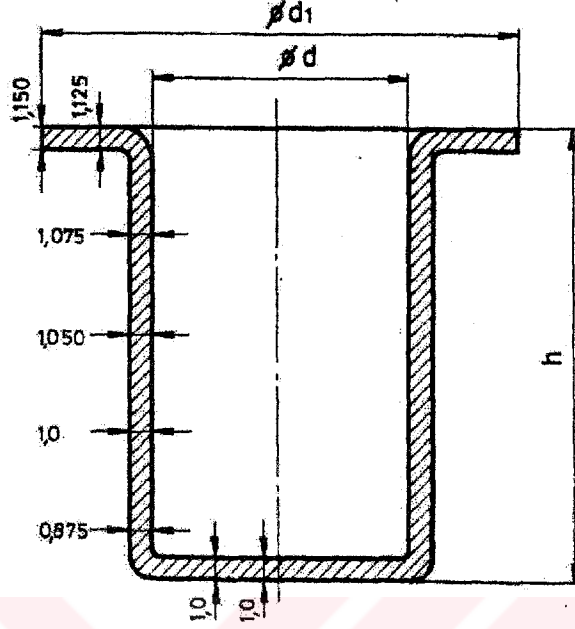
Z bölgesi de zımba alt yüzeyinde uzatma ve kaymaya maruzdur. Bu gerilmelerin değeri zımba şekline ve sürtünme şartlarına bağlıdır.

Derin çekme işlemi esnasında iş parçasında, kalıpta, kalıp zımba ve iş parçası arasında aşağıdaki gerilmeler oluşur [72].

1. Kalıp ile baskı plakası arasında radyal çekme,
2. Kalıp ile zımba arasında sac malzemenin sürtünmesi ve malzemedeki çekme gerilmesi,
3. Kalıp ağız çevresi boyunca çekilme, basılma, kayma,
4. Zımba uç kavisi boyunca malzemedeki eğilme, kayma, basma ve çekme gerilmesi,
5. Zımba alt yüzeyinde uzama ve kayma.

Bu gerilmelerden radyal çekme gerilmeleri malzemenin kalınlaşmasına, diğerleri ise incelmesine neden olur. Şekil II.37'de silindirik kapların çekilmesinde

cidar kalınlığının ne şekil aldığı görülmektedir. Üst kısımlarda cidar kalınlığı sacın ilk kalınlığına göre artarken tabana doğru indikçe azalır, tabanda ise önemli bir değişiklik olmaz [72].



Şekil II.37. Derin çekme ile imal edilmiş silindirik bir kaptaki cidar kalınlıkları (sac kalınlığı $e = 1$ mm, $d = 12$ mm, $d_1 = 22$ mm, $h = 21$ mm) [72].

II.6.6. Derin Çekme Oranı ve Yeniden Derin Çekme

Derin çekme işleminde d_0 / d_z derin çekme oranı (D.Ç.O) olarak tanımlanır. Bu biçimlendirme yönteminde ana amaç mümkün olduğu kadar derin kap elde etmektir. Derinliği artırma amacıyla taslak çapı sınırsız olarak arttırılamaz. Kullanılabilecek maksimum taslak çapı derin çekme oranı sınırı (D.Ç.S.O) ile belirlenir [73].

$$D.Ç.S.O. = d_0(\max) / d_z \quad (2.17)$$

d_0 = taslak çapı (mm)

d_z = zımba veya elde edilen ürünün çapı (mm)

İdeal koşullarda D.Ç.S.O.'nın maksimum teorik değeri 2,7'dir.

Derin çekme işleminde derinliği arttırmak amacıyla aynı parça üzerinde işlem tekrarlanır. Bu olaya yeniden derin çekme adı verilir. Derin çekme işlemlerinde genellikle ters derin çekme tercih edilir. Bunun nedeni de soğuk şekil değiştirmiş malzemede şekil değiştirme yönü değiştirilirse malzeme süneklüğünde artış olur. Şekil değiştirme yumuşaması yada deformasyon yumuşaması adı verilen bu olay ters derin çekme işleminde görülebilmektedir [73].

Derin çekmede kap derinliğini arttırmak için kullanılan diğer bir metot da tütüleme adı verilen işlemdir. Bu işlemde kabın taban kalınlığı sabit kalır, yan duvarlardan kalınlık inceltilerek derinlik artırılır [73].

Yeniden derin çekme işleminde ara tavlama gerekmeksizin malzeme % 50-80 oranında plastik şekil değişimine uğrayabilir.

II.6.7. Derin Çekme Kabiliyetini Etkileyen Faktörler

Derin çekmeyi etkileyen faktörleri üç grupta ele alabiliriz. Bunlar; Çekme işleminde kullanılan malzemenin özellikleri, kalıp geometrisi ve işlem koşullarıdır. Bu üçü aslında birbiri ile iç içedir.

II.6.7.1. Malzeme Özelliklerinin Etkisi

Malzemenin kalın olması derin çekme oranını arttırır. Çünkü daha fazla çekme derinliği ve daha fazla kalınlık incelmeye imkan verir. Malzemenin tane yapısının ince olması, tek fazlı olması ve metalik olmayan kalıntılardan arındırılmış olması derin çekmeye olumlu etki yapar.

Malzemenin sertliği veya akma gerilmesi derin çekme kabiliyeti açısından ölçü kabul edilmez. Çünkü alüminyum düşük karbonlu çeliğe göre daha yumuşak olmasına rağmen derin çekme kabiliyeti daha azdır.

Deformasyon sertleşmesi üssü (n) ve deformasyon hızı duyarlılığı üssü (m) değerlerinin yüksek olması derin çekme işlemini olumlu etkiler fakat etkenlikleri azdır.

Derin çekmeyi etkileyen diğer bir önemli faktörde R dikey anizotropi katsayısıdır. Bu katsayı malzemenin yapısına ve kristallografik yönlenmesine bağlıdır. Uygun kristallografik yönlenme, haddeme koşulları ve yumuşatma tavlama rejiminin kontrollü yapılması ile sağlanır.

II.6.7.2. Kalıp Geometrisinin Etkisi

Derin çekme olayında derin çekmeyi etkileyen önemli parametrelerden biri kalıp eğrilik yarıçapı (R_k), zımba eğrilik yarıçapı (R_z) ve zımba ile kalıp arasındaki boşluk (e) mesafesidir. Sac malzemenin kalıp içine girerken temas ettiği ilk yer kalıp eğrilik yarıçapıdır ve malzemenin şekillenmesinde önemli rol oynar. Bu değer malzemenin rahat edebileceği bir şekilde olmalıdır. Ayrıca R_k değerinin artması ile uygulanması gereken derin çekme kuvveti azalır ve derin çekme oranı artar. Fakat R_k değeri sınırsız olarak arttırılamaz. Aşırı durumlarda sıkıştırma kalıbının etki alanı

azalır ve taslak çevresinde ve ürünün yan duvarlarında kırışıklık, erken hasar görülür. Edinilen tecrübelerden kalıp yarıçapı tayini için alüminyum ve alaşımları için;

$$R_k = 0,9 \sqrt{(d_0 - d_z)} t_0 \quad (2.18)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Burada t_0 malzemenin orijinal kalınlığıdır. İkinci ve daha sonraki yeniden çekme işlemlerinde;

$$R_k = \frac{d_{(n-1)} - d_n}{2} \quad (2.19)$$

bağıntısından kalıp eğrilik yarıçapı tayin edilir. Burada d_n parçanın son çapı $d_{(n-1)}$ ise parçanın bir önceki yeniden derin çekme işlemindeki çapıdır.

Derin çekme esnasında sac malzemenin zımba tarafından hasara uğratılmasını engellemek için zımba taban kenarının yuvarlatılması gerekir. Zımba eğrilik yarıçapının artması ile derin çekme kuvveti azalırken, derin çekme oranında artar. Bu yarıçap (R_z) malzeme kalınlığına (t_0) bağlı olarak seçilir.

$$R_z = (5 \text{ ile } 10) t_0 \quad (2.20)$$

R_z değeri malzeme kalınlığının on katını geçmemelidir. Aksi halde elde edilen ürünün yan duvarlarında kırışıklıklar görülür.

Zımba ile kalıp arasındaki mesafenin (e) tayininde tecrübelerle ilgili olarak;

$$e = (1,15 \text{ ile } 1,20) t_0 \quad (2.21)$$

alınır. Elde edilen parçanın yan duvar kalınlığının homojen olması istendiği zaman (e) mesafesi daha küçük değerlerde tutulmalıdır. İkinci ve daha sonraki yeniden çekme işlemlerinde ise;

$$e = \frac{d_{(n-1)} - d_n}{2} \quad (2.22)$$

bağıntısından faydalanılır. Burada d_n parçanın son çapı, d_{n-1} ise parçanın bir önceki yeniden derin çekme işlemindeki çapıdır.

II.6.7.3. İşlem Koşullarının Etkisi

Taslağın bazı bölgelerinin yağlanmasında uygun yağ seçilememesi, yağlamanın yetersizliği yüksek sürtünme kuvvetlerinin oluşumuna yol açar ve yüksek çekme kuvveti gerektirir. Çoğu durumlarda yağlama yetersizliğinden dolayı çekilen parça tabana yakın kısımlarda yırtılır. Uygun yağ seçimi ve yeterli bir yağlama sürtünme kuvvetlerini azaltır, erken hasar olayını önler ve derin çekme oranını artırır. Taslağın sıkıştırma kalıbı ve biçimlendirme kalıbı ile temas eden

yüzeyleri yağlanmalıdır. Zimba tabanı ile temas eden yüzeyin yağlanması olumsuz etki gösterir. Zimba tabanında malzemenin taban bölgesindeki iç yüzeyi ile zimba arasında oluşacak olan sürtünme kuvvetlerinin oluşması derin çekme kabiliyetine olumlu etki yapar. Bazı durumlarda sürtünmeyi arttırmak amacı ile zimba taban yüzeyi zararsız olacak şekilde pürüzlendirilir.

Sıkıştırma basıncının uygun seçilmesi ve hızı derin çekme işlemini olumlu yönde etkiler. Basıncın ve hızın fazla olması durumunda malzeme, çekme işlemini tamamlamadan yırtılır.

Soğuk biçimlendirme işlemlerinde sürtünmeden dolayı oluşan sıcaklık 80°C 'ye kadar yükselebilir. Buda malzemedeki gevreklik olayına yol açabilir. Bu nedenle işlem sürekli oda sıcaklığında tutmak için gerekli soğutma önlemleri alınmalıdır.

Ayrıca şekillenecek parçanın geometrisi çekilme esnasında ve parçanın şekillenmesinde önemli rol oynar.

II.6.8. Derin Çekme İşlem Parametrelerinin Hesaplanması

II.6.8.1. Çekme hızı

Derin çekme işleminde zimbanın plastik deformasyonu başlattığı andaki hıza çekme hızı adı verilir. Çekme hızı; kalıp malzemesinin cinsine, kalınlığına, kalıbın yüzey kalitesine ve yağlanma oranına göre değişir. Malzemenin cinsine göre deneyler sonucunda bulunan ortalama çekme hızları değerleri belirlenmiştir Tablo II.3. Müsaade edilen % çekme azalma oranları da Tablo II.4'de verilmiştir.

Tablo II.3. Silindirik Çekmelerde Malzemelerin Cinsine Göre Çekme Hızları [74]

Malzemenin Cinsi	Çekme Hızı m/dk		Parlatma Hızı m/dk
	Tek Etkili	Çift Etkili	
Alüminyum	56	33	-
Alüminyum Alaşımları	-	10-12	-
Prinç	66	33	25
Bakır	50	28	-
Çelik	20	10-18	8
Çinko	50	15	-

Tablo II.4. Malzemelerin cinsine göre müsaade edilen maksimum yüzde çekme azalma oranları [74].

Malzemenin Cinsi	Çaplar arasındaki azalma oranı (%)	Çaplar Oranı D/d	Gerilme Faktörü (Gf)	Alanlar Arasındaki Azalma Oranı (%)
Alüminyum Alaşımları	45	1,80	1,40	28
Alüminyum (Isıtılabilir)	40	1,60	1,30	23
Bakır	45	1,80	1,40	28
Bronz (ince)	50	2,00	1,50	33
Pirinç	50	2,00	1,50	33
Çelik (az karbonlu)	45	1,80	1,40	28

II.6.8.2. Baskı Plakası Basıncı

Derin çekme işlemi esnasında düzgün ve homojen bir parça elde etmek, ondülasyona meydan vermemek, buruşuk ve kırışıklıkları önlemek için baskı plakası kullanılır. Genellikle baskı plakası bir yay, hava yastığı yada kinematik bir parça ile sac metal üzerine belirli bir baskı uygular. Bu baskı kuvveti;

$$P_s = \pi / 4 (D^2 - d^2) p \quad (2.22)$$

formülü ile bulunur. Burada;

D = Malzeme çapı, mm

d = Zımba çapı, mm

p = Baskı plakası basıncı, N/mm²

çekilen malzeme cinsine göre p değerleri tablo II.5'de verilmiştir.

Tablo II.5. Çeşitli malzemeler için gerekli baskı plakası basınçları [72]

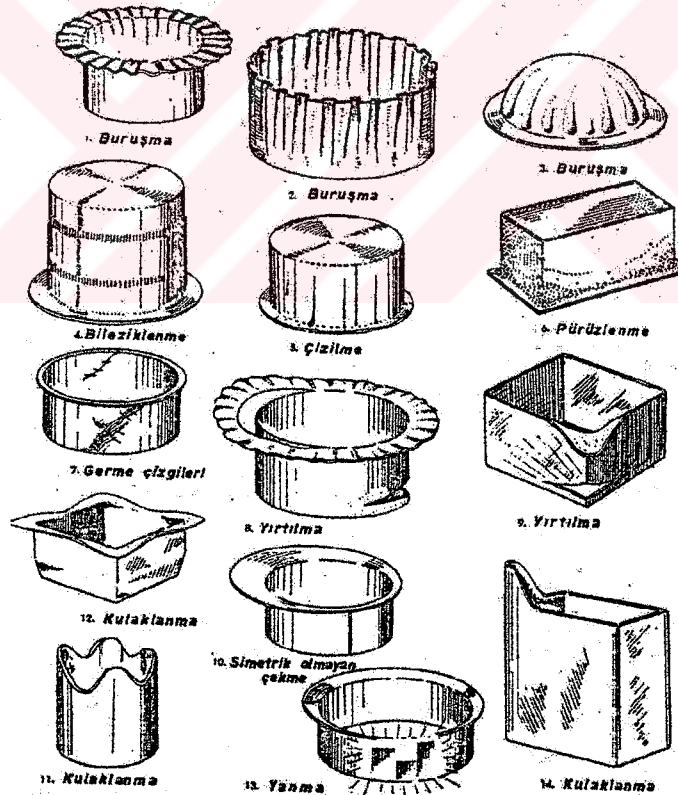
Malzeme	MPa
Alüminyum	0,98-1,17
Çinko	1,17-1,47
Çelik	2,45
Pirinç	1,96
Paslanmaz çelik	1,96

II.6.9. Metalik Sacların Derin Çekilme İşlemi Esnasında Görülen Hatalar

Sac malzemelerin şekillendirilmesinde görülen önemli hataları şu şekilde sıralayabiliriz. Erken çatlama, boyun verme olayından dolayı parça mukavemetinin azalması, kırışma veya burkulma, geri yaylanma olayından dolayı boyut toleranslarının dışına taşma. [73].

Bunların yanında özellikle tane yapısı iri olan metalik saclarda parça yüzeyinde pürüzlenme oluşur. İnce tane yapısına sahip malzeme kullanılırsa bu problem ortadan kalkar.

Derin çekme işleminde çatlama olayı genellikle zimba eğrilik yarıçapının hemen üstündeki bölgede oluşur. Zimba veya kalıp eğrilik yarıçapının az olması, malzeme özelliklerinin yetersiz olması, derin çekme oranının büyük seçilmesi, sıkıştırma basıncının yüksek olması, zimba ile kalıp arasındaki mesafenin küçük olması, yağlamanın yetersiz veya uygun yağ çeşidinin kullanılmaması bu hataya sebep olur. Bu faktörlerin yetersizliği sonucunda zimba kuvveti artar ve malzemenin kritik bölgede incelenerek kopması meydana gelir. Daha kaliteli malzeme kullanımı ve zimba kuvvetini azaltıcı tedbirlerin alınması ile bu hata önlenir. Bazı durumlarda çatlama işlemi parçanın üst kısımlarında veya taslağın dış kısımlarında görülür. Bunun sebebi ise malzemenin çevresel dış basınca karşı koyamayacak zayıflıkta özelliklere sahip olmasıdır. Malzeme üzerinde çentik gibi izlerin olması da çatlama yol açabilir.



Şekil II.38. Derin çekme işleminde görülen çekme hataları [74].

Kırışma olayı ise, zimba ile kalıp arasındaki mesafenin büyük olması, sıkıştırma kuvvetinin yeterli olmaması, kalıp ve zimba eğrilik yarıçapının büyük

olması, taslak çapının gereğinden büyük olması veya malzemenin çok ince olduğu durumlarda görülür. Uygun kalıp geometrisinin ve uygun sıkıştırma basıncının yakalanması ile kırışma engellenebilir. Şekil II.38'de derin çekme işleminde rastlanan hatalar gösterilmektedir. Bunların yanında derin çekme işleminde genellikle aşağıdaki nedenlerden dolayı kabın flanş veya ağız kısmı düzgün olarak elde edilemez [74].

1. Kalıp ile çekilen malzeme ve zımba arasındaki sürtünme katsayısının değişik oluşu.
2. Çekme işlemi esnasında metal malzemenin kalıp içersindeki homojen olmayan plastik deformasyonu.
3. Çekilecek taslağın kalıba simetrik veya merkezi olarak yerleştirilmemesi.
4. İş parçası yüzeyinin düzgün olmaması ve baskı plakası yüzeyinin düzgünlüğünü zamanla kaybetmesi nedeniyle baskı kuvvetinin taslak yüzeyine homojen olarak dağılamaması.
5. Çekilecek olan sac parçanın üretimi esnasında hadde yönünün tek yönlü olması ve bunun sonucu olarak çekme işlemi sırasında farklı uzamaların meydana gelmesi veya belli bölgelerde yırtılmaların oluşması.

II.6.10. Kalıp Malzemeleri

Derin çekme işleminde genel olarak karbonlu ve alaşımlı çelikler, alüminyum ve bakır alaşımları ve nadiren de plastikler kullanılmaktadır. Derin çekme işleminde kalıp malzemesi olarak genellikle alaşımlı veya alaşımsız takım çelikleri, dökme demir ve sert metaller kullanılmaktadır. Yumuşak malzemelerin pirinç, alüminyum gibi derin çekilmesinde kalıp, zımba ve baskı plakası olarak dökme demirde kullanılmaktadır. Eğer üretilecek parça sayısı çok ise, az deformasyona uğrayan, iyi sertleşebilen ve aşınmaya dayanıklı alaşımlı çelikler tercih edilmelidir.

II.7. SAC METALLERİN DETONASYONLA ŞEKİLLENMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Şekillendirilebilme, belirli bir deformasyon işleminde kırılma, büzülme gibi herhangi bir malzeme kararsızlığı olmaksızın elde edilebilecek en fazla deformasyon miktarı olarak tanımlanır. Şekillendirilebilirlik, malzeme özelliklerinin (deformasyon sertleşme üssü "n", deformasyon hızı duyarlılığı üssü "m", plastik anizotropi "r"

akma noktası, - elastiklik modülü "E", sac kalınlığı, tane boyutu), ve işlem özelliklerinin (kalıp dizaynı, kalıp malzemesi, baskı plakası basıncı, yağlama, deformasyon hızı v.b) bir fonksiyondur. Genel olarak, işlem değişkenleri, sac üzerine gelen dış zorlanmayı tanımlarken, malzeme değişkenleri, sac malzemesinin bu yüklemeye göstereceği direnci belirlemektedir. İşlem değişkenlerinin değişmediği durumda, malzeme özelliklerindeki bir değişiklik, sac üzerindeki şekil değiştirme durumunu değiştirecektir. Bu yüzden, sacın zorlanma durumu, tamamıyla işlem değişkenleri tarafından kontrol edilememektedir.

Konvansiyonel derin çekme işleminden farklı olarak detonasyonla şekillenmede zımba kullanılmamakta dolayısı ile zımbanın sac levhada meydana getireceği sürtünme ve hasarlardan da kaçınılmış olmaktadır.

II.7.1. Plastik Anizotropi

Plastik anizotropi, malzemenin boyun vermeye (incelme) karşı gösterdiği direnç ile ilişkili olduğu için şekillenme sırasında çok önemlidir. Sac metaller farklı doğrultularda şekillendirildikleri zaman değişik plastik anizotropi özellikleri gösterirler. Bu iki farklı konumda görünür. Birincisi levhanın iki farklı tarafında mukavemet ölçümleri yapıldığında farklı olduğu görülmüştür. Bu olay malzemelerin anizotropik özelliklerinden dolayı gerilme ve birim şekil değiştirme oranı arasındaki ilişkinin değişik yönlerde farklı olduğunu göstermektedir. İkincisi ise, diğer bir anizotropik özellik olan kalınlık değeri, sac levhanın üzerinde farklı yönlerde ölçüldüğünde kesit boyunca farklı kalınlık değerleri elde edilir. Bütün bu yön özellikleri malzemenin anizotropik özellikleri olarak adlandırılır ki bu özellikler malzemelerin şekillenme limit diyagramındaki eğrisinin daha yukarı çekilmesini sağlamaktadır. Malzemenin kalınlık değişimine direnci ve oluklaşmanın azalması gibi farklı anizotropik özelliklerin manası ise şekillenme ve şekillenebilirlik sonuçlarına etkilemesi demektir.

II.7.1.1. Farklı R Değerine Bağlı Gerilme Ve Uzamalar

Malzemedeki anizotropik özelliklerini belirlemek amacıyla, levhadaki birim uzamaların düzlem boyunca aynı, fakat kalınlık boyunca farklı kabul edelim. Malzemenin anizotropik özelliklerini tartışmak için Hills' (1948) akma kriteri olan denklem kullanılır [75].

$$F(\sigma) = \sigma_i = \left[\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \frac{2R}{R+1} \sigma_{11} \sigma_{22} + 2 \frac{2R+1}{R+1} \sigma_{12}^2 \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

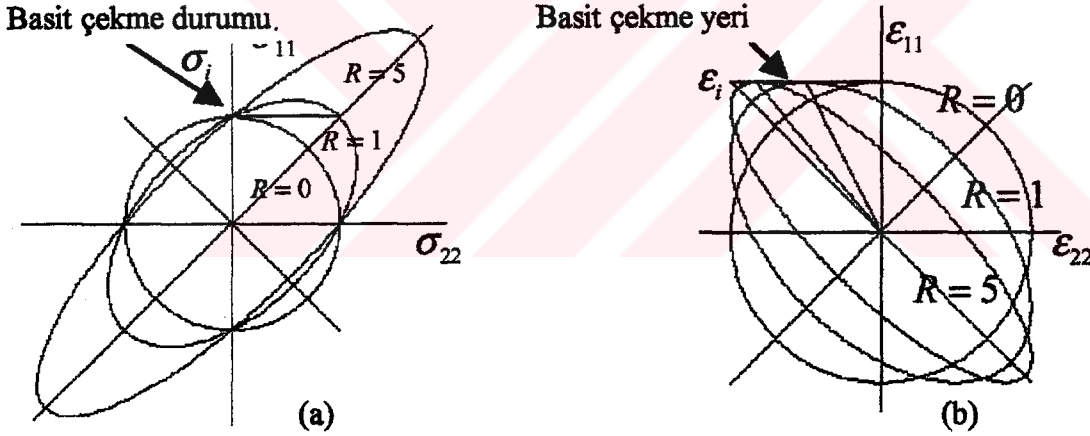
σ_{11} , σ_{22} ve σ_{33} asal gerilmeler kabul edilirse, denklem 2.23 tekrar aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$F(\sigma) = \sigma_i = \left[\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \frac{2R}{R+1} \sigma_{11} \sigma_{22} \right]^{1/2} \quad (2.24)$$

Eğer gerilme ve birim şekil değiştirme teorisi de sac levhanın iki asal uzamalarıyla bir uzama düzleminde tanımlanırsa, uzama denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir [75, 92].

$$F(\epsilon) = \epsilon_i = \frac{R+1}{\sqrt{2R+1}} \left[\epsilon_{11}^2 + \frac{2R}{R+1} \epsilon_{11} \epsilon_{22} + \epsilon_{22}^2 \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

Şekil II.39 a'da aynı etkili gerilmeyle, iki farklı yönde çekme etkisi altında bir objede, farklı R değerleri seçilmesinden dolayı akma gerilmesinin nasıl değiştiği, Şekil II.39 b'de ise aynı etkili uzamayla farklı R değerlerinin birkaç uzama kombinasyonu görülmektedir [92].



Şekil II.39. Farklı R değerleri için a) Gerilme düzlemi b) Uzama düzlemi [75, 92]

II.7.1.2. Kırışıklıklar(Oluklaşma)

Şekillenme hatalarından biriside levha kenarlarında veya şekillenme bölgelerinde oluşan oluklaşmalardır. Mekanik açıdan bakıldığında oluklaşmalar düzensiz sıkıştırmalardan kaynaklanmaktadır. Fakat sac metallerin şekillenmesi sırasında oluklaşma hataları yalnızca düzensiz sıkıştırmadan kaynaklanmamaktadır. Oluklaşma hatalarının birçok nedeni vardır. Daha çok parça geometrisinden ve sac levha özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Eğer parçanın geometrisi daha düz ve

levhanın şekillendirilebilirlik özellikleri daha iyi ise oluklaşma problemi azalır. Burada uzama ve basma ile levha düzlemindeki deformasyon alanında oluşan oluklaşma problemleri açıklanmıştır [92].

Bir levha üzerindeki deformasyon noktası şekillenme işlemi esnasında kalıp boşluğuna doğru kayarken, uzama sünmesi ϵ_{maj} ve dikey yöndeki düzlemsel uzama ϵ_{min} ele almırsa, ϵ_{min} gibi aynı yöndeki ve aynı noktadaki geometrik değişimleri de $d(\text{geo})$ ile gösterilirse ve eğer oluklaşmalar şekillenme esnasında oluşmuyor ise uzama durumu aşağıdaki formülle denklem 2.26'deki gibi gösterilebilir [92].

$$\epsilon_{min} = d(\text{geo}) \quad (2.26)$$

Şekil 2.39 b' den aynı uzama (ϵ_{maj}) ve aynı etkili uzamada, ϵ_{min} değeri R değerine bağlı olduğu biliniyor. Denklem 2.15 ve hacmin değişmezliği kuralına göre ϵ_{min} uzaması denklem 2.27 deki formülle bulunur.

$$\epsilon_{min} = -\frac{R}{R+1}\epsilon_{min} - \frac{2R}{R+1}(\epsilon_i^2 - \epsilon_{maj}^2)^{1/2} \quad [75] \quad (2.27)$$

Deformasyon basit tek eksenli çekme tipiyle oluşuyorsa, etkili uzama ϵ_i birincil uzamaya ϵ_{maj} eşittir. İkincil uzama ϵ_{min} ise:

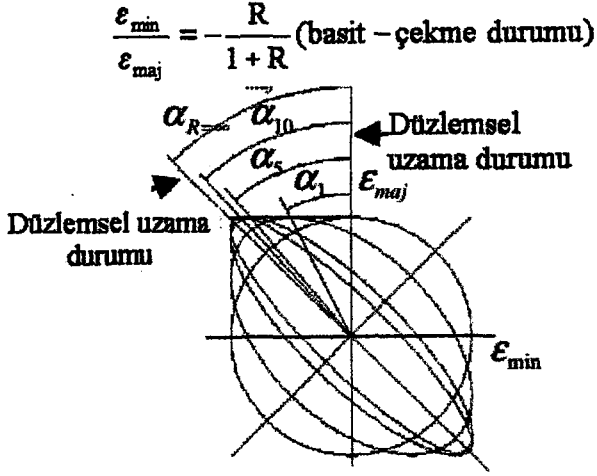
$$\epsilon_{min} = -\frac{R}{R+1}\epsilon_{min} \text{ ve } \text{tg}\alpha = \frac{\epsilon_{min}}{\epsilon_{maj}} = -\frac{R}{R+1} \quad [75] \quad (2.28)$$

(basit tek yönlü çekmede)

Şekil II.40 ve denklem 2.28'den, bir çekme ve bir basma gerilmesi ile bütün deformasyon alanları, bir noktaya yaklaşırken, R değerinin sıfıra veya sonsuza gittiği durumlarda düzlemsel uzama durumu oluşmaktadır [75].

ϵ_{min} değerlerinin değiştiği en büyük alan, düzlemsel uzama durumu ve basit çekme durumu arasındadır. Şekillenme esnasında oluklaşmaya sebebiyet veren nedenlerin oluşmaması için R değeri dikey yönde en büyük $d(\text{geo})$ değerine mümkün olduğunca yakın seçilir. Bazı nedenlerden dolayı alternatif durumlar kullanılırsa, bazı beklenmeyen sonuçlarla karşılaşılabilir [92].

$$\begin{aligned} \epsilon_{min} &\rightarrow -\epsilon_{maj} \quad \epsilon_{kahalm} \rightarrow 0, (R \rightarrow \infty) \\ \epsilon_{kahalm} &\rightarrow -\epsilon_{maj} \quad \epsilon_{min} \rightarrow 0, (R \rightarrow 0) \end{aligned} \quad (2.29)$$



Şekil II.40. Farklı R değeri ile birim uzamanın değişimi [75, 92].

Kırışıklıkların oluşmasına bir başka faktörde baskı kuvvetidir. Junxiang Lei, Yonglin Kang [76] yaptıkları çalışmada, baskı kuvvetinin etkisini geniş bir şekilde incelemiştir. Silindirik kapların derin çekilmesinde kırışıklık oluşmaksızın şekillenmesi için baskı kuvvetini denklem 2.30'da verilen formülle açıklamışlardır.

$$Q^w \geq \frac{\pi D_0 t_0 (\eta - m)}{2(f_a + f_b) \sqrt{\eta}} \beta \bar{S} x \left\{ 1 - \left[\frac{\frac{t_0}{D_0} \times 100}{22.71 \sqrt{\eta} (\eta - m) \left(\sqrt{\frac{\bar{\varepsilon}}{n}} + \sqrt{\frac{\bar{S}}{E}} \right)} \right]^2 \right\} \quad [76] \quad (2.30)$$

burada Q^w kırışıklık kritik baskı kuvveti, bu değer kırışıklığın oluşmaması için minimum baskı kuvvetidir. D_0 , levhanın çapı; t_0 , levhanın kalınlığı; $\frac{t_0}{D_0} \times 100$, levha

çapının kalınlığa oranı; $\eta = \frac{D_t}{D_0}$, levha kenarının göreceli hareket pozisyonu; D_t ,

flanş dış kenar çapı; $m = \frac{d}{D_0}$, derin çekme sabiti, silindirik kap derin çekme çapı; f_a

ve f_b sırasıyla levha-kalıp ve levha-baskı plakası arasındaki sürtünme katsayısıdır, $\beta = 1.1$ dir. $\bar{S} = B \bar{\varepsilon}^n$ flanş bölgesindeki ortalama akma gerilmesi; B , mukavemet

katsayısı, n deformasyon sertleşmesi üssüdür. $\bar{\varepsilon} = \left| \frac{1}{2} \ln \frac{\eta m}{\sqrt{1 - \eta^2 + m^2}} \right|$, flanş

deformasyon bölgesindeki ortalama logaritmik uzama ve E , elastikiyet modülüdür [92].

Yukarıda verilen eşitlik, kırışık oluşumunun kritik sınır şartını belirlemektedir. Bu denklem kırışıklık modülü olarak kırışıklığın oluşmaması için kritik sınır değeri verir. Bununla birlikte, olması gereken minimum baskı plakası kuvvetinin hesaplanması içinde kullanılabilir [92].

II.7.1.3. Kalınlık

Kalınlıktaki değişim hacmin değişmezliği kuralına göre belirlenir [92].

$$\varepsilon_{\min}(\varepsilon_{22}) = -\varepsilon_{\max}(\varepsilon_{11}) - \varepsilon_{\text{kabalin}}(\varepsilon_{33}) \quad (2.31)$$

Denklem 2.31'yi denklem 2.25'de yerine koyarsak, birincil uzama ve kalınlıktaki değişim aşağıdaki gibi gösterilir:

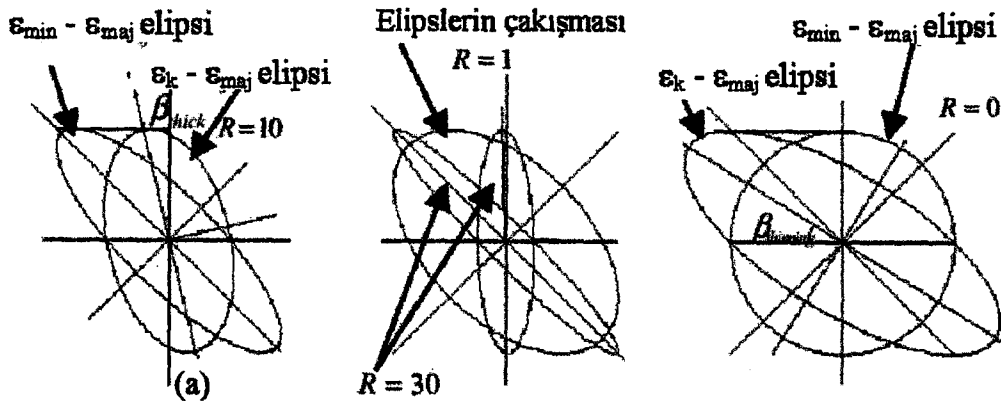
$$\varepsilon_i = \frac{R+1}{\sqrt{2R+1}} \left[\frac{2}{1+R} \varepsilon_{11}^2 + \frac{2}{R+1} \varepsilon_{11} \varepsilon_{33} + \varepsilon_{33}^2 \right]^{1/2} \quad (2.32)$$

Bu aynı zamanda elips denklemdir ki elipsin uzun kısmının yarısı A ile ve kısa eksen uzunluğunun yarısı B ile gösterilirse, aşağıdaki denklemleri elde edilir.

$$A = \left[\frac{2(1+2R)}{(1+R)(3+R-\sqrt{(R-1)^2+4})} \right]^{1/2} \quad (2.33)$$

$$B = \left[\frac{2(1+2R)}{(1+R)(3+R+\sqrt{(R-1)^2+4})} \right]^{1/2}$$

Şekil II.41'de iki elipsin ($\varepsilon_k - \varepsilon_{\max}$ elipsi ve $\varepsilon_{\min} - \varepsilon_{\max}$ elipsi) farklı R değerleri için şekli görülmektedir.



Şekil II.41. Anizotropik özelliğe bağlı kalınlık davranışları [75]

Kalınlık elipsinin dönme açısı, asal uzama elipsi ile levha düzleminde karşılaştırıldığında aşağıdaki denklemle tanımlanır [92]:

$$\operatorname{tg}2\beta = \left| \frac{2}{R-1} \right| \quad (2.34)$$

β elipsin uzun eksenine ile ordinat arasındaki açı olduğunda, kalınlık açısı (β_{thick}) $R \geq 1$ ile belirlenir. Eğer β elipsin uzun eksenine ile apsisi arasındaki açı ise inceleme açısı (β_{thin}) $R \leq 1$ ile ilişkilidir. Bu anlatılanlar Şekil II.41'de gösterilmiştir.

Uzama ile ilgili bazı kurallar aşağıdaki şekilde verilebilir [92].

- $\epsilon_k - \epsilon_{\text{maj}}$ elipsi, eğer $R > 1$ ise elips saat yönünde döner. R değeri daha büyür, dönme açısı küçülür ve ϵ_k değeri de küçülür,
- $\epsilon_k - \epsilon_{\text{maj}}$ elipsi ve $\epsilon_{\text{min}} - \epsilon_{\text{maj}}$ elipsi, $R=1$ ise üst üste çakışır. Bunun manası elips denkleminde bir ordinat değeri (ϵ_{maj}) ve iki tane apsis değeri vardır (ϵ_k ve ϵ_{min}),
- $\epsilon_k - \epsilon_{\text{maj}}$ elipsi $R < 1$ ise saatin ters yönünde döner. R değeri küçülürken kalınlık değeri hızla artar. Kalınlık değeri $R=0$ olduğunda en büyük değere ulaşır.

Deformasyon sınırının kontrolü amacıyla çok farklı çalışmalar yapılmıştır. Junxiang Lei [76,77] silindirik kapların derin çekilmesinde deforme oluşmaksızın şekillenmesi için aşağıdaki formülü vermiştir [75, 92].

$$Q^F \leq \frac{\pi D_0 t_0 m}{f_d + f_b} \times \left\{ \left[C_1 e^n \left(\frac{1+r}{\sqrt{1+2r}} \right)^{n+1} - \frac{t_0}{2r_0 + t_0} \right] \frac{\sigma_b}{(1+1.6f_d)} - \beta \bar{S} \ln \frac{\eta}{m} \right\} \quad (2.35)$$

burada c_1 zayıflama faktörü, $c_1=0.90\sim 0.94$, genellikle ortalama $c_1=0.92$ alınır. Burada Q^F kritik deforme baskı kuvvetidir; r , plastik uzama oranı (veya kalınlık anizotropik katsayısı); r_0 , kalıp kavis yarıçapı ve σ_b çekme gerilmesini göstermektedir. Bu eşitlik deformasyonun oluşma sınırını hesaplamak için kullanılır.

Kırışıklık limiti denklem 2.35 ile deforme limiti denklem 2.30'u birleştirerek, silindirik kapların derin çekme işleminde kırışıklık limiti ve deforme limiti kriterlerinin tahmini ve kontrolü, denklem 2.36 ile kontrol etmek mümkündür [92].

$$Q^w \leq Q \leq Q^F \quad (2.36)$$

Denklem 2.36 vasıtasıyla iki sınır arasında levhaların şekillendirilmesi sırasında kırışıklık ve deformeler yok edilebilir ve başarılı bir şekilde levhalar şekillendirilebilir [92].

BÖLÜM III: MATERYEL VE METOT

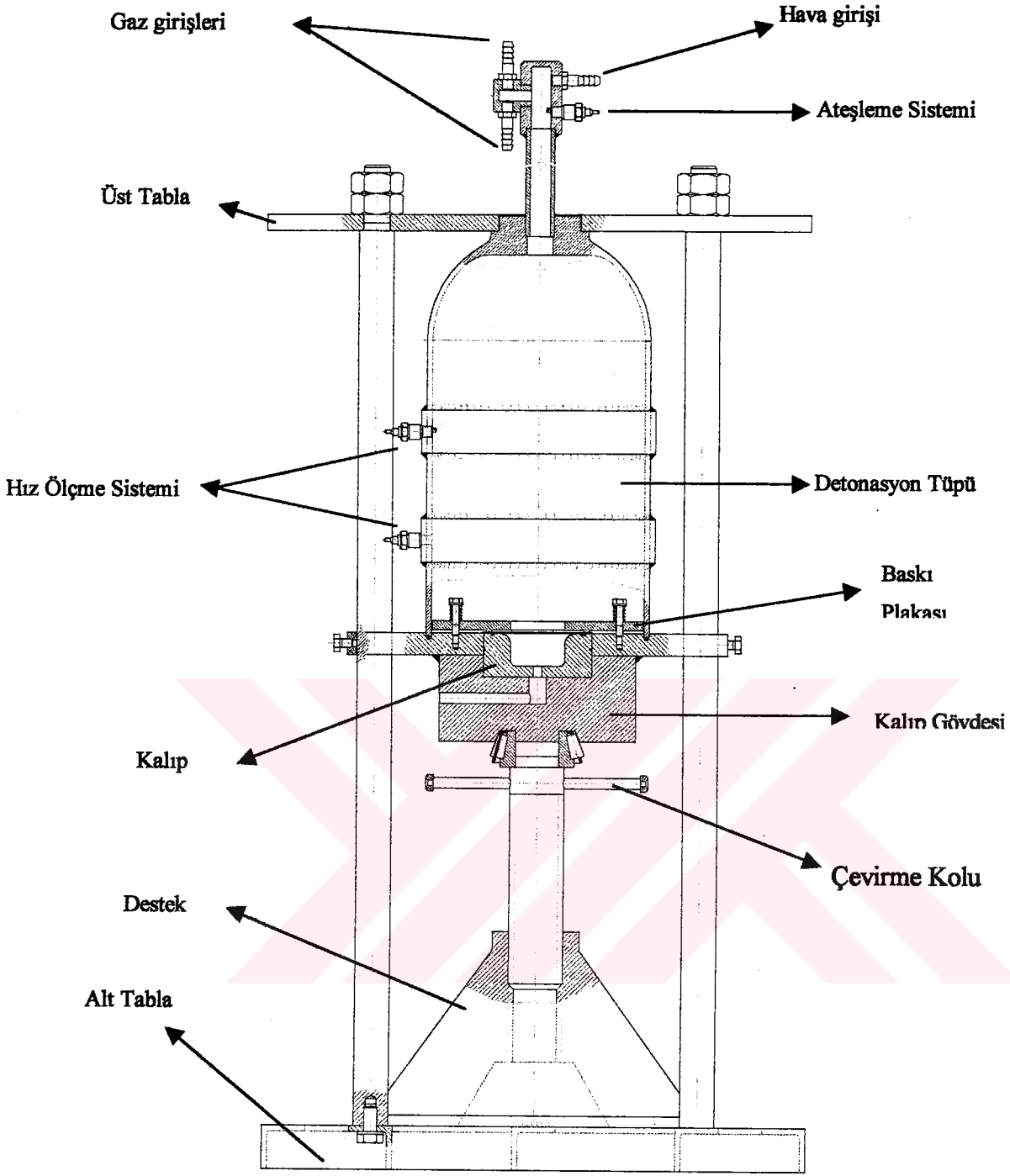
III.1. SUNUŞ

Bu bölümde, deneyleri yapmak amacıyla tasarlanan ve imalatı yapılan otomatik kontrollü ÇKDŞM ile şekillendirme metodu, donanımı ve yazılımı tanıtılacaktır. Literatürde incelenen deneysel çalışmaların çoğunluğu tas şeklinde silindirik, bir kısmı da kare şeklindedir [77]. Bu çalışmada da literatürde en çok kullanılan ve şekillendirme mekaniğini daha kolay açıklamaya yarayan silindirik bir kabın dışı kalıp kullanılarak şekillendirilmesi incelenecektir. Sistem tasarımı ve üretimi bu esaslara göre yapılmıştır.

Yüksek hızda gaz detonasyonu ile şekillendirme amacıyla imal edilen “Çift Kademeli Detonasyonla Şekillendirme Makinesi” (ÇKDŞM) Şekil III.1’de, deney donanımı akış şeması ise Şekil III.2’de verilmiştir. Deney donanımı yedi ana kısımdan oluşmaktadır;

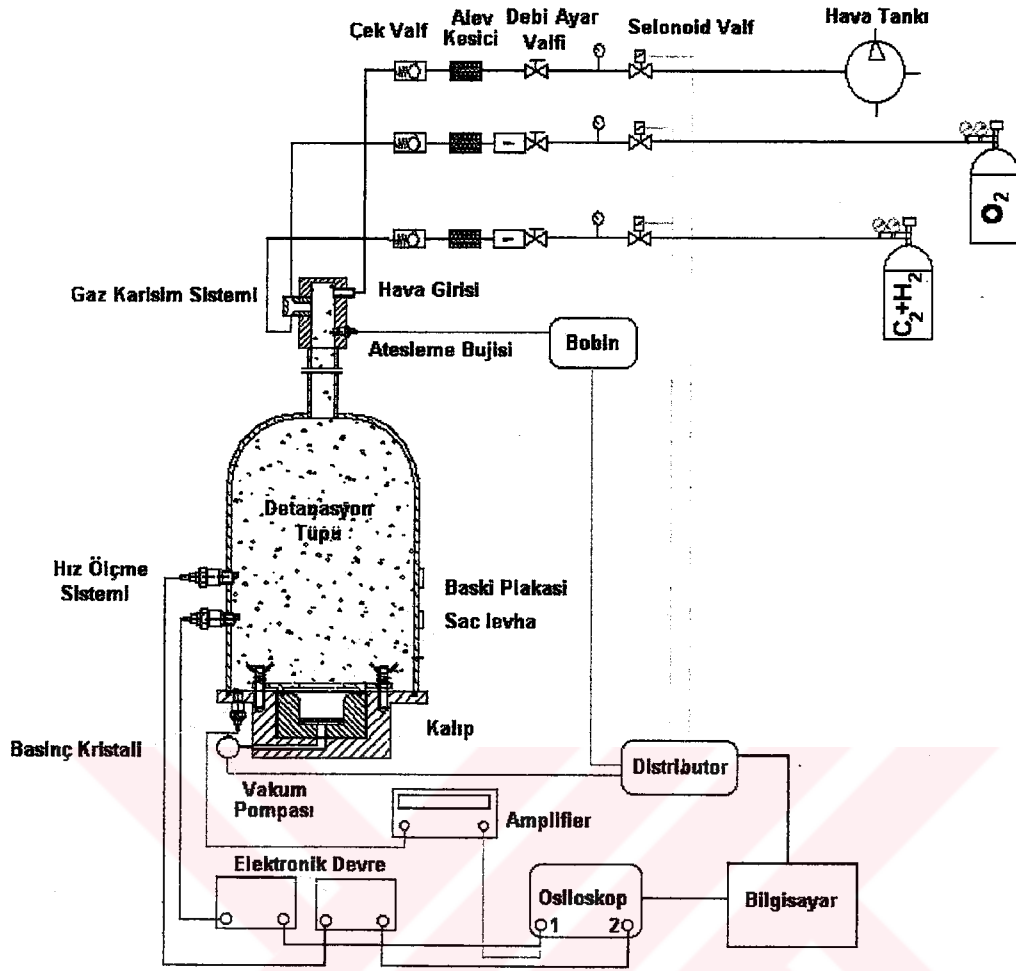
1. Bilgisayar Kontrollü Kumanda ve Ölçme Ünitesi,
2. Derin Çekme İşlem Ünitesi,
3. Gaz Akış ve Kontrol Ünitesi,
4. Ateşleme Ünitesi,
5. Vakumlama Ünitesi,
6. Yağlama Sistemi,
7. Sızdırmazlık Sistemi,

Detonasyonla şekillendirme sisteminde üç çeşit gaz kullanılmıştır. Sisteme yanıcı gaz olarak Asetilen (C_2H_2), yakıcı gaz olarak Oksijen (O_2), sistemi soğutmak ve ortamda oluşan Karbon monoksit (CO), Azotoksit (NO_x), H_2O gazlarını temizlemek için basınçlı hava kullanılmıştır. Yanma odasına giren gazların miktarını bilgisayar ortamında kontrol etmek amacıyla bir adet PCL 812 PG LAB kart kullanılmıştır. Bu amaçla MSVisual Basic ile bir program geliştirilmiştir.



Şekil III.1. Çift kademeli detonasyonla şekillendirme makinesi (ÇKDŞM).

İmal edilen ÇKDŞM'nin yapım ve montaj resimleri Ek 4'de verilmiştir. Ön deneylerden sonra ÇKDŞM'nin verimini arttırmak amacı ile sızdırmazlık sistemi tam olarak sağlanmış ve vakumlama sistemi eklenmiştir. Şekil III.1'de görüldüğü gibi sistem, alt tabla üzerine konan ve DT çevresine kaynakla bağlanan ve üzerinde hız ölçme sistemi yerleştirilen desteklerle güçlendirilmiş, böylece patlama sonucu oluşabilecek olan sarsıntı v.s. önlenmiştir.

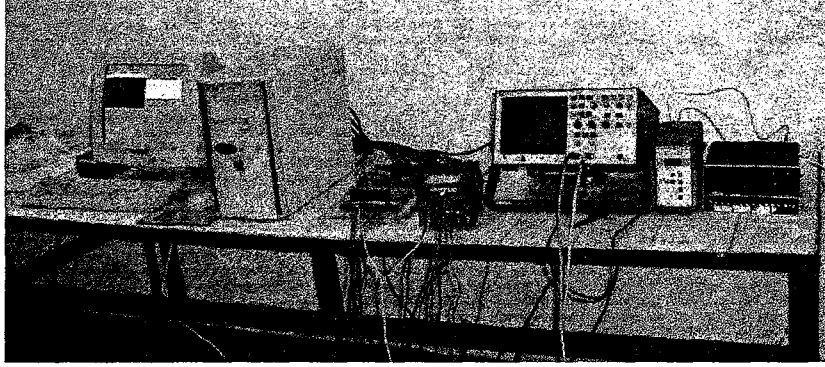


Şekil III.2. Detonasyonla şekillendirme deney donanım akış şeması

III.2. BİLGİSAYAR KONTROLLÜ KUMANDA VE ÖLÇME ÜNİTESİ

YHŞ deneylerinin daha sağlıklı, aynı şartlar altında özdeş ve hata oranının minimum seviyede olmasını sağlamak, gerektiğinde tekrarlanabilirlik özelliğini gerçekleştirebilmek amacıyla, verilen gaz hacmi süreleri, ateşleme ve soğutma süresi bilgisayar tarafından, geliştirilen bir programla kontrol edilmektedir. Sisteme yapılan gaz ayarına göre belirli bir zaman aralığında reaktant verildikten sonra ateşleme yapılmakta daha sonra oluşan yanmış gazları tamamen dışarı atmak ve sistemi soğutmak için kompresörden gelen basınçlı hava bilgisayar tarafından devreye sokulmaktadır. Ayrıca sisteme giren gazların miktarını belirlemek amacı ile kumanda paneli üzerine gaz girişlerini kontrol eden debi metreler yerleştirilmiştir.

Bilgisayar kontrollü kumanda ve ölçme ünitesi bir adet bilgisayar, iyonizasyon elektrotları, kuvars kristal duyurga ve amplifikatörü, osiloskob, güç kaynakları ve PC 812 PG LAB kontrol kartından oluşmaktadır (Şekil III.3).



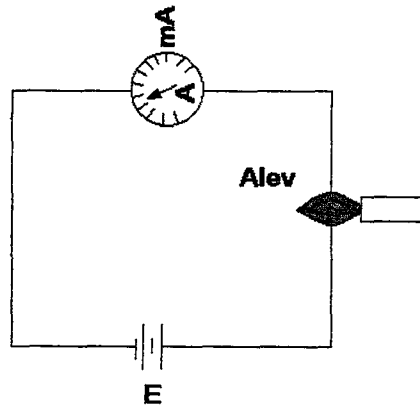
Şekil III.3. Bilgisayar kontrollü kumanda ve ölçme ünitesi

Deney donanımında bir adet Pentium 166 MMX, 64 MB Ram PC bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayar tarafından aç-kapa şeklinde kontrol edilen üniteler şunlardır;

1. Oksijen-Asetilen ve kompresörden gelen sistemi temizlemek ve soğutmak için kullanılan basınçlı havayı kontrol eden üç adet selenoid valf.
2. Ateşlemeyi gerçekleştiren endüksiyon bobini.
3. Vakumluma ünitesini çalıştıran motor.
4. Ortamdaki kirlenen havayı dışarı atan havalandırma motoru.

III.2.1. İyonizasyon Yöntemi

Detanasyon tüpünde meydana gelen yanma olayında alev cephesi hızını ölçmek amacı ile iyonizasyon yöntemi kullanılmıştır.



Şekil III.4. Basit bir iyonizasyon yöntemi.

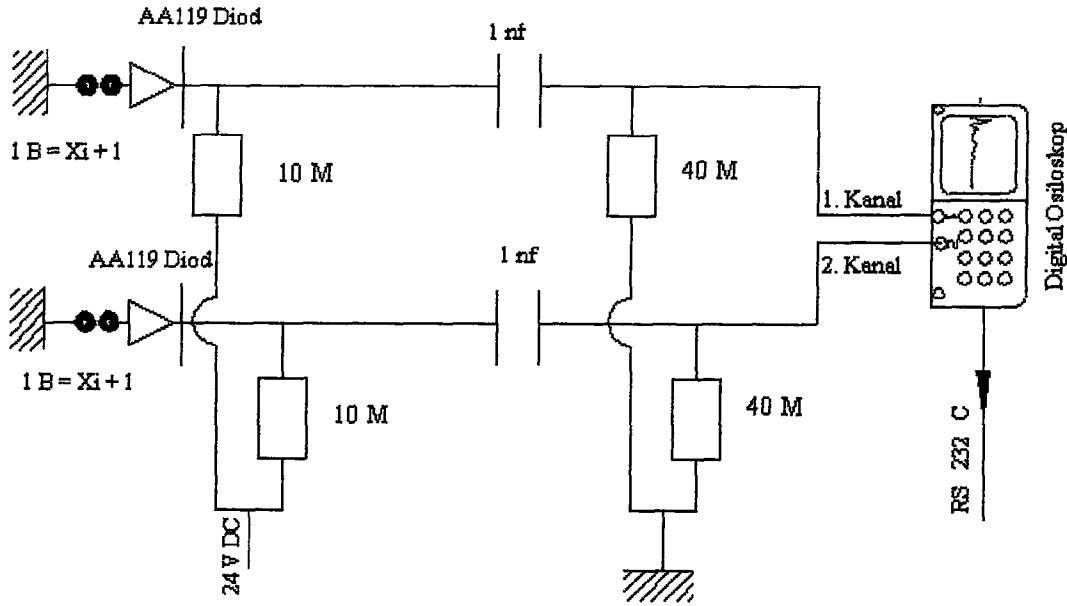
Bu yöntemin esası gazların yüksek sıcaklıklarda kısmen iyonize olması sonucu elektrik akımını daha iyi iletebilmeleridir. Bu metot 1859 yılında Henkol tarafından geliştirilmiştir [23]. Bu yöntemi basit olarak Şekil III.4'de görmekteyiz.

Şekilde E güç kaynağı tarafından üretilen akım elektrotların arası açık olduğu için geçmemektedir. Herhangi bir ısı kaynağının mum gibi bu elektrotlar arasında yakılması sonucu ortamda bulunan gazlar ısınmakta ve iyonlaşma meydana gelmektedir. Oluşan iyonlar elektrik akımını iletmektedir. Buradan geçen akım miktarı elektrot aralığı, ortamda bulunan iyon oranı, güç kaynağının ürettiği akım ve gerilimle alakalıdır. Ortam sıcaklığı ve kullanılan yakıtın türü de iyonlaşmayı etkiler.

Bu çalışmada detonasyon hızının ölçülmesinde, ortamda var olan güç kaynakları, ısınmış gazlar gibi, parazitleri filtre etmek amacı ile Şekil III.5'de verilen elektronik devre kullanılmıştır.

Bu elektronik devrenin zaman ataleti $0,1 \mu s$ civarındadır. Devrede her iki kanalda da aynı özellikte diod, direnç, kondansatör kullanıldığı için çok az farkla da olsa iletken hale gelen iyonizasyon bujilerinin sinyallerini faz farkı ile aynı elektrik gerilimine yüklemek mümkündür [36].

Detonasyon hızı ölçümü amacı ile detonasyon tüpü üzerinde iki noktaya iyonizasyon elektrotu yerleştirildi (Şekil III.1). Patlama sonucu oluşan alev bu noktalardan geçtiği anda devreden elektrik akımı geçer. Bu sırada ortamda bulunan yüksek sıcaklık nedeniyle alev cephesinde iyonlaşma vardır.



Şekil III.5. Detonasyon hızı ölçümünde kullanılan elektronik devre

Maksimum akıma ulaşıldığında veya belli seviyeye gelindiği an alevin sensörün yerleştirildiği noktaya ulaştığı an olarak kabul edilebilir.

III.2.2. Kuvars Kristal Duyargaları ve Amplifikatörü

Detonasyon olaylarında meydana gelen basıncı ölçmek için genellikle piezo elektrik kuvars duyargalar kullanılmaktadır. Bu kuvars kristalinin özelliği kristalin yüzeyine belli bir kuvvet uygulandığında, kuvars kristal uygulanan yük ile orantılı olarak bir gerilim üretir. Bu gerilim üretme özelliği kullanılarak özel kuvars kristal basınç ve kuvvet duyargaları ile adaptörleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan kuvars kristal yük amplifikatörü RS 232 C tipi 9 ve 24 pin bilgisayar ara birimli ve mikro işlemci kontrollüdür. Bilgisayar tarafından duyarga hassasiyeti (pc/bar), filtre faktörü, scala faktörü (bar/v), zaman sabiti (uzun, orta, kısa) kontrol edilebilmektedir.

III.2.3. Dijital Osiloskop

Osiloskop elektrik sinyalini şekil ve değer olarak gösteren alettir. Sistemde gazların ateşlenmesi ile meydana gelen detonasyon hızı ve basınç ölçümlerinde kayıt ünitesi olarak bilgisayara bağlanan dijital hafızalı osiloskop kullanıldı. Bu cihazın seçilmesi ölçme hassasiyetinden kaynaklanmaktadır.

Asetilen-Oksijen karışımının detanasyon tüpü içinde yanma hızı literatüre göre 3000 m/s kadar çıkmaktadır [71]. Alev cephesi kalınlığının maksimum 1 mm olduğu kabul edilirse alev cephesini yakalayabilmek için cihazın alevin 1mm ilerlemesinde minimum bir ölçüm yapması gerekir. Bu amaçla deneylerde HP 54600 A dijital 2-kanallı, hafızalı ve 100 MHz hızlı osiloskop kullanılmıştır.

Ayrıca deney sisteminde ateşleme bobini için 12 volt DC, valflerin kontrolü için 24 volt DC ve vakum pompası için 110 voltluk güç kaynakları kullanılmıştır.

III.2.4. Bilgisayar Destekli Ölçme (BDÖ) Sistemi

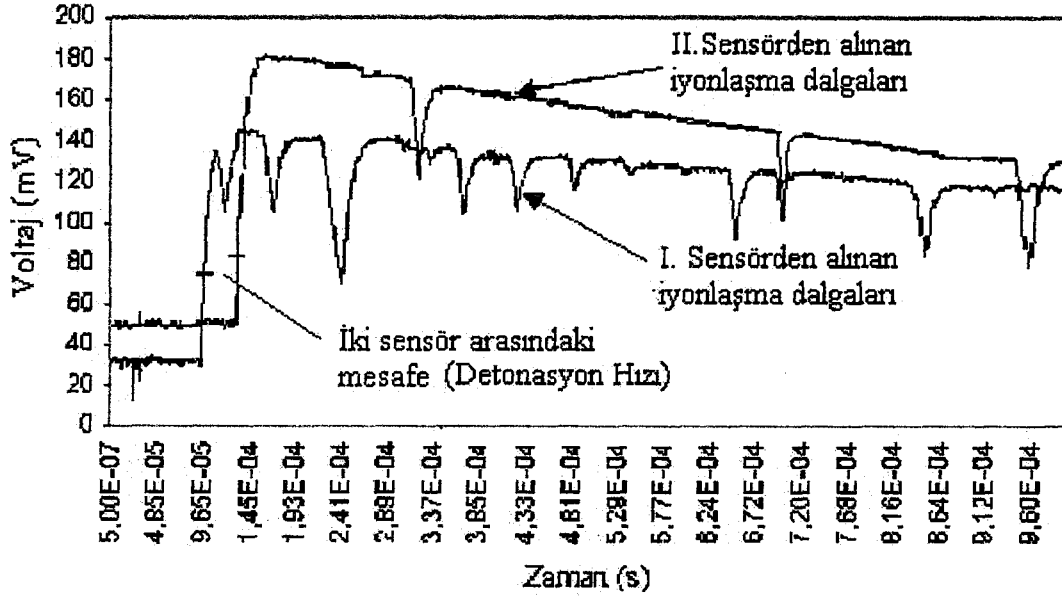
Yanma sonucu oluşan basınç ve hızın ölçümü deformasyona etkileri açısından önemlidir. Ölçüm sonuçlarının daha hassas ve kaliteli, insan hatalarından uzak, deney şartlarının her deney için aynı, deneyler hakkında detaylı bilgilerin kaydedilebilmesi, analiz sonuçlarının anında görülebilmesi, deneylerin tekrarlanabilirlik özelliğinin olabilmesi ve kayıt edilebilmesi gibi avantajlarının olması nedeniyle, bilgisayar destekli ölçme (BDÖ) tekniği deneylerde kullanılmıştır. Bu amaçla PCL 812 PG LAB kart ve geliştirilen bilgisayar programı vasıtası ile YHŞ

sisteminin oksijen, asetilen gaz girişleri ve süresi, ateşlenmesi ve kompresörden gelerek sistemi temizleyip soğutan basınçlı hava girişi ve süresi kontrol edilebilmektedir. Program MSVisual Basic Programlama dili ile yazılmıştır.

III.2.4.1. Detonasyon Hız Ölçümü

Detonasyon hız ölçümü amacıyla detonasyon tüpünün gövdesine dikey olarak ve ateşleme noktasından biri 1,3 m diğeri 1,2 m uzaklıkta (100 mm aralıkla) ve şekillenecek parçaya yakın bir konuma iki adet iyonizasyon sensörü yerleştirilmiştir (Şekil III.1). Sensör uçları elektronik devreye ve elektronik devrenin ucu da osiloskopa bağlanmıştır. Yanma esnasında alevin iletkenliğinden yararlanarak alev cephesi sensör seviyesinden geçerken sensör uçlarında kısa devre oluşmakta ve bu iletkenlik elektronik devrelerle elektrik akımına çevrilerek osiloskopa iletilmektedir. Böylece osiloskop tetiklenmektedir. Osiloskopu düzenlemek üzere bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program önce osiloskopta gerekli düzenlemeleri yapmakta daha sonra elektronik devre aracılığı ile sistemden alınan verileri sayısal değerlere çevirerek kayıt etmektedir. Alev cephesi ikinci buji seviyesinden geçerken de aynı olaylar meydana gelmekte ve osiloskobun ikinci kanalında tetiklenmektedir. Osiloskobun iki kanalı arasındaki mesafe zamanı gösterir. Yolun zamana oranı hızı verdiği için dolayı hız ölçümü yapılmaktadır. Osiloskop ölçüm sonuçlarını kendi geçici hafızasında tutarken bilgisayar geliştirilen program yardımıyla bu sonuçları dijital osiloskobun hafızasından alarak belirlenen bir klasöre toplar.

Hız ölçümü 1µs içinde yapılmaktadır. Şekil III.6'da detonasyon hızı ölçülmesi esnasında elde edilen grafik görülmektedir. Detonasyon hızını ölçmek için, sensörlerden alınan sinyaller arasındaki zaman osiloskoptan ölçülerek, iki sensör arasındaki mesafede 100 mm olduğundan $HIZ = YOL/ZAMAN$ formülü ile detonasyon hızı bulunmuştur. Örnek olarak bir hız ölçüm datası EK. 2'de verilmiştir.



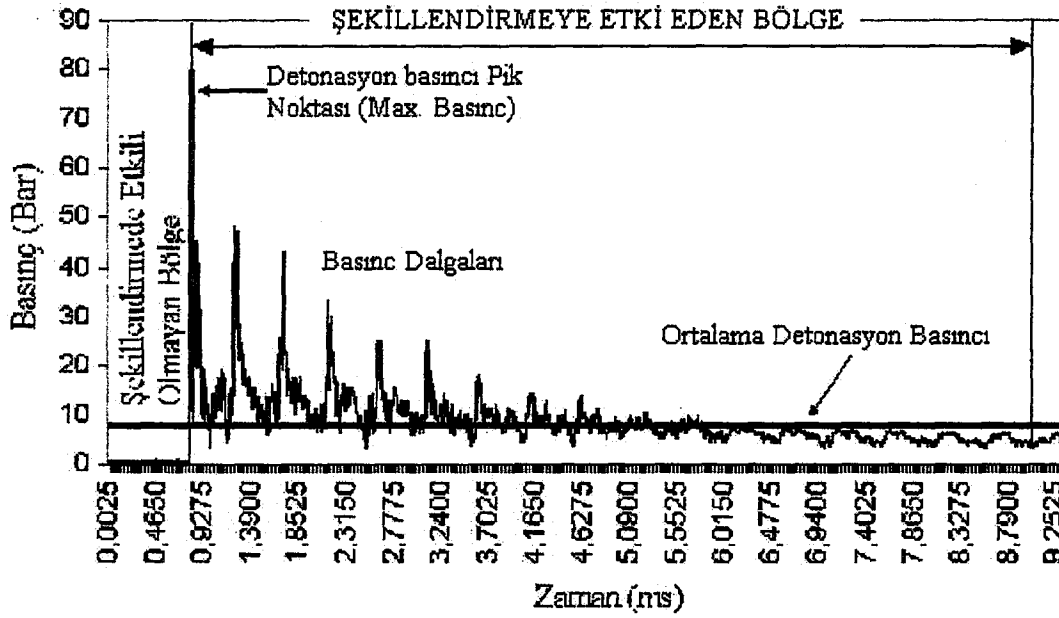
Şekil III.6. Detonasyon hız ölçüm grafiği

III.2.4.2. Detonasyon Basıncı Ölçümü

Basıncı ölçümü için kalıp üzerine şekillenecek parça ile aynı seviyeye gelen, basınçla direk temas edecek şekilde, önceden kalibre edilmiş bir quartz basınç kristali yerleştirilmiştir. Şok dalgası şekillenecek parçaya ulaştığında basınç kristalini de aynı oranda etkilemektedir. Kristal üzerine gelen şok dalgasının etkisi amplifier tarafından kalibre edilerek osiloskobun birinci kanalına iletilerek tetiklenme sağlanır. Osiloskobun yatay eksenini zamanı dikey eksenini ise basıncı verecek şekilde ayarlanmıştır.

Şekillenme esnasında 10 μ s içinde ölçülen detonasyon basınç grafiği Şekil III.7'de verilmiştir. Bu zaman içinde 4000 veri bilgisayara aktarılmıştır. Şekillenmede bu verilerin tamamının etkisi yoktur. Çünkü gittikçe azalan basınç dalgaları belli bir aşamadan sonra malzemeye etki edemeyecektir. Bu nedenle (1Bar) ve üzeri basınç değerlerinin şekillendirmede etkili olduğu kabul edilmiştir.

BDÖ tekniği ile yapılan deneyler aynı şartlar altında gerçekleştirilmiş, ölçümler hassas ve insan hatasından arınmış, deney sonuçları kaydedilmiş, deneyler tekrarlanabilirlik özelliği kazanmış, hatalar anında tespit edilebilmiş ve deney parametreleri yazılımla kontrol edilebildiğinden deneyler esneklik kazanmıştır.



Şekil III.7. Ölçülen detonasyon basınç grafiği

III.3. DERİN ÇEKME İŞLEM ÜNİTESİ

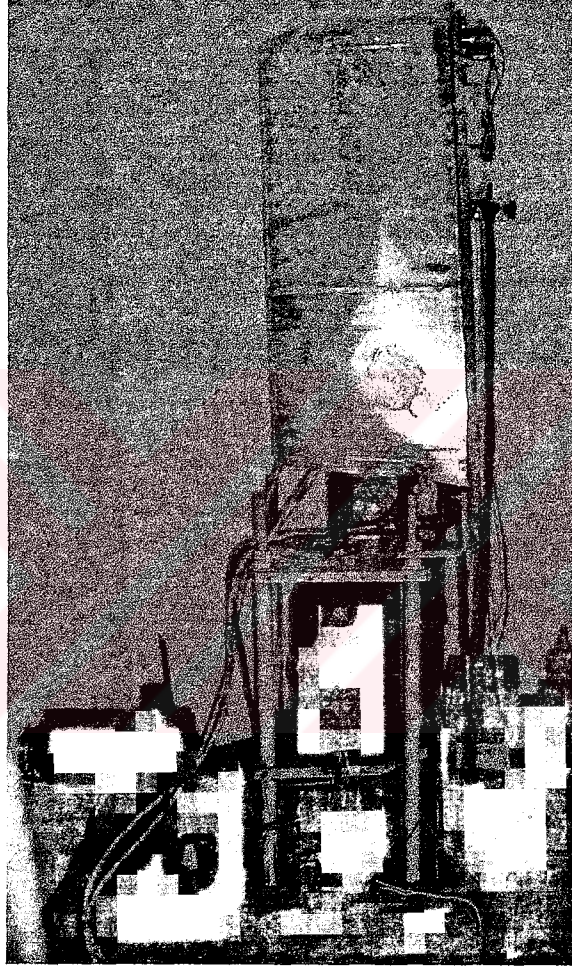
Derin çekme işlem ünitesi dört ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar sırası ile çift kademeli detonasyon tüpü, kalıp yuvası ve baskı plakası, sabit tabla ve sütunlarıdır.

III.3.1. Çift Kademeli Detonasyon Tüpü (ÇKDT)

ÇKDT gövde adı verilen tüp kısmı ve buna monte edilen 1m boyunda ve 21,4 mm iç çapında, 2,5 mm et kalınlığında çelik çekme borudan oluşur. Tepe kısmında bulunan ateşleme sensörü vasıtasıyla ateşleme yapılır. Boru içinde hızla oluşan yanma, tüp kısmına geçince patlama meydana gelir ve belirli bir basınç oluşturarak tüpün alt kısmına monte edilen kalıba etki eder. Detonasyon borusunun üst uç kısmında ateşleme sistemi ve gazların girişi için ayrı bir sistem monte edilmiştir. Bu sistem üzerinde gaz ve hava girişi bulunmaktadır. Bu deliklerden biri asetilen ve oksijen için diğeri ise soğutucu hava girişi için kullanılmıştır. İki ayrı borudan gelen oksijen ve asetilen gazları detonasyon borusuna karışımı sağlamak için tek kanaldan girmektedir. ÇKDT'nin iki kademeli olmasının amacı birinci kademede detonasyon hızına ulaştıktan sonra ikinci kademede şekillenmeyi sağlamaktır.

Gövdeyi oluşturan detonasyon tüpü olarak, 22,5 cm çapında, cidar kalınlığı 5 mm olan yüksek basınca ve ısıya dayanıklı düşey konumlu dikişsiz çelik tüp kullanılmıştır. Şekil III.8'de detonasyon tüpü ve borusu, Şekil III.1'de ise detonasyon

tüpü ve kalıbın resimleri verilmiştir. Detanasyon borusu tüpe vida açılarak monte edilmiştir. Detanasyon tüpü üzerine iki adet hız ölçmek amacıyla duyurga yerleştirilmiştir (Şekil III.1). Duyurga yerleştirme noktalarının dayanımı artırmak ve sensörün tüp içerisine uygun bir şekilde yerleştirilmesini sağlamak amacıyla tüp çevresine iki adet çelik halka kaynak edilmiştir. Bu detanasyon sistemi ile kullanılan gaz karışımının şekillenme esnasında detonasyon hızı, detonasyon basıncı ölçülmüş ve tüpün alt kısmına yerleştirilen kalıp ile şekillendirme yapılmıştır.



Şekil III.8. Detonasyonla şekillendirme makinası (ÇKDŞM).

III.3.2. Kalıp Yuvası ve Hareketli Tabla

ÇKDT'nin ikinci kısmı ise kalıp yuvası ve kalıbın düşey yönde aşağı yukarı hareketini sağlayan hareketli tabladır. Şekil III.9'da görüldüğü gibi kalıp yuvası altında bulunan ve üzerine kare vida açılmış olan milin uç kısmına yerleştirilen bilyalı yatak üzerindedir. Altta milin içinde hareket ettiği ve sistemi dengelemek amacı ile kullanılan yarım koni şeklinde taban kısmı vardır. Mil döndürüldüğünde hareketli tabla dikey yönde ileri geri hareket eder. Bu hareketle sistem kapatılarak

patlama gerçekleştirilir. Detonasyon tüpünün sızdırmazlığını sağlamak amacı ile tüpün hareketli tablaya oturduğu alana 5 mm derinliğinde ve genişliğinde, tüp çapında kanal açılmış ve sızdırmazlığı sağlamak için buraya lastik conta yerleştirilmiştir. Kalıp yuvasının detonasyon tüpünün içinde kalan üst kısmına basınç ölçümü için kristal duyarga yerleştirilmiştir. Ayrıca kalıp yuvasına iç kısımdan vakumlama yapabilmek amacı ile vakum deliği açılmıştır.



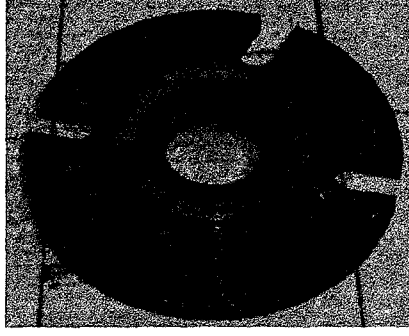
Şekil III.9. Kalıp yuvası ve hareketli tabla

Patlama esnasında sistemin ve kalıbın sarsıntıdan etkilenmemesi için hareketli tabla vidalarla sütunlara sabitlenebilir şekilde yapılmıştır.

III.3.3. Baskı Plakası

Baskı plakasının bu sistemde kullanılmasının ana amacı levhaların şekillenmesi sırasında kırışksız olmasını sağlamaktır. Baskı plakası çekim esnasında malzemenin akmasını sınırlar ve kontrol altında tutarak düzgün bir şekillenme meydana gelmesini sağlar. Diğer bir nedeni ise şekillenmede sac parçanın, basınç ve hız etkisiyle kalıp boşluğuna dolup, kırışmasını ve kenar kısımların ondülasyona maruz kalmasını engellemektir. Bu amaçla çeşitli denemeler neticesinde en iyi sonuç veren baskı plakasına ulaşılmıştır (Şekil III.10).

Plaka dikkatle incelendiğinde sac plakanın, levha ile temas eden kısmı belli bir bölgedir ve bu kısım, malzemeye çizik ve yırtık gibi zarar vermesini engellemek için hassas olarak işlenmiş ve parlatılmıştır. Deney esnasında baskı plakasının sac levha ile temas eden kısmı, çekmeyi kolaylaştırmak için ince bir tabaka halinde yağlanarak sac yüzeyine temas ettirilmektedir. Böylece sürtünme kuvvetlerinin etkisi minimuma indirilmektedir.



Şekil III.10. Deneyler esnasında kullanılan baskı plakası

Levhaya etki eden basıncı, kontrollü bir şekilde parça üzerine ulaştırmak amacıyla baskı plakasının içine kalıp iç çapına eşdeğer bir delik açılmıştır. Dolayısı ile detonasyon sonucu oluşan basınç ve hız sadece iç çap mesafesinden malzemeye etki etmekte ve sürtünme azaldığı için şekillenme daha kolay olmaktadır. Plaka kenarlarına karşılıklı açılan iki kanal civata ve yay kullanarak sac metali sıkıştırmak içindir. Aynı zamanda bu sistem ile sac levha üzerine etki ettirilen sıkıştırma kuvvetlerini kontrol etmekte mümkündür. Üçüncü kanal ise hareketli tabla üzerine yerleştirilen ve detonasyon basıncını ölçmek amacıyla kullanılan basınç kristali içindir. Derin çekme ile ilgili literatüre bakıldığında benzer tip baskı plakalarının kullanıldığını görmek mümkündür. Wang ve Majlessi(1994), Murata ve Matsui (1994) ve Siegert, Wagner ve Simon (1992) sadece bunlardan birkaçıdır [78].

III.3.4. Sabit Tabla ve Sütunlar

Patlama işlemi esnasında sarsıntı, sistemin emniyeti açısından söz konusu olabileceğinden dörtgen şeklinde olan alt, orta (hareketli tabla) ve üst tablalar köşelerden delinerek sütunlara bağlanmış alt ve üst kısımlardan civata ve somunlarla sıkıştırılmıştır. Böylece sarsıntı ve geri tepme olayı engellenmiştir. Aynı zamanda çeşitli deneyler ve taşınabilmesi amacıyla sistem sökülebilir şekilde imal edilmiştir.

III.4. GAZ AKIŞ VE KONTROL ÜNİTESİ

Bu ünite kompresör, vantilatör, manometreler, oksijen tüpü, asetilen tüpü, basınç ayarlama saatlerinden oluşmaktadır. Deneyde kullanılan oksijen, asetilen ve soğutucu olarak kullanılan havanın debi ayarlarını kontrol eden debi metre, selenoid valf, alev kesici ve çek valflerde bu ünitenin parçasıdır.

Sistemde yanıcı gaz olarak Asetilen ($C_2 H_2$), yakıcı gaz olarak da Oksijen (O_2) kullanılmıştır. Yanma sonucu oluşan ve yanma sonucu ÇKDT içinde oluşan

CO₂,CO,NO_x ve H₂ O gazlarını temizlemek ve sistemi soğutmak için kompresörden elde edilen basınçlı hava kullanılmıştır. Asetilen gazının özellikleri aşağıda verilmiştir.

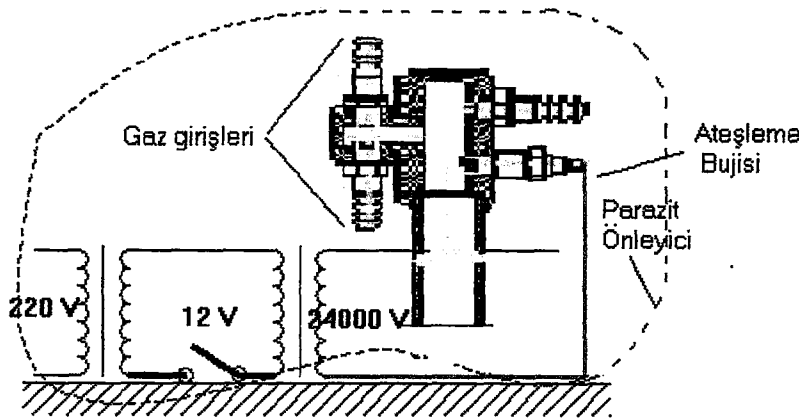
Tablo III.1. Asetilen gazının fiziksel özellikleri [79].

Kimyasal Sembol	Gaz Yoğunluğu	Özgül Ağırlık	Hava İçinde Yanıcı Hacimsel Karışım Oranları
C ₂ H ₂	1,16 g/l (20°C, 1013 mbar)	0,91 (Hava=1)	% 2,5 - % 80 Arası
Moleküler Ağırlık			: 31,9988
Kaynama Noktası (1 atm)			:-182,962 oC
Yoğunluk (likit, -183 °C, 1 atm)			:1,14 kg/l
Spesifik Isı			:0,219 J/gm oC
Buharlaşma Isısı			:50,9 cal/g
Yoğunluk (gaz,15 °C, 1 atm)			: 1,355 kg/m ³
Hacimsel Genleşme (likitten gaza,1 atm)			: 860
Kritik Sıcaklık:			-118,574 °C
Kritik Basınç:			49,77 atm

Gazların sisteme giriş miktarı bilgisayar tarafından PCL 812 PG Lab kartı ile kontrol edilmiştir. Bu amaçla MSVisual Basic ile bir yazılım geliştirilmiştir. Bu programla asetilen, oksijen, hava ve vakum pompaları kontrol valfleri bilgisayar tarafından otomatik olarak kontrol edilmiştir. Gaz akışlarının kontrolünde 100 bar basınca dayanabilen basınç kontrol valfleri ve çek valfler kullanılmıştır.

III.5. ATEŞLEME ÜNİTESİ

Bu ünite detonasyonla şekillendirme sisteminin önemli bir parçasıdır. Ünite ateşleme bobini, ateşleme sensörü, voltaj düzenleyici ve parazit önleyiciler



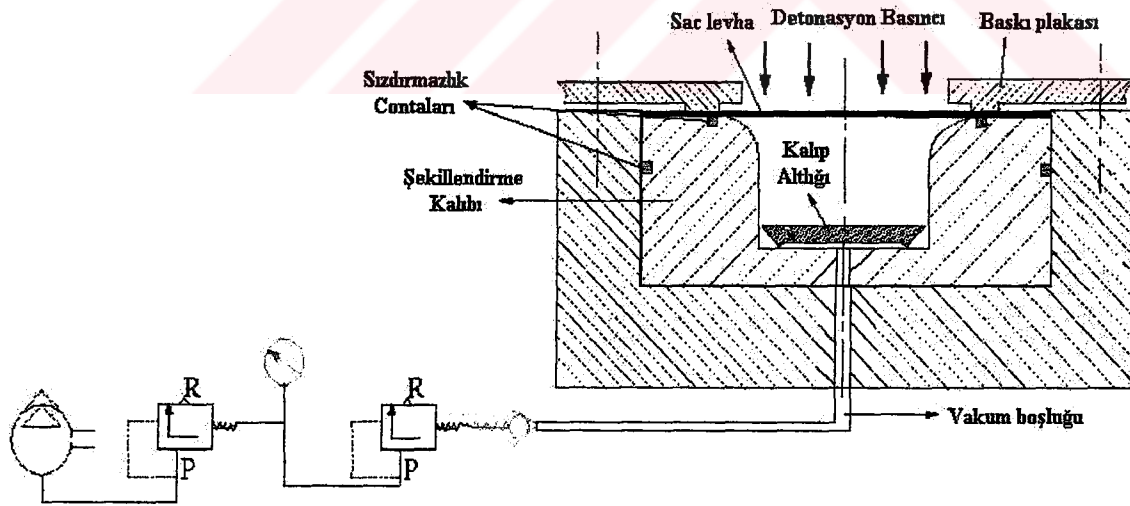
Şekil III.11. Ateşleme ünitesi

kullanılmıştır (Şekil III.11). Sisteme reaktant verildikten sonra 12 V'luk güç kaynağından indüksiyon bobinine gelen akımı burada 24000 V'a kadar yükselerek devrenin kapanması ile kıvılcım oluşturmakta ve yanmayı başlatmaktadır.

Ön deneyler esnasında özellikle bobinde oluşan yüksek gerilim nedeniyle oluşan manyetik alan hız ölçüm sensörlerini etkilemekte ve osiloskobun erken tetiklenmesine sebep olmaktadır. Bilindiği gibi manyetik alan 300000 km/h ile yayılmakta, sistemde oluşan şok dalgasının hızı ise 2500-3000 m/s'dir. Bunu önlemek için bobin ve ölçme sensörlerinin üstü sac levha ile kapatılmış levhalar ve sensörlerde iyi bir şekilde topraklanmıştır. Topraklama işlemi ile erken tetikleme önlenmiş ve deneyler sağlıklı bir şekilde yapılmıştır.

III.6. VAKUMLAMA ÜNİTESİ

Deney esnasında şekillenecek parça ile kalıp boşluğu arasında kalan hava sıkışarak ters bir basınç oluşturur ve şekillenmeyi olumsuz yönde etkiler. Bu olayı engellemek amacı ile vakum pompası kullanılarak kalıp içindeki hava boşaltılmıştır. Aynı zamanda vakumlama parçanın kalıba tam olarak oturmasını sağlar. Kalıp boşluğundaki ve kalıp içindeki sızdırmazlığı sağlamak için o-ring kullanılmıştır. Vakumlama şeması Şekil III.12'de verilmiştir.



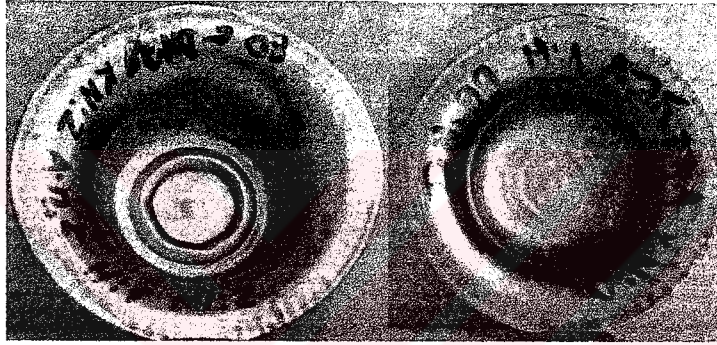
Şekil III.12. Vakumlama şeması

Vakumlama sisteminde vakum pompası, iki adet çek valf, vakumlama göstergesi, kontrol tablosu, bilgisayar ve PCL 812 PG kart kullanılmıştır. Sistemde iki adet çek valf kullanılmasının sebebi; çift yönlü olan birinci valf vakumlama

yapılmadığı zaman, devrenin birini kapatıp diğerini açmak için kullanılmakta olup ikinci çek valf ise, şok dalgasının etkisini, manometre ve vakum pompasına gelmeden kesmek için kullanılmıştır. Böylece sisteme zarar gelmesi de engellenmiştir. Güvenlik açısından 100 Atm basınca dayanıklı çek valf kullanılmıştır.

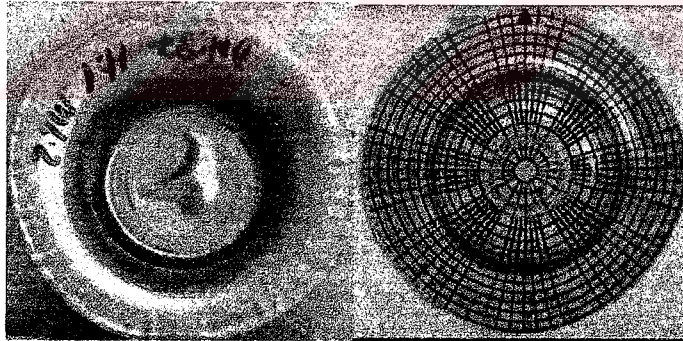
Kalıp üzerine sac levha yerleştirildikten sonra vakumlama yapılmakta ve “-1 Atm” basınca ulaşıldığında çek valfler kapatılarak sisteme reaktant gönderilmektedir.

Vakumlama ünitesi sisteme sonradan eklenmiştir. Yapılan ön deneylerde parça tabanlarında ufak kraterler, “dimple” çukurlar oluştuğu görülmüş ve vakumlamanın gerekliliğine karar verilmiştir. Şekil III.13’de vakumlama yapılarak ve yapılmadan aynı şartlarda şekillendirilmiş iki parça verilmiştir.



a) Vakumlama yapılmadan

b) Vakumlama ile



c) Vakumlama yapılmadan

d) Vakumlama ile

Şekil III.13. Vakumlama yapılmadan ve vakumlama yapılarak şekillenmiş parçaların karşılaştırılması.

Şekil III.13’de de görüldüğü gibi vakumlama ile parça tabanındaki çukurluğun azaldığı zaman zaman tamamen kaybolduğu görülmüştür.

Aynı zamanda yüksek hız ile parça tabana çarpmakta ve yüksek hızda şekillendirmenin etkisiyle parça geriye doğru plastik deformasyona devam etmektedir. Bu olayda parça tabanında çukurcuklar oluşmaktadır.

Vakumlamanın diğerk bir faydası ise yanma odasına dolan reaktantın kalıp içine ve şekillenecek parçanın alt kısmına sızmasını engellemektir.

III.7. YAĞLAMA SİSTEMİ

Levhaların şekillendirme işlemlerinde yağlama elemanlarının kullanılması, işlem esnasında meydana gelen ters yöndeki sürtünme kuvvetlerini elimine etmekte ve lokal uzama yerine daha uniform bir uzama elde edilmesini sağlamaktadır. Bu konuda araştırmacılar çeşitli malzemeler için çeşitli yağlama elemanları test etmişlerdir. Keeler [77] iyi bir yağlama elemanın kullanılması ile şekil verme sırasında uzamanın tepe noktalarında maksimum olacağını belirtmiştir. Jakson ve arkadaşları [80] yağlama elemanları üzerinde yaptıkları çeşitli testler sonucunda plastik filmlerin kullanılmasının sıvılara göre daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. Bulmuş oldukları sürtünme faktörleri teorik verilere çok yakın çıkmıştır. Kumpulainen ve arkadaşları [81] derin çekmeye ısının etkisini araştırmışlar ve sıcak malzemelerde daha büyük bir çekme oranı sınır faktörü elde etmişlerdir. Aynı zamanda daha büyük sürtünme katsayıları ortaya çıktığını ve yağlama elemanı ihtiyacının arttığını tespit etmişlerdir. Kaftanoğlu [82] levha malzemenin preslenmesi esnasında meydana gelen sürtünme üzerine çalışmalar yapmış ve verdiği sonuçları bir liste halinde belirtmiştir.

Kullanılan yağlama elemanlarını madeni yağ tabanlı ve su tabanlı olarak iki ana çeşide ayırabiliriz. Literatüre bakıldığında sac metallerin şekillendirme işlemlerinde genellikle akışkan sıvı yağlar kullanıldığı görülmektedir. Alüminyum alaşımları için kullanılan yağlama elemanları performans sırasına göre N.Bay [83] tarafından şu şekilde verilmiştir.

- Petrol yağları ve gres yağı
- Çinko steratı
- Kaygan bir yüzeyle kaplama (nylon gibi)

İyi bir yağlama elemanında kayganlık (kayan yüzey ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltma kabiliyeti), film tabakası oluşturma gücü (basınç altında yüzeyler arasındaki kontağı engelleme kabiliyeti), ısıya karşı direnci, ucuz olması, kolay temizlenebilmesi, film tabakası halinde yüzeye yayılabilmesi, yüzeye yapışması, stabil olması (bütünü oluşturan parçalara ayrılmaması) ve insan sağlığına zararsız olması (özellikle deri ile kontak durumunda) gibi özellikler bulunmalıdır [84].

Yapılan tez çalışmasında şekillenme esnasında sac levha ile kalıp yüzeyi, kalıp içi ve baskı plakası arasında meydana gelecek etkileşim ve sürtünmeyi en asgari düzeye indirmek amacı ile Bp 10 numara ince yağ kullanılarak yağlama yapılmıştır. Şekilde de gösterildiği gibi yağlama, kalıp ile sac parçasının kalıba temas eden kısmına ve baskı plakası ile sac parçası arasına yapılmıştır.

Sac metallerin şekillenme proseslerinde farklı şartlarda meydana gelen kontaklar farklı sürtünme davranışlarına yol açabilmektedir. Bu durum kabul edilemeyen değişikliklere hatta parçanın bozulmasına yol açabilir. Bu nedenle değişik denemeler yapılarak yağ seçimi ve hangi kısımların yağlanması gerektiği tespit edilmiştir. Sac levhanın alt kısmının tamamen yağlandığı deneylerde yağın kalıp tabanında toplanarak şekillenmeyi olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle sac levhanın sadece kalıp yüzeyine temas eden kısmı yağlanarak deneylere devam edilmiştir.

Yağlama olayında etkili olan diğer parametreler ise baskı plakası kuvveti, hız ve sıcaklığın kontrol edilebilir olmasıdır. Detonasyonla şekillendirme yapıldığı için sac levha ısınmaktadır. Fakat bu ısınma şekillenme esnasında olduğu için olumlu bir etkiye sahiptir.

Yağlama olayının sistem için olumlu sonuçlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

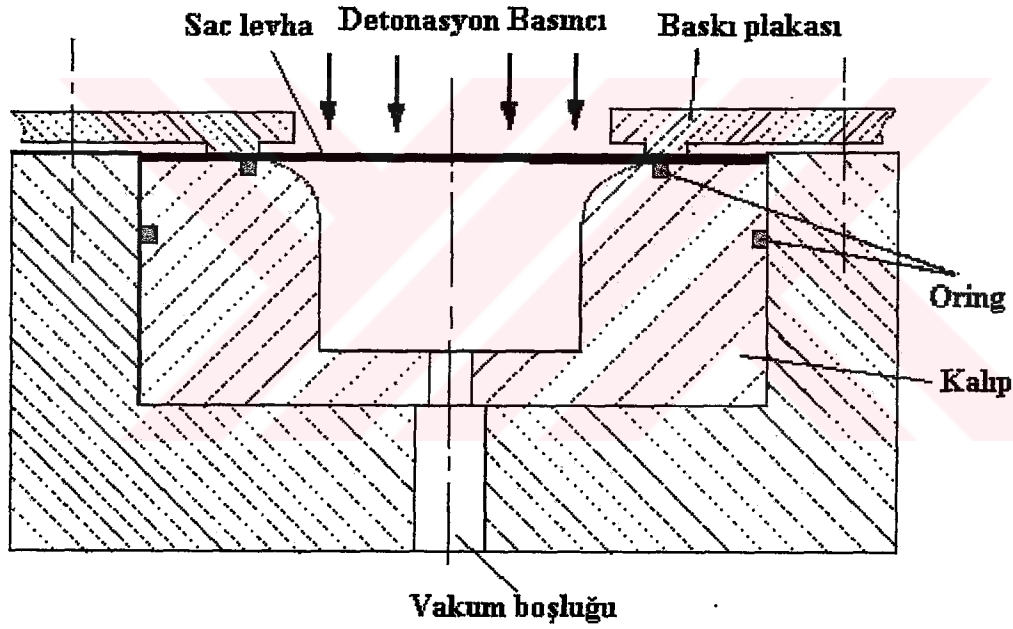
1. Operasyon için gerekli olan basıncı azaltmakta ve kuru kontakla karşılaştırıldığında, sürtünme kuvvetlerini önemli derecede azalttığı görülmektedir.
2. Daha iyi ve kolay bir şekillenme sağlamakta, özellikle ince saclarda yırtılmayı engellemektedir.
3. Derin çekme işleminde sac parçanın kalıp içindeki sürtünmesini azaltarak, şekillenme işleminin kontrollü yapılmasını sağlamaktadır.

Gaz detonasyonu ile şekillendirme işleminde herhangi bir zımba kullanılmadığı için sürtünme kuvvetleri konvansiyonel derin çekmeye nazaran daha az oluşmaktadır.

III.8. SIZDIRMAZLIK SİSTEMİ

Sistemin sızdırmazlığı direk olarak şekillenmeyi etkileyen bir faktördür. Yapılan ön deneylerde en büyük problemler sızdırmazlık konusunda yaşanmış ve çeşitli yollar denenmiştir. Özellikle sağlıklı bir vakumlama yapabilmek amacıyla

ÇKDT'nin sızdırmaz olması gereklidir. Yanma odasının sızdırmazlığının şok dalgasının etkisine dayanması gerekmektedir. Sistemde kaçak olduğu zaman istenen basınç oluşmamakta ve levha üzerine gelen etki ve süresi azalmaktadır. Sızdırmazlık tam olarak sağlandığı zaman istenen basınç oluşmakta basınç etki süresi artmakta ve şekillendirme daha iyi sonuç vermektedir. Bu amaçla ön deneylerden sonra sızdırmazlık sistemi tekrar gözden geçirilmiş ve özellikle yanma odasının sızdırmazlığı için basınca dayanıklı "U" şeklinde özel conta kullanılarak sistemde meydana gelen ses ve sızıntı problemi tamamen çözülmüştür. Kalıp sızdırmazlığı Şekil III.14'de görüldüğü gibi kalıp ve kalıp yuvası arasına yerleştirilen $\varnothing 90 \times 2$ 'lik o-ring, kalıp yüzeyi ile sac levha arasına yerleştirilen kalıp boşluğunun sızdırmazlığını sağlayan $\varnothing 79 \times 1,75$ 'lik o-ring kullanarak sağlanmıştır.



Şekil III.14. Kalıp boşluğu ve yuvasının sızdırmazlığının sağlanması

III.9. DENEYDE KULLANILAN KALIP VE HAZIRLANMASI

Yüksek hızda şekillendirmede kullanılacak kalıp tasarımı bu sistemin kullanımını önemli ölçüde cazip hale getiren etkenlerden biridir. Çünkü sadece tek taraflı, genellikle dişi veya erkek kalıp şekillendirme işlemi için yeterlidir.

III.9.1. Kalıp Özelliklerinin Tespiti

Kalıbın şekli, büyüklüğü ve kullanılacak olan malzemenin kalitesi üretilecek olan parçayı ve şekillendirmesini etkiler. Aynı zamanda parçanın malzeme kalitesi, kalınlığı, büyüklüğü de şekillendirmeyi etkileyen önemli noktalardır. Bu nedenle geliştirilen sisteme uygun ve basit şekillerin ilk etapta ele alınmasında fayda vardır.

Gaz detonasyonu ile şekillendirme yapmak amacı ile \varnothing 50 mm olan derinlikleri ayarlanabilen ve kalıp kavisleri farklı ölçülerde olan üç adet kalıp üretilmiştir. Kalıp ölçüleri ve özellikleri Şekil III.15, 16 ve Tablo III.1’de verilmiştir. Bu kalıp çapının seçilmesinin nedeni, detonasyon için hazırlanan sistemde kalıp alanına etki edecek olan ve yanmanın olduğu boru çapının, iki katı olmasıdır. Oluşacak olan şok dalgasının daha etkili olması amacıyla basit bir kalıp şekli tercih edilmiştir. Kalıp malzemesi olarak Ç 1030 kullanılmıştır. Şekillendirme esnasında kalıbın hassasiyeti önemli rol oynadığı için kalıp CNC tezgahında işlenmiş, kalıp içi ve yüzeyi parlatılmıştır.

III.9.2. Kalıp Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Parametreler

Kalıp yüksek hız ve basınç altında parçaya istenen şekli vermek amacıyla tasarlanmıştır. Bu amaçla sistem ve kalıbın tasarlanmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir;

1- En iyi yerleştirme metodunu sağlamak amacı ile kalıp yüksekliği kalıp boşluğundan 0,5 mm daha küçük yapılmış ve buraya şekillenecek parçanın tam oturarak merkezlenmesi sağlanmıştır.

2- Parça özel olarak yapılan kesme kalıbında kalıp üzerine tam oturacak şekilde kesilmiştir.

3- İş parçası detanasyon tüpünün tam merkezine yerleştirilerek, yanma sonucu oluşan şok dalgası ile tam yüklenmesi sağlanmıştır.

4- Vakumlama sırasında sızdırmazlığı sağlamak ve ondülasyonu engellemek amacı ile sisteme uygun olarak tasarlanan baskı plakası kullanılmıştır. Kalıp üstüne ve yan yüzeyine o-ring kanalı açılarak vakumlama tam olarak sağlanmış ve kalıp boşluğuna gaz geçişi engellenmiştir.

5- Sistemdeki sızdırmazlığı sağlamak ve şekillenmeden sonra parçanın hemen dışarı alınması için kare vida ile kalıp tablasının (hareketli tabla) aşağı yukarı hareketi kolaylaştırılmıştır. Hareketli tabla ile detonasyon tüpü arasına yerleştirilen sızdırmaz conta ile sistemin sızdırmazlığı sağlanmıştır.

6- Kalıbın gerek gaz detonasyonu gerekse şekillenme esnasındaki hassasiyetini (sallanma ve titreşimi önlemek) sağlamak için zemin üzerine tam oturması amacıyla alt tabla ve yanlardaki destek sütunları kullanılmıştır.

7- Kalıp yüzeyi ve içi hassas bir şekilde işlenmiş ve parlatılmıştır.

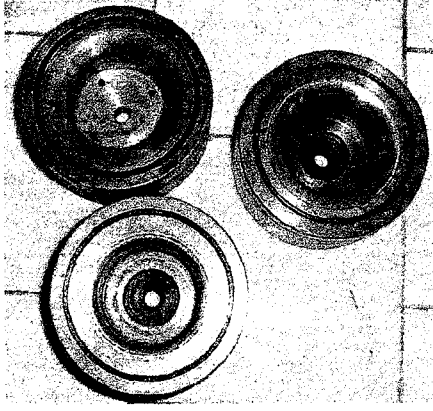
Kalıplar parçaya istenen şekli vermek için dikkatlice tasarlanmalıdır. Kalıp içinde şok dalgasının etkisiyle oluşacak olan alışılmamış gerilmeler nedeniyle keskin kenar, köşe ve çentiklerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Güvenlik faktörleri genellikle şok dalgasından kaynaklanan yırtılma ve buruşmaları önlemektedir. Kalıp malzemesinin seçimi de oldukça önemlidir. Malzemenin dayanımının yüksek olması, kalıp performansını optimize edecek ve maliyeti düşürecektir. Kalıp tasarımında önemli olan diğer bir nokta kalıp üzerine gelen kuvvetin çeşididir. Bu kuvvet iş parçasının şekline ve şok dalgasının yönüne bağlıdır. Maksimum gerilim kalıbın üst kenarlarında görülür. Şok dalgasının etkisiyle oluşan gerilimin düzgün yayılması için kalıp tabanının kalınlığının da en az kalıp duvarları kadar olması gereklidir [85].

Kalıp malzemesinin seçimi, şekillenen parçanın toleransları, tam olarak şekillenmesi, süreklilik, dayanıklılık ve üretiminin kolay olması gibi faktörleri de etkilemektedir. Eğer uzun süre dayanıklılık, yüksek oranda doğruluk ve iyi bir yüzey elde etmek isteniyorsa tavllanmış çelik alaşımları en iyi sonucu vermektedir. Bu çelik alaşımlarının maksimum sertliği 50 Rockwell C olmalıdır [85].

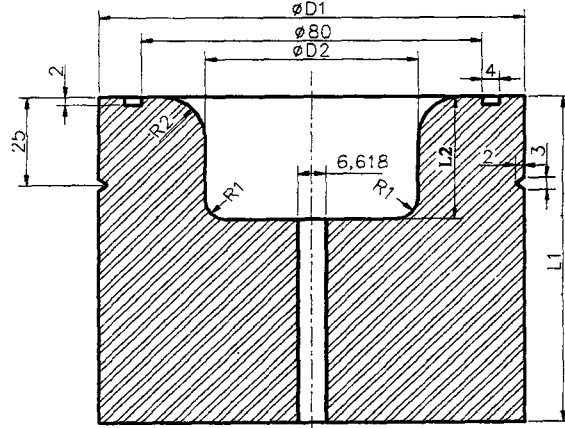
Kullanılan baskı plakası ile uygulanan kuvvet iş parçasının kenarlarını ondülasyondan koruyacak şekilde ve parçanın çekilmesini engellemeyecek şekilde ayarlanmalıdır. Bu amaçla cıvata ve yay sistemi kullanılmıştır. Fakat sökme ve takma zaman almaktadır. Operasyonların seri bir şekilde yapılması gerekiyorsa hidrolik baskı plakası kullanmak en iyisidir.

Bunun yanında yüksek hızda özellikle patlamalı şekillendirmede kullanılan diğer bir malzeme ise çinko alaşımlarıdır. Üretim sayısı 100'den fazla olmayan ve fazla basınç gerektirmeyen işlemlerde tercih edilir. Bu malzeme 380° C 'de erimektedir bu nedenle dökümü kolaydır.

Yaygın olarak kullanılan diğer bir malzeme ise betonarmedir. Tek bir patlama ile şekillenecek büyük parçalara uygulanır. Düşük tolerans ve hassas olmayan yüzeyler için kullanılır. Ayrıca kompozit kalıplarda kullanılmaktadır. Özellikle epoxy geçirilmiş beton ve çinko kalıplar kullanılmaktadır.



Şekil III.15. Deneylerde kullanılan kalıplar



Şekil III.16. Deneylerde kullanılan kalıp kesiti ve ölçüleri.

Tablo III.2. Deneylerde Kullanılan Kalıplara Ait Ölçüler

D1(mm) Kalıp Dış çapı	D2(mm) Kalıp İç Çapı	L1(mm) Kalıp Boyu	L2(mm) Kalıp Derinliği	R ₁ (mm) Kalıp İç Radüsü	R ₂ (mm) Kalıp Dış Radüs.
100	50	40	35	5	15
100	50	40	32,5	5	15
100	50	40	30	5	15
100	50	40	27,5	5	15
100	50	40	25	5	15
100	50	40	30	5	10
100	50	40	27,5	5	10
100	50	40	25	5	10
100	50	40	22,5	5	10
100	50	40	30	5	5
100	50	40	27,5	5	5
100	50	40	25	5	5
100	50	40	22,5	5	5
100	50	40	20	5	5

III.9.3. Kalıpların Sertleştirilmesi

Deneylerde kullanılan kalıpların yüzeyi aşınma ve gelen basınca karşı dayanırlığının artırılması amacı ile sertleştirilmiştir. Kalıplar hava almayacak şekilde kapatılmış kaplar içindeki odun kömürü içine gömülerek yaklaşık 900°C'de 3 saat tavllanmış ve yağ içinde soğutulmuşlardır.

Kalıpların sertlikleri universal-sertlik ölçme makinesinde yapılmış aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1.Kalıp 83 Rockwell B, 2.Kalıp 85 Rockwell B, 3.Kalıp 80 Rockwell B

III.10. ALÜMİNYUM SAC MALZEMELER VE DENEY İÇİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada Tablo III.3, Tablo III.4 ve Tablo III.5’de özellikleri verilen iki çeşit alüminyum malzeme kullanılmıştır. Deney malzemesi olarak alüminyumun seçilmesi yüksek hızda alüminyumun şekillenme özelliklerini incelemek ve bu malzemenin özellikle oto ve uçak sanayisinde kullanımına karşı olan yoğun talebe katkıda bulunmaktır. Kullanılan alüminyumların çekme deney sonuçları Tablo III.6’da verilmiştir.

Tablo III.3. Deneylerde kullanılan alüminyumun kimyasal bileşim limitleri (% Ağırlık) [86].

Adı	Al ¹	Fe ²	Si ²	Cu ²	Zn ²	Ti ²	Mg	Cr	Mn ₂	Diğerleri
Etial-5	99,5	0,40	0,25	0,05	0,05	0,04			-	0,03
Etial-98		0,6-1,0	0,5-0,9	0,10	0,10	0,08	0,05	0,05	0,1	

Tablo III.4. Deneylerde kullanılan alüminyumların diğer standartlardaki karşılıkları [86].

Adı	TSE	DIN	AA	NF	BS	UNI	ISO
Etial-5	Al99,5	Al99,5	1050	A5	1 B	4507	AL99,5
Etial-98	AlFeSi	AlFeSi	8011	-			

Tablo III.5. Deneylerde kullanılan alüminyumların mekanik özellikleri ve tipik kullanım yerleri (TS 923) [86].

Adı	Kondisyon	Çekme Dayan. (Kg/mm ²)		% Uzama (50 mm) Min.	Sertlik (HB) Min.	Kullanım Yerleri
		Min.	Max.			
Etial-5	Yumuşak	5,5	10	25	18	Ev aletleri, inşaat, mutfak eşyası, aydınlatma gereç.
Etial-98	Yumuşak	7,5	12	30	25	Şişe kapağı, buruşuk kap, mutfak folyosu ve radyatörlerde

Tablo III.6. Deneylerde kullanılan alüminyumların çekme deney sonuçları

	Numune Ölçüleri		Test Sonuçları	
Etial-5	Kalınlık	0,5 mm	En Büyük Yük	829,6 N
	Genişlik	15,6 mm	Çekme Gerilimi	108,36 N/mm ²
	İlk Ölçü Uzunluğu	31,5 mm	Akma Dayanımı	99,26 N/mm ²
	Son ölçü uzunluğu	33,1 mm	Kopma Uzaması	5,08 %
Etial-98	Kalınlık	0,5 mm	En Büyük Yük	826,7 N
	Genişlik	15,5 mm	Çekme Gerilimi	106,66 N/mm ²
	İlk Ölçü Uzunluğu	31,3 mm	Akma Dayanımı	99,75 N/mm ²
	Son ölçü uzunluğu	33,3 mm	Kopma Uzaması	6,4 %

Alüminyumun hafiflik ve dayanıklılığının yanındaki asıl avantajları şekillenme kabiliyetinin çok yüksek olması ve endüstride geniş bir kullanma alanının bulunmasıdır. Alüminyumla çalışmak genel olarak demir metallerle çalışmaktan daha kolay ve üretimde, ufak düzeltmelerle iş bittiği için kullanımına daha iyi gözle bakılmaktadır. Alüminyum çok çeşitli şekillerde ve ölçülerde üretilebilmektedir. Bunlar alüminyum folya, sac, tabaka, katı metal, boru olarak sayılabilir. Ayrıca çok geniş bir alaşımı ve bunların kullanım alanına sahiptir.

Alüminyum alaşımları ısı işleme tabi tutulanlar ve ısı işleme tabi olmayanlar olarak iki gruba ayrılırlar. İki grupta soğuk işleme aşamaları (yuvarlatma, çekme) ile sertleştirilir ve tavlama işlemi ile yumuşatılır. Bunun yanında ısı işleme tabi tutulan alüminyum alaşımları termal işlemlerle de (solüsyon ve yapay yolla) sertleştirilebilir. Ayrıca alüminyum diğer metal malzemelere nazaran tavlansak daha fazla derin çekilebilir. Bunun yanında yoğunluğunun düşük olması, korozyona dayanıklı olması ve yüksek elektrik ve ısı iletmesi alüminyumu cazip hale getirmiştir. Dezavantajları ise yüksek ısıya karşı fazla dayanıklı olmamasıdır.

Alüminyum malzemelerin Spectrolab marka M5 model analiz cihazı ile yapılan kimyasal analiz raporları Tablo III.7’de verilmiştir.

Tablo III.7. Etial-98 ve Etial-5 malzemelerin kimyasal analiz sonuçları

Etial-5		Etial-98	
Element	%	Element	%
Silisyum (Si)	0,058	Silisyum (Si)	0,624
Mangan (Mn)	0,0203	Mangan (Mn)	0,0149
Nikel(Ni)	0,00221	Nikel(Ni)	0,00946
Kalay (Sn)	0,005	Kalay (Sn)	0,005
Alüminyum (Al)	99,66	Alüminyum (Al)	98,51
Demir (Fe)	0,233	Demir (Fe)	0,782
Magnezyum (Mg)	0,00616	Magnezyum (Mg)	0,00346
Krom (Cr)	0,002	Krom (Cr)	0,00232
Titanyum (Ti)	0,00074	Titanyum (Ti)	0,015
Bakır (Cu)	0,00105	Bakır (Cu)	0,0102
Çinko (Zn)	0,004	Çinko (Zn)	0,0069
Kurşun (Pb)	0,0024	Kurşun (Pb)	0,013
Antimon (Sb)	0.003	Antimon (Sb)	0,003

III.10.1. Alüminyum Sacların Derin Çekme ve Presleme de Kullanımı

Genel olarak en çok kullanılan sac şekillendirme çeşidi derin çekme ile şekillendirme olup aynı zamanda endüstride en iyi bilinen metottur. Alüminyum derin çekme işleminde ve hatta sürtünmeli yüzeylerde miktar olarak yüksek kaliteli işlenmiş takım çelikleri ile daha iyi sonuçlar verir. Dökme demirden yapılmış kalıp ve sac presleri endüstride yoğun olarak kullanılmakta olup iyi bir şekillenme elde edebilmek için özellikle çekme kalıp radüsün de ve uzun süren üretim sürecinde kaliteli yağlama yapmak zorunda kalmaktadırlar. Düşük karbonlu çelik kullanarak sınırlı ve az bir üretim yapmak bütün kalıp setlerinde mümkün olabilmektedir.

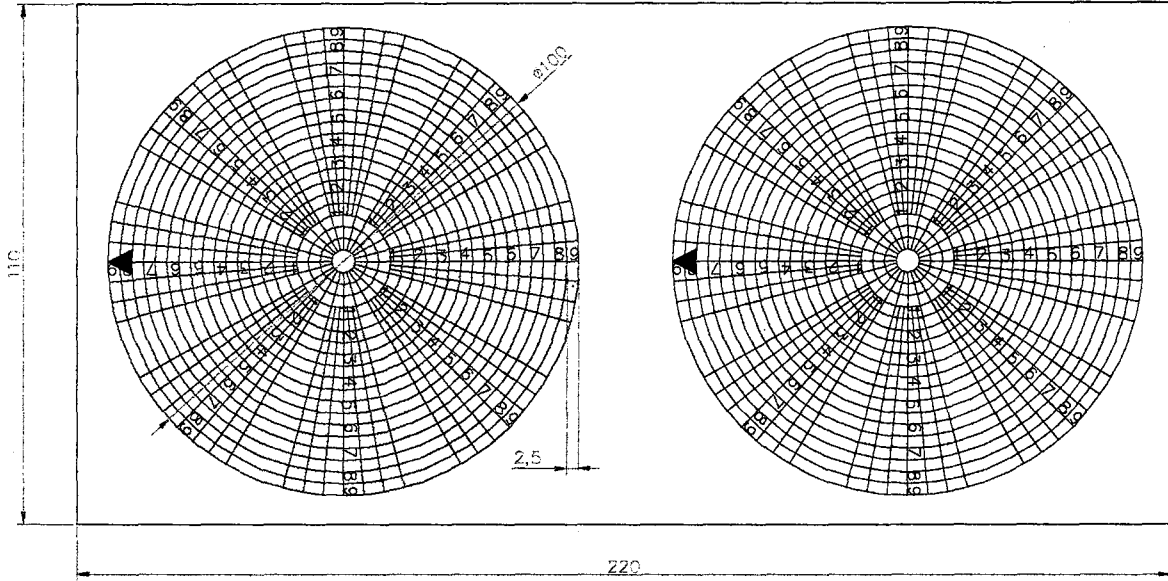
Derin çekme işlemlerinde yağlama büyük bir önem taşımakta ve özel işlemlerde piyasada çok çeşitli olan yağlardan en iyisi seçilebilmektedir. Çoğunlukla çekilecek sac metalin kalınlığına göre yağ seçimi yapılmaktadır. Genel olarak ince sac metaller ince yağlarla işleme tabi tutulurlar. Deneyimler talow ve wax içeren mineral yağların derin çekme işleminde kalın saclar için daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir [87].

III.10.2. Alüminyum Levhanın Kodlanması

YHŞ'de levha malzeme üzerine, ani basınç ve hızda şok dalgası uygulanacağı için, malzemede meydana gelen birim şekil değiştirmelerin büyüklükleri, uzama yönleri ve kritik alanların incelemelerinin hassas bir şekilde tespit edilip analizi gerekmektedir. Bu nedenle deney yapılmadan önce levha malzemenin üzerine kalıcı fakat malzemeye zarar vermeyen bir kodlama yapılması lazımdır. Kodlama amacıyla kullanılan bu şekiller malzemenin deformasyonundan sonra değişime uğrayacaktır. Bu amaçla ölçülmesi kolay ve sağlıklı sonuç veren bir metot seçilmelidir ki enine ve boyuna olan uzamalarda rahatlıkla ölçülerek boyutlar tespit edilebilmelidir.

Günümüze kadar değişik türde kodlama sistemleri uygulaması ve ölçme metotları geliştirilmiştir. Baraya ve arkadaşları [88], Kodak , Elektromak [89], Pearce [90] ve Keeler [91] kodlama tekniği olarak çalışmalarında kare şeklindeki kodlama sistemini tercih etmişlerdir. Kare şeklindeki kodlama sisteminde deformasyonun yönü belli ise ve önceden belirlenmiş ise ölçüm sonucu doğru olur. Meydana gelen uzamaların büyüklüğü karelerin deformasyon sonrası ve öncesi farklarının toplamına

eşittir. Kalıp geometrisinin her zaman simetrik olmayışı, uzamanın önceden tahmin edilemeyişi gibi nedenlerden dolayı bu sistem pratik hayatta az kullanılmaktadır.



Şekil III.17. Şekillenecek parçalar üzerine uygulanan polar koordinat sistemi [92].

Dairesel şekil ve patternler ölçüm kolaylığı ve her yöndeki uzamalara bölgesel olarak cevap verebilme yeteneğinden dolayı daha aktif olarak kullanılmaktadır. Fakat yapılan çalışmada enine ve boyuna olan uzamalar hem lokal hem de parçanın tümü üzerinde ölçüleceği için dairesel şekillerle ölçüm yapmak zor olmaktadır. Bu nedenle polar koordinat sistemi seçilmiş ve parça üzerine uygulanmıştır (Şekil III.17). Böylece ölçüm kolaylığı ve her yöndeki uzamalara cevap verilebilir bir grid sistemi parçaya uygulanmıştır. Deformasyondan sonra meydana gelen birim şekil değiştirmeler enine ve boyuna parça boyunca ölçülerek büyümenin yönü ve büyüklüğü belirlenmiştir.

III.11. DENEYLERDE KULLANILAN PAREMETRELER VE ÖN DENEYLERİN YAPILIŞI

ÇKDŞM ile şekillendirme deneylerinde biçimlendirmeye etki eden çeşitli parametreleri; reaktant oranı, hava fazlalık katsayısı (HFK), kalıp derinliği, kalıp ağız eğrilik yarıçapı, baskı plakası, yağlama sistemi, vakumlama oranı ve soğutma sistemi olarak sayılabilir.

Gaz karışım oranı şekillendirmeyi meydana getiren ve etkileyen ana unsurdur. ÇKDŞM'ye hangi gazdan ne miktarda gittiği, özellikle yanma sonucu oluşan detonasyon hızı ve basıncını etkiler. Bu basınç ve hızda şekillendirmeyi oluşturduğu için karışım oranı önemlidir. Detonasyon sistemlerinde çeşitli gazların karışımları kullanılmaktadır. Literatürde en yüksek hızda hidrojen-oksijen ve sonrada asetilen-oksijen karışımlarında ulaşıldığı belirtilmektedir [71]. Bu nedenle sistemde reaktant olarak asetilen-oksijen gazları kullanılmıştır. Bu gazların seçilmesinde asetilen gazının ekonomik ve kolay bulunabilir olması da önemlidir. Asetilen gazının tek dezavantajı bu gazın 1,5 atm başlangıç basıncında kendiliğinden patlama riski taşımasıdır. Gaz karışımının hacim oranları 1/1 alınmıştır. Şekillendirme deneylerinde ÇKDT'ye gönderilen reaktant oranı ÇKDT hacminin % 50, % 60, % 80, % 100, % 120 ve % 140'ı oranları kadardır.

Kalıp derinlikleri alüminyum malzemelerin bir defada çekilebileceği maksimum derinlik esas alınarak 20-35 mm arasında ayarlanmıştır. Kalıp üst kavis yarıçapları 5-10-15 mm olarak seçilmiştir.

III.11.1. Reaktant Oranının Tespit Edilmesi

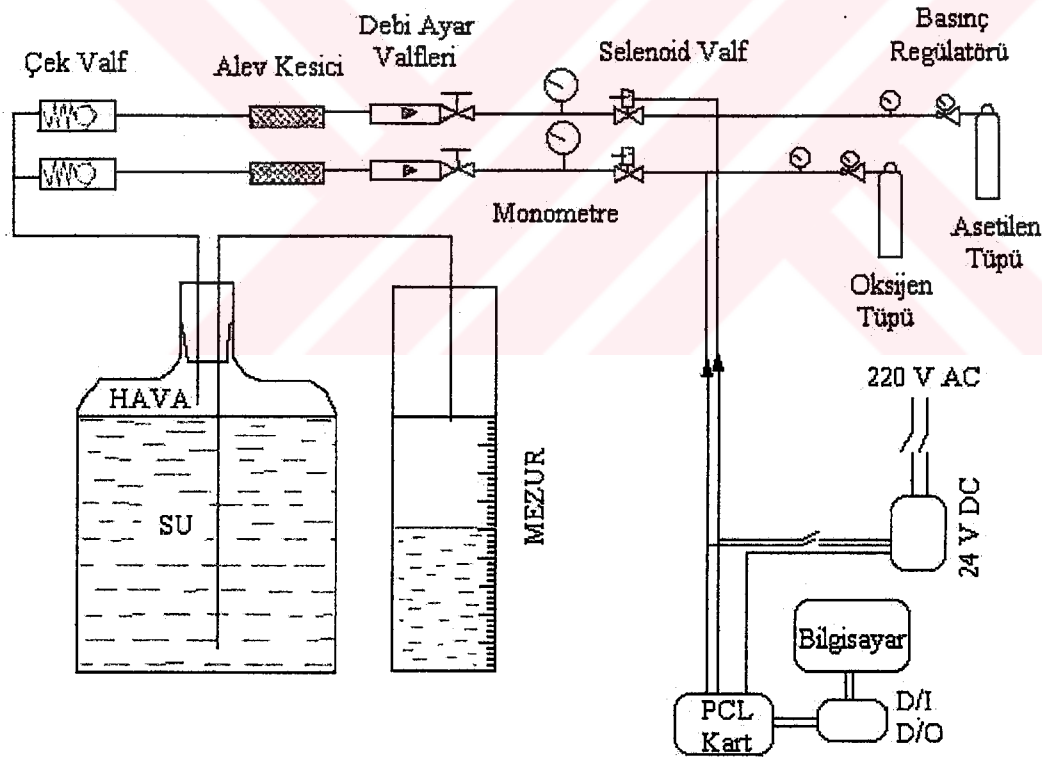
Detonasyonla şekillendirme deneylerinden önce sisteme giren gaz miktarını tespit etmek amacı ile debi kalibrasyon deneyleri yapılmıştır. ÇKDT hacmi hesap yolu ile 10.000 mm³ (10lt) olarak bulunmuştur (gaz girişlerindeki boşluklar ile ateşleme buji ucundaki boşluklar ihmal edilmiştir). ÇKDT'ne bir saniyede giren gaz miktarı aşağıdaki gibi hesap edilmiştir.

Oksijen ve asetilen gazının tüp çıkış basıncı 1 Atm'e ayarlandı. Detonasyon tüpünün daha kısa sürede doldurulması amacıyla her iki gazdanda aynı miktarda gaz girişi için 1:1 oranı korunarak oksijen ve asetilen gaz debileri 10 hacime ayarlandı. Selonoid valfler müteaddit defalar çalıştırılarak debimetrelerdeki göstergelerin bu oranı koruyup korumadıkları tespit edildi. Oranın sabitliği sağlanarak oksijen ve asetilen gazlarının tüpe giriş uçları sökülerek plastik hortumla bağlandı. Bu hortumlar sızdırmazlığı sağlanan kapalı 10 lt'lik bir kaptaki suyun üzerine basınç yapacak şekilde monte edildi (Şekil III.18). Aynı kaptan çıkan diğer bir hortum ölçekli mezur içine tutuldu. Selonoid valfler çalıştırılarak önce oksijen daha sonrada asetilen gazları ayrı ayrı plastik hortum vasıtası ile kapalı kaptaki suyun üzerine etki ettirildi. Suyun üzerinde oluşan basınç nedeniyle kapalı kaptaki su diğer hortumdan ölçekli mezura aktarılarak ölçümler gerçekleştirildi. 15 s içinde sisteme hangi gazdan

ne kadar gittiği tesbit edildi. Bu deneyler esnasında kapalı kaptaki düşen su seviyesi ile mezura su akıtan hortumun ucu deney sonuna kadar aynı hizada tutuldu.

Tablo III.8. Debi kalibrasyon deneyleri sonuçları.

Deney No.	Gaz Akış Süresi (sn)	Akan Su Miktarı	
		Oksijen (ml)	Asetilen (ml)
1	15	570	550
2	15	630	625
3	15	680	675
4	15	730	700
5	15	750	550
6	15	550	600
7	15	630	640
8	15	680	670
9	15	725	700
10	15	755	670
TOPLAM GAZ MİKTARI		6670	6400
ORTALAMA GAZ MİKTARI		667	640



Şekil III.18. ÇKDT'ye giren gaz miktarını ölçmek için kullanılan deney sistemi

Ölçüm sonuçları Tablo III.7'de verilmiştir. Her bir gaz akışı için 10 adet deney yapılmıştır. Daha sonra bu ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak bilgisayara bu değerler girilmiştir. Verimli bir yanma olayının sağlanabilmesi için asetilen /oksijen karışım oranları çok önemlidir. Bu nedenle deneyler esnasında ölçülen oranlara bağlı olarak ayar valfleri ayrı ayrı ayarlanmış ve kontrol edilmiştir. Gazların ikisi

birleştirildiğinde bir saniyede geçen ortalama su miktarı 1310 mm^3 olarak bulundu. Buna göre ÇKDT'nün tamamının dolması için gereken süre ise 131 s'dir. Deneyler bu süre esas alınarak yapılmıştır.

III.11.2. Şekillendirme ve İyonizasyon Deneylerinin Yapılışı

Bu deneylerin amacı alüminyum levha üzerine gelen detonasyon basınç yükünün ve detonasyon hızının ölçülmesi, ayrıca levha üzerindeki birim uzama dağılımının ve kalınlık değişiminin elde edilmesidir. Bu amaçla hazırlanan değişik derinlik ve kalıp kavisine sahip dişi kalıplar deneylerde kullanılarak Etial-5 ve Etial 98 malzemelerle değişen reaktant oranlarında deneyler yapılmıştır.

Yapılan deneyler belirlenen bir sıra dahilinde gerçekleştirilmiştir. Bu sıra Tablo III.8'de verilmiştir. Öncelikle deneyler esnasında kullanılan kalıplarla, kalıp derinliği serbest bırakılarak şekillendirme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin amacı şekillenen parçaların maksimum ne kadar derinliğe ulaşacaklarını bulmaktır. Kalıp ağız eğrilik yarıçapı 15 mm olan kalıptan başlanarak Tablo III.8'deki deney sırası takip edilerek deneyler tamamlanmıştır.

Kalıp derinliği baz alınarak yapılan deneylerde, kalıp derinliği 35 mm olan kalıpta sırası ile önce 32,5 mm, 27,5 mm, 25 mm, 22,5 mm ve 20 mm'lik derinliklerde deneyler 3'er defa tekrarlanarak yapılmıştır.

İlk olarak 0.6 hacim yani ÇKDT hacminin % 60 reaktant ile doldurularak bütün derinliklerde deneyler gerçekleştirilmiştir. Kalıp derinliğinin değiştirilmesi ile o kalıpta yapılan deneylerde hangi derinlikte ve hangi hacimde reaktant oranı verildiğinde iş parçasında yırtılma meydana geldiği ve hangi derinlikte daha iyi şekillendirmenin olduğu tespit edilebilmektedir.

Daha sonra aynı deneyler sisteme 0,8, 1, 1,2 ve 1,4'lük hacim oranlarında reaktant verilerek tekrarlanmıştır. Eğer sac metaldeki yırtılma 0,8 hacim veya 1 hacim reaktant oranında gerçekleştiyse 1,2 ve 1,4 hacimlerdeki deneyler iptal edilmiştir. Kısaca yırtılma görüldükten sonra o derinlik ve hacim oranından sonraki deneylerde de yırtılma olacağı için yeni bir hacim oranı kullanılarak deneye devam edilmektedir. Deney düzeneği aşağıdaki tabloda sadece kalıp kavisini 10 mm olan kalıp, Etial 5 ve Etial 98 alüminyum malzemeler için verilmiştir. Aynı deneyler aynı şartlarda kalıp kavisini 5 mm ve 15 mm olan kalıplar içinde gerçekleştirilmiştir.

Bir kalıp kavisini üzerinde iki çeşit alüminyum malzeme kullanılarak (Etial 5 ve Etial 98) değişik reaktant oranları ve değişik kalıp derinliğinde normal şartlarda

yırtılma olmadan ve her deneyin üç defa tekrarlanacağı hesap edilerek 180 adet deneyin yapılması hedeflenmiştir. Fakat yırtılma olan derinlik ve hacim oranı tespit edildikten sonra daha fazla derinlikte de yırtılma olacağı için deneyler o noktada durdurulmuştur. Deneylere ait kısa bir özet ve yırtılma noktaları Ek 3' de verilmiştir.

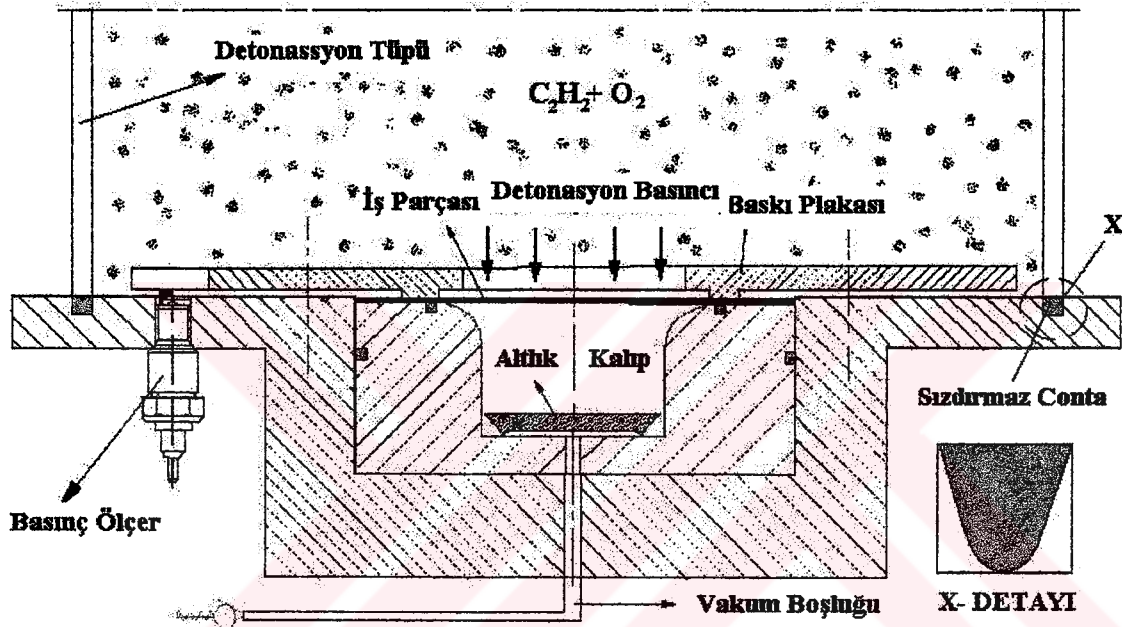
Tablo III.9. Deneylerin yapılış sırası

Deney No	Kalıp No	Reaktant Oranı (ÇKDT Hacmi)	Kalıp Derinliği (mm)	Kullanılan Al. Malzeme	
				Etial 5	Etal 98
1	2	0,6	32,5	*	*
2	2	0,6	30	*	*
3	2	0,6	27,5	*	*
4	2	0,6	25	*	*
5	2	0,6	22,5	*	*
6	2	0,6	20	*	*
7	2	0,8	32,5	*	*
8	2	0,8	30	*	*
9	2	0,8	27,5	*	*
10	2	0,8	25	*	*
11	2	0,8	22,5	*	*
12	2	0,8	20	*	*
13	2	1	32,5	*	*
14	2	1	30	*	*
15	2	1	27,5	*	*
16	2	1	25	*	*
17	2	1	22,5	*	*
18	2	1	20	*	*
19	2	1,2	32,5	*	*
20	2	1,2	30	*	*
21	2	1,2	27,5	*	*
22	2	1,2	25	*	*
23	2	1,2	22,5	*	*
24	2	1,2	20	*	*
25	2	1,4	32,5	*	*
26	2	1,4	30	*	*
27	2	1,4	27,5	*	*
28	2	1,4	25	*	*
29	2	1,4	22,5	*	*
30	2	1,4	20	*	*

III.11.3. Ön Deneyler ve Sonuçları

Deney tertibatını ve sonuçlarını test etmek amacıyla ÇKDŞM ile 50'den fazla ön deney yapılmıştır. Yapılan ön deneylerin bazıları Şekil III.19'da gösterilmiştir. Ön deneylerde kullanılan iş parçasının altına yani kalıbın içine gaz kaçıışı olduğu ve bununda şekillendirme esnasında tabanda kabarma ve kırışıklıklara sebep olduğu tesbit edildi. Bunu önlemek amacı ile kalıp üzerine 1,5 mm derinliğinde ve 78mm çapında bir oring kanalı açılarak sac malzeme ile kalıp arasında sızdırmazlık sağlandı. İş parçasının altında kalan havayı boşaltmak için kalıplar tam ortasından 8 mm çapında delinerek vakumlama tertibatı sağlandı.

Ön deneyler sırasında ÇKDT'nün sızdırmazlığının tam sağlanamadığı ve ÇKDT'ü içinde ateşleme sonucu büyük bir patlama meydana geldiği ve sesinin çevreyi rahatsız ettiği görüldü. Ayrıca bazen tüp dışına sızan gazlarında yandığı tespit edildi. Gürültü ve yanma odasının sızdırmazlığını sağlamak için şok dalgasının basıncına dayanabilecek, ÇKDT ile hareketli tabla arasında kullanılan yuvarlak kesitli sızdırmazlık elamanı yerine bazı düdüklü tencere sistemlerinde kullanılan U kesitli ve üst yüzeyi düz olan sızdırmazlık elamanı kullanıldı. Böylece gürültü ve sızdırmazlık olayı tamamen ortadan kaldırıldı (Şekil III.19).



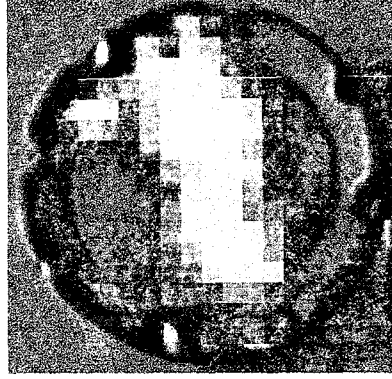
Şekil III.19. Sızdırmazlık sistemi

Sistemde sızma olduğunda istenen basınç elde edilememekte ve yanmış gazlar ortamı hemen terk ederek kalıcı basınç etkisi oluşmamaktadır. Sızdırmazlık tam olarak sağlandığı zaman istenen detonasyon basıncına ulaşılmakta ve basıncın iş parçasına etki süresi artmaktadır.

Ön deneylerde ortaya çıkan diğer bir problem ise kalıp derinliklerinin ayarlanabilmesi için kalıp altlığı adını verdiğimiz 50 mm çapında ve 2,5- 5- 7,5, ve 10 mm kalınlıklarında olan pirinç malzemeden yapılan parçaların, kalıp içine yerleştirilmesi ile vakumlamanın tam yapılamamasıydı.

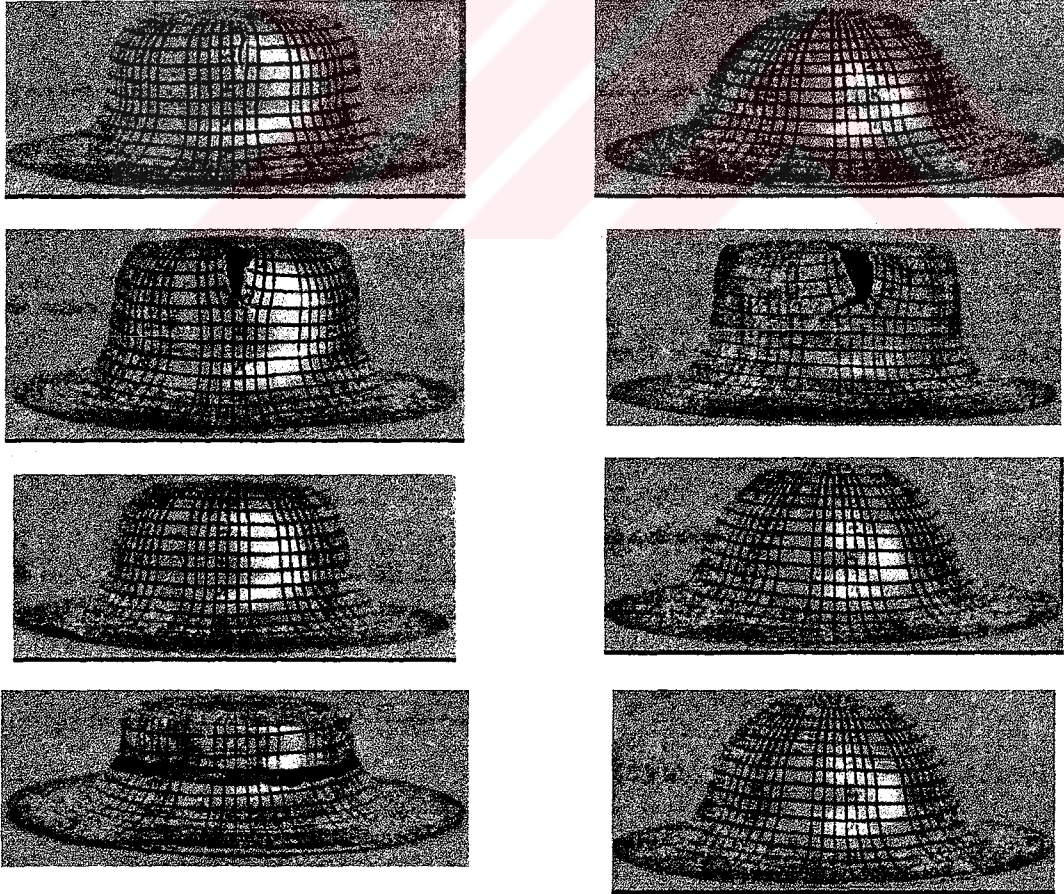
Kalıp altlığı tasarımında değişik varyasyonlar denendikten sonra iş parçasının yırtılmasına etki etmeyen ve şekillenmeyi olumlu etkileyen ideal kalıp altlığına ulaşıldı (Şekil III.20). Bu altlığın üst kısmının düz olması ve 10 Bp ince yağ ile yağlanması sonucunda iş parçasının bu yüzeye çarparak, yırtılmadan kalıbı doldurması sağlandı. Bu altlığın diğer bir özelliği vakumlamayı engellemesidir.

Altlığın kalıp dip tarafına gelen kısımlarına belli aralıklarla üçgen şeklinde boşluklar açılarak vakumlamanın rahat yapılması sağlanmıştır. Ayrıca yağlama sonucu sürtünmede azaldığından deneylere ideal altlık ile devam edildi. Bu altlıktan 2,5 mm, 5 mm, 7,5 mm ve 10 mm ve 15 mm'lik olmak üzere beş adet üretilerek deneylerde kalıp derinliğini ayarlamak amacı ile kullanıldı.



Şekil III.20. Kalıp tabanına derinlik ayarı için yerleştirilen ideal altlık

Ön deneylerde elde edilen şekillendirilmiş bazı parçalar Şekil III.21'de verilmiştir.



Şekil III.21. Bazı ön deney sonuçları

BÖLÜM IV: ÇKDŞM DENEYLERİ İLE DERİN ÇEKME DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

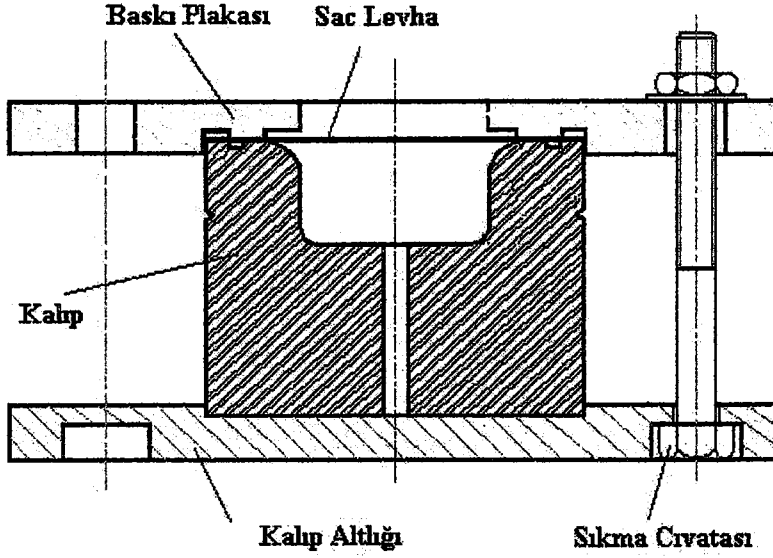
Bu bölümde; geliştirilen ÇKDŞM ile Etial-5, Etial-98 Alüminyum malzemelerle yapılan deneyler, Etial-5 ile geleneksel derin çekme deneyleri, deney sistemleri ve iki sistemde elde edilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

Detonasyonla şekillendirmede alüminyum levhaların deformasyonuna etki eden değişik parametreler vardır. Bunların en önemlilerini; 1-Detonasyon basıncı ve hızını oluşturan reaktant oranı, 2-Kullanılan kalıbın üst kavisi ve derinliği 3- Baskı plakasının şekli ve uygulanması 4- Yağlamada kullanılan yağın cinsi ve miktarı 4- Vakumlaşma oranı 5- Reaktantın ateşleme öncesi sıcaklığı 6- Kalıp altlığının şekli ve kalıp yüzey pürüzlülüğü olarak sayılabilir.

Bu çalışmada şekillendirmeyi direkt etkileyen unsurlar olarak detonasyon basıncı, bu basıncın etki süresi (duration), detonasyon hızı, kalıp üst radüsü, kalıp derinliği, kalıbı doldurma oranı, birim uzama ve kesitteki değişim oranı ele alınarak incelenecektir.

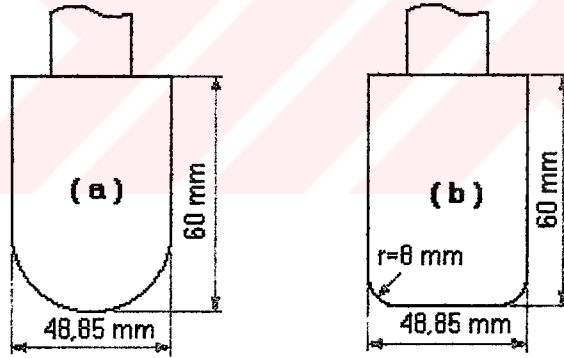
Her iki sistemi sağlıklı olarak birbiri ile karşılaştırmak amacı ile derin çekme deneylerinde ve ÇKDŞM'de aynı kalıplar ve Etial-5 malzeme kullanılmıştır. Ayrıca geleneksel derin çekme metodu ile deney yapmak için yeni bir kalıp altlığı ve baskı plakası geliştirilmiştir (Şekil IV.1). Bu baskı plakası detonasyonla şekillendirme deneylerinde kullanılan baskı plakası ile aynı özellikleri sahiptir.

Bu sistemler karşılaştırıldığında, ÇKDŞM'de detonasyon basıncı ve hızı ile şekillendirme yapılırken konvensiyonel derin çekmede ise zımba ve pres kuvveti kullanılmaktadır. Preste kullanmak için iki adet zımba imal edilmiştir. Zımba malzemesi olarak sac levhaya zarar vermemek ve daha iyi bir deformasyon elde etmek için plastik (Naylon 6.6) malzeme kullanılmıştır. Bu zımbalar ve ölçüleri Şekil IV.2'de verilmiştir.



Şekil IV.1. Derin çekme deneylerinde kullanılan kalıp sistemi

Zımbalardan biri, kalıp derinliğinin serbest bırakıldığı şekillendirme deneyleri ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla yarım küre şeklinde imal edilmiş diğeri ise detonasyonla şekillendirmede en çok elde edilen kalıp dip radüsü (8 mm) esas alınarak yapılmıştır.



Şekil IV.2. Derin çekme işleminde kullanılan zımbalar ve ölçüleri a) Serbest şekillenme için b) Kalıp derinliği sınırlanan şekillenmeler için.

Geleneksel derin çekme deneylerinde ve ÇKDŞM'de kullanılan kalıp üst kavisleri 5-10-15 mm'dir. Bu kalıpların özellikleri Tablo IV.1'de verilmiştir.

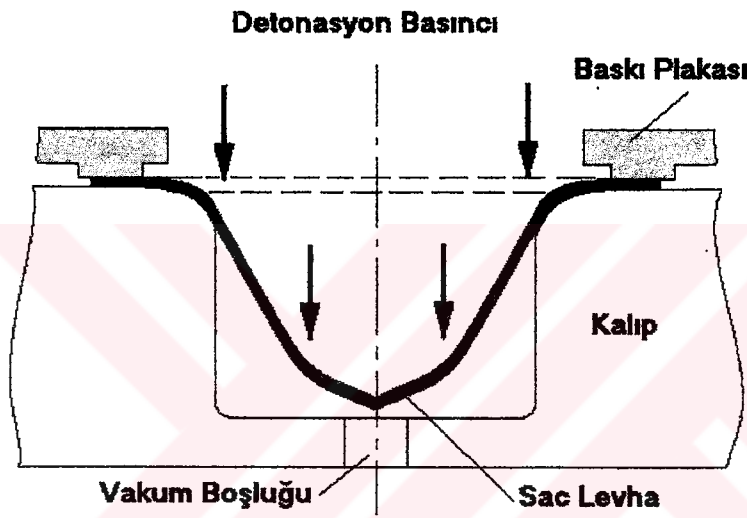
Tablo IV.1. Geleneksel derin çekme deneylerinde kullanılan kalıpların özellikleri

Kalıp No	D1(mm) Kalıp Dış çapı	D2(mm) Kalıp İç Çapı	L1(mm) Kalıp Boyu	L2(mm) Kalıp Derinliği	R ₁ (mm) Kalıp İç Radüsü	R ₂ (mm) Kalıp Dış Radüs.
1	100	50	40	35	5	15
3	100	50	40	30	5	10
2	100	50	40	30	5	5

Her kalıpta iki değişik zımba kullanılarak 20 adet deney yapılmıştır. Deney sonuçları ve özellikleri Ek.4'te verilmiştir. Ön deneylerin yapılması esnasında ÇKDŞM'de kullanılan yağlama sisteminin geleneksel derin çekmede iyi sonuç vermediği görülmüştür. İş parçasının ince naylon tabaka içine yerleştirilmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilmiş ve deneylere bu şekilde devam edilmiştir.

IV.1. SERBEST ŞEKİLLENDİRME DENEYLERİ

Bu şekillendirme deneylerinin özelliği kalıp altlığı kullanmadan sac levhaların deformasyona maruz bırakılmasıdır.



Şekil IV.3. Serbest şekillendirme deney düzeneği.

Şekil IV.3'de gösterildiği gibi yanma sonucu oluşan detonasyon basıncı levha üzerine direkt etki ederek onu kalıp içine doğru itmekte, levha kalıp tabanına varmadan ve çarpmadan deformasyon işlemi bitmektedir. Bu esnada baskı plakası iş parçasının düzgün bir şekilde deformasyona uğramasını sağlamaktadır.

Bu şekillenme deneylerinin yapılmasındaki amaç, belirtilen hacim oranları ile hangi kalıpta ve hangi hacim oranında ne kadar bir derin çekme yapılabileceğini tespit etmektir. Bu amaçla Tablo IV.2'deki sıraya göre 1(Etial-5) ve 2 (Etial-98) nolu alüminyum malzemeler kullanılarak deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler ve özellikleri Ek 1'de gösterilmiştir.

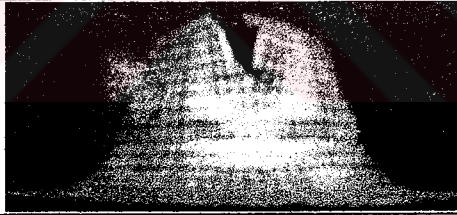

Bu deneylerde özellikleri Tablo IV.1'de gösterilen kalıplar kullanılmıştır. Her kalıpta sisteme % 60 hacimlik reaktant oranı verilerek deneylere başlanmış daha sonra reaktant oranı % 50'ye indirilerek deneylere devam edilmiştir.

IV.1.1. Ortalama Detonasyon Basıncı 0,7 MPa Olan Serbest Şekillendirme Deneyleri

ÇKDT'de yanma sonucu oluşan detonasyon basıncı Şekil IV.3'de görüldüğü gibi iş parçası üzerine etki ederek şekillenmeyi sağlar. Bu esnada detonasyon hızının da etkisi ile levha yüzeyine çarpan ilk basınç dalgası maksimum basınç olarak ölçülür ve 10 ms süresince ardı ardına gelen basınç dalgalarının da ortalaması alınarak ortalama detonasyon basıncı bulunmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda deformasyon esnasında maksimum detonasyon basıncının etkisi yanında ortalama detonasyon basıncının da etkisi ile levhanın şekillendiği ve detonasyon basıncının etki süresinin de deformasyona olumlu katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

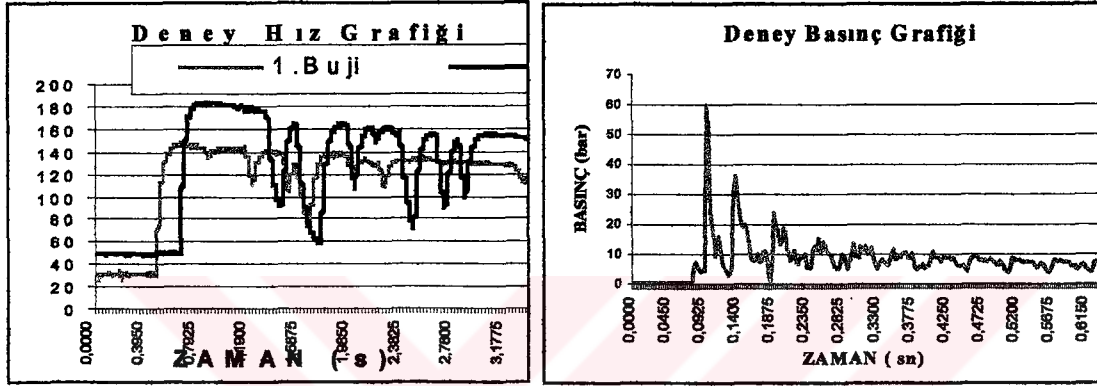
Bir nolu kalıp ($r = 15$ mm, $h = 35$ mm) ve ÇKDT hacminin % 60 oranında reaktant kullanılarak her iki malzeme ile yapılan ilk deneylerde parçaların taban bölgesinden parçalandığı bazen taban kısmın eridiği tespit edildi (Tablo IV.2).

Tablo IV.2. $r = 15$ mm'lik kalıpta % 60 reaktant oranında Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle yapılan deney sonuçları ve özellikleri

Malz.	Reaktant Oranı (%)	DP _{ort.} (MPa)	DP _{mak.} (MPa)	h (mm)	Kalıbı Doldurma Oranı (%)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 60	0,74	6,4	-	-	6,97E-03	
Etial-98	% 60	0,8	6,7	-	-	9,39E-03	

Şekillenen parçalar incelendiğinde, yırtılmaların parçanın çekilmesi esnasında kalıp içine doğru kayarken koni şeklinde oluşan tepe noktasında meydana geldiği görülmektedir. Buda parçaların yırtılmasında baskı plakasından veya kalıptan kaynaklanan bir etki olmadığını gösterir. Eğer baskı plakasının fazla sıkılması sonucu parça yırtılsaydı bu yırtılma, tepe noktasında değil kalıp üst kısmında ve kalıp üst kavis yarıçapının bitiminde meydana gelecekti. Oysa parça kalıp içine kaymış belli bir derinliğe ulaştıktan sonra yırtılma meydana gelmiştir. Bununla iki ana

sebebi olabilir. Bunlardan biri baskı plakası fazla sıkılmakta ve parça kalıp içine doğru çekilememekte yada detonasyon basıncı ve hızı fazla gelmektedir. Baskı plakası bütün deneylerde yaklaşık olarak aynı oranda sıkılmıştır. Sıkma oranı literatürde de görüldüğü gibi [92] ön deneyler esnasında deneme yanılma metodu ile tespit edilmiştir. Diğer deneylerde baskı plakasının aynı oranda sıkılması ile düzgün sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumda, serbest şekillenmede % 60 reaktant oranında sistemde oluşan detonasyon basıncı ve detonasyon hızı levhaları yırtmakta ve parçalamaktadır sonucuna varılmıştır (Şekil IV.4).



Şekil IV.4. Ön deneylerde % 60 reaktant oranında Etial-5 için elde edilen mak.detonasyon hızı ve basınç grafikleri

% 60 reaktant oranı ile kalıp derinliğinin serbest bırakıldığı deneylerde elde edilen ortalama detonasyon basıncı değerleri 0,74 MPa ile yaklaşık 0,8 MPa arasındadır. Bu aralıkta elde edilen bütün detonasyon basınçlarında levhalar yırtılmıştır. Aynı ortalama detonasyon basıncı değerine 0,77 MPa olarak % 50 reaktant oranında ulaşılmış ve parça yine yırtılmıştır.

Deneýlerde ölçülen ortalama detonasyon basıncının belirlenmesinde şok dalgasının maksimuma ulaştığı değerleri de etkilidir. Şekillenmenin önemli bir kısmının da bu zaman dilimi içinde gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Literatürde yüksek hızda yapılan elektro-hidrolik şekillendirmede 140 μ s, elektro-manyetik şekillendirmede 240 μ s'de şekillenme işleminin bittiği görülmektedir [93,63]. Maksimum detonasyon basınçları incelendiğinde, parçalanmanın olduğu deneylerde maksimum detonasyon basıncının en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Buda parçaların yırtılmasında detonasyon basıncının etkili olduğunu göstermektedir.

Detonasyon hız değerleri incelendiğinde 2742 m/s ile 2816 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Bu hız değerleri arasındaki serbest şekillendirme deneylerindeki bütün parçalarda yırtılma oluşmuştur. En yüksek hız değeri 2816 m/s ile Tablo IV.2'de Etial-95 ile yapılan deneyde elde edilmiştir.

Basıncın etki süresi oranları incelendiğinde $6,97E-03$ ile $9,39E-03$ s arasında olduğu görülmektedir. Aynı basıncın etki süresine % 50 reaktant oranında yapılan deneylerde de ulaşılmış ve parçalar düzgün şekillenmiştir. Bu da bize basıncın etki süresinin parça yırtılmasında fazla etkili olmadığını gösterir.

Kullanılan her iki alüminyum malzemede de yırtılma oluşmuştur. Yırtılma olmasının detonasyon basıncı ve hızından hariç bir diğer nedeni ise parça alt kısmının kalıp tabanına ulaşamamasıdır. Dolayısı ile parça taban kısımdan destek almadığı için yanlara doğru şekillenememekte ve koni şeklinde ilerleyerek, uç kısmında veya yakın noktalardan yırtılmaktadır. Bazı yırtılan parça kenarlarında ondülasyonun oluştuğu görülmektedir (Tablo IV.2). Ondülasyonun oluşma nedeni baskı plakasının yeterli derecede sıkılmaması veya kalıp ağız yarıçapının fazla olmasıdır. Bölüm III'te detaylı olarak belirtildiği gibi tüm deneyler esnasında baskı plakası genel olarak aynı oranda sıkıştırılmıştır. Bu deneylerde kullanılan kalıp üst kavis yarıçapı 15 mm'dir ve ondülasyon en çok bu kalıp ağız yarıçapında görülmüştür.

Sonuç olarak, % 60 reaktant oranı ile yapılan deneylerde parçaların yırtılmasının iki ana sebebinin detonasyon basıncı ve detonasyon hızı olduğu söylenebilir. Bu nedenle reaktant oranı % 50'ye düşürülerek deneylere devam edilmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçların birim uzamalarını bulmak için XYZ Koordinat Ölçme Makinası ile ölçümler yapılmıştır. Kesitteki değişim oranını incelemek için şekillenmiş parçalar, Elektro-tel Erozyon makinasında kesildikten sonra, kesit yüzeyleri parlatılarak Nikon V 12 A Model Profile Projektör cihazında mikron cinsinden binde beş hata ile ölçülmüş ve kesitteki değişim oranları bulunmuştur.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

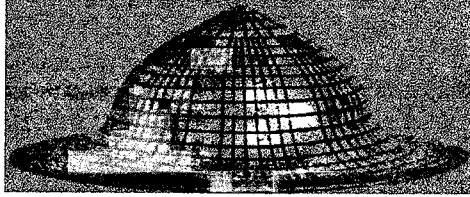
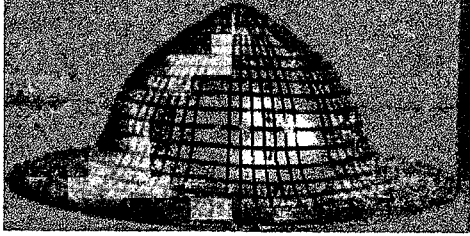
IV.1.2. Ortalama Detonasyon Basıncı 0,6-0,68 MPa Olan Serbest Şekillendirme Deneyleri

Bu bölümde ÇKDT'ye % 50 hacim oranında reaktant gönderilerek Etial-5 ve Etial-98 ile elde edilen deney sonuçları karşılaştırılarak Etial-5 ile konvensiyonel metotla (preste) elde edilen derin çekme deney sonuçlarının ÇKDŞM'de elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması incelenmiştir.

IV.1.2.1. 15 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Serbest Şekillenme Deneyleri

Bu kalıpta % 50 hacim reaktant oranı kullanılarak Etial-5 malzeme ile yapılan deneylerde şekillenmede bir problem olmadığı fakat Etial-98'in kullanıldığı deneylerde genel olarak detonasyon basıncının 0,66 MPa ve üzerine çıktığında yırtılmanın meydana geldiği görülmüştür. Malzemeleri sağlıklı karşılaştırmak amacı ile detonasyon basınçları birbirine yakın olan şekillenmiş parçalar Tablo IV.3'de verilmiştir.

Tablo IV.3. r = 15 mm'lik kalıpta % 50 reaktant oranında Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle yapılan deney sonuçları ve özellikleri

Malz. Reaktant Oranı (%)	D _{port} (MPa)	DP _{mak.} (MPa)	h (mm)	Kalıbı Doldurma Oranı (%)	Bas. Etldi Süresi (s)	Şekillenen Parça	
Etial-5	% 50	0,66	5,4	38	79,6	7,15E-03	
Etial-98	% 50	0,76	5,6	34	70,4	7,55E-03	

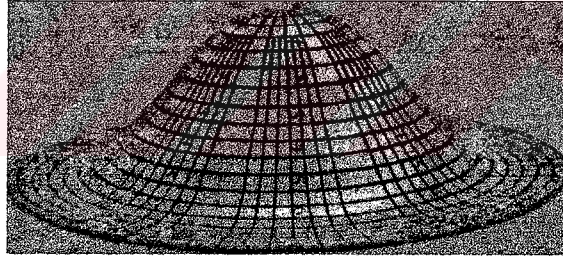
Bu deneyler incelediğinde, şekillenmelerin düzgün yüzeyli uç kısmının koni şeklinde ve parça kenarlarında hafif ondülasyon bulunduğu görülmektedir. Etial-5 ile 38 mm derinliğe, Etial-98 deneyinde ise 34 mm derinlikte kalınmıştır. Kalıbı doldurma

oranlarına baktığımızda % 5'lik bir oranla Etial-5 deneyinde daha iyi sonuç alınmıştır. Bu nedenle sadece Etial-5 ile geleneksel metotla deneyler yapılmasına karar verilmiştir.

Bu kalıp kavisinde geleneksel metotla zımba kullanılarak yapılan deneylerde Etial-5 malzeme ile 10 adet deney yapılmış, yırtılma başlangıcı 23,7 mm derinlikte yakalanmıştır. Şekil IV. 5'deki deneyde yırtılma olmadan en iyi sonuç alınmıştır. Bu deney incelendiğinde 0,025 mm/s'lik hızda, 4700 N'luk bir kuvvetle 23 mm derinliğe ulaşıldığı görülmektedir.

Alüminyum levhaların gerek detonasyonla gerekse konvensiyonel metotla derin çekme ile şekillendirilmesi esnasında, parçaların değişik bölgelerindeki kesitlerde ve uzama oranlarında değişiklikler olduğu görüldü. ÇKDŞM'de Etial-5 ile yapılan deneylerde ortalama detonasyon basıncının 0,7 MPa ve üzerine çıktığı durumlarda genellikle levhaların kesitlerinde aşırı incelmeler ve yer yer yırtılmalar olduğu gözlemlendi. Etial-98 deneylerinde ortalama basıncın 0,66 MPa ve üzerine çıktığı durumlarda yırtılmaların olduğu görüldü.

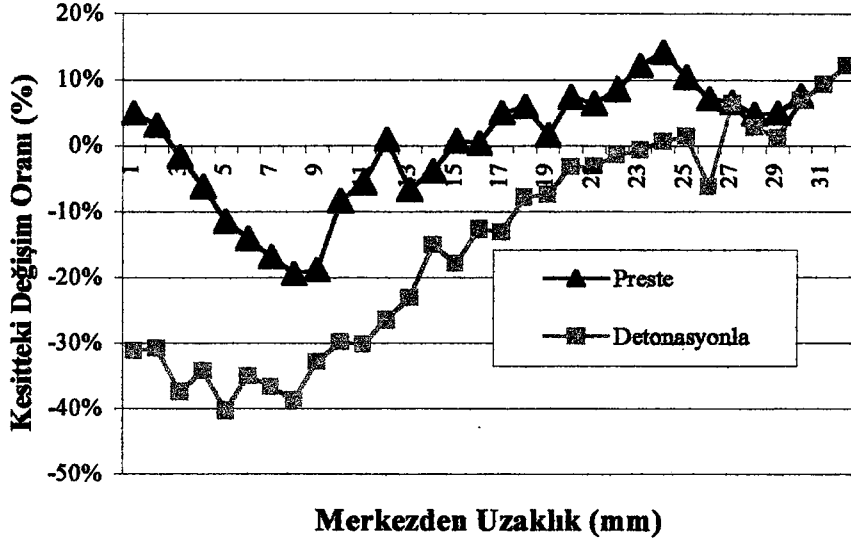
Prete yapılan derin çekme deneylerinde ise 4700 N'luk zımba kuvveti ile 23 mm derinliğe inildiğinde yırtılmanın başladığı kabul edildi.



Zımba Kuvveti = 4700 N | Hız = 0,25 mm/s | h= 23 mm | r = 15 mm

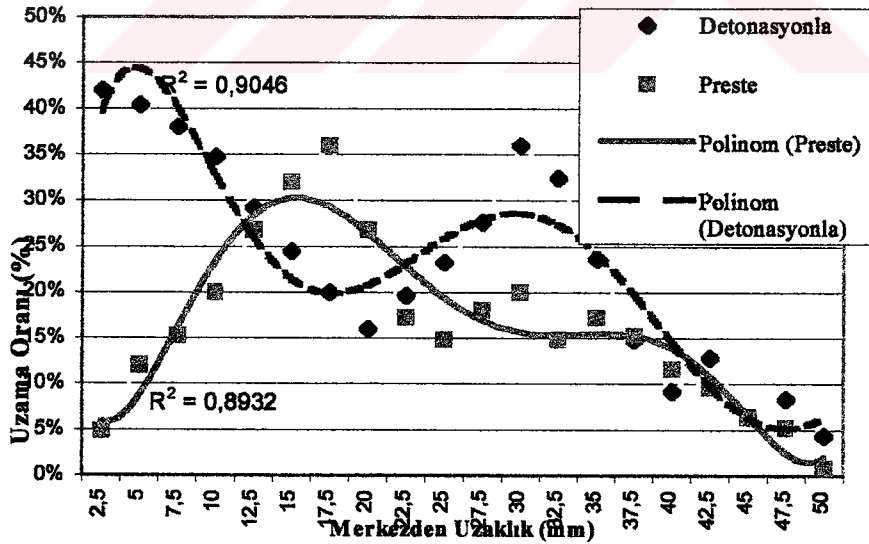
Şekil IV.5. 15 mm'lik kalıp kavisinde prete derin çekmede Etial-5 ile elde edilen deney sonucu

Şekil IV.6'da ÇKDŞM ve prete elde edilen Tablo IV.3 (Etial-5) ve Şekil IV.5'de verilen biçimlenmiş parçaların birim uzama grafikleri verilmiştir. Deneyler için ölçülen kalınlık değişimleri incelendiğinde, detonasyonla şekillendirme ve geleneksel metotla derin çekme arasında bariz bir fark olduğu görülmektedir. Detonasyonla şekillenmede Şekil IV.3'de görüldüğü gibi detonasyon basıncı levhanın tam ortasına ve 50 mm çapındaki bir alana etki etmekte ve deformasyon en çok bu bölgenin merkeze yakın kısımlarda meydana gelmektedir. Dolayısı ile kesitteki incelmeler merkeze yakın bölgede yoğunlaşmakta ve merkezden uzaklaştıkça azalmaktadır.



Şekil IV.6. Kalıp kavisi 15 mm için Etial-5 ile ÇKDŞM ve presle şekillendirilen parçalarda kalınlığın kesit boyunca değişimi

Preste elde edilen deformasyonda ise, zımbanın temas ettiği levha merkezinden daha ziyade parçanın kalıpla temas eden yan yüzey ve kalıp üst kavisinden etkilenen kısımlarda kesitte daralmalar meydana gelmiştir. Her iki sonuca baktığımızda kesitteki daralmaların farklı bölgelerde yoğunlaştığı ve homojen bir yapıya sahip olmadığı görülmektedir. Kesit kalınlığı ölçülürken yırtılma oluşmamış bölgeler esas alınmıştır.

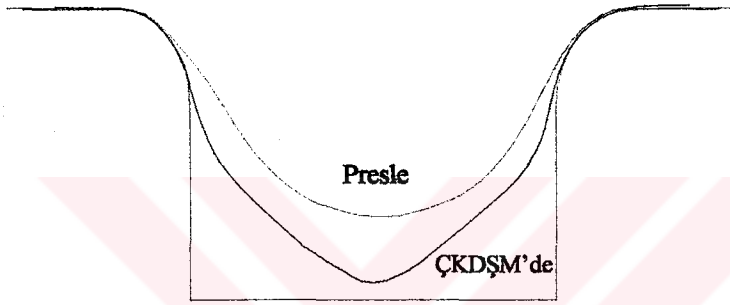


Şekil IV.7. Kalıp kavisi 15 mm için Etial-5 ile ÇKDŞM ve presle şekillendirilen parçaların birim uzama grafikleri

Şekil IV.7'de aynı parçaların birim uzama grafikleri incelendiğinde, detonasyonla şekillendirmede merkezde uzama oranının daha yoğun ve gittikçe

dalgalanma yaparak azalan bir yapıda olduğu, preste yapılan deneyde ise uzama oranının daha çok sıvama olan bölgelerde olduğu görülmektedir. Detonasyonla şekillenmede uzama oranı, konvensiyonel derin çekmeye nazaran yaklaşık % 10 daha fazladır. Bu sonuçlar kesitlerdeki değişim oranı ile aynı bölgelerde uzama ve kesit daralması olması bakımından uyumludur

15 mm kalıp kavisinin serbest şekillenmeye etkisi Şekil IV.8'de görülmektedir. Şekillenen parçaların kalıp içindeki yayılmalarına baktığımızda bariz bir fark olduğu açıktır. ÇKDŞM ile şekillenen parçada 38 mm kalıp derinliğine ulaşıldığı ve kalıp içine daha çok oturduğu görülmektedir. Preste elde edilen parçada ise 23 mm kalıp derinliğine ulaşılmıştır.



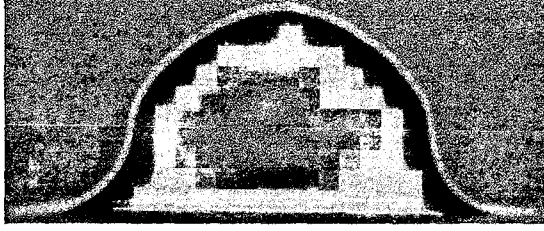
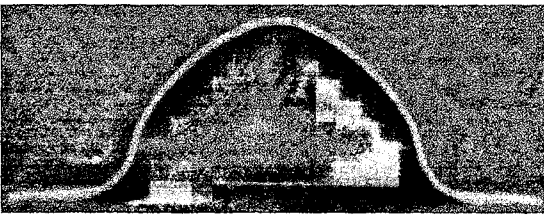
Şekil IV.8. 15 mm'lik kalıp kavisinin Etial-5 ile preste ve ÇKDŞM'de yapılan deneylerde şekillenmeye etkisi

IV.1.2.2. 10 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Serbest Şekillenme Deneyleri

Kalıp kavis yarıçapı $r = 10$ mm, kalıp derinliği $h = 35$ mm olan bu kalıpta % 50 reaktant oranında Etial-5 ve Etial-98 ile yapılan deneylerde 2531 m/s detonasyon hızına ve 6,5 MPa ortalama detonasyon basınç değerine ulaşılmıştır. Her iki malzemede de yırtılma olmamıştır. Deformasyon sonucunda Tablo IV.4'deki deneylerde Etial-5'de 35 mm ve Etial-98'de 31 mm'lik derinliğe ulaşılmıştır.

Yapılan deneylerde Etial-5 malzemenin Etial-98'e göre daha iyi şekillendiği kalıbı % 4 oranında daha fazla doldurduğu görülmektedir. Deneyler esnasında oluşan ortalama detonasyon basıncı Etial-5'de 0,62 MPa, maksimum detonasyon basıncı ise 5,2 MPa, basıncın etki süresi $6,50E-03$ s iken Etial-98'de ise ortalama detonasyon basıncı 0,65 MPa maksimum detonasyon basıncı 6,02 MPa, basıncın etki süresi $7,65E-03$ s olarak ölçülmüştür.

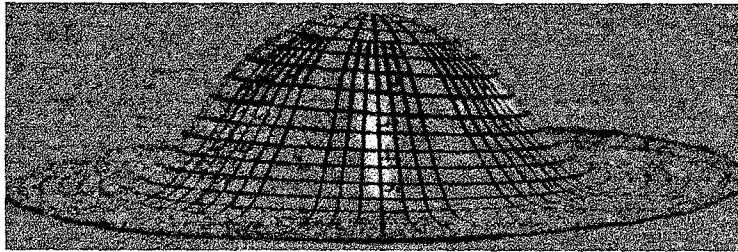
Tablo IV.4. $r = 10$ mm'lik kalıpta % 50 reaktant oranında Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle yapılan deney sonuçları ve özellikleri

Malz.	Reaktant Oranı (%)	DP_{ort} (MPa)	DP_{mak} (MPa)	h (mm)	Kalıbı Doldurma Oranı (%)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 50	0,62	5,2	35	62,7	6,50E-03	
Etial-98	% 50	0,65	6,02	31	58,2	7,65E-03	

Biçimlenmelere baktığımızda kalıp ağız kavisinin diğer kalıba göre küçülmesinden dolayı ve baskı plakasının iyi ayarlanması ile son derece düzgün şekillenmeler oluşmuş ve ondülasyon görülmemiştir.

Bu deneylerle karşılaştırmak amacıyla aynı kalıp ile geleneksel metotla Etial-5 malzeme kullanılarak on adet deney yapılmıştır. Bu deneylerde elde edilen en iyi sonuç 4415 N'luk zımba kuvveti ile 22 mm derinliğe ulaşılan deneydir (Şekil IV.9.) Yırtılma başlangıcı 22,1 mm derinlikte 4500 N'luk zımba kuvvetinde elde edilmiştir.

Preste elde edilen bu deney sonucu ÇKDŞM' da elde edilen ve Tablo IV.4'de verilen Etial-5 deneyi ile kalınlık ve birim uzama ölçümleri açısından karşılaştırılmıştır (Şekil IV.10 ve Şekil IV.11).

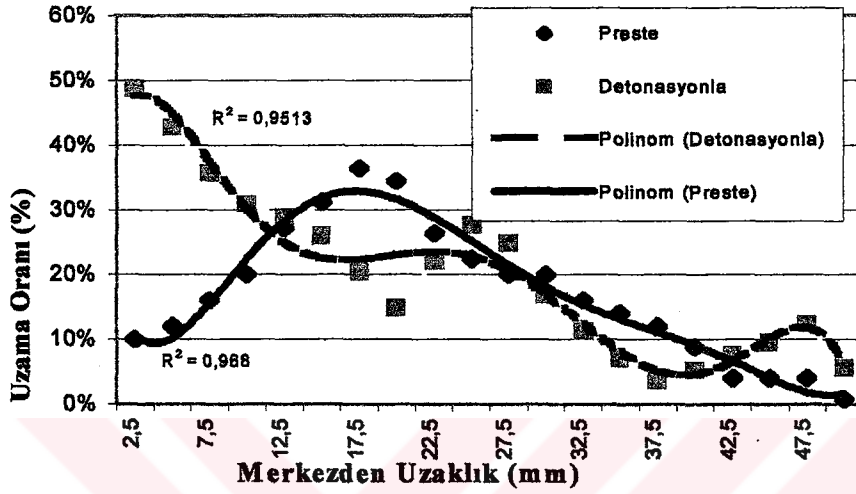


Zımba Kuv.= 4430 N | Hız = 0,25 mm/s | $h = 22$ mm | $r = 10$ mm

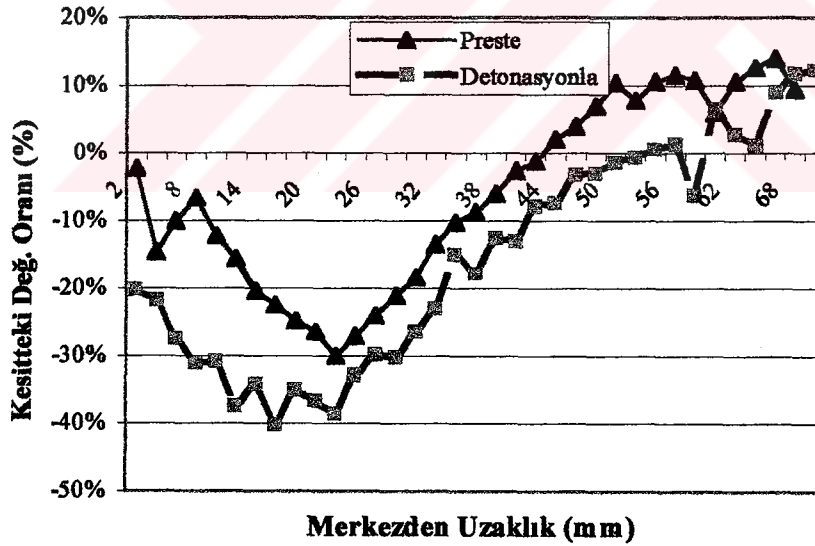
Şekil IV.9. Kalıp üst kavisini 10 mm için Etial-5 malzeme ile preste yapılan deney sonucu.

Kalıp üst kavis yarıçapı 10 mm olan kalıpta yapılan deneylerin birim uzama grafikleri incelendiğinde, ÇKDŞM ile şekillendirilen parçada en büyük uzama

oranına % 50 ile merkezde, merkezden uzaklaştıkça bu oranın giderek azalmakta kenar kısımlarda tekrar artmaktadır. Presle şekillenen parçada ise merkezde % 10 olan uzama oranının, zimba kavisine gelen kısımlarda % 30' u geçtiği ve tekrar belli bir seviyede ilerleyen bir düşüş göstererek kenar kısımlarda % 2-3'lere kadar düştüğü görülmektedir.



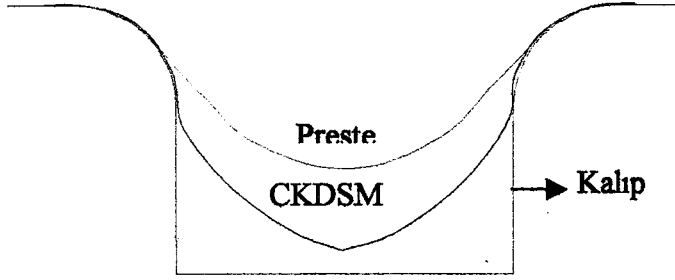
Şekil IV.10. Kalıp kavisi 10 mm için Etial-5 ile preste ve ÇKDŞM'de elde edilen birim uzama grafiği



Şekil IV.11. Kalıp kavisi 10 mm için Etial-5 ile preste ve ÇKDŞM'de elde edilen kalınlıkların kesitlerdeki değişimi

Bu deneyler için kesitlerdeki değişim oranları (Şekil IV.11) incelendiğinde, detonasyonla yapılan şekillendirmede % 40'lara varan değişim oranı, konvensiyonel derin çekmede % 30'larda kalmıştır. Kesitlerdeki değişimin bölgelere dağılımı ise büyük oranda birbirine paralel olarak seyir etmektedir. Bunun nedeninin kalıp

kavisinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Buda bize kalıp kavisinin kalıp derinliği ve kalıp çapına uygun olarak seçildiğinde daha düzgün ve hatasız şekillenmeler elde edilebileceğini gösterir.



Şekil IV.12. 10 mm'lik kalıp kavisinin Etial-5 malzemedeki ÇKDŞM ve preste şekillenmeye etkisi

Bu deney sonuçlarının kalıbı doldurma oranları ve şekillenmelerine kalıp kavisinin etkisi Şekil IV.12'de verilmiştir. ÇKDŞM ile 33 mm kalıp derinliğine ulaşılmış ve kalıp daha iyi doldurulmuştur. Preste ise 23 mm kalıp derinliğinden sonra parça yırtılmaya başlamıştır.

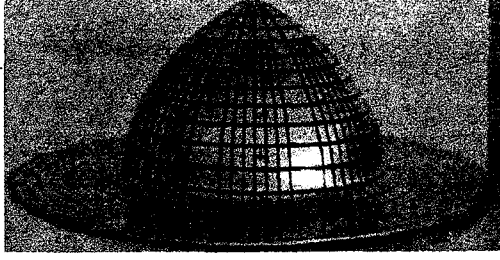
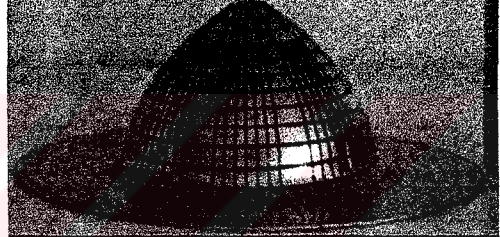
IV.1.2.3. 5 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Serbest Şekillendirme Deneyleri

Kalıp ağız yarıçapı en küçük olan bu kalıpta Etial-5 ile yapılan deneyde, ortalama basınç 0,62 MPa, maksimum detonasyon basıncı 5,2 MPa iken Etial-98 kullanılan deneyde ortalama detonasyon basıncı 0,66 MPa maksimum detonasyon basıncı ise 6,2 MPa olarak ölçülmüştür. Etial-5 malzemedeki 28 mm, Etial-98 malzemedeki 27 mm derinliğe ulaşılmış, şekillenmeler düzgün olarak elde edilmiştir (Tablo IV.5). Kalıp ağız yarıçapının küçülmesi ile şekillenmeler de ondülasyon oluşmamakta fakat deformasyon oranı ve derinlik miktarı önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun nedeni ise levhanın kalıp içine kayarken kalıp üst kavisinin küçük olmasından dolayı zorlanmasıdır. Detonasyon basıncı arttırıldığında levha detonasyon hızının da etkisi ile genellikle koni oluşturan merkez kısımdan parçalanmaktadır. Bu nedenle detonasyonla şekillenmede kullanılan malzemeye göre uygun hacim ve basınç oranını belirlemek kalıp kavis yarıçapı küçüldükçe daha önem kazanmaktadır.

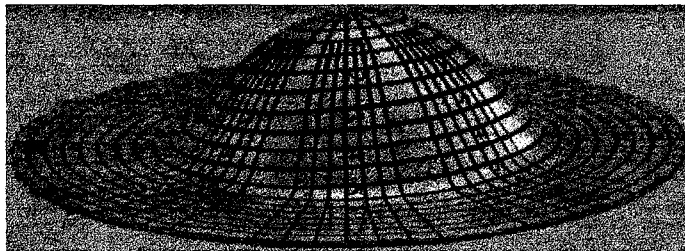
Bu deneylerde kullanılan malzemeleri karşılaştırdığımızda çok az bir farkla Etial-5 ile yapılan deneyde daha iyi bir biçimlenme elde edildiği görülmektedir.

Etial-98 malzemenin Etial-5'e yaklaşmasının nedeni ise detonasyon basıncının daha fazla olmasıdır.

Tablo IV.5. $r = 5$ mm'lik kalıpta % 50 reaktant oranında Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle yapılan deney sonuçları ve özellikleri

Malz.	Reaktant Oranı (%)	DP _{ort} (MPa)	DP _{mak} (MPa)	h (mm)	Kalıbı Doldurma Oranı (%)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 50	0,62	5,2	28	53	6,50E-03	
Etial-98	% 50	0,65	6,02	27	51	7,65E-03	

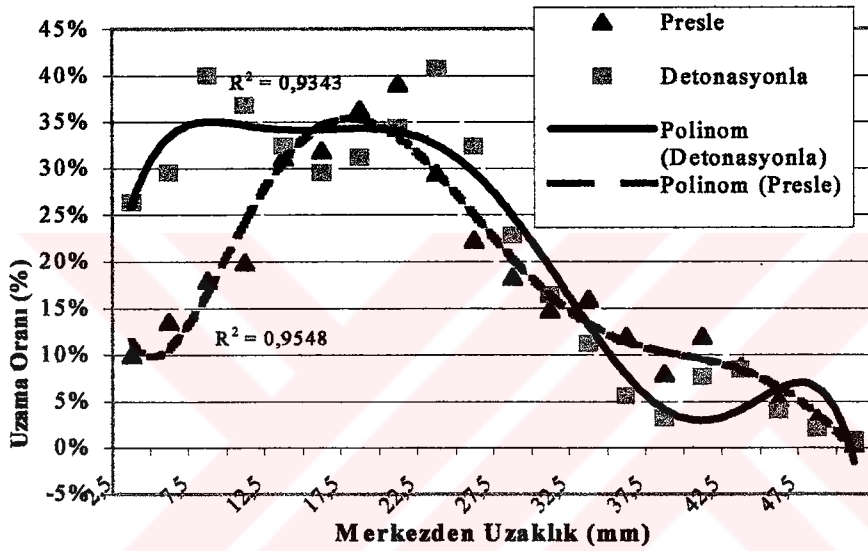
Bu deneylerle karşılaştırmak amacıyla aynı kalıp ve zımba kullanılarak geleneksel derin çekme metodu ile 10 adet deney yapılmış, 4600 N'luk zımba kuvvetinde ve 20,3 mm derinlikte yırtılma başlangıcı yakalanmıştır. Yırtılma olmadan ulaşılan derinlik ise 4410 N'luk zımba kuvvetinde 19,8 mm'dir (Şekil IV.13). 5 mm'lik kalıp kavisinde preste yapılan deneylerde parçaların 20 mm derinliğe ulaştıktan sonra yırtılmaya başladıkları kabul edilmiştir. ÇKDSM'de ortalama detonasyon basıncı genelde 0,7 MPa'ı geçtikten sonra yırtılmalar başlamaktadır.



Zımba Kuv. = 4350 N | Hız = 0,25 mm/s | h = 19,8 mm | r = 5 mm

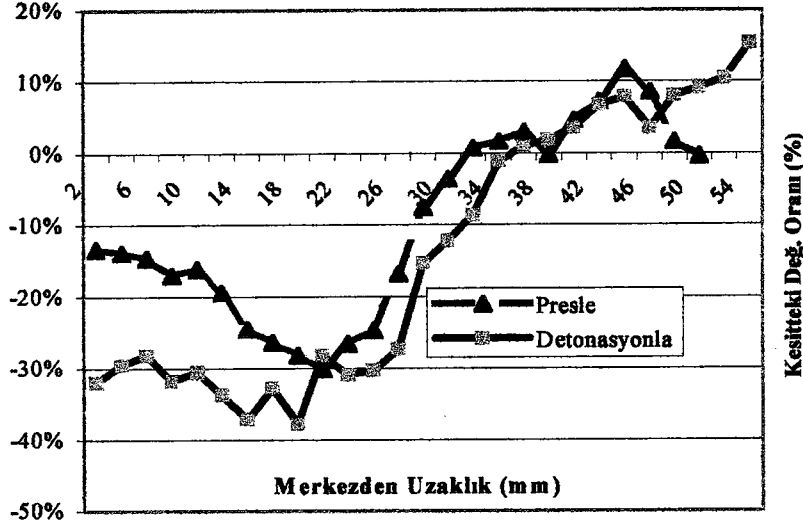
Şekil IV.13. Kalıp kavis 5 mm için geleneksel metotla Etial-5 ile yapılan derin çekme deneyi.

Şekil IV.14’de Etial-5 ile detonasyonla ve geleneksel metotla derin çekilerek şekillendirilen parçaların birim uzama grafikleri verilmiştir. Birim uzama oranları incelendiğinde ÇKDŞM’de % 40’a varan uzama oranına ulaşılmış, preste şekillenen parçada % 40’a yaklaşmıştır. ÇKDŞM’de şekillenen levha merkezden itibaren dalgalanma şeklinde bir birim uzama yolu takip etmiş ve kenarlara doğru birim uzama oranı gittikçe azalmıştır. Presle şekillenen parçada ise merkezde % 10 düzeyinde olan uzama oranı, zımba kavisinin olduğu orta kısımda maksimuma ulaşmış ve kenara doğru gittikçe düşmüştür. Bu kalıp kavisinde her iki deney arasındaki birim uzama farkı % 10 civarındadır.



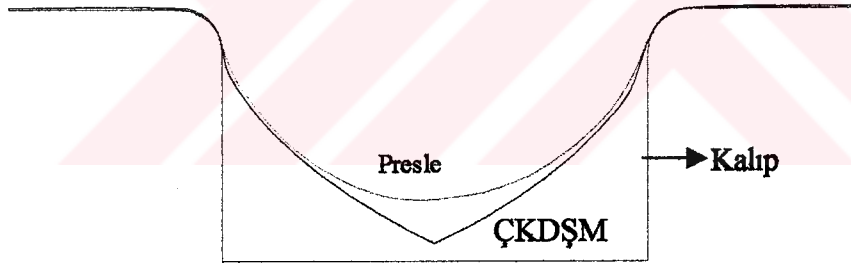
Şekil IV.14. Kalıp kavis 5 mm için ÇKDŞM ve presle elde edilen (Etial-5) derin çekme deneylerinin birim uzama grafikleri

Aynı parçaların kesitlerindeki değişim oranları Şekil IV.15’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde detonasyonla yapılan şekillendirmede bazı noktalarda % 40’a yaklaşan kesitteki değişim oranı preste şekillenen parçada % 30’da kalmıştır. Kesitlerdeki değişim oranları birbirine yakın paralel bir seyir takip etmektedir.



Şekil IV.15. Kalıp kavisi 5 mm için ÇKDŞM ve preste yapılan (Etial-5) deneylerinin birim uzama grafikleri

Bu deneylerin kalıp kavisine göre kalıbı doldurma ve şekillenme oranları Şekil IV.16'da verilmiştir. 5 mm'lik kalıp kavisinde şekillenme oranlarının birbirine yakın olduğu buna rağmen ÇKDŞM'de 28 mm derinliğe ulaşılırken preste 20 mm kalıp derinliğinden sonra yırtılmalar başlamıştır.



Şekil IV.16. 5 mm'lik kalıp kavisinin Etial-5 malzemede şekillenmeye etkisinin karşılaştırılması

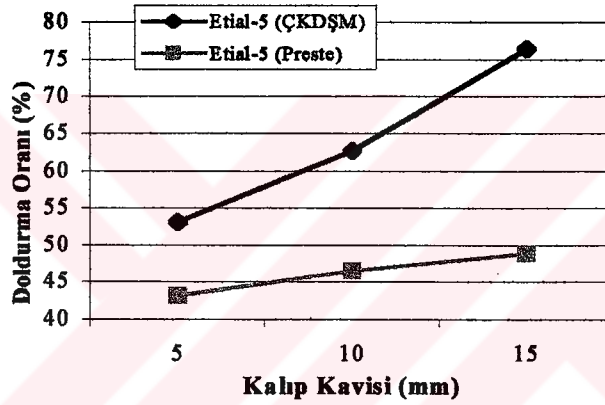
IV.1.3. Serbest Şekillenme Deneylerinde Elde Edilen Sonuçların Kalıp Kavislerine Göre Değerlendirilmesi

ÇKDŞM ile kalıp derinliği serbest bırakılarak yapılan şekillenme ve preste yapılan derin çekme deneylerine genel olarak baktığımızda, ulaşılan derinlik, yüzde uzama, kalıbı doldurma ve kesitteki değişim oranları açısından ÇKDŞM'de yapılan deneylerde daha iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir. Tablo IV.6'da ÇKDŞM ve preste elde edilen derinlikler ve kalıbı doldurma oranları görülmektedir.

Tablo IV.6. Kullanılan kalıp ağız yarıçaplarına göre ulaşılan derinlik ve kalıbı doldurma oranları.

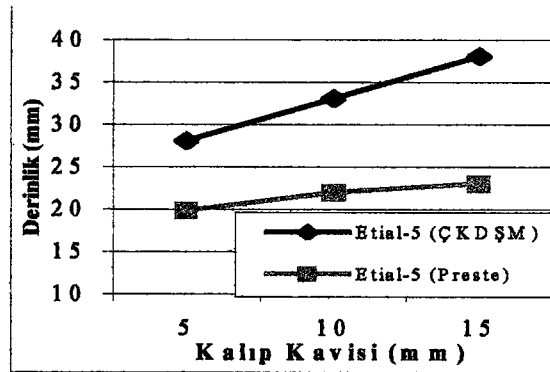
Kalıp Ağız Yarıçapı (r) mm	ÇKDŞM			PRESLE		
	Ort. Det. Bas. (Mpa)	Derinlik (mm)	Doldurma Oranı (%)	Zimba Kuv. (N)	Derinlik (mm)	Doldurma Oranı (%)
15	0,66	38	76,4	4700	23	49,8
10	0,62	33	62,7	4430	22	46,6
5	0,62	28	53,1	4350	19,8	43,1

Kalıbı doldurma oranları incelediğinde, ÇKDŞM’de kalıp kavisi arttıkça doldurma oranı hızla yükselen bir grafik verirken, preste ise doldurma oranını çok hafif bir eğimde yükselmektedir (Şekil IV.17). ÇKDŞM’de kalıbı doldurma oranları preste elde edilen deneylere göre 5 mm’lik kalıp kavisinde % 10, 10 mm’lik kalıp kavisinde % 16 ve 15 mm’lik kalıp kavisinde % 26 daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil IV.17. ÇKDŞM’de ve Preste elde edilen kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması.

Ulaşılan kalıp derinliklerini incelediğimizde ÇKDŞM’de kalıp kavisi arttıkça elde edilen kalıp derinliği artmakta, preste ise artma oranı çok hafif bir eğimde devam etmektedir (Şekil IV.18).



Şekil IV.18. Serbest şekillenmede ÇKDŞM’de ve Preste elde edilen kalıp derinliklerinin karşılaştırılması

Kalıp ağız yarıçapı 15 mm ile yapılan deneyde detonasyonla 38 mm, geleneksel metotla 23 mm derinliğe ulaşılmıştır. ÇKDŞM ile % 40 daha fazla bir derinlik elde edilmiştir.

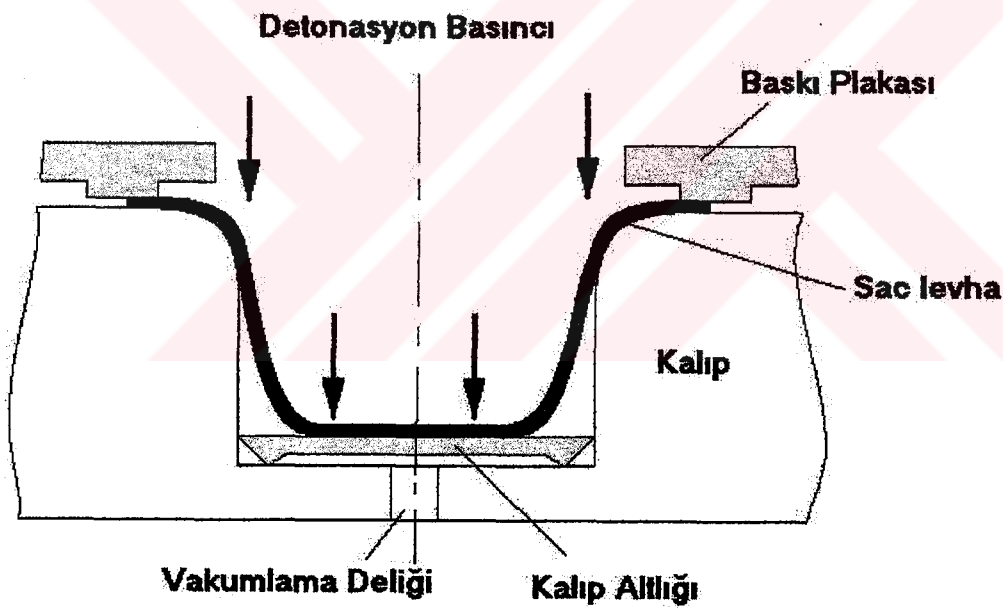
Kalıp ağız yarıçapı 10 mm olan kalıpta detonasyonla 33 mm, geleneksel metotla 22 mm derinlik elde edilmiştir. ÇKDŞM ile % 34 daha fazla bir derinlik elde edilmiştir.

Kalıp ağız yarıçapı 5 mm olan kalıpla yapılan deneylerde detonasyonla 28 mm, geleneksel metotla 19,8 mm derinlik elde edilmiştir. ÇKDŞM ile % 30 daha fazla bir derinlik elde edilmiştir.

Şekillenmeler incelendiğinde her iki metotla yapılan deneylerde de kalıp ağız yarıçapının daralması ile parça kenarlarında oluşan kırışıklıklar yok olmuş, özellikle kenarları daha düzgün parçalar elde edilmiştir. Kalıp ağız yarıçapı 5 mm hariç diğer ağız yarıçaplarında ÇKDŞM ile yapılan deneylerde daha fazla birim uzama sağlanmış ve kesitteki değişim oranı da daha fazla olarak gerçekleşmiştir.

IV.2. KALIP DERİNLİĞİNE GÖRE ŞEKİLLENDİRME DENEYLERİ

ÇKDŞM ile yapılan bu deneylerin özelliği kalıp derinliklerinin 20 mm ve 32,5 mm arasında ayarlanmasıdır. Kalıp derinliklerinin değiştirilmesinin amacı ise hangi kalıp derinliğinde, hangi detonasyon basıncında, hangi reaktant oranında şekillenmenin daha iyi ve kalıbı doldurduğunu tespit etmektir. Şekil IV.19'da görüldüğü gibi parça detonasyon basıncının ve hızının etkisi ile kalıp içine doğru hareket ederek kalıp tabanına çarpar. Bu çarpmanın etkisi ile parça kalıp içinde ileriye gidemediği için yanlara doğru genişleyerek şekillenme oluşur. Şekillenme esnasında parçanın geri yaylanması da olmakta fakat ardı ardına gelen detonasyon basınç dalgaları bu yaylanmayı genellikle yenerek şekillenmeyi yanlara doğru kaydırmaktadır.



Şekil IV.19. Kalıp altlığı kullanarak detonasyonla şekillendirme.

Deneylerde Etial-5 ve Etial-98 malzeme kullanılarak ve Tablo III.2'deki sıra takip edilmiştir. Serbest şekillendirme deneylerinde olduğu gibi sonuçların daha iyi çıkmasından dolayı sadece Etial-5 ile yapılan deneyler, preste yapılan deneylerle karşılaştırılmıştır.

Şekillendirme deneyleri ÇKDT hacminin miktarına bağlı olarak kullanılan reaktant oranına göre ele alındığında, değişik detonasyon basıncı ve detonasyon hızının ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni deneylerde değişik

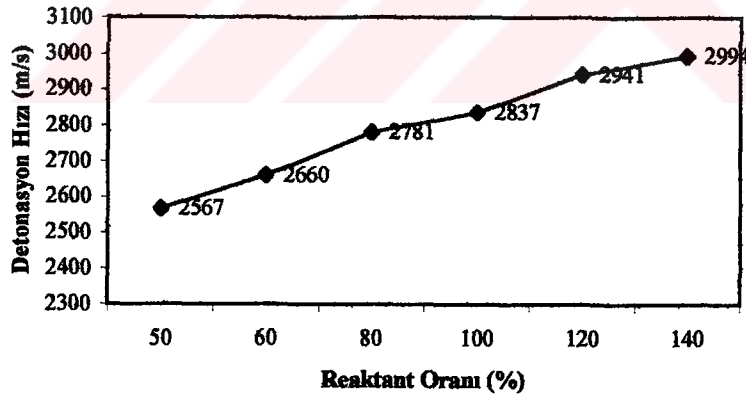
derinlik ve formda parça elde etmek için farklı reaktant oranlarının kullanılmasıdır.

Genel olarak şekillendirme deneylerinde detonasyon basıncı, kullanılan reaktant oranına göre değişmekle beraber maksimum 7 MPa - 8 MPa civarında, ortalama detonasyon basıncı ise 0,6 MPa - 1 MPa civarında ölçülmüştür. Kullanılan reaktant miktarına göre elde edilen detonasyon basıncı ve hızları Tablo IV.7'de verilmiştir.

Tablo IV.7. ÇKDŞM'de ölçülen ortalama detonasyon hızı, ortalama detonasyon basınç ve maksimum detonasyon basınç değerleri.

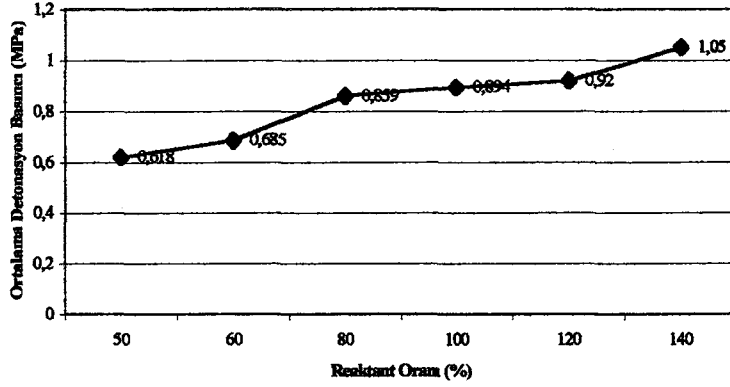
Deney Sayısı	Reaktant Oranı V_R/V_{CKDT} (%)	Detonasyon Hızı D_{vort} (m/s)	Ort. Det. Basıncı DP_{ort} (MPa)	Max. Det. Basıncı DP_{mak} (MPa)
10	50	2567	0,618	6,475
50	60	2660	0,685	6,776
42	80	2781	0,859	6,856
30	100	2837	0,894	6,974
20	120	2941	0,920	7,214
10	140	2994	1,05	7,720

Datalar incelenerek, reaktant oranı ile detonasyon hızı arasındaki ilişki Şekil IV.20'de, reaktant oranı ile ortalama detonasyon basıncı arasındaki ilişki Şekil IV.21'de ve maksimum detonasyon basıncı ile reaktant oranı arasındaki ilişki Şekil IV.22'de verilmiştir.

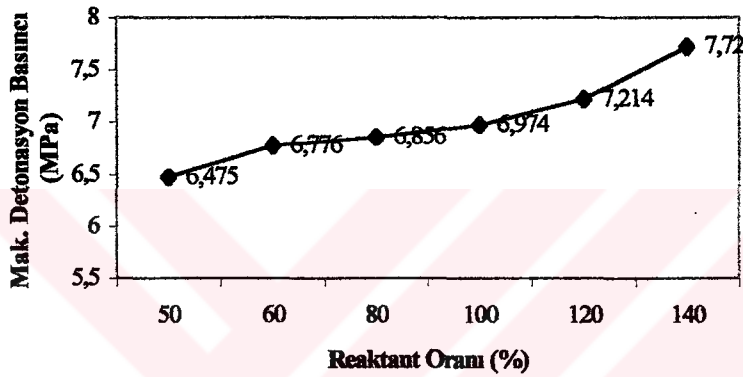


Şekil IV.20. ÇKDŞM'de yapılan deneylerde reaktant oranı ile detonasyon hızı arasındaki ilişki

Grafiklerde görüldüğü gibi ÇKDT'ye gönderilen reaktant oranı arttıkça elde edilen detonasyon hızı, ortalama detonasyon basıncı ve maksimum detonasyon basınç miktarları da artmaktadır. Kalıp kavisine göre değişmekle birlikte genellikle % 100 ve % 120 reaktant oranından sonra oluşan detonasyon hızı ve basıncı 0,5 mm kalınlığındaki Etial-5 ve Etial-98 malzemelerini yırtmakta ve parçalamaktadır.



Şekil IV.21. ÇKDŞM’de yapılan deneylerde reaktant oranı ile ortalama detonasyon basıncı arasındaki ilişki.



Şekil IV.22. ÇKDŞM’de yapılan deneylerde reaktant oranı ile maksimum detonasyon basıncı arasındaki ilişki.

Deneyler esnasında maksimum detonasyon hızı nadiren, % 120 ve % 140 reaktant oranı kullanıldığında 3000 m/s ulaşmış ve en fazla % 140 reaktant oranında 3125 m/s olarak ölçülmüştür. Ortalama detonasyon basıncı 1,3 MPa ve maksimum detonasyon basıncıda 9 MPa kadar çıkmıştır.

IV.2.1. r = 5 mm’lik Kalıp Üst Kavisinin Şekillenmeye Etkisi

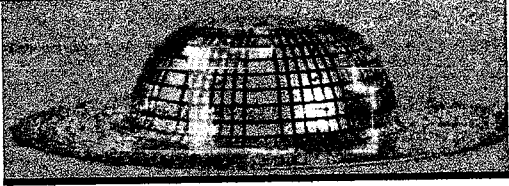
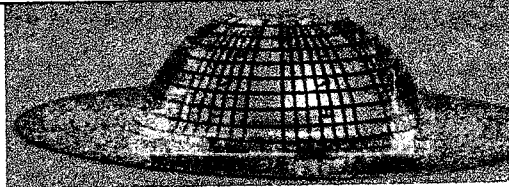
Bu kalıpla yapılan deneylerde % 60, % 80, % 100 ve % 120 reaktant oranları kullanılarak 20 mm, 22,5 mm ve 25 mm’lik kalıp derinliklerinde detonasyonla şekillendirme deneyleri yapılmıştır.

IV.2.1.1. Kalıp derinliği 20 mm için yapılan deneyler

% 60 reaktant oranı kullanılarak 20 mm’lik kalıp derinliğinde yapılan deneyde elde edilen şekillendirilmiş levhalar Tablo IV.8’de görülmektedir. Tablo IV.8 incelendiğinde Etial-98 deneyinde taban çapının 25 mm olduğu, parçanın kalıbı dolduramadığı bunun yanında taban ve kenarlarda kırışıklık oluşmadığı

görülmektedir. Parçanın kalıbı doldurması için daha fazla detonasyon basıncının gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

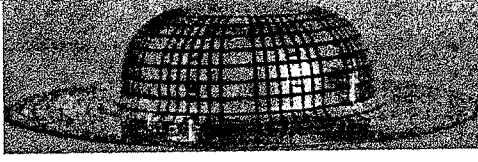
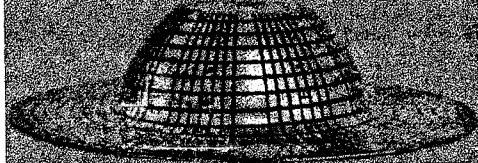
Tablo IV.8. Kalıp kavisi 5 mm için % 60 reaktant oranında elde edilen şekillendirilmiş levhalar

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etiel-5	% 60	2742	0,46	7,8	20	81,4	30	7,84E-03	
Etiel-98	% 60	2742	0,66	7,7	20	69,6	25	7,77E-03	

Etiel-95 de ise daha iyi bir şekillenme oluşmuş, taban oturma çapı 30 mm'ye ulaşarak kalıbı daha iyi doldurmuştur. Her iki deneyde de kalıbı tam doldurmak için detonasyon basıncının artırılması gerektiği görülmektedir.

% 80 reaktant oranı kullanılarak 20 mm'lik kalıp derinliğinde elde edilen deney sonuçları Tablo IV.9'da görülmektedir.

Tablo IV.9. Kalıp kavisi 5 mm için % 80 reaktant oranında elde edilen şekillendirilmiş levhalar

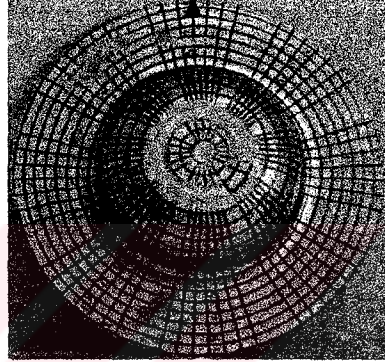
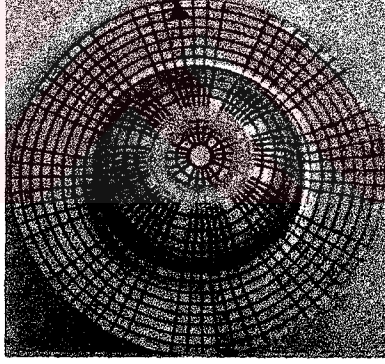
Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etiel-5	% 80	2816	0,81	7,2	20	87,6	31	8,21E-03	
Etiel-98	% 80	2777	0,84	6,62	20	77,7	27,5	8,48E-03	

Bu deneyde detonasyon basıncının artması ile şekillenmenin daha iyi olduğu kalıbın daha çok doldurulduğu görülmekle birlikte istenilen orana ulaşamamıştır. Etiel-98 deneyinde levha düzgün olarak şekillenmiş tabanda 5 mm çapında 1 mm derinliğinde çok ufak bir krater oluşmuştur. Bu kraterin oluşma nedeni

vakumlaşmanın tam yapılamaması yada geri esneme olayının detonasyon basıncı tarafından yok edilememesi olabilir. Etial-95 deneyinde parçanın kalıbı daha iyi doldurduğu ve şekillenmenin daha iyi olduğu, özellikle taban oturma ve kalıbı doldurma oranının daha iyi olduğu görülmektedir.

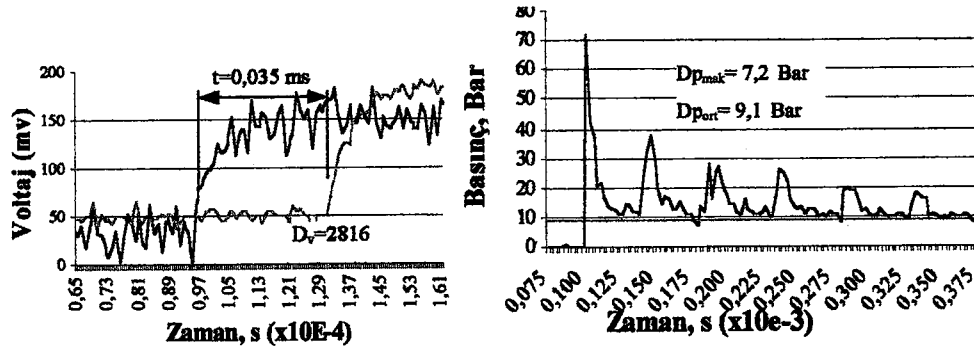
% 100 reaktant oranı kullanılarak 20 mm'lik kalıp derinliğinde elde edilen deney sonuçları Tablo IV.10'da verilmiştir.

Tablo IV.10. Kalıp kavisi 5 mm için % 100 reaktant oranında elde edilen şekillendirilmiş levhalar

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalibi Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 100	2816	0,9 1	7,2	20	93,3	35	8,21E-03	
Etial-98	% 100	2801	0,9 3	6,8	20	84,6	31	8,33E-03	

Etial-98'de parça kalıbı dolduramamış fakat kesitteki incelmeyi çok fazla olmasından dolayı yırtılma başlangıcı olabilecek boyun vermeler oluşmuştur. Levha kenarlarında hafif kırışıklıklar meydana gelmiştir.


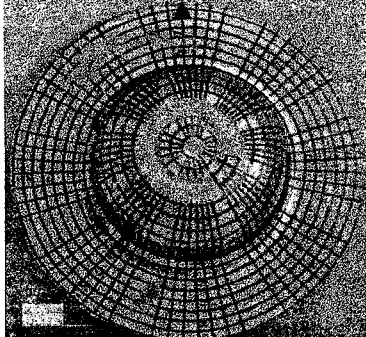
Etial-95'de ise şekilde görüldüğü gibi parçanın kalıbı doldurması % 13 daha iyidir. Parçada oluşan taban çapı 35 mm'ye ulaşmıştır. Kesitte oluşan incelmeden dolayı özellikle taban kavis kenarlarında boyun vermeler oluşmuştur. Deneyde ölçülen detonasyon hız ve basınç grafikleri Şekil IV.23'de verilmiştir.



Şekil IV.23. Deney sırasında ölçülen detonasyon basınç ve hız grafiği

% 120 hacim oranında reaktant kullanılarak yapılan deneylerde 20 mm'lik kalıp derinliğinde elde edilen deney sonuçları Tablo IV.11'de verilmiştir.

Tablo IV.11. Kalıp kavisli 5 mm için % 120 reaktant oranında elde edilen şekillendirilmiş levhalar

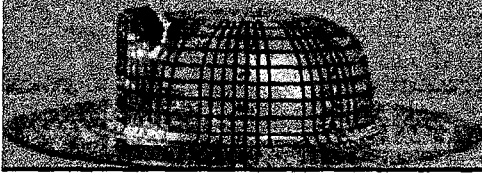
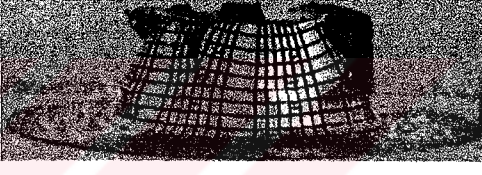
Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 120	2941	1,04	6,88	20	94,3	36,5	9,22E-03	
Etial-98	% 120	2898	1,03	6,23	20	87,3	33	9,39E-03	

Tablodaki parçalar incelendiğinde özellikle Etial-95'de oluşan çatlaklar görülebilmektedir. Bu çatlaklar 5 mm'lik kalıp kavisinde ve 20 mm'lik kalıp derinliğinde % 120 reaktant oranında parçaların yırtılmaya başladığını belirtmektedir. Bu deneyde oluşan ortalama detonasyon basıncı 1,04 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6,88 MPa, detonasyon hızı 2941 m/s, basıncın etki süresi 9,22E-03 s ve taban oturma çapı 33 mm'dir. Parça kalıbı iyi bir şekilde

doldurmuş olmasına rağmen yırtılma başlangıcı sayılabilecek çatlaklar oluşmuştur. Etial-98 deneyinde levha kalıp içine tam olarak yayılamamış ve özellikle boyun veren kısımlarda kesitteki daralmadan yırtılmalar oluşmuştur.

% 140 reaktant oranında yapılan deneylerde her iki malzemede yırtılma ve parçalanmalar meydana gelmiştir Tablo IV.12.

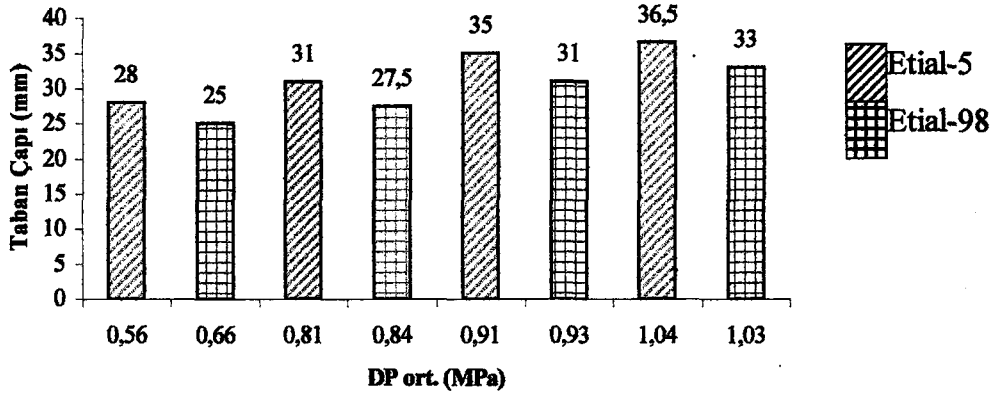
Tablo IV.12. Kalıp kavisi 5 mm için % 140 reaktant oranında elde edilen şekillendirilmiş levhalar

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 140	3030	1,3	8,01	20	-	-	8,43E-03	
Etial-98	% 140	3125	1,2	7,2	20	-	-	9,00E-03	

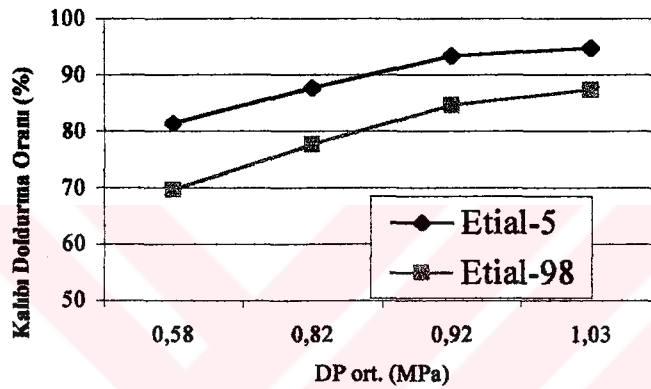
Etial-95'de yırtılmanın sadece bir tarafta meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni parçanın zayıf veya özürülü kısmının detonasyonda meydana gelen basınç ve hıza dayanamaması olabilir. Bu reaktant oranında yapılan tüm deneylerde yırtılmalar oluşmuştur. Etial-98 deneyinde taban kısım tamamen parçalanmıştır. Deney esnasında deneylerdeki en yüksek detonasyon hızına 3125 m/s ulaşılmıştır.

Bu kalıp derinliğinde en iyi şekillenme % 100 reaktant oranında Tablo IV.10'daki deneylerde elde edilmiştir. 20 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile elde edilen ortalama detonasyon basınçlarının taban oturma çapı ve detonasyon basıncı ilişkisi Şekil IV.24'de, kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırması Şekil IV.25'de verilmiştir.

Şekil IV.24ve Şekil IV.25'de görüldüğü gibi 20 mm kalıp derinliğinde Etial-5 malzemesi Etial-98 göre daha az detonasyon basıncı ile daha iyi kalıbı doldurarak yaklaşık % 10 daha iyi şekillenmiştir.



Şekil IV.24. Etial-5 ve Etial -98 Alüminyum malzemelerle 5 mm'lik kalıp kavisinde 20 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Taban çaplarının karşılaştırılması.



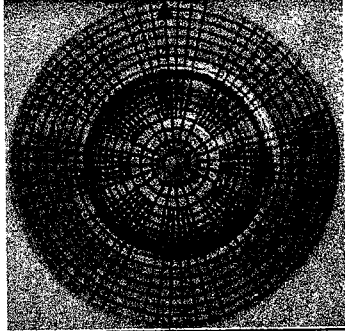
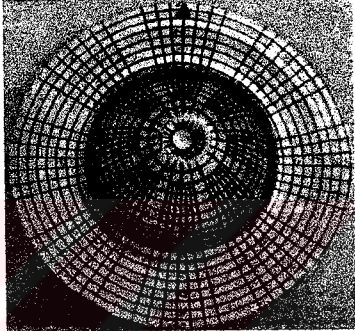
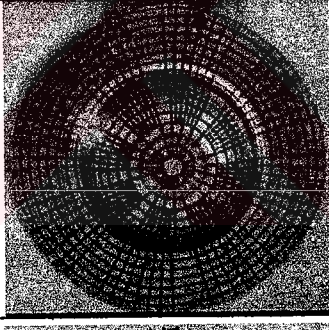
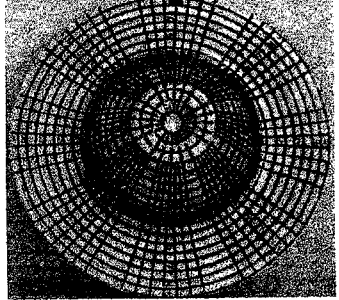
Şekil IV.25. Etial-5 ve Etial -98 Alüminyum malzemelerle 5 mm'lik kalıp kavisinde 20 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması

IV.2.1.2. Kalıp derinliği 22,5 mm için yapılan deneyler

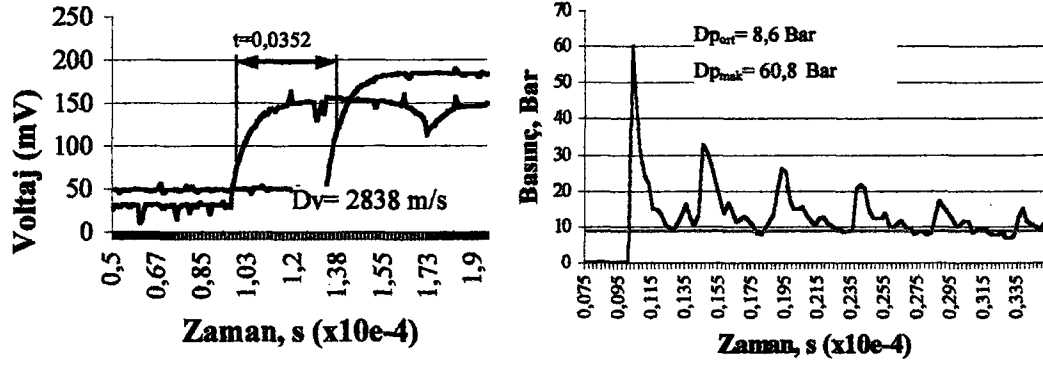
Bu kalıp derinliğinde yapılan deneylerde % 60, % 80 reaktant oranlarında şekillendirmeler düzgün, % 100 reaktant oranında levhalar taban kısımdan parçalanmıştır. Bunun nedeni, kalıp derinliğinin artması ile 5 mm'lik üst kalıp kavisinin yetersiz olması sonucu, parçanın kalıp içine doğru kayması zorlaşmış ve kalıp tabanından yeterince destek alamamıştır.

% 60 ve % 80 reaktant kullanılarak elde edilen detonasyonla şekillendirme deney sonuçları Tablo IV.13'de verilmiştir. Bu deneylerde Etial-95'in daha iyi şekillendiğini % 80 reaktant oranında ÇKDSM'de, kalıbı doldurma oranı % 74,3 ve taban oturma çapı 25 mm ile maksimum şekillenmeye ulaştığı görülmektedir. Bu deneye ait detonasyon basınç ve hız grafiği Şekil IV.26'da verilmiştir. Bu kalıp derinliğinde % 100 reaktant oranında yırtılma olduğu için deneylere % 80 reaktant oranında son verilmiştir.

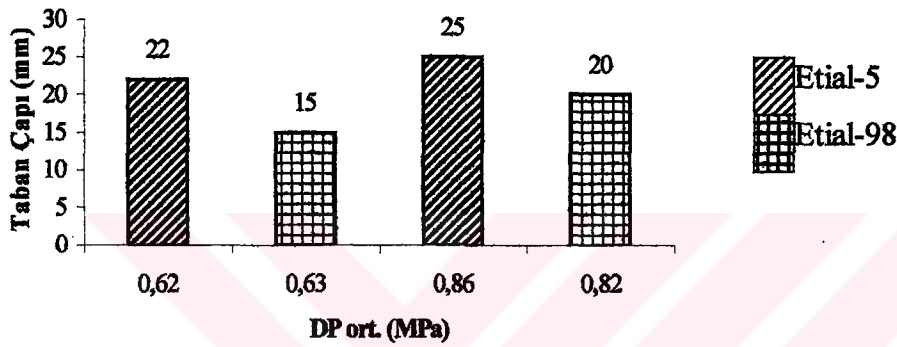
Tablo IV.13. Kalıp kavisi 5 mm için % 60 ve % 80 reaktant oranında 22,5 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile ÇKDŞM’de şekillendirilmiş levhalar

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 60	2718	0,62		22,5	68,6	22	7,44E-03	
Etial-98	% 60	2742	0,63	6,9 9	22,5	57,2	15	7,77E-03	
Etial-5	% 80	2838	0,86	6,0 8	22,5	74,3	25	7,75E-03	
Etial-98	% 80	2857	0,82	5,2 9	22,5	67,8	20	8,28E-03	

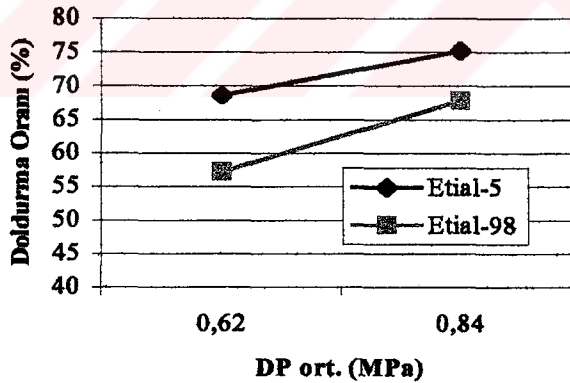
22,5 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde her iki malzeme ile elde edilen taban çaplarının karşılaştırılması ortalama detonasyon basıncı baz alınarak Şekil IV.27’de verilmiştir. Kalıbı doldurma oranları ise Şekil IV.28’deki grafikte görülmektedir. Her iki grafikte de Etial-5 malzemenin daha iyi bir şekillenme kabiliyeti olduğu görülmektedir.



Şekil IV.26. % 80 reaktant oranında 22,5 mm kalıp derinliğinde Etial-5 deneyinde ölçülen hız ve basınç grafiği



Şekil IV.27. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 5 mm'lik kalıp kavisinde 22,5 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Taban çaplarının karşılaştırılması.



Şekil IV.28. Şekil IV.26. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 5 mm'lik kalıp kavisinde 22,5 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması

IV.2.1.3. Kalıp derinliği 25 mm için yapılan deneyler

Bu kalıp derinliğinde yapılan deneyler sadece % 60 reaktant oranı için olumlu sonuç vermiştir. % 80 reaktant oranında yapılan deneylerde parçalar taban kısmından parçalanmıştır.

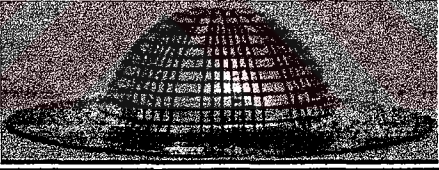
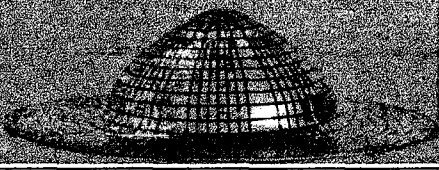
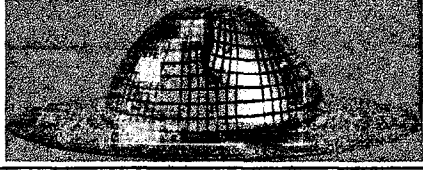
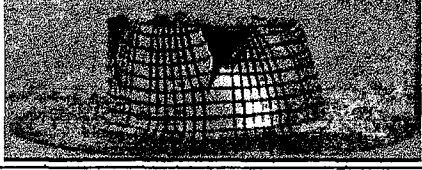
% 60 ve % 80 reaktant oranlarında elde edilen deney sonuçları Tablo

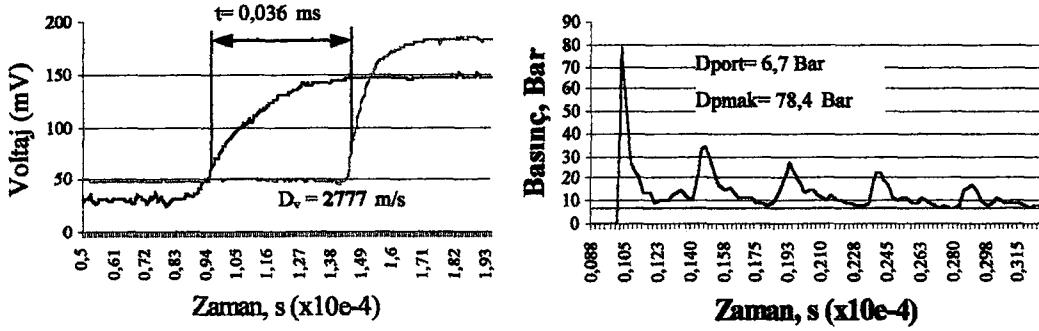
IV.14'de verilmiştir. Bu deneyler incelendiğinde % 60 reaktant oranında Etial-5'de parça tabanı kalıp dibine 7 mm'lik bir çapta oturmuş ve kalıp içini doldurmaya çalışmış fakat kenarlarda çatlaklar oluşmuştur. Muhtemelen parça daha yüksek bir basınçta yırtılacaktır. Etial-98'de ise kalıp derinliğinin fazla olmasından dolayı malzeme kalıp tabanına çok az bir kısımdan temas etmiş dolayısı ile yanlara genişleyememiş ve kalıbı dolduramamıştır. Etial-95 deneyine ait detonasyon basıncı ve detonasyon hız grafikleri Şekil IV.29'da verilmiştir.

Kalıbı doldurma oranlarının derinliğin artması ile azaldığı ve oluşan taban çaplarının da çok küçük olduğu görülmektedir. Etial-5 bu kalıp kavisinde Etial-98'e göre yaklaşık % 10 daha iyi şekillenmiştir.

% 80 reaktant oranında yapılan deneylerde, Etial-5'de yırtılma tabanda sadece hadde yönünde oluşurken, Etial-98'de ise taban tamamen parçalanmıştır. Erken yırtılmanın sebebi derinliğin artması ile parçanın kalıp tabanından destek alamamasıdır. Deneylere bu reaktant oranında 25 mm derinlik için son verilmiştir.

Tablo IV.14. Kalıp kavisi 5 mm için % 60 reaktant oranında 25 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile elde edilen şekillendirilmiş levhalar

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 60	2777	0,6 7	7,8	25	70,4	7	7,04E-03	
Etial-98	% 60	2717	0,6 7	7,73	25	61,3	4	6,99E-03	
Etial-5	% 80	2816	0,8 4	5,1	25	-	-	7,84E-03	
Etial-98	% 80	2857	0,8 9	5,12	25	-	-	8,50E-03	



Şekil IV.29. 25 mm kalıp derinliğinde % 60 reaktant oranında Etial-5 deneyinde ölçülen detonasyon basınç ve hız grafiği

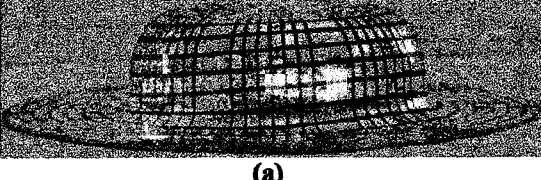
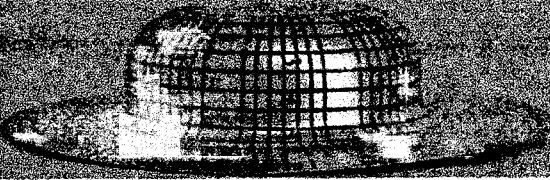
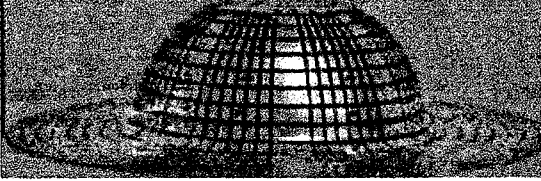
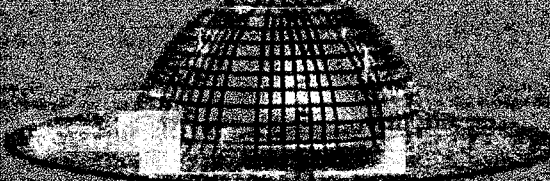
IV.2.1.4. 5 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi ve Preste Elde Edilen Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması

Bu kalıp üst kavisinde, 20 mm kalıp derinliğinde ÇKDŞM ile yapılan şekillendirme deneylerinde en optimum sonuç ortalama detonasyon basıncının 0,91 MPa olduğu % 100 reaktant oranında elde edilmiştir (Şekil IV.30 (b)).

Kalıp derinliği 22,5 mm'de ÇKDŞM ile yapılan şekillendirme deneylerinde en iyi sonuç ortalama detonasyon basıncının 0,86 MPa olduğu % 80 reaktant oranında elde edilmiştir (Şekil IV.30 (c)).

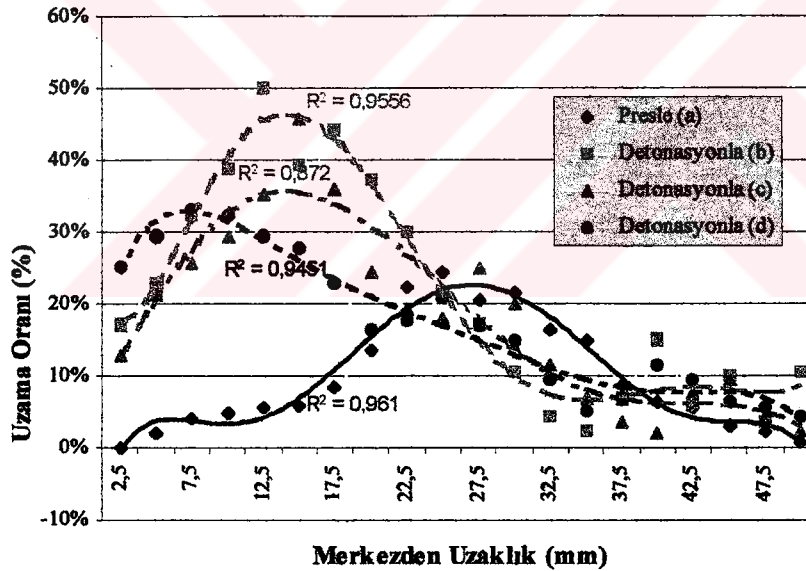
Kalıp derinliği 25 mm'de ÇKDŞM ile yapılan şekillendirme deneylerinde alınan en iyi sonuç ortalama detonasyon basıncının 0,67 MPa olduğu % 60 reaktant oranında elde edilmiştir (Şekil IV.30 (d)) .

Bu deney sonuçlarını geleneksel derin çekme ile karşılaştırmak için aynı kalıp ve Şekil IV.2 (b)'deki zımba kullanılarak Etial-5 malzeme ile 10 adet deney yapılmıştır. Yapılan bu deneylerde kalıp derinliği serbest bırakılmış ve parça maksimum derinliğe kadar şekillendirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre levha 8840 N zımba kuvveti ile 18 mm kalıp derinliğini geçtikten sonra yırtılmaktadır. Yırtılma olmadan elde edilen en iyi sonuç 8700 N zımba kuvvetinde 17 mm kalıp derinliğidir (Şekil IV.30 (a)). Bu deney sonucu 20 mm, 22,5 mm ve 25 mm kalıp derinliklerinde Etial-5 kullanılarak detonasyonla şekillendirilen parçalarla birim uzama, kesitte ki daralma ve şekillenme açısından karşılaştırılmıştır (Şekil IV.31, Şekil IV.32).

				
(a)		(b)		
Zımba Kuv. = 8700 N	Hız = 0,25 mm/ s	DP _{ort} = 0,91 MPa	DP _{mak} = 7,2 MPa	Dv = 2816 m/s
h = 17 mm	r = 5 mm	R.Oranı = % 100	h = 20 mm	T.Çapı = 35 mm
				
(c)		(d)		
DP _{ort} = 0,86 MPa	DP _{mak} = 6,08 MPa	Dv = 2838 m/s	DP _{ort} = 0,67 MPa	DP _{mak} = 7,8 MPa
R.Oranı = % 80	h = 22,5 mm	T. Çapı = 25 mm	R.Oranı = % 60	h = 25 mm
T.Çapı = 7 mm				

Şekil IV.30. Kalıp kavis yarıçapı 5 mm için Etial-5 ile preste ve ÇKDŞM'de şekillendirilen parçalar

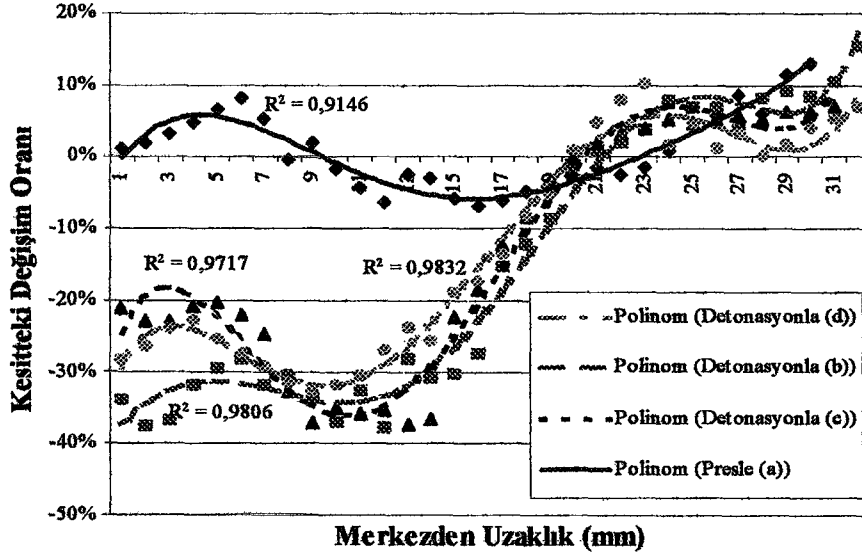
Bu parçalara ait birim uzama grafikleri Şekil IV.31'de verilmiştir.



Şekil IV.31. Kalıp üst kavisi 5 mm için preste ve detonasyonla şekillenen parçaların birim uzama grafikleri

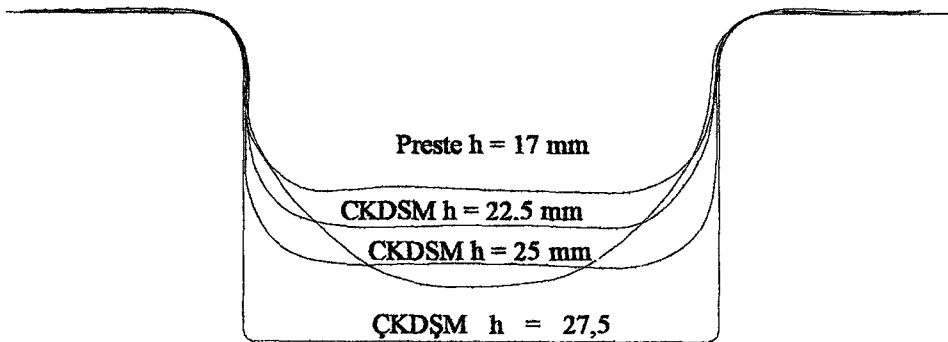
Bu grafik incelendiğinde preste elde edilen parçada uzamanın daha çok zımba kavisinin temas ettiği kısımlarda olduğu, en fazla % 25 seviyesinde kaldığı, detonasyonla elde edilen parçada ise birim uzamaların genelde parçanın merkezinde daha yoğunlaştığı ve kalıp derinliği 20 mm için % 50'ye ulaştığı görülmektedir. Parça boyunca bütün uzamayı ele aldığımızda preste yapılan şekilde birim uzamanın belli bir bölgede, detonasyonla şekillendirilen parçadaki birim uzamayı geçtiğini

fakat genelde detonasyonla oluşan birim uzamaların daha baskın olduğu görülmektedir.



Şekil IV.19. 5 mm'lik Kalıp üst kavisi için presle ve detonasyonla elde edilen kesitteki değişim oranları

Aynı parçaların kesitteki değişim oranlarını veren grafikler Şekil IV.32'de verilmiştir. Kesitteki değişim oranları incelendiğinde ÇKDŞM ile şekillendirmede % 35'lere varan değişim oranı, presle şekillendirmede % 15'de kalmıştır. ÇKDŞM ile şekillendirmede kesitteki değişim oranı merkezde ve parçanın kenarların da yoğunlaşırken, preste şekillenen parçada zımba taban kavis bölgesi ve kenarlarda değişim oranı yoğunlaşmaktadır. Kalıp üst kavisi 5 mm için tüm derinliklerde ÇKDŞM'de yapılan şekillendirmelerin birim uzama ve kesitteki değişim oranları preste şekillenen parçadan daha iyi sonuç vermektedir. Kesit değişiminin maksimuma ulaştığı nokta % 35 ile 22,5 mm ve 25 mm kalıp derinliğinde % 80 ve % 60 reaktant oranlarında elde edilen Şekil IV.30'da gösterilen (c) ve (d) parçalarıdır.



Şekil IV.20. 5 mm'lik kalıp kavisinde kalıp derinliğinin şekillenmeye etkisinin karşılaştırılması

5 mm'lik kalıp kavisinde Şekil IV.30'daki levhaların kalıbı doldurma ve kalıp derinliğine göre şekillenme oranlarının karşılaştırılması Şekil IV.33'de görülmektedir. Preste 17 mm derinlikte ve ÇKDŞM'de 22,5-27,5 mm derinliğinde şekillendirilen bu parçalarda en optimum sonuç 22,5 mm kalıp derinliğinde Şekil IV.30 (b)'de gösterilen parçada elde edilmiştir. Tabandaki geri yaylanma çok az miktarda oluşmuş levha kalıbı doldurmuştur. Kalıp derinliği arttıkça kalıbı doldurma oranı azalmış ve 30 mm kalıp derinliğinde levhalar taban kısımdan parçalanmıştır.

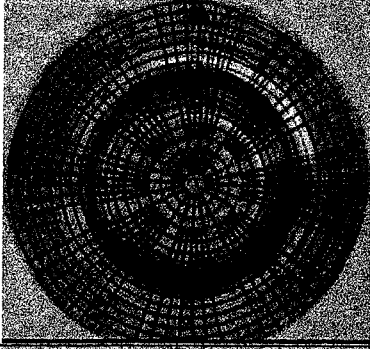
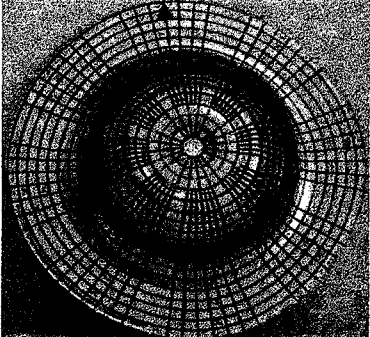
IV.2.2. r = 10 mm'lik Kalıp Üst Kavisinin Şekillenmeye Etkisi

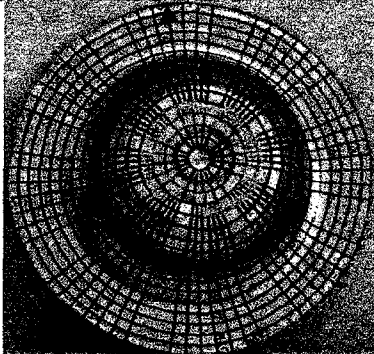
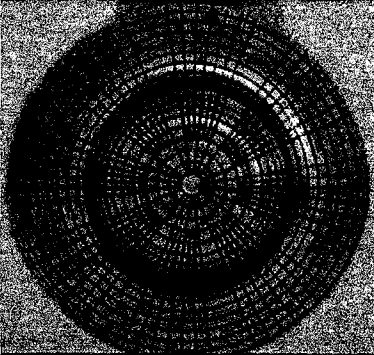
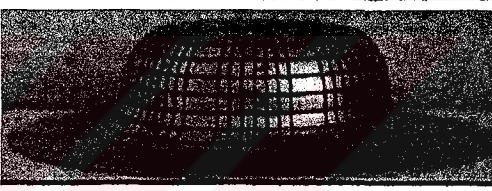
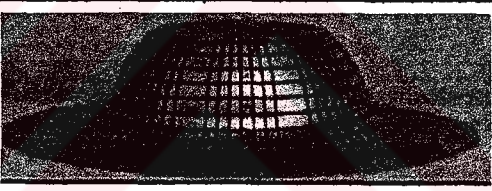
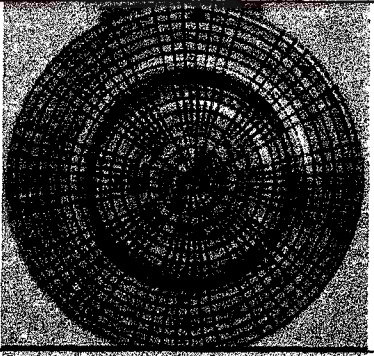
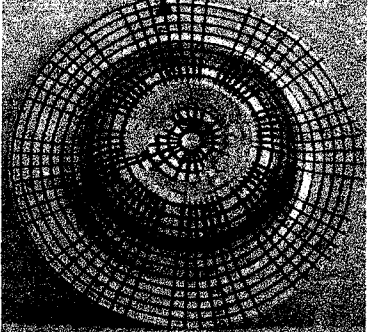
Bu kalıp ile yapılan ÇKDŞM deneylerinde kalıp derinlikleri 27,5 mm, 25 mm, 22,5 mm ve 20 mm'ye ayarlanarak, reaktant oranları % 60, % 80, %100 ve %120 kullanılarak deneyler yapılmıştır. % 140 reaktant oranında yırtılma meydana geldiği için deneyler yapılmamıştır.

IV.2.2.1. Kalıp Derinliği 20 mm İçin Yapılan Deneyler

Bu derinlikte % 60, % 80, % 100, % 120 reaktant oranlarında yapılan deney sonuçları Etial-98 ve Etial-5 için Tablo IV.15'de verilmiştir.

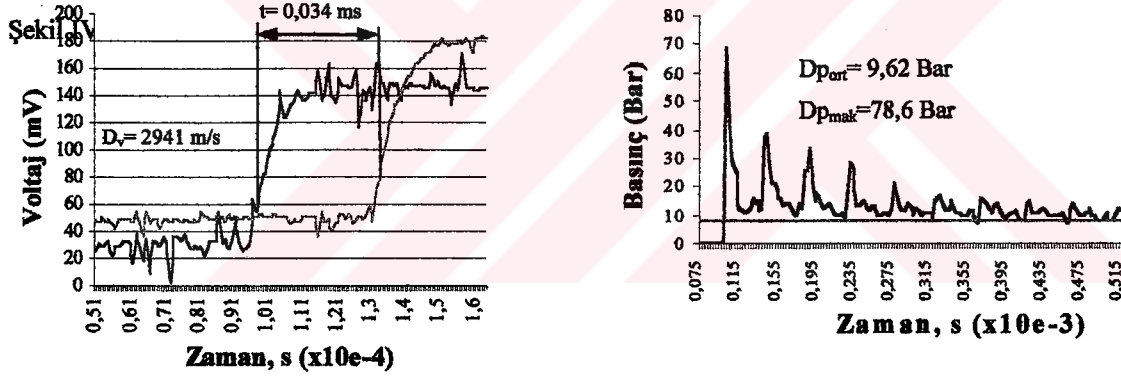
Tablo IV.15 Kalıp kavisi 10 mm için % 60, % 80, % 100 ve % 120 reaktant oranında Etial-5, Etial-98 ile elde edilen şekillendirilmiş levhalar

Malz. Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etld Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5 % 60	2745	0,7	7,4	20	71	35	7,64E-03	
Etial-98 % 60	2642	0,78	6,2	20	67	32	7,05-03	

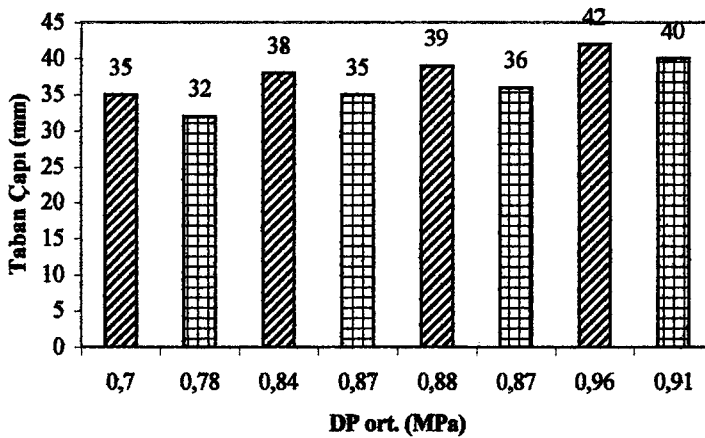
EtiaI-5	% 80	2792	0,84	7,07	20	82,3	38	7,64E-03	
EtiaI-98	% 80	2777	0,87	7,02	20	73,4	35	7, 85-03	
EtiaI-5	% 100	2857	0,88	6,4	20	86,6	39	7,78E-03	
EtiaI-98	% 100	2898	0,87	5,41	20	80,5	36	7, 93E-03	
EtiaI-5	% 120	2941	0,96	7,8	20	94,7	42	7,44E-03	
EtiaI-98	% 120	3076	0,91	9,5	20	90,2	40	8,58E-03	

Bu deneyler incelendiğinde Etial-5 ile yapılan deneylerin kalıbı daha iyi doldurduğu ve bazen kalıp tabanında çarpmanın etkisi ile (en büyüğü 6 mm çapında ve 1 mm derinliğinde) bir krater oluşmuştur. Levha kenarlarında çok hafif kırışıklıklar oluşmuştur. Bu kalıp derinliğinde en iyi sonuçlar % 100 ve % 120 reaktant oranlarında elde edilmiştir. % 120 reaktant oranında yapılan deneylerde ÇKDT'ye % 100 oranında reaktant gönderildikten sonra sistem kapatılmış ve % 20 reaktant daha gönderilerek ateşleme yapılmıştır. Reaktant oranının artması ile detonasyon basıncı ve hızı da artmakta ve tabanda oluşan kraterlerde artmaktadır. Bunun detonasyon basıncı, detonasyon hızının fazla olmasından ve detonasyon basıncı etki süresinin az olmasından dolayı kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Ayrıca levhanın tabana çarpması sonucu geri esneme olayının fazla olması ve ardı ardına gelen detonasyon basınç dalgalarının etkisiz kalması da düşünülebilir.

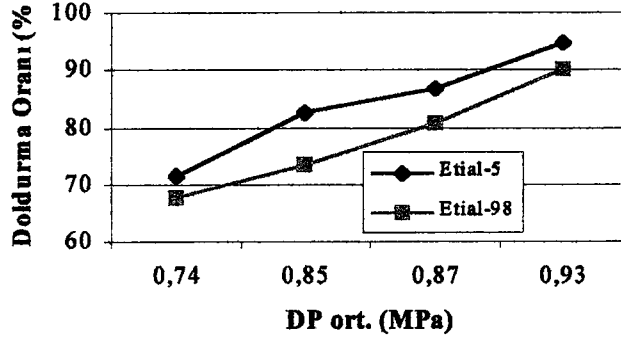
% 120 reaktant oranında Etial-5 ile şekillenen parçaya ait detonasyon basıncı ve hızı ölçüm sonuçları Şekil IV.34'de verilmiştir. Parça taban çapı 42 mm ve basıncın etki süresi $7,44E-03$ s olarak gerçekleşmiştir.



Şekil IV.34. % 100 reaktant oranında Etial-5 deneyinde ölçülen detonasyon hız ve basınç grafiği



Şekil IV.35. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 10 mm'lik kalıp kavisinde 20 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Taban çaplarının karşılaştırılması.



Şekil IV.36. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 10 mm'lik kalıp kavisinde 20 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması

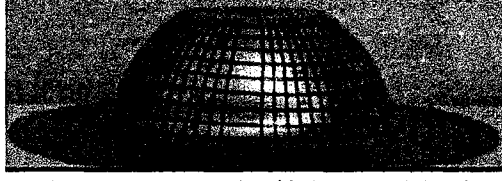
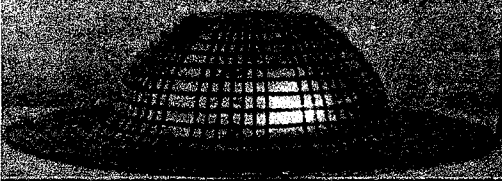
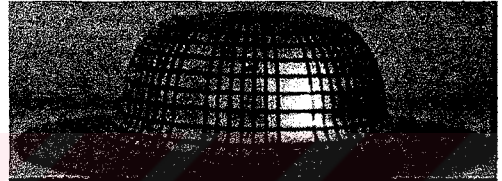
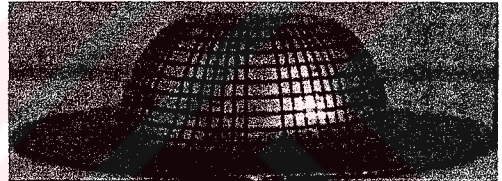
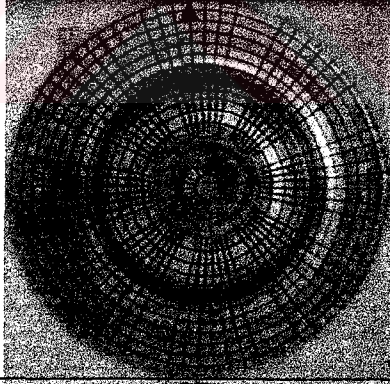
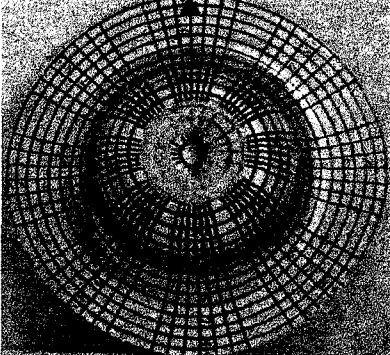
Etial-5 ve Etial-98 ile yapılan deneylerde oluşan taban çapları ile ortalama detonasyon basıncı arasındaki ilişki Şekil IV.35'de, kalıbı doldurma oranlarının ortalama detonasyon basıncı baz alınarak karşılaştırılması ise Şekil IV.36'da görülmektedir. Ortalama detonasyon basıncı arttıkça her iki malzemenin de kalıbı doldurma oranı artmakta ve Etial-5, Etial-98'e göre 10 mm'lik kalıp kavis ve 20 mm derinlikte % 5 daha iyi şekillenmektedir.

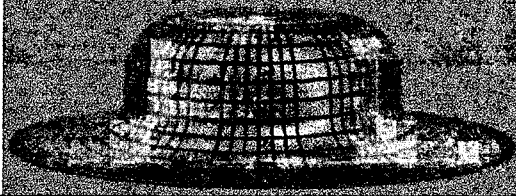
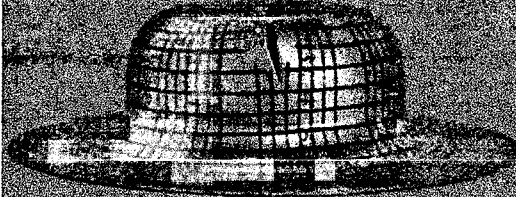
IV.2.2.2. Kalıp Derinliği 22,5 mm İçin Yapılan Deneyler

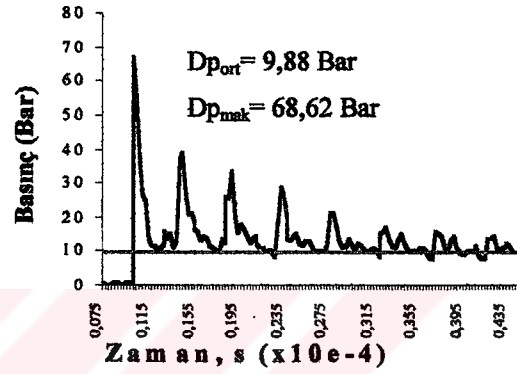
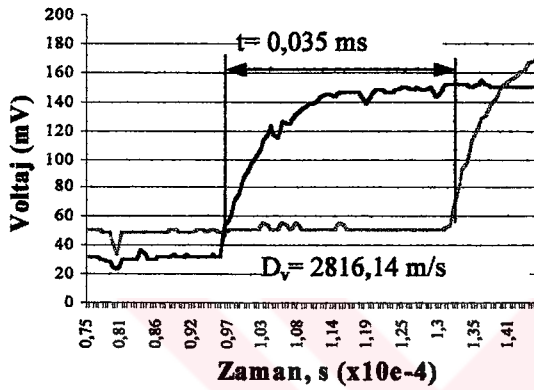
Bu kalıp derinliğinde % 60, % 80, % 100 ve % 120 reaktant oranlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler Tablo IV.16'da görülmektedir. Deney sonuçlarına bakıldığında % 100 reaktant oranında maksimum şekillenmeye ulaşıldığı ve % 120 reaktant oranında parçaların yırtılmaya başladığı görülmektedir. Bu kalıp kavisinde parçaların tabanında genelde ufak kraterler oluştuğu ve maksimum şekillenmenin olduğu % 100 reaktant oranında Etial-5'de bu kraterin 5 mm çapında 1,5 mm derinliğinde olduğu ölçülmüştür.

Etial-98'deneyinde kraterler az miktarda daha büyük (1,5 mm derinlikte 6 mm çapında) ve hafif buruşukluk oluşmuştur. Etial-5 deneyine ait detonasyon basıncı ve detonasyon hız grafikleri Şekil IV.37'de verilmiştir. Detonasyon basıncının etki süresi $7,76E-03$ s ve parçanın taban çapı 36 mm'dir.

Tablo IV. 16 Kalıp kavisi 10 mm için, 22,5 mm derinlikte % 60, % 80, % 100 ve % 120 reaktant oranında elde edilen şekillendirilmiş levhalar.

Malz	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalın Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etldi Sırası (s)	Şekillenen Parça
Etiol-5	% 60	2748	0,73	6,8	22,5	74,3	29	7,27E-03	
Etiol-98	% 60	2742	0,72	6,3	22,5	70,1	27,5	6,53E-03	
Etiol-5	% 80	2898	0,82	6,3	22,5	81,9	32	7,42E-03	
Etiol-98	% 80	2857	0,88	6,7	22,5	74,8	30	7,95E-03	
Etiol-5	% 100	2816	0,98	6,8	22,5	91,4	36	7,760E-03	
Etiol-98	% 100	2898	0,94	6,7	22,5	85,1	34	8,54E-03	

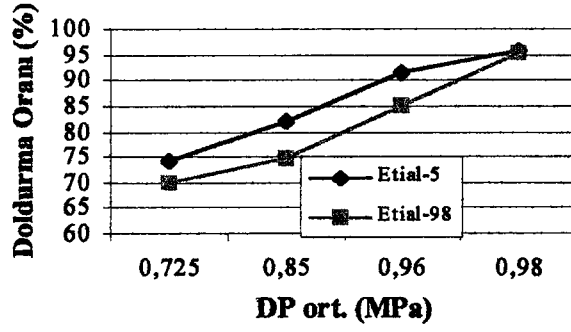
Etial-5	% 120	2916	1,04	6,9	22,5	95,8	38	8,870E-03	
Etial-98	% 120	2940	0,96	6,7	22,5	95,3	37	6,14E-03	



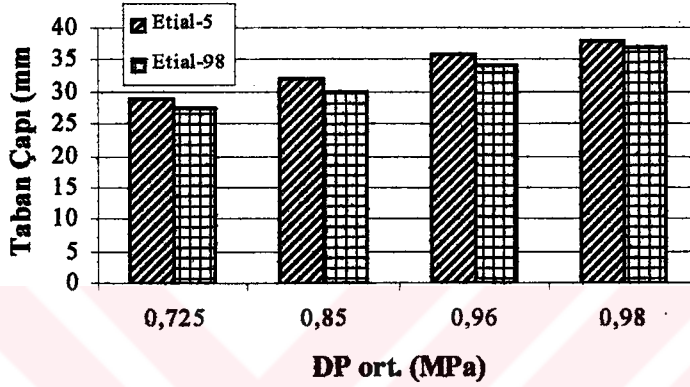
Şekil IV.37. 22,5 mm kalıp derinliğinde % 100 reaktantta Etial-5 deneyinde ölçülen detonasyon hız ve basınç grafiği

% 120 reaktant oranında yapılan deneylerde parçalarda çizgi şeklinde yırtılmalar oluşmuştur. Etial-98 deneyinde parça kalıbı doldurmuş fakat haddeleme yönünde merkezden 15-20 mm uzaklıkta aksenal yönde iki taraftan yırtılmış ve tabanda krater oluşmuştur. Detonasyon basıncının etkisiyle levha şekillenirken bazı bölgelerde aşırı uzamalar meydana gelmiş, parça orta noktasından tabana çarparak geri esnemesi sonucu 2 mm derinliğinde ve 10 mm çapında bir krater oluşmuştur. Özellikle malzemenin hadde yönünde meydana gelen uzamadan dolayı parçanın yırtıldığı düşünülmektedir. Dikkati çeken bir nokta detonasyon basıncının artması ile oluşan kraterlerinde büyümesidir. Etial-5 deneyinde ise parça tabanda, tek kenarda haddeleme yönüne ters olarak çok az yırtılmış ve 2 mm derinliğinde 10 mm çapında bir krater oluşmuştur.

22,5 mm derinlikte malzemelerin kalıbı doldurma oranları Şekil IV.38'de verilmiştir. Belli bir detonasyon basıncına kadar artış gösteren bu oranlar 0,9 MPa'dan sonra özellikle kalıbın % 90 kısmının dolmasından sonra parçaları yırtmaya başlamakta ve 0,98 MPa da yırtılma başlamaktadır.



Şekil IV.38. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 10 mm'lik kalıp kavisinde 22,5 mm derinlikte elde edilen Kalıbı Doldurma oranlarının karşılaştırılması



Şekil IV.39. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 10 mm'lik kalıp kavisinde 22,5 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Taban çaplarının karşılaştırılması.

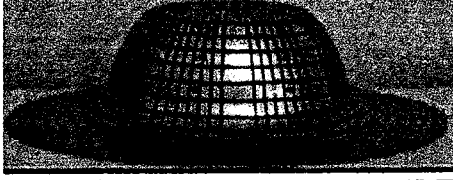
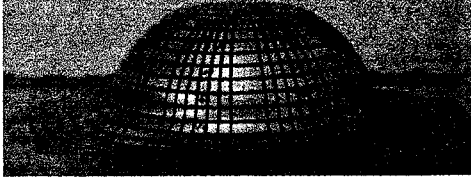
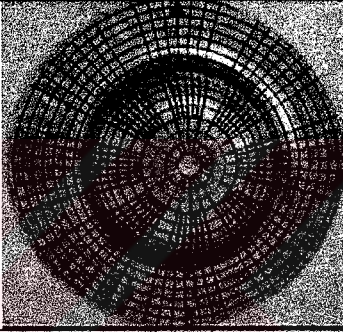
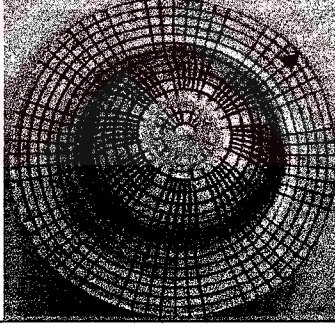
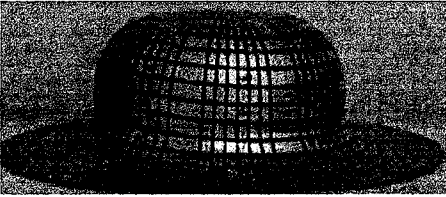
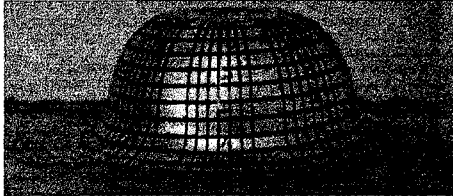
Detonasyon basıncına göre oluşan taban çapları ise Şekil IV.39'da verilmiştir. Bu grafikte de Etial-5 malzemenin diğer malzemeye göre kalıp içine daha iyi yayılarak taban oturma çaplarını genişlettiğini fakat 0,9 MPa ortalama detonasyon basıncından sonra malzemelerin yayılma oranlarının azaldığı ve birbirine yaklaştığı görülmektedir.

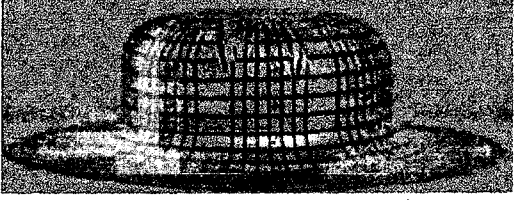
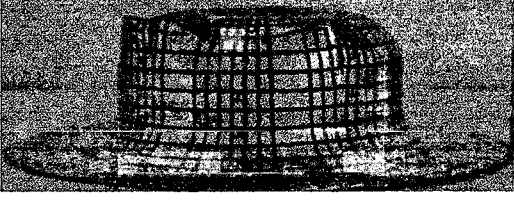
IV.2.2.3. Kalıp Derinliği 25 mm İçin Yapılan Deneyler

Bu kalıp derinliğinde yapılan deneylerde % 60, % 80, % 100 ve % 120 reaktant oranları kullanılmıştır (Tablo IV.17). % 120 reaktant oranında kullanılan her iki malzemede yırtılmıştır.

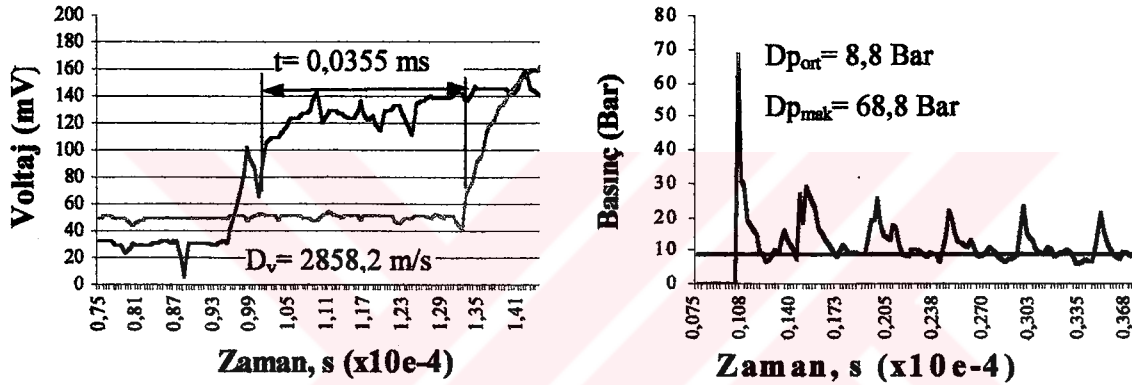
Bu kalıp kavisinde 25 mm derinlikte yapılan şekillendirmelerde maksimum şekillenme % 100 reaktant oranında gerçekleşmiştir. Bu deneyler incelendiğinde Etial-5'in Etial-98'e göre kalıbı daha iyi doldurduğu, kenarlarda çok hafif kırışıklıklar olduğu görülmektedir. Derinliğin artması ile her iki parça iç yüzeyinde yırtılmaya sebep verebilecek boyun vermeler oluşmuştur.

Tablo IV.17. Kalıp kavisi 10 mm için % 60, % 80, % 100 ve % 120 reaktant oranında 25 mm kalıp derinliğinde elde edilen şekillendirilmiş levhalar

Malz. Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etikl Şİresl (s)	Şekillenen Parça
Etial-5 % 60	2742	0,67	6,58	25	76,5	25	7,05E-03	
Etial-98 % 60	2696	0,68	6,5	25	67,3	22	7,03E-03	
Etial-5 % 80	2857	0,82	6,4	25	90	30	7,99E-03	
Etial-98 % 80	2841	0,83	7,5	25	82,2	28	8,43E-03	
Etial-5 % 100	2858	0,88	6,8	25	94,5	7,66E-03		
Etial-98 % 100	2877	0,86	6,45	25	88,2	30	7,44E-03	

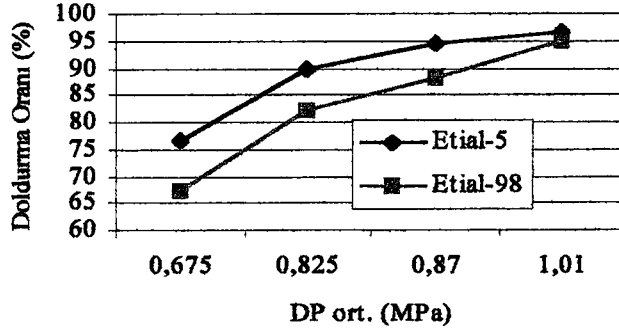
Etial-5	% 120	2941	1,01	7,5	25	96,8	32	7,43E-03	
Etial-98	% 120	2958	1,01	6,85	25	94,7	30	6,54E-03	

% 100 reaktant oranında Etial-5 deneyi esnasında ölçülen basınç ve hız grafikleri Şekil IV.30'da verilmiştir. Basıncın etki süresi $7,66E-03$ s ve taban çapı 32 mm'dir.

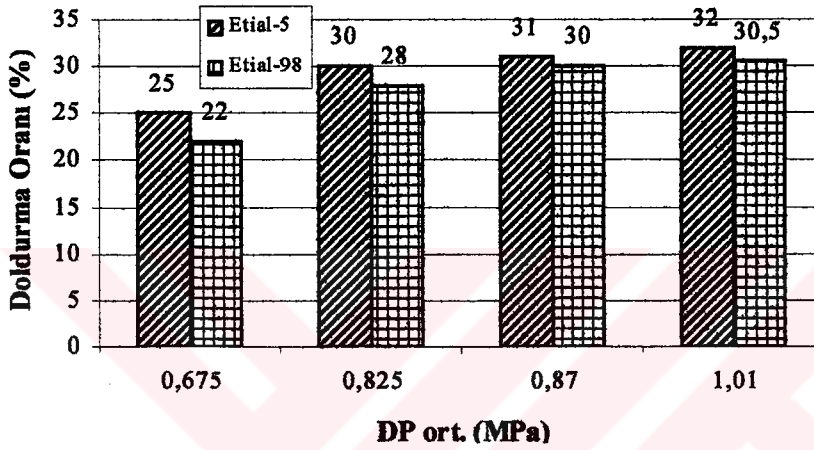


Şekil IV.40. 25 mm kalıp derinliğinde % 100 reaktant oranında Etial-5 deneyinde ölçülen detonasyon hız ve basınç grafiği

Reaktant oranı % 120 deneylerinde parçalar kalıbın şeklini almış fakat tabandan parçalanmıştır. Etial-5 deneyinde parça taban kavisinin olduğu kısımdaki çatlaklardan yırtılmıştır. Yırtılma taban kavisinde en büyükleri hadde yönünde olmak üzere 5 bölgede meydana gelmiştir. 25 mm kalıp derinliğinde her iki malzeme ile yapılan deneylerde kalıbı doldurma oranları Şekil IV. 41'de verilmiştir. Etial-5'in şekillenme kabiliyetinin daha iyi olduğu ve yapılan deneylerde kalıbı en iyi dolduran şekillenme % 100 reaktant oranında 0,88 MPa detonasyon basıncında gerçekleşmiştir. % 100 oranında 1 MPa ortalama detonasyon basıncında parçalar maksimum kalıbı doldurma oranına ulaşmışlar fakat yırtılmışlardır. Malzemelerin tabanda oluşturdukları yayılma çapları Şekil IV.42'de görülmektedir. Detonasyon basıncı arttıkça tabandaki yayılma oranları birbirine yaklaşmakta 0,87 MPa'da her iki malzemede maksimuma ulaşmakta ve daha sonra yırtılmaktadır.



Şekil IV.41. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 10 mm'lik kalıp kavisinde 22,5 mm derinlikte elde edilen Kalıbı Doldurma oranlarının karşılaştırılması



Şekil IV.42. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 10 mm'lik kalıp kavisinde 22,5 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Taban çaplarının karşılaştırılması.

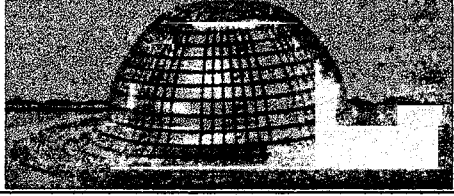
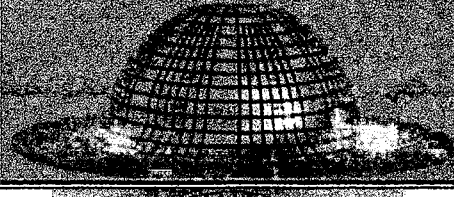
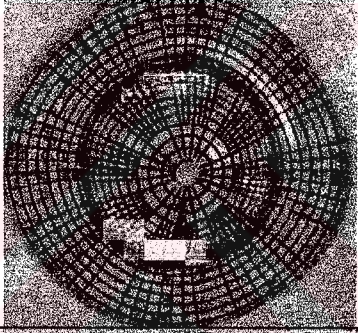
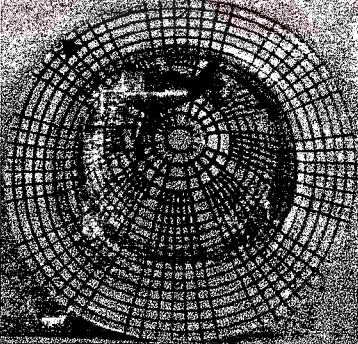
IV.2.2.4. Kalıp Derinliği 27,5 mm İçin Yapılan Deneyler

Bu kalıp derinliğinde % 60 ve % 80 reaktant oranlarında deneyler gerçekleştirilmiş ve Tablo IV.18'de verilmiştir.

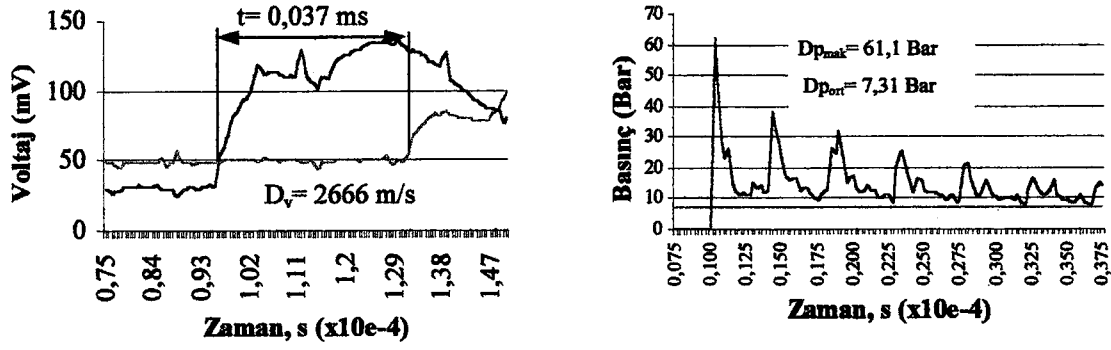
Kalıp derinliğinin artırılması ile parçanın tabana çarpan kısmı azalmakta, yanlara doğru genişlemesi düşmekte ve şekillenmede bu nedenle yetersiz olmaktadır. Bu derinlikte detonasyon basıncının artırılması ile parçalar yırtılmaya başlamış ve deneylere % 80 reaktant oranında son verilmiştir. Elde edilen maksimum şekillendirmeler % 60 reaktant oranındadır. Etial-5 deneyinde parça kalıbı dolduramamış ve kenarlarda hafif kırışıklık oluşmuştur. Bu deneye ait detonasyon basınç ve hız grafikleri Şekil IV.43'de verilmiştir. Deneyde ölçülen ortalama detonasyon basıncı 0,731 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6,1 MPa, detonasyon hızı 2666 m/s, parçanın taban çapı 20 mm'dir. Kalıbı doldurma oranları ise % 80 reaktant oranında Etial-5 için % 90,3 iken parça yırtılmıştır. Kalıp derinliği arttıkça parçaların kalıbı doldurma

oranları düşmekte ve yırtılma detonasyon basınçları da daha erken reaktant oranında meydana gelmektedir.

Tablo IV.18. Kalıp kavisi 10 mm için % 60 ve % 80 reaktant oranında levhalar 27,5 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile yapılan deney sonuçları.

Malz. Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	Dpmak. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5 % 60	2666	0,73	6,1	27,5	84,3	20	6,84E-03	
Etial-98 % 60	2742	0,73	6,02	27,5	74,8	18	7,65E-03	
Etial-5 % 80	2828	0,84	7,34	27,5	90,36	24	6,54E-03	
Etial-98 % 80	2816	0,83	7,58	27,5	-	18	8,45E-03	

% 80 reaktant oranındaki Etial-98 deneyinde parça taban kısmında haddeleme yönünde parçalanmış, Etial-5 ile yapılan deneyde parça tabandan haddeleme yönünde yırtılma başlangıcı denebilecek şekilde iki taraflı yırtılmıştır.



Şekil IV.43. 25 mm kalıp derinliğinde % 100 reaktant oranında Etial-5 deneyinde ölçülen detonasyon hız ve basınç grafiği

IV.2.2.5. 10 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi ve Preste Elde Edilen Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması

Kalıp kavis yarıçapı 10 mm için Etial-98 ve Etial-5 ile ÇKDŞM'da yapılan deneylerde Etial-5 malzemenin tüm deneylerde daha iyi şekillendiği görülmüştür. Yapılan deneyler incelendiğinde reaktant oranının artırılması ile detonasyon basınç ve detonasyon hız değerlerinin de genelde arttığı görülmektedir. Genellikle bu kalıp kavisinde en iyi şekillenen parçalar % 100 ve % 80 reaktant oranında elde edilmiştir.

Şekiller incelendiğinde basınç oranlarının artırılması ile şekillenme miktarının da arttığı belli bir basınçtan sonra ise değişimin çok azaldığı görülmektedir. Parça ortalama detonasyon basıncı 9,88 MPa'da ÇKDŞM ile 20 mm derinlikte maksimum şekillenme düzeyine ulaşmıştır.

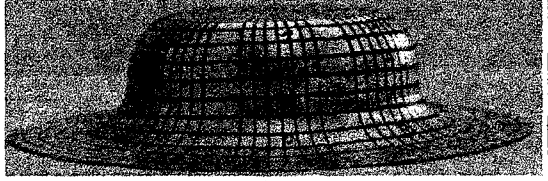
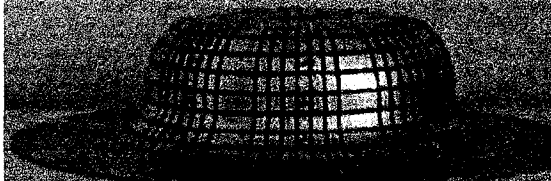
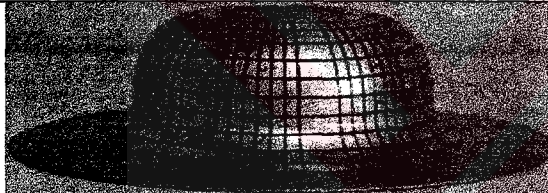
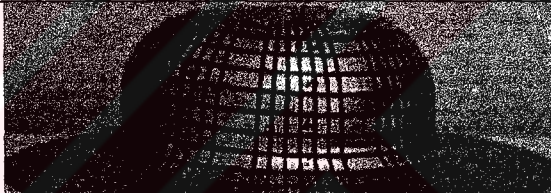
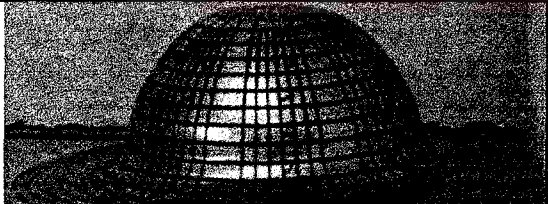
% 140 reaktant oranı için 20 mm kalıp derinliğinde ortalama detonasyon basıncı 1 MPa'dan sonra yırtılma olmuştur. % 120 reaktant oranında kalıp derinliği 22,5 mm için ortalama detonasyon basıncı 0,88 MPa'a ulaştıktan sonra ve kalıp derinliği 25 mm'de ortalama detonasyon basıncı 1,01 MPa'da parçalar yırtılmıştır. Kalıp derinliği 27,5 mm için % 80 reaktant oranında 0,84 MPa'da levhalar parçalanmıştır.

Bu kalıp kavisinde derinlik ve detonasyon basıncının artırılması ile parçaların tabanında merkezde küçük kraterler oluşmuştur. Literatürde yüksek hızda şekillendirilmiş parçalarda böyle küçük kraterler olduğu rapor edilmektedir [19]. Bu kraterlerin derinliği vakumlama ile azaltılmış ve bazen de tamamen yok edilmiştir.

Kalıp kavisi 10 mm için Etial-5 ile ÇKDŞM'da yapılan deneyler değerlendirilerek her derinlik de optimum şekillenen bir parça preste derin çekme ile

birim uzama ve kesitteki değişim açısından karşılaştırmak amacı ile seçilmiştir. Bunlar Şekil IV.44 b,c,d,e’de şekillenme şartları ile birlikte verilmiştir.

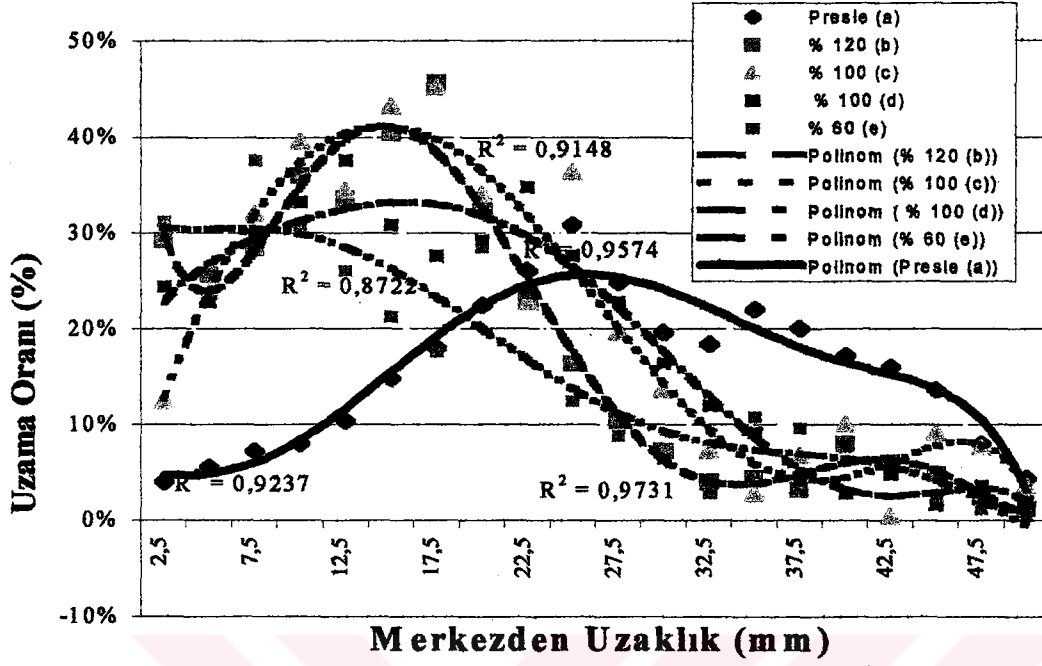
Bu deneyleri geleneksel derin çekme ile karşılaştırmak amacı ile ÇKDŞM’da kullanılan aynı kalıpla (kavis yarıçapı 10 mm ve kalıp derinliği 30 mm), Şekil IV.2 (b)’deki zimba kullanılarak 10 adet deney yapılmıştır. Bu deneylerde, 7161 N zimba kuvvetinde ve 21 mm derinlikte parçaların yırtılmaya başladığı tespit edilmiştir. Yırtılma olmadan 6860 N zimba kuvvetinde 20,5 mm derinlikte Şekil IV.44 (a) parçası elde edilmiştir.

					
(a)			(b)		
Zimba Kuv.= 6860 N	Hız = 0,25 mm/ s	DP _{ort} = 0,96 MPa	DP _{mak} =7,86 MPa	Dv = 2941 m/s	
h= 20,5 mm	r = 10 mm	R.Oranı = % 120	h = 20 mm	T.Çapı = 42 mm	
					
(c)			(d)		
DP _{ort} = 0,86 MPa	DP _{mak} = 6,4 MPa	Dv = 2777 m/s	DP _{ort} = 0,88 MPa	DP _{mak} = 6,8 MPa	Dv = 2819 m/s
R.Oranı = % 100	h = 22,5 mm	T. Çapı = 36 mm	R.Oranı = %100	h = 25 mm	T.Çapı = 32 mm
					
(e)					
DP _{ort} = 0,65 MPa	DP _{mak} = 6,1 MPa	Dv = 2666 m/s			
R.Oranı = % 60	h = 27,5 mm	T. Çapı = 19 mm			

Şekil IV.44. Kalıp kavisi 10 mm için preste (a) ve ÇKDŞM’da Etial-5 ile 20 mm (b), 22,5 mm (c), 25 mm (d) ve 27,5 mm(e) derinlikte elde edilen deney sonuçları.

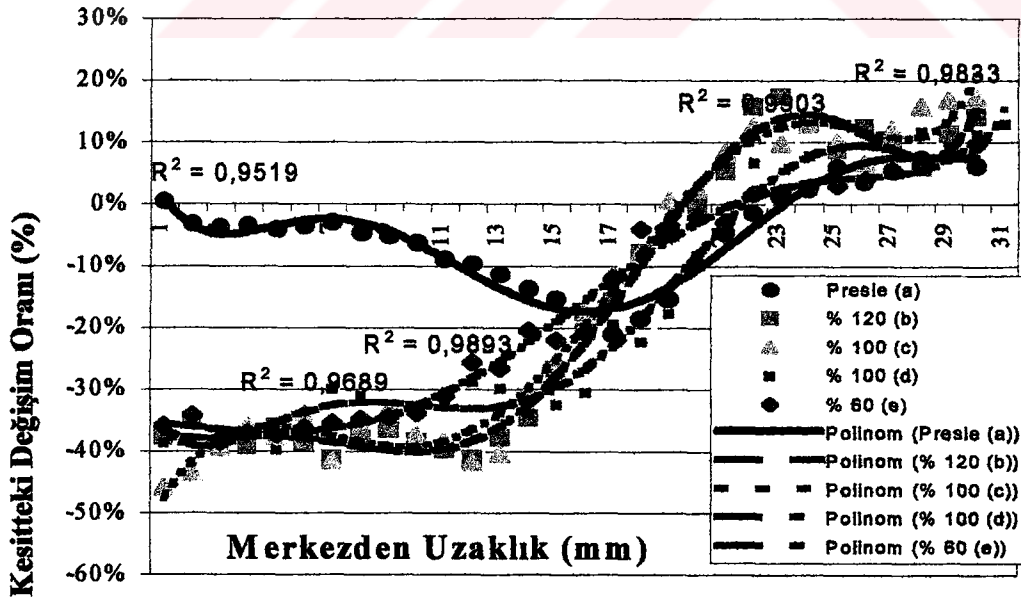
ÇKDŞM ve presle şekillendirilen Şekil IV.44’deki parçaların birim uzama ve kalınlık değişim grafikleri Şekil IV.45 ve Şekil IV.46’da verilmiştir. Parçaların birim uzama grafikleri incelendiğinde en fazla birim uzamanın % 45 ile % 120 reaktant oranında (b) parçasında elde edildiği, detonasyonla elde edilen parçalarda genellikle

birim uzamaların merkezde yoğunluk kazandığı görülmektedir. Presle elde edilen parçada ise en fazla % 30 civarında birim uzama olduğu görülmektedir.



Şekil IV.45. Kalıp kavisi 10 mm için 10 mm'lik kalıp kavisinde ÇKDŞM ve Preste elde edilen parçaların birim uzama grafikleri

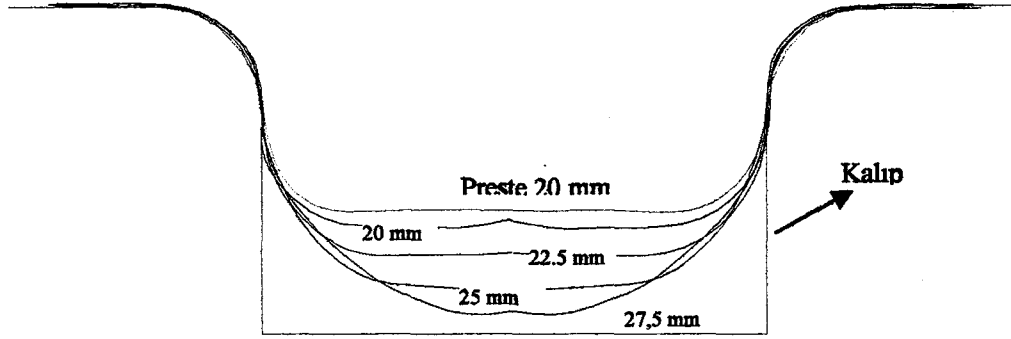
Kesitteki değişim oranları incelendiğinde, % 100 (c) parçası % 48 civarında ve % 120 (b) parçası ise % 43 civarında kesit değişimi ile en fazla orana sahiptirler.



Şekil IV.46. Preste ve ÇKDŞM'de Etial-5 ile elde edilen parçaların kesitteki değişim oranları.

Kesit değişimlerinin parçanın merkez kısmında yoğunlaştığı görülmektedir. Preste elde edilen (a) parçası ise en fazla % 20'lik kesit değişim oranına sahiptir.

10 mm'lik kalıp kavisinde şekillenen Şekil IV.44'deki parçalarda kalıp derinliğinin şekillenmeye etkisi ve kalıbı doldurma oranları Şekil IV.47'de verilmiştir.



Şekil IV.47. 10 mm'lik kalıp kavisinde kalıp derinliğinin şekillenmeye etkisi

Şekilde görüldüğü gibi en iyi şekillenme ve kalıbı doldurma oranları 22,5 ve 25 mm kalıp derinliğinde oluşmuş, tabandaki geri yaylanma minimuma indirilmiştir. Kalıp derinliği 30 mm'de % 60 reaktant oranında levhalar taban kısımdan parçalanmıştır.

10 mm'lik kalıp kavisinde 20 mm, 22,5 mm, 25 mm ve 27,5 mm kalıp derinliklerinde Etial-5 ile ÇKDŞM'de elde edilen bu sonuçlar presle elde edilen derin çekme sonuçlarından birim uzama, kesitteki değişimler ve şekillenme açısından yaklaşık iki kat daha iyidir.

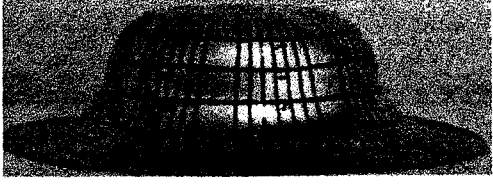
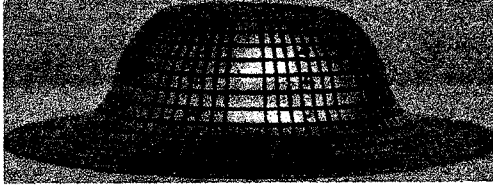

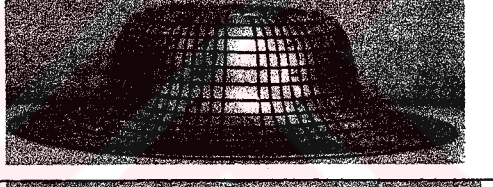
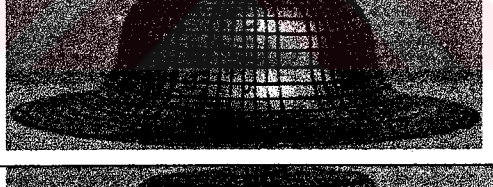
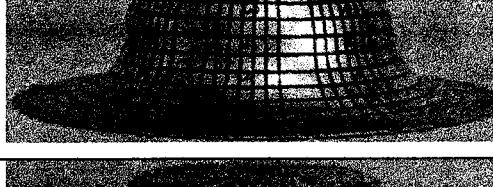
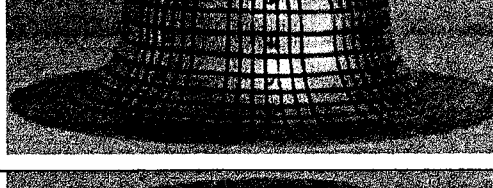
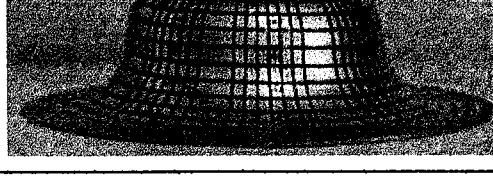
IV.2.3. r = 15 mm'lik Kalıp Üst Kavisinin Şekillenmeye Etkisi

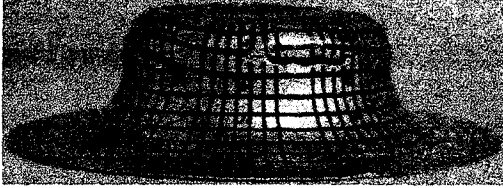
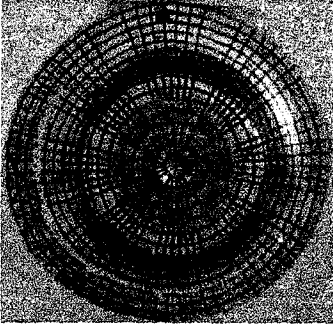
Bu kalıp ile yapılan ÇKDŞM deneylerinde kalıp derinlikleri 32,5 mm, 30 mm, 27,5 mm, 25 mm, 22,5 mm'ye ayarlanarak, reaktant oranları % 60, % 80, %100, %120 ve nadiren de % 140 kullanılarak deneyler yapılmıştır. Kalıp kavisinin en geniş, kalıp derinliğinin ise en fazla olduğu bu kalıpta daha fazla sayıda ve reaktant oranında deneyler gerçekleştirilmiştir.

IV.2.3.1. Kalıp derinliği 22,5 mm İçin Yapılan Deneyler

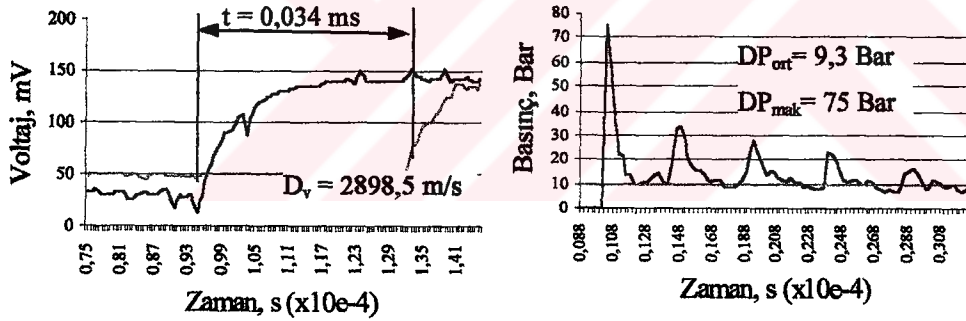
Bu derinlikte % 60, % 80, % 100, % 120 ve % 140 reaktant oranı ile yapılan deney sonuçları Etial 98 ve Etial 5 için Tablo IV.19'da verilmiştir.

Tablo IV.19. Kalıp kavisi 15 mm için % 60 ve % 80 reaktant oranında 22,5 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile yapılan deney sonuçları.

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP _{ort.} (MPa)	DP _{netk.} (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Çapı	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 60	2816	0,65	5,8	22,5	76,3	36	8,21E-03	
Etial-98	% 60	2666	0,66	5,8	22,5	71,8	34	5,14E-03	
Etial-5	% 80	2739	0,77	6,8	22,5	85,2	40	5,71E-03	
Etial-98	% 80	2777	0,75	7,2	22,5	80,1	38	5,14E-03	
Etial-5	% 100	2831	0,84	6,36	22,5	90,1	42	6,70E-03	
Etial-98	% 100	2847	0,81	6,6	22,5	84,4	40	5,14E-03	
Etial-5	% 120	2898	0,93	7,5	22,5	94,8	45	6,87E-03	
Etial-98	% 120	2860	0,91	7,5	22,5	89,5	42	7,63E-03	

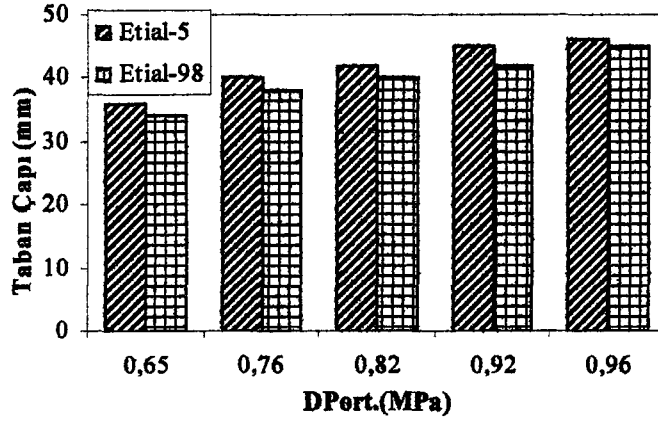
Etial-5	% 140	2958	0,96	7,8	22,5	-	46	6,87E-03	
Etial-98	% 140	2973	0,95	7,5	22,5	-	-	7,63E-03	

Bu kalıp kavisinde yapılan deneylerde parçaların taban kısmında ufak kraterler oluşmuştur. Bunun nedeni olarak, kalıp kavisinin genişlemesi ile kalıp içine daha rahat kayma imkanı bulan levhaların hızlı bir şekilde tabana çarparak geri esnemelerinin daha kuvvetlenmesi düşünülebilir. Elde edilen en iyi deney sonuçları % 120 reaktant oranındadır. Etial-5 deneyinin kalıbın daha iyi doldurduğu, fakat her iki deneyde de parçaların taban kısmında 5 mm çapında 1,5-2 mm derinliğinde ufak kraterlerin ve buruşmaların olduğu görülmektedir. Bu deneyde elde edilen detonasyon basınç ve hız grafikleri Şekil IV.48’de verilmiştir.

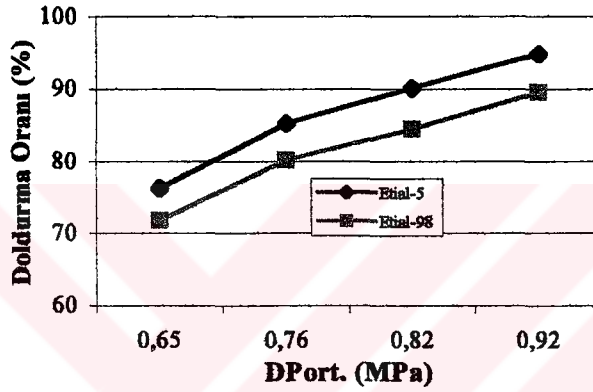


Şekil IV.48. % 120 reaktant oranında Etial-5 deneyinde ölçülen detonasyon hız ve basınç grafiği

% 140 reaktant oranında yapılan deneylerde parçaların taban kısmında parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelmiştir. Etial-5’de parçanın yan yüzeyinde meydana gelen kesitteki daralmalardan dolayı bölgesel yırtılmalar oluşmuştur. Elde edilen deney sonuçlarının ortalama detonasyon basıncı taban çapı ilişkisi Şekil IV.49’da verilmiştir. Tüm detonasyon basınçlarında Etial-5 malzemenin daha iyi şekillendiği bu grafikte görülmektedir.



Şekil IV.49. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 15 mm'lik kalıp kavisinde 22,5 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Taban çaplarının karşılaştırılması.



Şekil IV.50. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 15 mm'lik kalıp kavisinde 22,5 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması

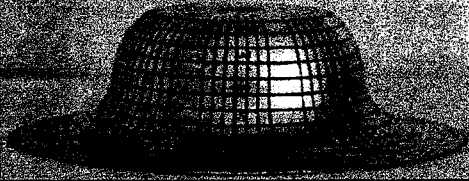
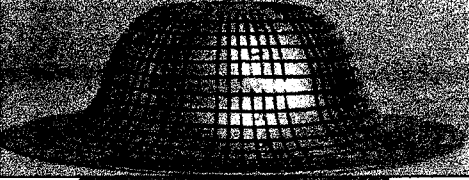

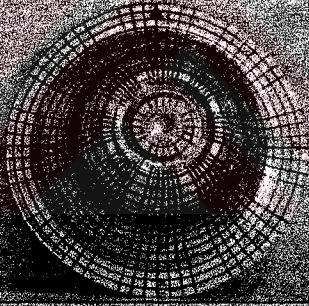
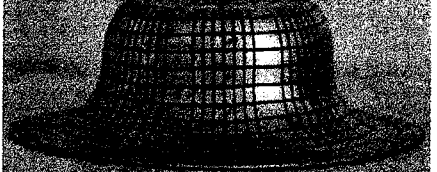
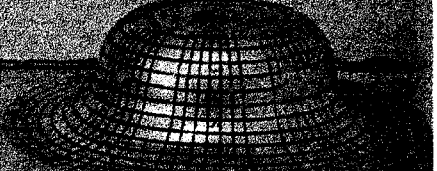
Detonasyon basıncı ile kalıbı doldurma arasındaki ilişki ise Şekil IV.50'de verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında Etial-5 malzemenin 22,5 mm kalıp derinliğinde 15 mm kalıp kavisinde kalıbı doldurma oranının yaklaşık % 5 daha iyi olduğu görülmektedir.

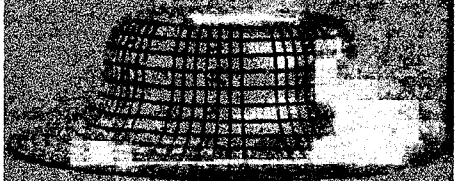
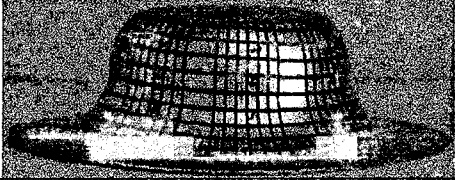
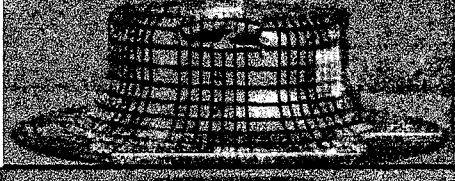

Genellikle ÇKDŞM ile yapılan deneylerde ortalama detonasyon basıncının 0,96 MPa ve üzerine çıktığı durumlarda levhaların kesitlerinde aşırı incelmeler ve bölgesel yırtılmalar olduğu gözlemlenmiştir.

IV.2.3.2. Kalıp derinliği 25 mm için yapılan deneyler

Bu kalıp derinliğinde % 60, % 80, % 100 ve % 120 reaktant oranlarında deneyler gerçekleştirilmiştir (Tablo IV.20). % 140 reaktant oranında yapılan deneylerde yırtılmalar meydana gelmiştir.

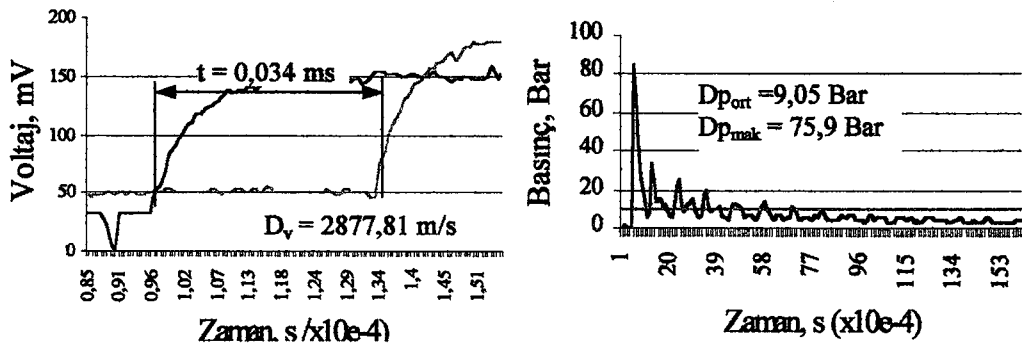
Tablo IV.20. Kalıp kavisi 15 mm için % 60 ve % 80 reaktant oranında 25 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile yapılan deney sonuçları.

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP _{ort.} (MPa)	DP _{mak.} (MPa)	h (mm)	Kalibi Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etldi Silresi (g)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 60	2717	0,66	6,09	25	87,2	36	7,02E-03	
Etial-98	% 60	2743	0,7	6,5	25	83,4	34	7,61E-03	
Etial-5	% 80	2865	0,76	6,2	25	90,1	38	7,68E-03	
Etial-98	% 80	2857	0,78	6,5	25	86,4	36	5,07E-03	
Etial-5	% 100	2877	0,85	7,2	25	94,7	40	6,88E-03	
Etial-98	% 100	2857	0,81	6,98	25	90,6	37,5	7,02E-03	

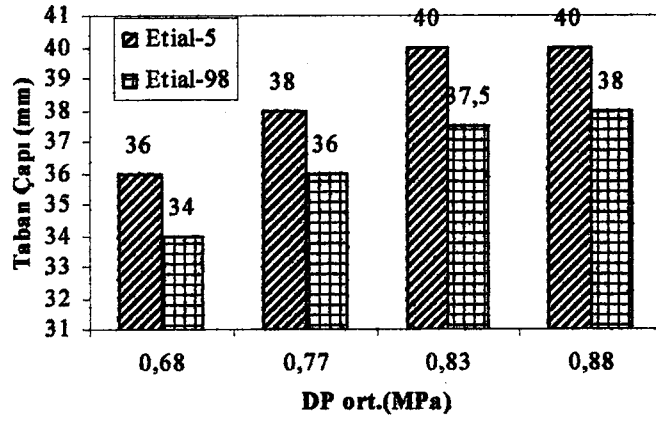
Etiat-5	% 120	2877	0,87	7,2	25	96,5	40	6,88E-03	
Etiat-98	% 120	2857	0,84	7,08	25	91,4	38	7,02E-03	
Etiat-5	% 140	2917	0,89	7,2	25	-	47	9,2E-03	
Etiat-98	% 140	2957	0,87	7,3	25	-	47	8,86E-03	

Bu kalıp yarıçapında derinliğin artması ile parça tabanında oluşan kraterler küçülmüş (5 mm çapında, 1 mm derinliğinde) kenarlarda ise hafif kırışıklar oluşmuştur. Maksimum şekillenme % 120 reaktant oranında yapılan deneylerde gerçekleşmiştir. Fakat parçalarda yırtılma başlangıcı sayılabilecek boyun vermeler oluşmuştur. Deney esnasında ölçülen detonasyon hız ve basınç grafikleri Şekil IV.51'de verilmiştir. % 140 reaktant oranında yapılan deneylerde parçalarda yırtılmalar oluşmuştur.

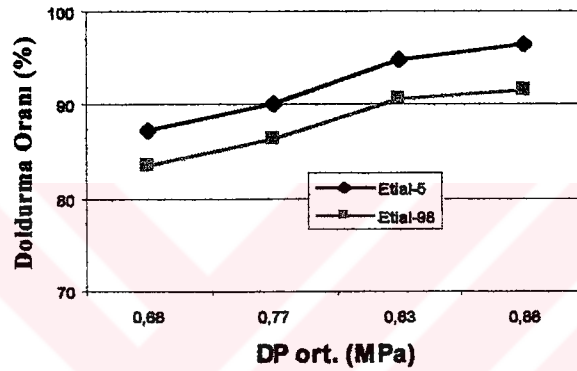
Bu kalıp derinliğinde elde edilen ortalama detonasyon basıncı ve taban çapı ilişkisi Şekil IV.52'de, kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması ise Şekil IV.53'de verilmiştir. Her iki grafikte de Etiat-5 malzemenin daha iyi şekillendiği. Kalıbı doldurma bakımından % 5 daha kabiliyetli olduğu görülmektedir.



Şekil IV.48. % 120 reaktantta Etiat-5 deneyinde ölçülen detonasyon hız ve basınç grafiği



Şekil IV.49. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 15 mm'lik kalıp kavisinde 25 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve taban çaplarının karşılaştırılması.



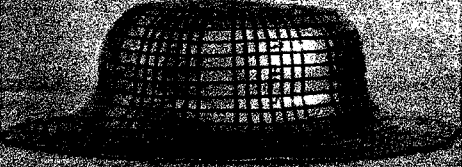
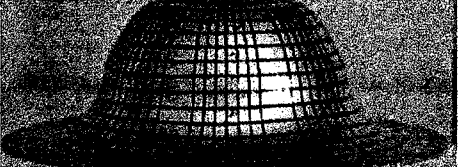
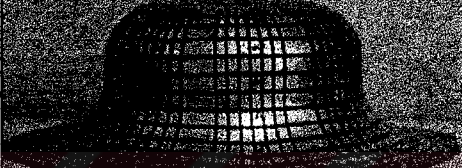


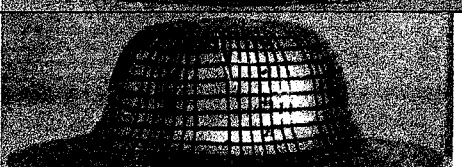
Şekil IV.50. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 15 mm'lik kalıp kavisinde 25 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması

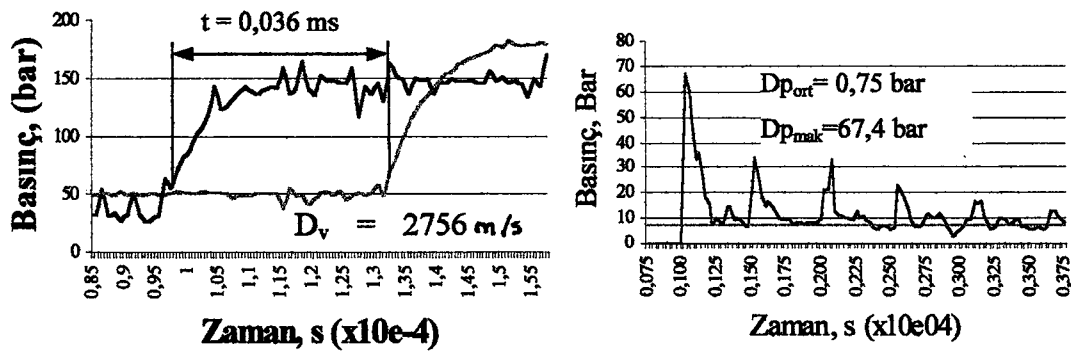
IV.2.3.3. Kalıp Derinliği 27,5 mm İçin Yapılan Deneyler

Bu kalıp derinliğinde yapılan deneylerde % 60, % 80, % 100 reaktant oranları kullanılmıştır. % 100 reaktant oranında yapılan deneylerde kullanılan her iki malzeme de yırtılma başlangıcı oluşmuştur (Tablo IV.21).

Bu kalıp kavisinde yapılan deneylerde maksimum şekillenme % 80 reaktant oranında gerçekleşmiştir. Şekillenmelerde derinliğin artması ile tabanda oluşan krater küçülmüş ve kenarlarda çok hafif kırışıklık oluşmuştur. Etial-5 deneyinde elde edilen detonasyon basınç ve hız grafikleri Şekil IV.50'de verilmiştir. Detonasyon basıncı ve derinliğin etkisi ile parça iç yüzeyinde yırtılmaya sebep verebilecek boyun vermeler oluşmuştur. % 100 reaktant oranındaki şekiller incelendiğinde önceki reaktant oranlarına göre kalıbı daha iyi doldurduğu, kenarlarda çok hafif kırışıklık oluştuğu görülmektedir. Derinlik arttığı için % 100 reaktant oranında her iki malzeme de haddeleme yönünde çatlak büyümesi sonucu yırtılma oluşmuştur.

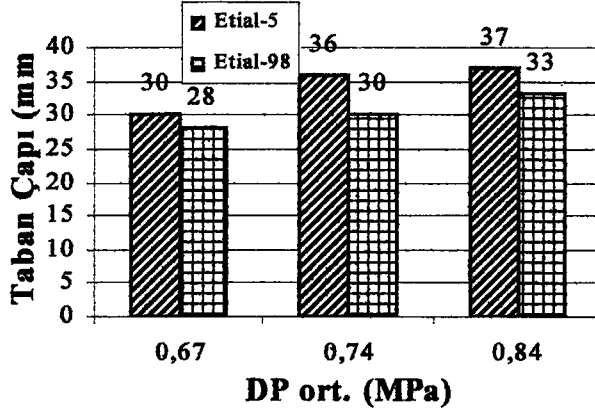
Tablo IV.21. Kalıp kavisi 15 mm için % 60 ve % 80 ve % 100 reaktant oranında 27,5 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile yapılan deney sonuçları.

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP _{ort.} (MPa)	DP _{mak.} (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 60	2657	0,66	5,77	27,5	77,4	30	7,48E-03	
Etial-98	% 60	2705	0,68	5,98	27,5	72,6	28	5,55E-03	
Etial-5	% 80	2756	0,75	6,7	27,5	90,3	7,57E-03		
Etial-98	% 80	2777	0,73	6,5	27,5	76,2	30	5,05E-03	
Etial-5	% 100	2867	0,85	6,7	27,5	93,1	37	7,57E-03	
Etial-98	% 100	2957	0,83	6,5	27,5	84,7	33	7,05E-03	

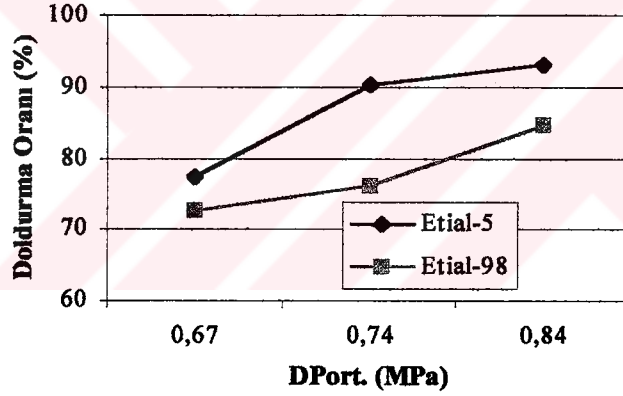


Şekil IV.54. % 100 reaktantda Etial-5 deneyinde ölçülen detonasyon hız ve basınç grafiği

Bu derinlikte elde edilen parçaların taban çapı ve kalıbı doldurma açısından karşılaştırılması Şekil IV.55 ve Şekil IV.56'da verilmiştir. Taban çapı açısından % 80 reaktant oranında Etial-5 6 mm'lik farka ulaşmış,kalıbı doldurma bakımından ise yine aynı reaktant oranında % 90 çıkmıştır. Doldurma oranı % 93'ü geçtiğinde Etial-5 yırtılmaya başlamış, Etial-98 ise % 83-84'e ulaştığında yırtılmaya başlamıştır.



Şekil IV.55. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 15 mm'lik kalıp kavisinde 27,5 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve taban çaplarının karşılaştırılması.



Şekil IV.56. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 15 mm'lik kalıp kavisinde 27,5 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması

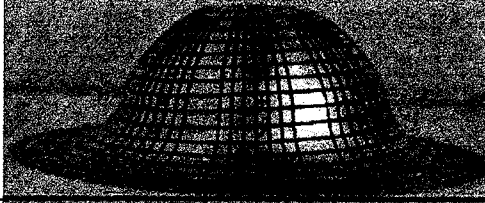
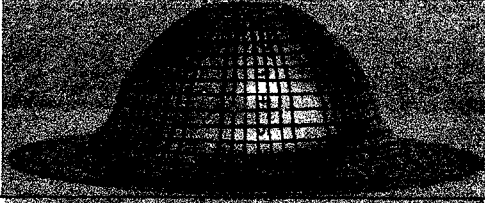
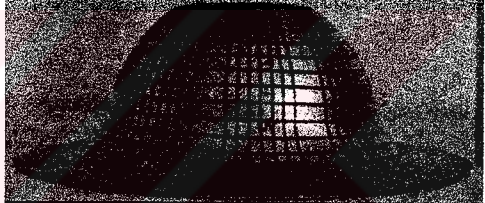
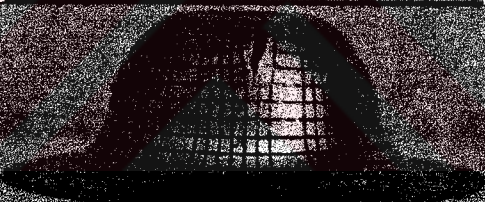
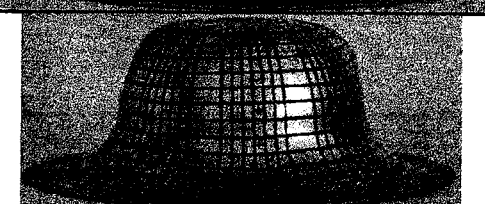
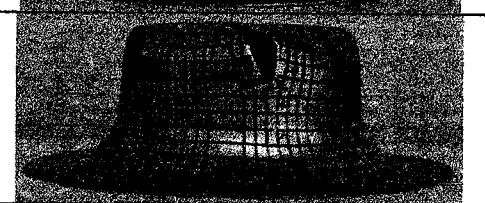
27,5 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde Etial-5'nin şekillenme kabiliyetinin Etial-98'e göre daha iyi olduğu ve kalıbı en iyi dolduran şekillenmenin % 80 reaktant oranında 0,76 MPa ortalama detonasyon basıncında, taban oturma çapı 36 mm ile gerçekleşmiştir.

IV.2.3.4. Kalıp Derinliği 30 mm İçin Yapılan Deneyler

Bu kalıp derinliğinde % 60, % 80 ve % 100 reaktant oranlarında deneyler gerçekleştirilmiştir (Tablo IV.22). Derinliğin artırılması ile parçanın tabana çarpma oranı düşmekte ve yanlara doğru genişlemesi azalarak şekillenme yetersiz kalmaktadır.

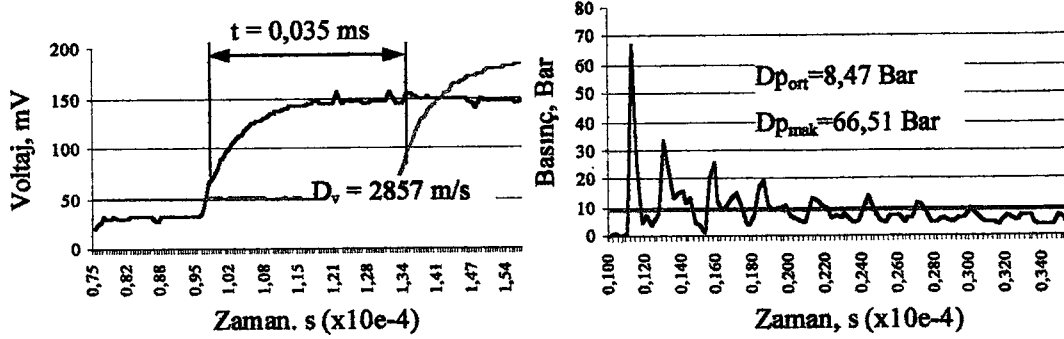
Bu derinlikte detonasyon basıncının artırılması ile parçalar yırtılmaya başlamış ve deneylere % 100 reaktant oranında son verilmiştir.

Tablo IV.22. Kalıp kavisi 15 mm için % 60 ve % 80 ve % 100 reaktant oranında 30 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile yapılan deney sonuçları.

Malz. Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP ort. (MPa)	DP maks. (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Etial Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5 % 60	2742	0,68	6,6	30	55,8	19	5,84E-03	
Etial-98 % 60	2718	0,64	6,2	30	51,4	16	7,65E-03	
Etial-5 % 80	2816	0,74	6,6	30	68,6	23	7,63E-03	
Etial-98 % 80	2857	0,76	6,8	30	72	24	8,48E-03	
Etial-5 % 100	2816	0,80	6,6	30	92,8	30	7,13E-03	
Etial-98 % 100	2898	0,86	7,2	30	-	-	6,31E-03	

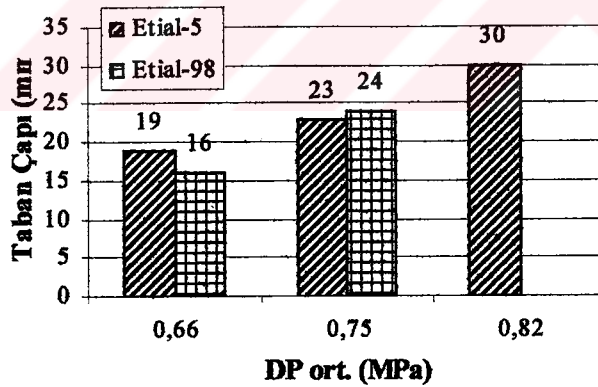
30 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde Etial-5'nin şekillenme kabiliyetinin Etial-98'e göre daha iyi olduğu ve kalıbı en iyi dolduran şekillenmenin % 100 reaktant oranında 0,84 MPa ortalama detonasyon basıncında, taban oturma çapı 30 mm ile gerçekleşmiştir. Bu deneye ait detonasyon basınç ve hız grafikleri Şekil IV.57'de verilmiştir. Deneyde parçada çizik şeklinde çatlaklar meydana gelmiş

ve parçada yırtılmaya sebep verecek olan boyun vermeler oluşmuştur. Etial-98 için % 60 reaktant oranında en iyi sonuç alınmıştır. % 80 ve % 100 reaktant oranlarında bu malzeme deney esnasında yırtılmıştır. Yırtılmanın sebebinin detonasyon basıncının fazla olması veya parçada bulunan hatalardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

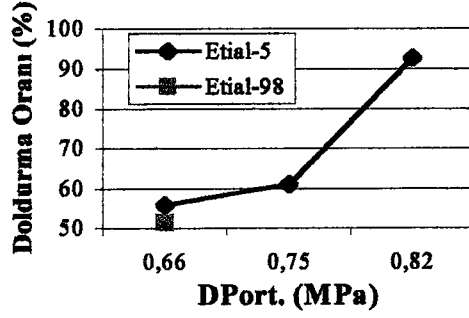


Şekil IV.57. % 100 reaktant oranında Etial-5 deneyinde ölçülen detonasyon basınç ve hız grafiği

Bu kalıp derinliğinde elde edilen taban çapı ve kalıbı doldurma oranlarının ortalama detonasyon basıncına göre karşılaştırılması Şekil IV.58 ve Şekil IV.59'da verilmiştir. Etial-98 malzemenin % 80 reaktant oranında yırtılmasına rağmen Etial-5 ile yaklaşık aynı taban çapına ulaşmıştır. Kalıbı doldurma açısından Etial-5 % 92'ye ulaşmış Etial-98 erken yırtıldığı için % 70 civarında kalmıştır.



Şekil IV.58. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 15 mm'lik kalıp kavisinde 30 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve taban çaplarının karşılaştırılması



Şekil IV.59. Etial-5 ve Etial-98 Alüminyum malzemelerle 15 mm'lik kalıp kavisinde 30 mm derinlikte elde edilen DP_{ort} ve Kalıbı doldurma oranlarının karşılaştırılması

IV.2.3.5. Kalıp derinliği 32,5 mm için yapılan deneyler

Bu kalıp derinliğinde yapılan deneylerde sadece % 60 reaktant oranı kullanılabilmiştir (Tablo IV.23). Kalıp derinliğinin artması ile levha tabana varamadan parçalanmaktadır. Bunun nedeni ise % 60 reaktant oranının ürettiği detonasyon basıncının bu kalıp derinliği için fazla olmasıdır. Bu nedenle reaktant oranı % 50'ye indirilerek derinliğin serbest bırakıldığı serbest şekillendirme deneyleri yapılmış ve bölüm IV.1'de sonuçları verilmiştir.

Tablo IV.23. Kalıp kavis 15 mm için % 60 reaktant oranında 32,5 mm kalıp derinliğinde Etial-5 ve Etial-98 ile yapılan deney sonuçları.

Malz.	Reaktant Oranı (%)	Dv (m/s)	DP _{ort.} (MPa)	DP _{mak.} (MPa)	h (mm)	Kalıbı Dold. Oranı (%)	Taban Çapı (mm)	Bas. Ftki Süresi (s)	Şekillenen Parça
Etial-5	% 60	2742	0,67	6,5	32,5	-	-	4,85E-03	
Etial-98	% 60	2702	0,64	6,5	32,5	-	-	4,19E-03	

IV.2.2.5. 15 mm'lik Kalıp Kavisinde Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi ve Preste Elde Edilen Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması

Kalıp kavis yarıçapı 15 mm için Etial-98 ve Etial-5 ile ÇKDŞM'da yapılan deneylerde Etial-5 malzemenin tüm deneylerde daha iyi şekillendiği görülmüştür. Genellikle bu kalıp kavisinde en iyi şekillenen parçaların reaktant oranları, derinliğe göre değişmektedir. Derinlik arttıkça parçanın yırtılma riski de artmakta ve yüksek detonasyon basıncı üreten reaktant oranlarının kullanımı azalmaktadır.

Şekiller incelendiğinde basınç oranlarının artırılması ile şekillenme miktarının da arttığı görülmektedir. Belli bir basınçtan sonra ise değişimin çok azaldığı göze çarpmaktadır.

15 mm'lik kalıp kavisinde, kalıp radüsünün geniş ve vakumlamanın yetersiz kalmasından oluştuğu tahmin edilen tabanda halka şeklinde kabarmalar vardır. Kullanılan reaktant oranlarına göre parçalar kalıp derinliği 22,5 mm ve 25 mm'de % 140 reaktant oranında ortalama detonasyon basıncı 0,95-1,11 MPa'da yırtılmış, kalıp derinliği 27,5 mm ve 30 mm'de % 100 reaktant oranında ortalama detonasyon basıncı 0,85 MPa'da yırtılmış ve kalıp derinliği 32,5 mm'de % 60 reaktant oranında ortalama detonasyon basıncı 0,65 MPa'da yırtılmıştır. Kalıp derinliğinin artması ile kullanılan reaktant oranı ve buna bağlı olarak ortalama detonasyon basıncı düşmekte parçanın kalıp tabanına oturma çapı azalmaktadır.

Kalıp kavisi 15 mm için Etial-5 ile ÇKDŞM'da yapılan deneyler değerlendirilerek her derinlik de optimum şekillenen parçalar presle derin çekme sonuçları ile birim uzama, kesitteki değişim ve kalıbı doldurma oranı açısından karşılaştırılmıştır. Bunlar Şekil IV.60 (a,b,c,d,e)'de şekillenme şartları ile birlikte verilmiştir.

Bu deneyleri konvansiyonel derin çekme ile karşılaştırmak amacı ile ÇKDŞM'da kullanılan aynı kalıpla (kavis yarıçapı 15 mm ve kalıp derinliği 35 mm), Şekil IV.2 (b)'deki zımba kullanılarak 10 adet deney yapılmıştır. Bu deneylerde 7350 N zımba kuvvetinde ve 28 mm derinlikte parçaların yırtılmaya başladığı tespit edilmiştir. Yırtılma olmadan 6900 N zımba kuvvetinde 27,5 mm derinlikte Şekil IV.60 (a) parçası elde edilmiştir. Parçada kenarlarda hafif kırışıklıklar olduğu görülmektedir.

(a)		(b)			
Zımba Kuv.= 6900 N	Hız = 0,25 mm/ s	$DP_{ort} = 0,93$ MPa	$DP_{mak} = 7,5$ MPa	$Dv = 2898$ m/s	
$h = 27,5$ mm	$r = 15$ mm	R.Oranı = % 120	$h = 22,5$ mm	T.Çapı = 46 mm	
(c)		(d)			
$DP_{ort} = 0,9$ MPa	$DP_{mak} = 7,59$ MPa	$Dv = 2941$ m/s	$DP_{ort} = 0,75$ MPa	$DP_{mak} = 6,7$ MPa	$Dv = 2756$ m/s
R.Oranı = % 120	$h = 25$ mm	T. Çapı = 44 mm	R.Oranı = % 80	$h = 27,5$ mm	T.Çapı = 36 mm
(e)		(f)			
$DP_{ort} = 0,84$ MPa	$DP_{mak} = 6,6$ MPa	$Dv = 2857$ m/s			
R.Oranı = % 100	$h = 30$ mm	T. Çapı = 30 mm			

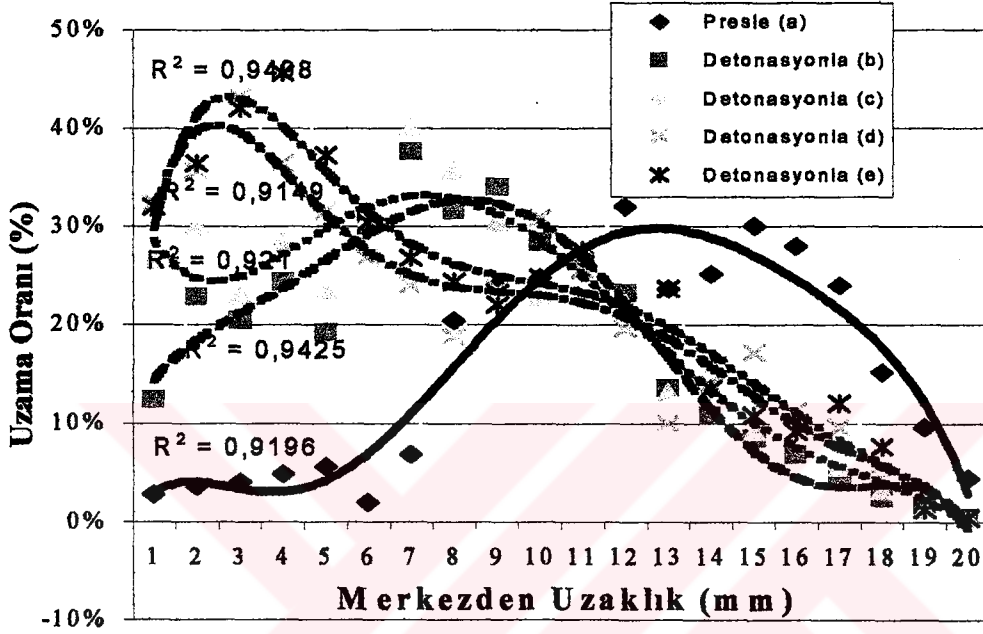
Şekil IV.60. Kalıp kavisi 15 mm için preste (a) ve ÇKDŞM'da 22,5 mm (b), 25 mm (c), 27,5 mm (d) ve 30 mm(e), derinliklerinde yapılan deney sonuçları

ÇKDŞM ve presle şekillendirilen Şekil IV.60'daki parçaların birim uzama ve kalınlık değişim grafikleri Şekil IV.61 ve Şekil IV.62'de verilmiştir.

Birim uzama grafikleri incelendiğinde ÇKDŞM ile şekillendirilen parçaların birim uzamalarının genellikle merkeze yakın kısımlarda en üst düzeye çıktığı ve daha sonra azaldığı görülmektedir. Geleneksel metotla şekillenen parçanın birim uzaması ise merkezde minimum seviyede iken kalıp taban kavisinin olduğu bölgeden itibaren yükselerek maksimuma ulaşmakta ve düşerek kenar kısımda tekrar minimuma inmektedir. Burada zımba tabanının ve radüsünün etkisi sonucu birim uzamalar daha çok zımba radüsü ile kalıp üst radüsü arasında oluşmaktadır.

Detonasyonla şekillenen parçaların birim uzama grafikleri incelendiğinde en fazla birim uzamanın yaklaşık % 45 ile, kalıp derinliğinin 30 mm olduğu ve % 100 reaktant oranının kullanıldığı Şekil IV.61 (e) parçasında olduğunu, hemen arkasından % 40'la kalıp derinliğinin 27,5 mm olduğu Şekil IV.61 (d) parçası geldiği

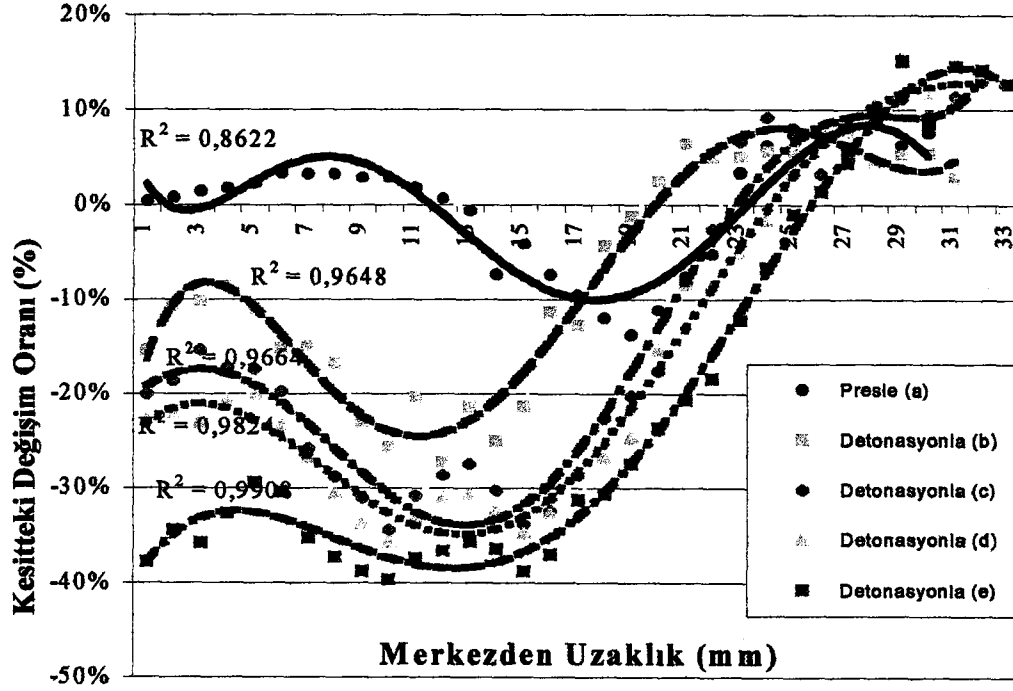
görülmektedir. Presle elde edilen grafikte ve Şekil IV.61'de (a) ile ifade edilen parçada 27,5 mm kalıp derinliğine ulaşılmasına rağmen meydana gelen birim uzamalar % 33 civarında kalmıştır. Halbuki aynı kalıp derinliğinde ÇKDŞM ile yapılan deneyde Şekil IV.61 (d) parçasında % 40'lık birim uzama elde edilmiştir. 25 mm ve 22,5 mm kalıp derinliklerinde (Şekil IV.61 (b) ve (c)) presle elde edilen birim uzamalardan daha fazlası % 35 elde edilmiştir.



Şekil IV.61. Kalıp kavisi 15 mm için yapılan deneylerin birim uzama grafikleri a) Presle h = 27,5 mm b) ÇKDŞM'de h= 22,5 mm c) ÇKDŞM'de h= 25 mm d) ÇKDŞM'de h= 27,5 mm e) ÇKDŞM'de h= 30 mm

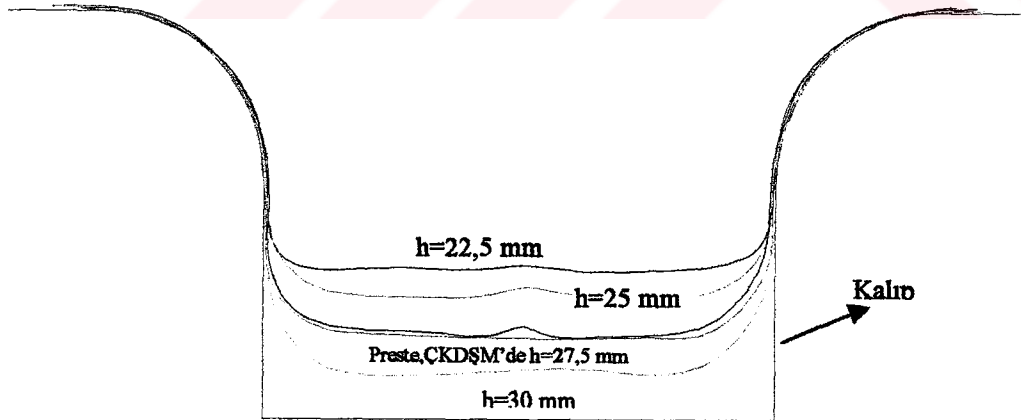
Kalıp kavisi 15 mm için kesitlerde meydana gelen değişim oranları incelendiğinde detonasyonla elde edilen parçalarda değişimin daha çok kalıp dip radüsünün olduğu kısımlarda meydana geldiği görülmektedir. Yırılan parçalara ve yırılma başlangıçlarına bakıldığında bu bölgelerden başladığı deneylerde görülmüştür.

Kalıp derinliğinin 32,5 mm ve % 100 reaktant oranının kullanıldığı Şekil IV.62 (e) parçasında yaklaşık % 40 ile maksimum kesit değişimine ulaşılmıştır. Şekil IV.62 (d) ve (c) parçaları yaklaşık % 35, Şekil 62. (b) parçası da % 25 kesit değişim oranlarına sahiptirler. Presle elde edilen (a) grafiği ise % 10'luk kesit değişimine sahiptir.



Şekil IV.62. Kalıp kavisi 15 mm için yapılan deneylerin kesitteki değişim grafikleri a) Presle $h = 27,5$ mm b) ÇKDŞM' de $h = 22,5$ mm c) ÇKDŞM' de $h = 25$ mm d) ÇKDŞM' de $h = 27,5$ mm e) ÇKDŞM' de $h = 30$ mm.

15 mm'lik kalıp kavisinde kalıp derinliğinin şekillenmeye etkisi Şekil IV.60'daki parçalar için Şekil IV.63'de verilmiştir. Bu kalıp kavisinde parçaların kalıbı doldurma oranı ve kalıp derinliği diğer kalıp kavislerine göre daha iyidir.



Şekil IV.63. 15 mm kalıp kavisinde kalıp derinliğinin şekillenmeye etkisinin karşılaştırılması

Preste 27,5 mm kalıp derinliğine ulaşılmış, ÇKDŞM' de aynı derinlikte yapılan deneyde parçada çok az geri yaylanma oluşmuştur. ÇKDŞM ile 22,5 mm kalıp derinliğinde yapılan deneyde kalıbı doldurma açısından ve 30 mm derinlikte yapılan deneyde derinlik bakımından en iyi sonuçlar alınmıştır.

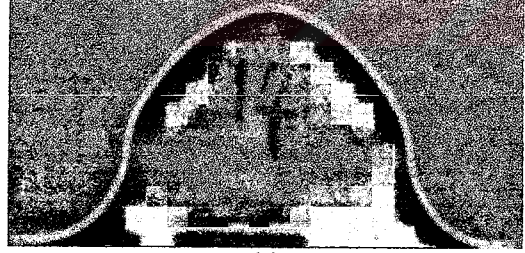
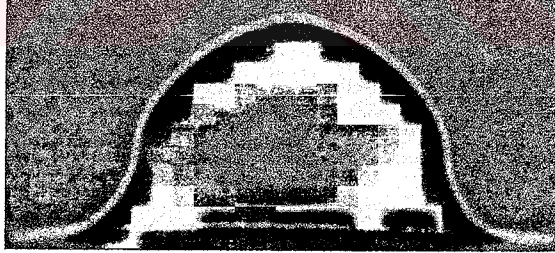
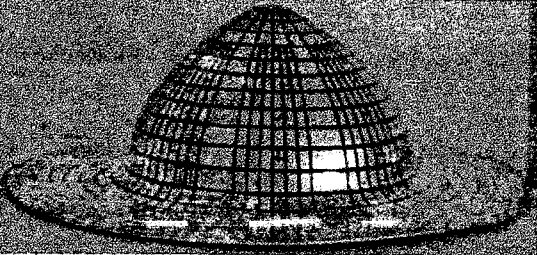
IV.2.4. Kalıp Üst Kavislerinin Şekillenmeye Etkisinin Karşılaştırılması

ÇKDŞM ve geleneksel derin çekme deneylerinde kalıp üst kavisleri $r = 5$ mm, 10 mm ve 15 mm olan üç çeşit kalıp kullanılmıştır. Bu amaçla hazırlanan kalıplar CNC tezgahında hassas olarak h7 yüzey pürüzlülüğü kalitesinde işlenmiştir. Kalıp yüzeyleri ÇKDŞM ile yapılan deneylerde 10 numara ince yağ ile yağlanmış, preste yapılan deneylerde ise ince naylon kullanılmıştır. Bu bölümde kalıp kavisleri ile eşit şartlarda yapılan deneyler karşılaştırılarak hangi kalıp kavisinde daha iyi şekillenmenin olduğu anlatılacaktır. Bu amaçla üç kalıpla yapılan serbest şekillenme deneyleri ve 25 mm kalıp derinliğinde yapılan deneyler incelenecektir.

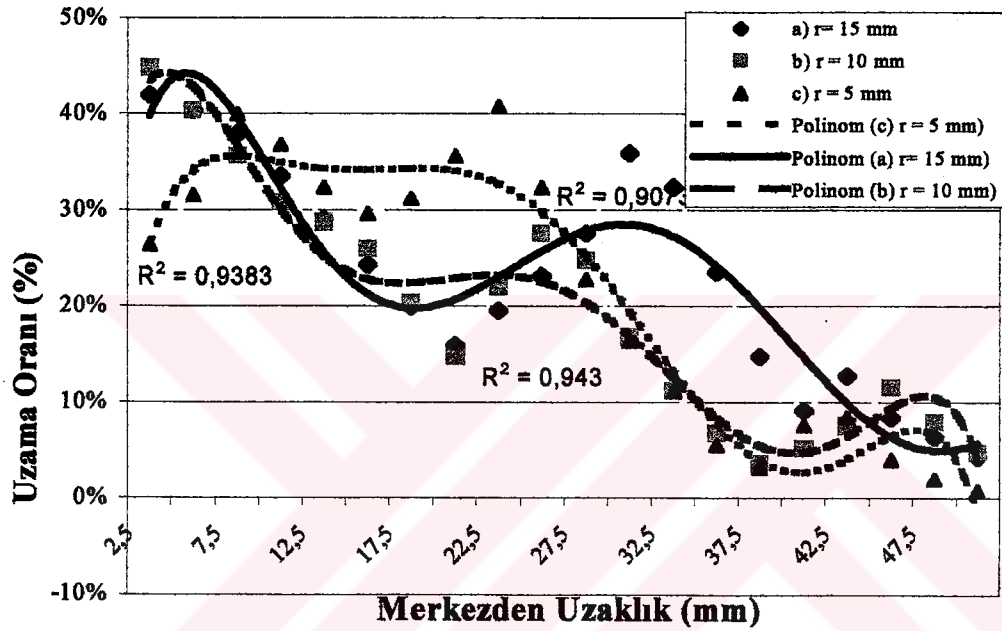
IV.2.4.1. Serbest Şekillendirme Sonuçlarının Karşılaştırılması

- ÇKDŞM ile yapılan deney sonuçları

Serbest şekillenme deneyleri derinliğin sınırlanmadığı deneylerdir. Bu nedenle kalıp kavislerine göre elde edilen parçaların değerlendirilmesinde yaklaşık detonasyon basıncı değerlerine sahip ve yırtılma olmadan en fazla derinliğe ulaşılan deneyler esas alınmıştır. 15 mm, 10 mm, ve 5 mm'lik kalıp kavislerinde elde edilen deney sonuçları Şekil IV.64 a,b,c'de verilmiştir.

					
(a)			(b)		
$DP_{ort} = 0,66$ MPa	$DP_{mak} = 5,2$ MPa	$Dv = 2666$ m/s	$DP_{ort} = 0,66$ MPa	$DP_{mak} = 5,1$ MPa	$Dv = 2666$ m/s
R.Oranı = % 50	$h = 38$ mm	$R = 15$ mm	R.Oranı = % 50	$R = 10$ mm	$h = 33$ mm
			Şekil IV.64. ÇKDŞM ile serbest şekillenme deneylerinde elde edilen sonuçlar. a) Kalıp kavisleri 15 mm için b) Kalıp kavisleri 10 mm için c) Kalıp kavisleri 5 mm için elde edilen deney sonucu		
(c)					
$DP_{ort} = 0,62$ MPa	$DP_{mak} = 6,2$ MPa	$Dv = 2531$ m/s			
R.Oranı = % 50	$R = 5$ mm	$h = 28$ mm			

Şekillerde görüldüğü gibi kalıp kavisi küçüldükçe ulaşılan derinlik ve şekillenme oranı azalmaktadır. Bu parçalara ait birim uzama ve kesitteki değişim grafikleri Şekil IV.65 ve Şekil IV.66'da verilmiştir. Birim uzama grafiği incelendiğinde 5 mm'lik kalıp kavisinde oluşan uzamanın 10 mm ve 15 mm'lik kalıp kavislerinden daha farklı olarak uzamanın daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. Ayrıca birim uzamanın minimuma indiği yer ise kalıp üst kavisinin olduğu kısımdır. Bunun nedeni ise kalıp kavisinin dar olmasından dolayı levha kalıp içine kayarken zorlanmış ve uzama daha geniş alana yayılmıştır.

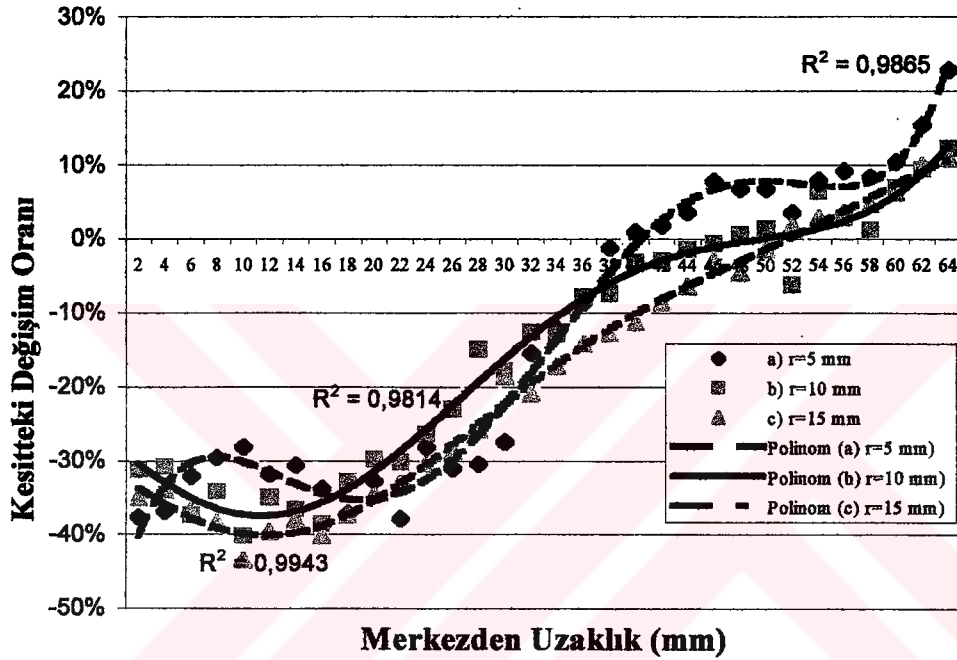


Şekil IV.65. ÇKDŞM ile serbest şekillendirilen parçaların birim uzama grafikleri

Kalıp kavisi 10 mm'de şekillenen parçada birim uzama merkezde maksimuma ulaşırken dalgalı bir seyir takip ederek kalıp üst kavisinin olduğu kısımda minimuma ulaşmaktadır. 15 mm'lik kalıp üst kavisinde ise merkezde maksimum olan birim uzama dalgalı bir seyir ile kenarda minimuma inmektedir. Bunun sebebi ise levha, diğer kalıp kavislerine göre kalıp içine kayarken daha rahat hareket etmiştir.

Kesitteki değişim oranları incelendiğinde 5 mm'lik kalıp kavisinde 28 mm derinliğe ulaşılmasına rağmen merkezde % 40 olan değişim oranı kalıp kavisine yaklaştıkça düşmekte ve tekrar artarak kenarda % 20'de kalmaktadır. Kesitteki değişim oranının belli bir bölgede diğer kalıp kavislerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin, kalıp kavisinin dar olmasından dolayı levha kalıp

içine gitmekte zorlanmakta ve şekillenme esnasında detonasyon basıncı aniden etki ettiği yani basınçta süreklilik olmadığından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. 10 mm ve 15 mm'lik kalıp kavislerinde elde edilen parçaların kesitteki değişim oranları birbirine benzemekte yalnız 15 mm'lik kalıp kavisinde elde edilen parçada kavisten dolayı oluşan bir dalgalanma oluşmamıştır. Burada kesitteki değişim oranına ulaşılan derinlikte etki etmektedir. 15 mm'lik kalıp kavisinde 38 mm derinlik elde edilmiş ve kesitteki değişim oranında % 40'a ulaşmıştır. 10 mm'lik kalıp kavisinde ise 33 mm derinlik elde edilmiş ve kesitteki değişim oranı maksimum % 35'de kalmıştır.

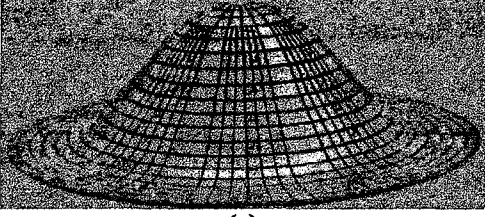
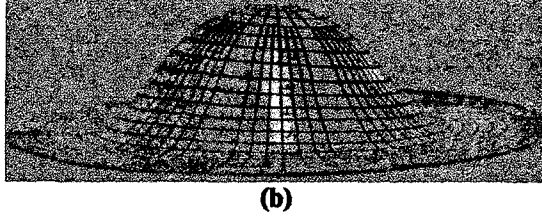
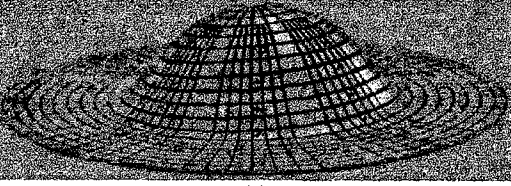


Şekil IV.66. ÇKDŞM ile serbest olarak elde edilen parçaların kesitteki değişim oranları

Serbest şekillenme deneylerini kalıp kavis yönünden ele aldığımızda kalıp kavisinin artması ile ulaşılan derinlik, şekillenme oranı, birim uzama ve kesitteki değişim oranlarında artış olmuştur. Fakat 5 mm'lik kalıp kavisinde hiç görülmeyen, 10 mm'lik kalıp kavisinde çok az görülen ondülasyon oranı, kalıp kavisinin 15 mm olması durumunda artmıştır.

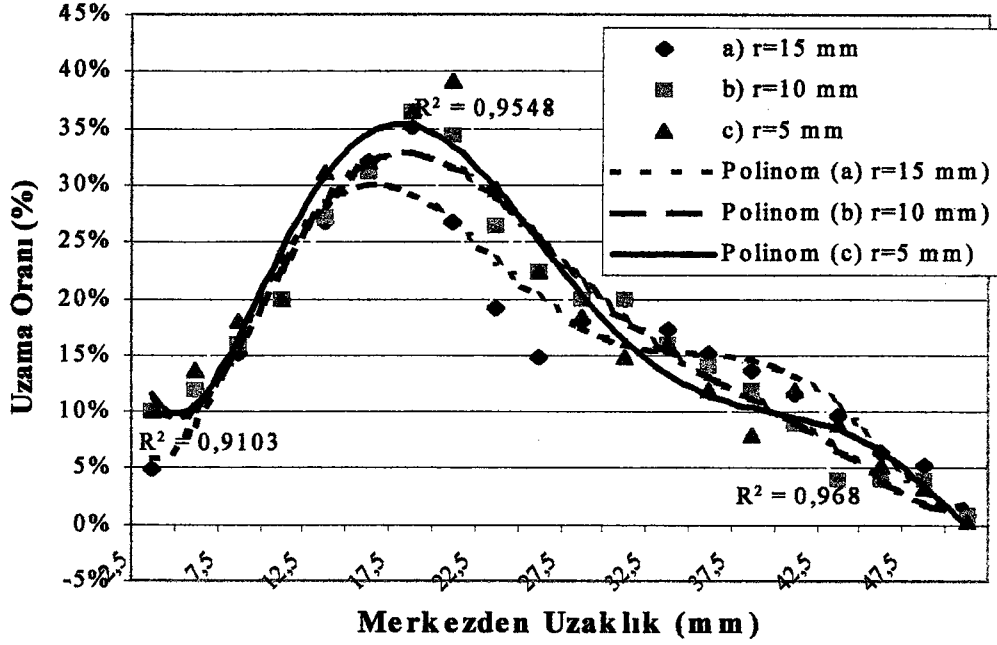
- **Preste yapılan deney sonuçları**

Bu deneylerde Şekil IV.2'de gösterilen yarım küre şeklinde zımba kullanılarak preste yapılmıştır.

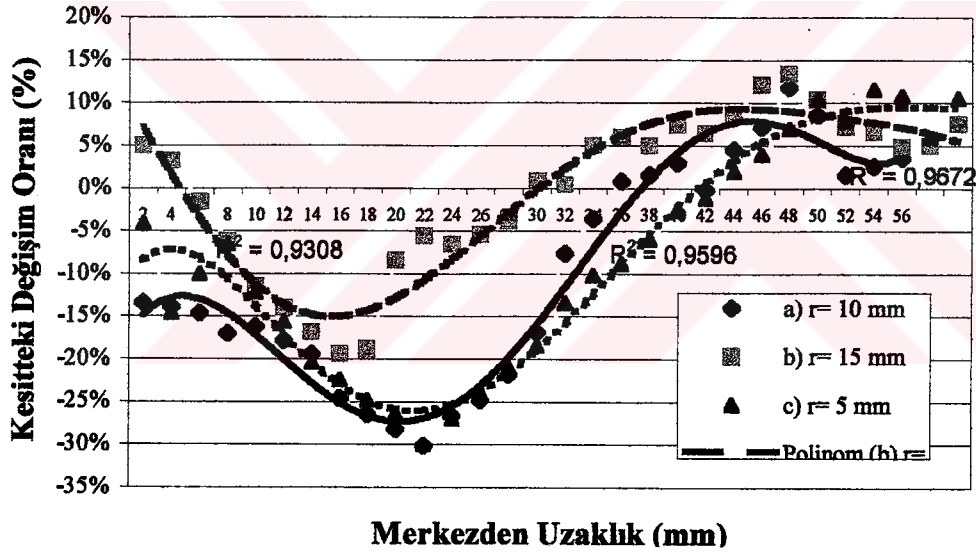
			
(a)		(b)	
Zımba Kuv.= 4800 N	Hız = 0,25 mm/ s	Zımba Kuv.= 4600 N	Hız = 0,25 mm/ s
h= 23 mm	r = 15 mm	h= 22 mm	r = 10 mm
		Şekil IV.67. Farklı kalıp üst radüslerinde presle şekillendirilen parçalar.	
(c)			
Zımba Kuv.= 4500 N	Hız = 0,25 mm/ s		
h= 19,8 mm	r = 5 mm		

Şekil IV.67’de resmi verilen bu parçalara ait birim uzama ve kesitteki değişim oranlarını veren grafikler Şekil IV.68 ve Şekil IV.69’da verilmiştir. Presle elde edilen parçaların birim uzama grafikleri incelendiğinde yaklaşık aynı basınç oranlarında şekillenen bu parçalarda kalıp kavisi en az olanın birim uzama oranının daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Kalıp kavisi en geniş olanı ise Şekil IV.67.(a) parçası en az birim uzama oranına sahip bulunmaktadır. Bunun nedeni ise dar kalıp kavisinde parça rahat olarak kalıp içine doğru kayamamakta ve uzamaktadır. 10 mm ve 15 mm’lik kalıp kavislerinde elde edilen parçaların ulaştığı derinliklerde birbirine oldukça yakındır. Bu nedenle 15 mm’lik kalıp kavisinde uzama oranının % 30 da kalması normaldir.

Kesitteki değişim oranlarını incelediğimizde en büyük değişimi yaklaşık % 30 ile 5 mm ve 10 mm’lik kavislerde elde edilen parçalarda görülmektedir. Bunun nedeni ise kalıp kavislerinin dar ve şekillenen parçaların derinliklerinin birbirine yakın olmasıdır. 15 mm’lik kalıp kavisinde ise kesitteki değişim %15’lerde kalmıştır.



Şekil IV.68. Presle serbest olarak şekillendirilen parçaların birim uzama grafikleri

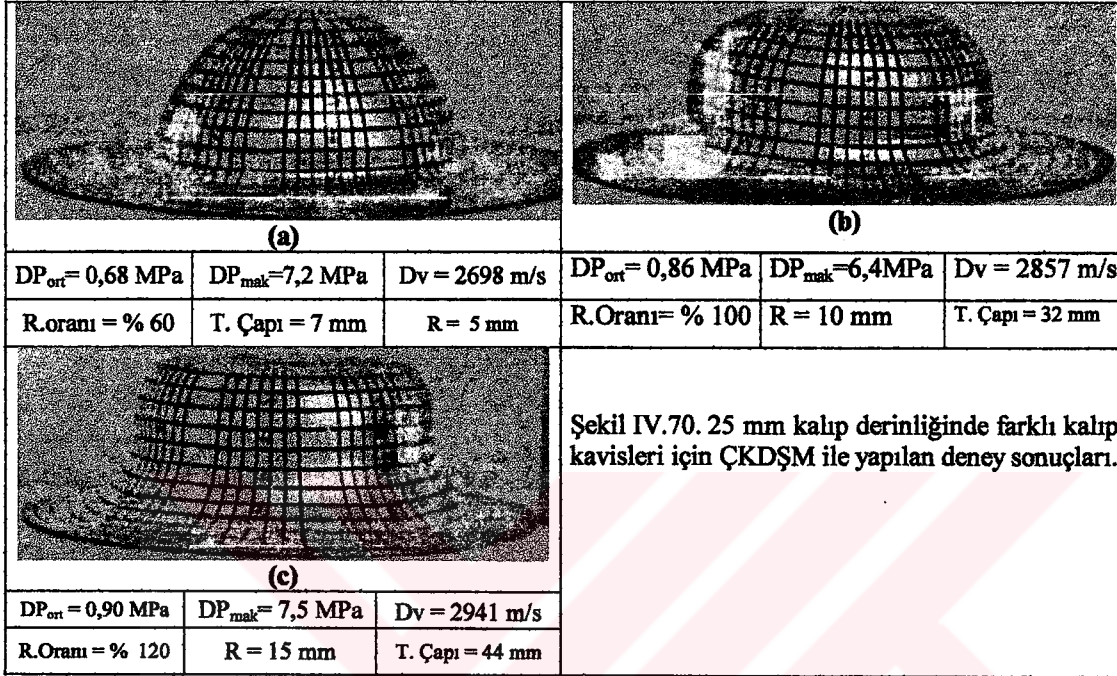


Şekil IV.69. Preste serbest olarak şekillendirilen parçaların kesitteki değişim oranları

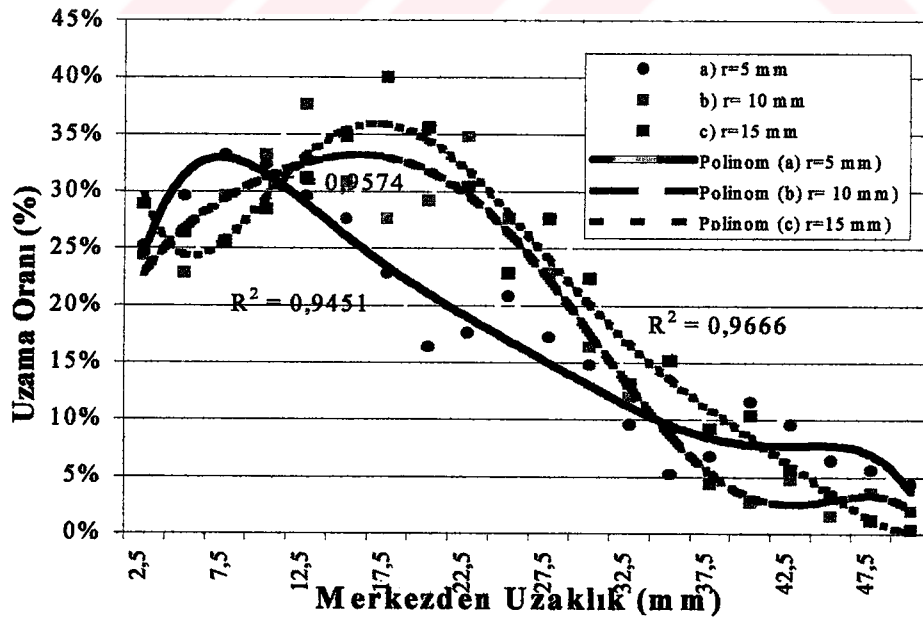
IV.2.4.2. Kalıp Derinliği 25 mm, Kalıp Kavisini $r=5$ mm, 10 mm ve 15 mm ile Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması

ÇKDŞM ile farklı kalıp kavislerinde elde edilen deneylerin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla 25 mm kalıp derinliği tercih edilmiştir. Bu kalıp derinliğinde farklı kalıp kavisine sahip kalıpların hepsi kullanılmıştır. Yapılan deney sonuçları Şekil IV.70'de verilmiştir. 5 mm'lik kalıp kavisinde yapılan deneyde Şekil IV.70 (a) parçanın tabana 7 mm'lik bir çapta oturduğu ve kalıbı dolduramadığı görülmektedir.

10 mm'lik kalıp kavisinde ise Şekil IV.70 (b) taban oturma çapı 32 mm'ye yükselmiş parça kalıbı doldurmaya çalışmış fakat taban kısmında yetersiz kalmıştır. 15 mm'lik kalıp kavisinde yapılan deneyde Şekil IV.70 (c) parça kalıbı doldurmuş taban oturma çapı 44 mm'ye yükselmiştir. Fakat kalıp üst kavisinin geniş olmasından dolayı kenarlarda hafif ondülasyon meydana gelmiştir.

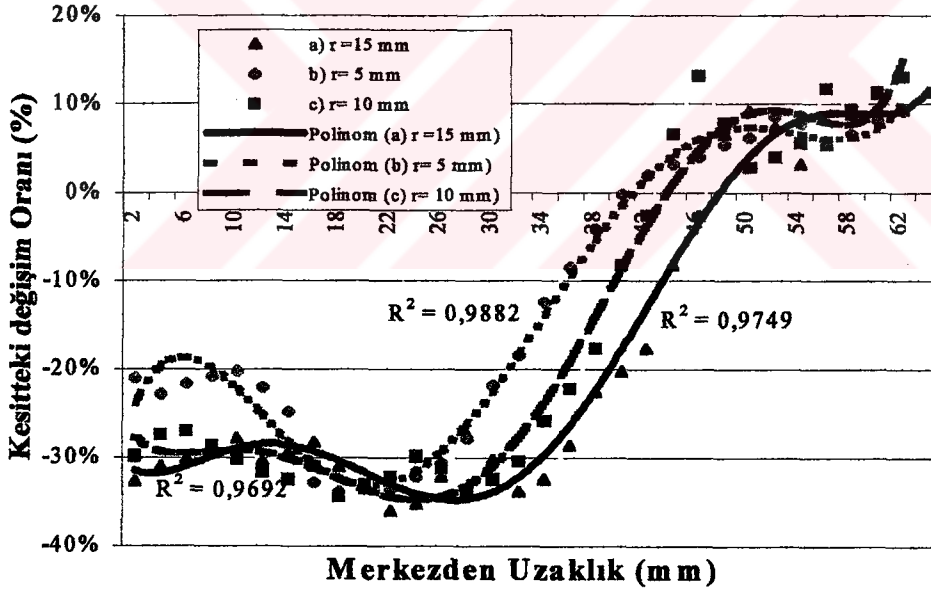


Yukarıda resimleri verilen bu parçalara ait birim uzama ve kesitteki değişim oranları Şekil IV.71 ve Şekil IV.72'de verilmiştir.



Şekil IV.71. 25 mm kalıp derinliğinde ÇKDŞM ile elde edilen parçaların birim uzama grafikleri

Birim uzama grafikleri incelendiğinde tüm kalıp kavislerinde maksimum % 35'lik birim uzama olduğu görülmektedir. Fakat bunun tüm parçaya yayılması farklıdır. Burada birim uzamayı etkileyen en önemli faktör detonasyon basıncıdır. Çünkü kalıp derinliği sabit tutulmuş kalıp doldurulmaya çalışılmıştır. Dolayısı ile en fazla detonasyon basıncı uygulanan parçanın birim uzamasının fazla olması gerekmektedir. 5 mm'lik kalıp kavisinde merkezde % 35'lik birim uzama yakalanmış fakat bu oran daha keskin bir düşüş yaparak parçanın çok az bir kısmında etkili olmuştur. 10 mm ve 15 mm'lik kalıp kavislerinde ise birim uzamalar birbirine belli bir noktadan sonra paraleldir. Merkeze yakın kısımda b (r =10 mm) parçasının birim uzaması daha fazladır. Halbuki c (r =15 mm) parçasına uygulanan detonasyon basıncı ve elde edilen taban çapı (44 mm) daha fazladır. Burada 15 mm'lik kalıp kavisinde elde edilen Şekil IV.70 (c)'dede görüldüğü gibi geri yaylanmanın ve oluşturduğu kraterinde birim uzamaya etkisi vardır. Diğer bir nedeni ise kalıp kavisinin daha geniş olmasından dolayı, levha kalıp içine daha kolay çekilerek tabanda fazla uzamaya gerek kalmamaktadır.



Şekil IV.72. 25 mm kalıp derinliğinde ÇKDŞM ile elde edilen parçaların birim uzama grafikleri

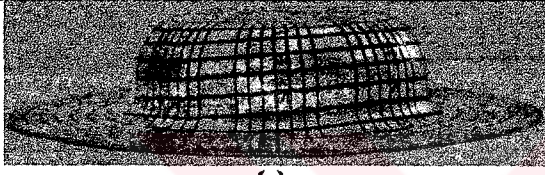
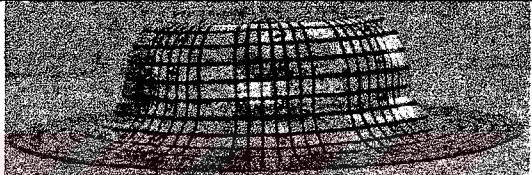
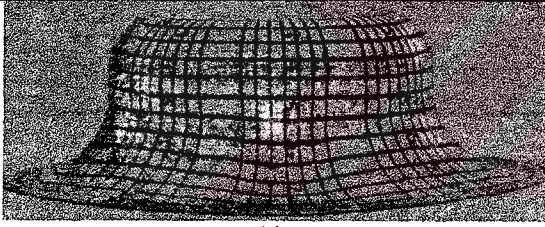
Kesitteki değişim oranları incelendiğinde merkeze yakın kısımda Şekil IV.70 (c) 15 mm'lik kalıp kavisinde elde edilen parçanın kesitteki değişim oranının kalıp kavisinin 10 mm olduğu (c) parçası ile benzer % 40 civarında olduğu yalnız merkezde (a) parçasının tabana çarpıp, geri yaylanma etkisinden dolayı daha fazla kesit değişimine uğradığı görülmektedir. 5 mm'lik kalıp kavisinde parça kalıbı

dolduramadığı için daha az kesit değişimine uğramıştır.

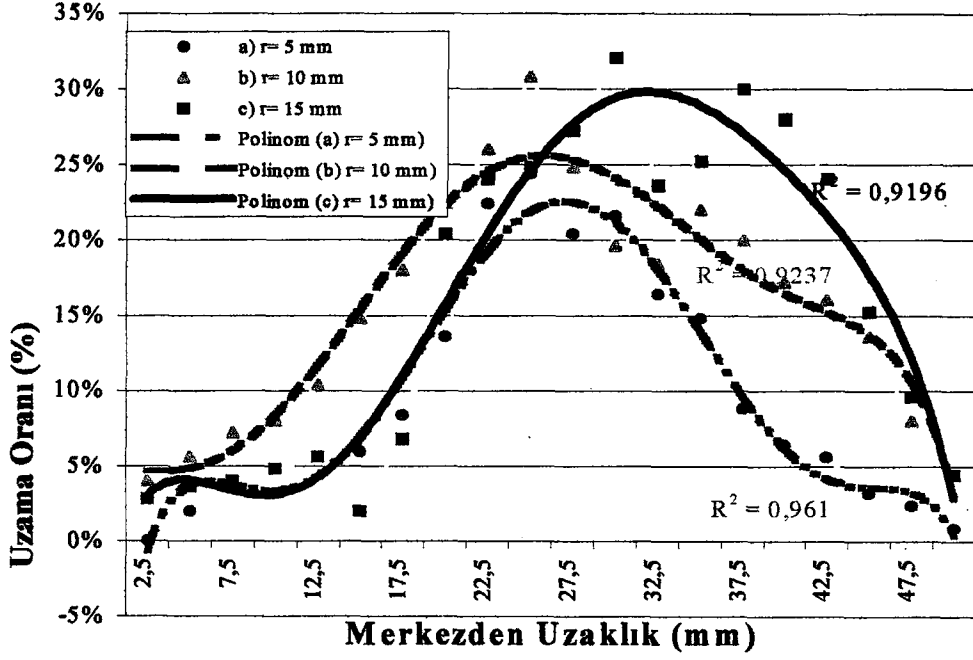
25 mm kalıp derinliğinde elde edilen ÇKDŞM deneyleri genel olarak değerlendirildiğinde kalıp kavisinin 15 mm ve ortalama detonasyon basıncının en fazla (0,905 MPa) olduğu % 120 reaktant oranında şekillendirilen Şekil IV.70 (c) parçası en iyi şekillenmiştir. Yalnız detonasyon basıncının yüksek olması nedeniyle geri yayılma sonucu tabanda ufak bir krater oluşmuştur. Kalıp kavisinden dolayı da kenarlarda kırışıklık oluşmuştur.

- **Presle yapılan deneyler**

Kalıp kavisinin şekillendirmeye etkisini değerlendirmek amacıyla preste özel olarak imal edilen Şekil IV.2 (b) de verilen zimba ile deneyler yapılmış ve sonuçları Şekil IV.73’de verilmiştir.

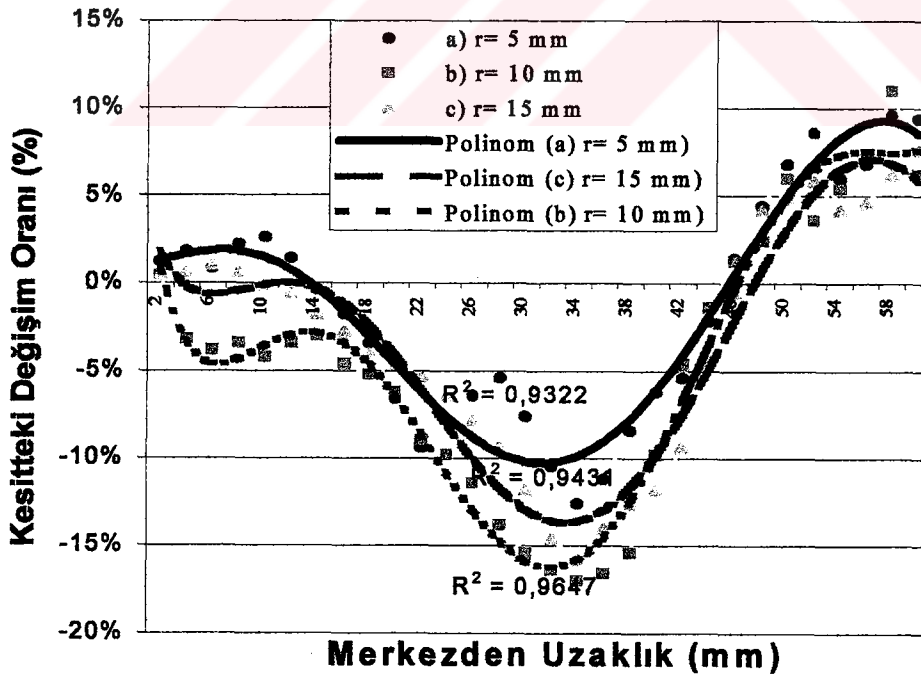
			
(a)	(b)		
Zimba Kuv.= 8836 N	Hız = 0,25 mm/ s	Zimba Kuv.= 6860 N	Hız = 0,25 mm/ s
h= 17 mm	r = 5 mm	h= 20,5 mm	r = 10 mm
	Şekil IV.73. Farklı kalıp üst radüslerinde zimba ile presle şekillendirilen parçalar.		
(c)			
Zimba Kuv.= 6900 N			
h= 27,5 mm	r = 15 mm		

Bu parçalara ait birim uzama ve kesitteki değişim grafikleri Şekil IV.74 ve Şekil IV.75’de verilmiştir. Birim uzama grafikleri incelendiğinde en fazla uzamanın % 30 ile 15 mm’lik kalıp kavisinde gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni ise bu kalıp kavisinde parça 27,5 mm kalıp derinliğine ulaşmıştır. Parça kenarlarında Şekil IV.73 (c) de görüldüğü gibi hafif kırışıklıklar oluşmuştur.



Şekil IV.74. Presle farklı kalıp üst kavislerinde şekillenen parçaların birim uzama grafikleri

Kesitteki değişim oranları incelendiğinde Şekil IV.75’de 10 mm’lik kalıp kavisinde elde edilen parçada değişim oranının daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Bunun nedeni ise kalıp kavisinin 10 mm olmasından dolayı levha kalıp içine 15 mm’lik kalıp kavisine kadar kayamamış ve kesitte incelme meydana gelmiştir.



Şekil IV.75. Presle farklı kalıp üst kavislerinde şekillenen parçaların kesitteki değişim grafikleri

Birim uzama grafiklerinde de kalıp için merkeze yakın kısımda (b) parçasının

birim uzaması daha fazladır. 5 mm'lik kalıp kavisinde fazla derinliğe inilemediği için kesitte değişim en az % 10 civarında olmuştur. Preste yapılan derin çekme deneylerinde zimba kullanıldığı için şekillenmeye zimbanın etkisi ile oluşan sürtünme kuvvetlerinin de olumsuz etkisi olmaktadır. Bunlar zimba ile parça ve parça ile kalıp arasında oluşan sürtünme kuvvetleridir. Ayrıca zimba uç radüsü de şekillenmede önemli bir etkendir.

Preste yapılan derin çekme deneylerinde kalıp kavisinin 15 mm olması durumunda daha fazla kalıp derinliğine ulaşılmıştır. Birim uzama ve kesitteki değişim oranları 10 mm'lik kalıp kavisinde daha iyi sonuç vermiştir. Kesitteki değişim oranı yaklaşık % 20'ye kadar çıkmıştır.

Bu sonuçları detonasyonla şekillendirme ile kıyasladığımızda karşımıza üç faktör çıkmaktadır. Bunlar;

1-Detonasyonla şekillenmede zimba kullanılmaması sonucu zimbanın olumsuz etkileri (sürtünme) yok edilmiştir.

2-Detonasyonda yüksek hızda basınç dalgası levhayı şekillendirmekte ve şekillenme hızı prese göre çok daha yüksektir.

3-Detonasyonda yanma sonucu oluşan şok dalgası ile oluşan sıcaklıkta şekillenmeye katkıda bulunmaktadır.

BÖLÜM V: SONUÇLAR

Bu çalışmada; Asetilen(C_2H_2)-Oksijen(O_2) gazı karışımı kullanmak için geliştirilen Çift Kademeli Detonasyonla Şekillendirme Makinası'nda sacların silindirik kap şeklinde biçimlendirilmesi işlemlerinde etkili olan parametrelerden biri olan kalıp parametreleri incelenmiştir. Deneysel hava-yakıt oranı 1/1(bir) alınarak, Asetilen(C_2H_2)-Oksijen(O_2) karışımıyla ÇKDT'de detonasyon elde edilmiş, bu enerji bir kalıp üzerine yerleştirilen 0,5 mm kalınlığındaki Alüminyum (Etial-5 ve Etial-98) levhalar üzerine yönlendirilerek levhanın kalıbın şeklini almasına çalışılmıştır. Geliştirilen BDÖ sistemi ile şekillendirme esnasındaki detonasyon basıncı, detonasyon hızı ve detonasyon basıncı etki süresi ölçülmüştür. Yüksek hızda şekillendirilen alüminyum malzemeler şekillenebilirlik oranı yönünden karşılaştırılmıştır. ÇKDŞM'de elde edilen verilere dayanılarak daha iyi şekillenme kabiliyeti olduğu anlaşılan Etial-5 malzemesi ile geleneksel (preste) derin çekme deneyleri yapılmıştır. Geleneksel ve detonasyonla şekillendirme deney sonuçları; birim uzama, kalınlık ve şekillendirme oranları yönünden karşılaştırılmıştır.

V.1. GAZ DETONASYONU İLE SERBEST ŞEKİLLENME DENEYLERİNDE VE PRESTE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

- 15 mm'lik kalıp kavisinde Etial-5 malzeme ile ÇKDŞM'de yapılan deneylerde ortalama detonasyon basıncı 0,66 MPa, maksimum detonasyon basıncı 5,4 MPa ve basıncın etki süresi $6,98E-03$ s şartlarında 38 mm derinliğe ulaşılmıştır. Preste yapılan deneylerde ise 23 mm derinlikte kalınmıştır. Birim uzama grafiklerinde ÇKDŞM'de % 45'lik birim uzama varken preste ise bu oran % 35'de kalmıştır. Kesitteki değişim oranları ÇKDŞM'de % 40 preste % 20' dir. Bu kalıp kavisinde genellikle ÇKDŞM'de ortalama detonasyon basıncının 0,7 MPa ve üzerine çıktığı durumlarda yırtılmalar oluşmaktadır. Bu kalıp kavisinde ÇKDŞM'de yapılan şekillendirmeler, ulaşılan derinlik açısından % 40, kesitteki daralmada % 50 ve birim uzamada % 23 preste şekillenmeye göre daha avantajlıdır.

- 10 mm'lik kalıp kavisinde Etial-5 malzeme ile ÇKDŞM'de yapılan deneylerde ortalama detonasyon basıncı 0,62 MPa, maksimum detonasyon basıncı 5,2 MPa ve basıncın etki süresi 6,50E-03 s şartlarında 33 mm derinliğe ulaşılmıştır. Preste yapılan deneylerde ise 22 mm derinlikte kalmıştır. Birim uzama grafiklerinde ÇKDŞM'de % 50'lik birim uzama varken preste ise bu oran % 35'de kalmıştır. Kesitteki değişim oranları ÇKDŞM'de % 40 preste % 30 oranındadır. Bu kalıp kavisinde ÇKDŞM'de ortalama detonasyon basıncı genelde 0,7 MPa'ı geçtikten sonra yırtılmalar başlamaktadır. Bu kalıp kavisinde ÇKDŞM'de yapılan şekillendirmeler preste yapılanlara göre, derinlikte % 34, birim uzamada % 30 ve kesitteki değişimde ise % 25 daha avantajlıdır.
- 5 mm'lik kalıp kavisinde Etial-5 malzeme ile ÇKDŞM'de yapılan deneylerde ortalama detonasyon basıncı 0,62 MPa, maksimum detonasyon basıncı 5,2 MPa ve basıncın etki süresi 6,48E-03 s şartlarında 28 mm derinliğe ulaşılmıştır. Preste yapılan deneylerde ise 20 mm derinlikte kalmıştır. Birim uzama grafiklerinde ÇKDŞM'de % 40'lık birim uzama varken preste ise bu oran bir noktada % 40'a yaklaşmıştır. Kesitteki değişim oranları ÇKDŞM'de % 40 civarında iken preste % 30 oranındadır. Bu kalıp kavisinde ÇKDŞM ile şekillenen parçalar preste şekillenenlere göre derinlikte % 30 ve kesitteki değişimde % 25 daha avantajlıdır. Birim uzamada bir preste şekillenen parça sadece bir noktada ÇKDŞM'de şekillenen parçaya ulaşabilmiştir.
- ÇKDŞM ile kalıp üst kavislerine göre elde edilen deney sonuçları incelendiğinde 10 mm ve 15 mm'lik kalıp üst kavislerinde elde edilen birim uzamaların maksimum % 40'ı geçtiğini, 5 mm'lik kalıp kavisinde de % 35 olduğu görülmüştür. Kesitteki değişim oranları incelendiğinde üç kalıp kavisinde de maksimum % 40'a yakın değişim oranı olduğu görülmüştür. Ulaşılan derinlik 5 mm'lik kalıp kavisinde 28 mm, 10 mm'lik kalıp kavisinde 33 mm ve 15 mm'lik kalıp kavisinde 38 mm'dir. 5 mm'lik kalıp üst kavisinde 28 mm'de kalınmasına rağmen kesitteki değişimin diğer kavis oranlarına yakın oluşmasının nedeni kalıp üst kavisinin daha dar olmasıdır. Buda ÇKDŞM ile yapılan deneylerde kalıp kavisini daraldıkça ulaşılan derinliğin azaldığını fakat kesitteki değişim ve birim uzamanın arttığını göstermektedir.

- Preste 5-10-15 mm'lik kalıp kavislerine göre zimba kullanarak yapılan deney sonuçlarında sırasıyla 19,8 mm, 22 mm ve 23 mm derinliklere ulaşılmış, kalıp kavis azaldıkça birim uzama oranını ve kesitteki değişim artmıştır.

V.2. KALIP DERİNLİĞİ ESAS ALINARAK YAPILAN DENEYLERDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

- 5 mm'lik kalıp kavisinde preste elde edilen parçada 4350 N'luk zimba yükü ile 19,8 mm derinliğe ulaşılmıştır. Birim uzaması % 25, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 10 civarındadır. Aynı kalıp kavisinde ÇKDŞM'de 20 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 35 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 100 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,91 MPa, maksimum detonasyon basıncı 7,2 MPa, detonasyon hızı 2816 m/s, basıncın etki süresi 8,21E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 50, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 40'dır.
- ÇKDŞM'de 22,5 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 25 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 80 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,86 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6,08 MPa, detonasyon hızı 2838 m/s, basıncın etki süresi 7,75E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 45, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 40'dır.
- ÇKDŞM'de 25 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde, 7 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 60 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,67 MPa, maksimum detonasyon basıncı 7,83 MPa, detonasyon hızı 2777 m/s, basıncın etki süresi 6,99E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 35, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 33'dür.
- Bu kalıp kavisinde ÇKDŞM ile elde edilen sonuçlarda, 20-22,5-25 mm derinliklerde yapılan tüm deneylerde birim uzama ve kesitteki değişim açısından daha iyi sonuçlar alınmıştır. Preste yapılan deneylerde zimba kullanıldığı için şekillenen parçanın taban çapı ÇKDŞM'de 22,5 mm ve 25 mm derinliklerde elde edilen taban çaplarından daha iyidir. ÇKDŞM ile 20 mm derinlikte yapılan deneyde 35 mm taban çapına ulaşılmış ve preste kullanılan zimba tabanı ile aynı sonuç elde edilmiştir. ÇKDŞM ve preste elde edilen sonuçlar Tablo V.1'de verilmiştir.

Tablo V.1. 5 mm'lik kalıp radüsünde ÇKDŞM ve preste elde edilen sonuçlar.

Kalıp Radüsü (mm)	Kullanılan Metot	Derinlik (mm)	Birim Uzama (%)	Kesitteki Değişim (%)	Taban Çapı (mm)
5	Presle	17	% 25	% 10	34
5	ÇKDŞM	20	% 50	% 40	35
5	ÇKDŞM	22,5	% 45	% 40	25
5	ÇKDŞM	25	% 35	% 33	7

- 10 mm'lik kalıp kavisinde preste elde edilen parçada 4430 N'luk zımba basıncı ile 20,5 mm derinliğe ulaşılmıştır. Birim uzaması % 30, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 20 civarındadır. Bu kalıp kavisinde ÇKDŞM'de 20 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 42 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 120 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,62 MPa, maksimum detonasyon basıncı 7,86 MPa, detonasyon hızı 2941 m/s, basıncın etki süresi 7,44E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 45, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 42'dir.
- ÇKDŞM'de 22,5 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 36 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 100 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,86 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6,42 MPa, detonasyon hızı 2777 m/s, basıncın etki süresi 7,76E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 43, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 46'dır.
- ÇKDŞM'de 25 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 32 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 100 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,88 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6,88 MPa, detonasyon hızı 2816 m/s, basıncın etki süresi 7,88E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 43, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 46'dır.
- ÇKDŞM'de 27,5 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 19 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 60 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,65 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6,1 MPa, detonasyon hızı 2666 m/s, basıncın etki süresi 6,84E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 38, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 35'dir.
- 10 mm'lik kalıp kavisinde preste ve ÇKDŞM'de elde edilen deneylerin sonuçları toplu olarak Tablo V.2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre ÇKDŞM ile yapılan deneylerin 20 mm ve 22,5 mm derinlikte preste elde edilen taban çapından daha iyi sonuç verdiği, birim uzama ve kesitteki değişim açısından çok daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Tablo V.2. 10 mm'lik Kalıp radüsünde ÇKDŞM ve Preste elde edilen sonuçlar.

Kalıp Radüsü (mm)	Kullanılan Metot	Derinlik (mm)	Birim Uzama (%)	Kesitteki Değişim (%)	Taban Çapı (mm)
10	Presle	20,5	% 30	% 20	34
10	ÇKDŞM	20	% 45	% 42	42
10	ÇKDŞM	22,5	% 43	% 46	36
10	ÇKDŞM	25	% 43	% 46	32
10	ÇKDŞM	27,5	% 38	% 35	19

- 15 mm'lik kalıp kavisinde preste elde edilen parçada 4700 N'luk zimba basıncı ile 27,5 mm derinliğe ulaşılmıştır. Birim uzaması maksimum % 32, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 15'dir.
- ÇKDŞM'de aynı kalıp kavisinde 22,5 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 44 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 120 oranında reaktant kullanarak, ortalama detonasyon basıncı 0,93 MPa, maksimum detonasyon basıncı 7,5 MPa, detonasyon hızı 2898 m/s, basıncın etki süresi 6,87E-03 s şartlarında ulaşılmıştır, Birim uzaması % 38, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 26'dır.
- ÇKDŞM'de 25 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 42 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 120 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,905 MPa, maksimum detonasyon basıncı 7,59 MPa, detonasyon hızı 2877 m/s, basıncın etki süresi 7,15E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 40, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 35'dir.
- ÇKDŞM'de 27,5 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 36 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 80 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,75 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6,74 MPa, detonasyon hızı 2756 m/s, basıncın etki süresi 7,57E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 40, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 35'dir.
- ÇKDŞM'de, 30 mm kalıp derinliğinde yapılan deneylerde 30 mm taban çapına detonasyon tüp hacminin % 100 oranında reaktant kullanılarak, ortalama detonasyon basıncı 0,84 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6,6 MPa, detonasyon hızı 2857 m/s, basıncın etki süresi 6,87E-03 s şartlarında ulaşılmıştır. Birim uzaması % 43, kesitteki değişim oranı ise yaklaşık % 40'dır.
- 15 mm kalıp kavisinde ÇKDŞM ve preste elde edilen sonuçlar Tablo V.3'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ÇKDŞM'de elde edilen sonuçlar prese göre, aynı derinlik baz alındığında (27,5 mm) birim uzamada % 20, kesitteki değişimde % 60 daha avantajlıdır.

Tablo V.3. 15 mm'lik Kalıp radüsünde ÇKDŞM ve Preste elde edilen sonuçlar.

Kalıp Radüsü (mm)	Kullanılan Metot	Derinlik (mm)	Birim Uzama (%)	Kesitteki Değişim (%)	Taban Çapı (mm)
15	Presle	27,5	% 32	% 15	34
15	ÇKDŞM	22,5	% 38	% 26	44
15	ÇKDŞM	25	% 40	% 35	42
15	ÇKDŞM	27,5	% 40	% 35	36
15	ÇKDŞM	30	% 43	% 40	30

- ÇKDŞM ve preste derinliğe bağlı olarak elde edilen şekillendirmelerde birim uzama oranlarının dağılımına bakıldığında, ÇKDŞM'de elde edilen parçaların taban merkezinde ve merkeze yakın bölgede birim uzamalar yoğunluk kazanırken, preste elde edilen parçalarda birim uzamaların tabanda değil daha çok taban radüsüne yakın sıvamanın meydana geldiği duvar kısmında olduğu görülmüştür. ÇKDŞM ile şekillenen parçalar preste elde edilen parçalara göre, kalıp kavisinin ve derinliği oluşturan duvarların daha sağlam olması açısından avantajlıdır. Kesitteki değişim oranlarının dağılımına bakıldığında ÇKDŞM'de elde edilen parçalarda merkezde ve merkeze yakın bölgede kesit değişimin yoğunlaştığını, preste elde edilen parçalarda ise bu değişimin daha çok kalıp derinliğini oluşturan duvar boyunca olduğu görülmüştür.

V.3. GENEL SONUÇLAR

- ÇKDT'nin birinci kademesinde detonasyon hızına ulaşılmış, ikinci kademe tüpte ise detonasyon hızında önemli bir artış olmamıştır. Detonasyon hızı kullanılan reaktant oranlarına göre değişmekle birlikte deneylerde 2600 m/s ile 3076 m/s arasında ölçülmüştür.
- ÇKDT'ye gönderilen reaktant oranına göre deneylerde ortalama detonasyon basıncı 0,5 MPa ile 1 MPa, maksimum detonasyon basıncı 6-10 MPa arasında elde edilerek şekillenme işlemleri yapılmıştır.
- Kalıp üst kavis azaldıkça, levha kenarlarında oluşan kırışıklığın azaldığı fakat kalıbı doldurmakta zorlandığı, kalıp üst kavis arttıkça da kırışıklığın arttığı ve levhanın kalıbı daha kolay doldurduğu tespit edilmiştir.
- Kalıp üst kavislerinin kalıp derinliği üzerindeki etkileri ise kavis radüsü azaldıkça ulaşılan kalıp derinliği azalmakta, kalıp üst kavis arttıkça ulaşılan kalıp derinliği artmaktadır.

- Genel olarak kalıp derinliğinin 25 mm ve altındaki şekillendirmelerde iyi sonuçlar alınmış fakat 25 mm üstündeki şekillenmelerde levhaların kalıbı doldurmakta zorlandığı, detonasyon basıncının arttırıldığında ise yırtılmaların oluşmuştur.
- Derinliğin arttırılması ile detonasyon basıncının sabit tutulduğu deneylerde, kalıbı doldurma oranı azalmış ve kesitteki incelmeden dolayı yırtılmalar oluşmuştur.
- Etial-5 (Al 1050) malzemenin Etial-98'e göre detonasyonla şekillenme kabiliyetinin daha iyi olduğu görülmüştür. Etial-5 malzemenin ÇKDŞM ve preste yapılan şekillendirme deneyleri sonucunda, kullanılan kalıp kavislerine göre % 30 ile % 50 arasında yüksek hızda daha iyi şekillenme kabiliyeti olduğu belirlenmiştir..
- ÇKDŞM ve preste elde edilen parçaların yırtılma bölgelerine baktığımızda, ÇKDŞM ile yapılan serbest şekillenme deneylerinde yırtılmaların genellikle şekillenen parçanın koni oluşturan merkez kısmında oluşmuş, preste elde edilen parçalarda ise yırtılmalar zımba uç kavisi ile kalıp radüsü arasında meydana gelmiştir. Derinliğin sınırlanarak ÇKDŞM ile yapılan deneylerde, yırtılmalar genellikle kalıp dip radüsünün olduğu taban kısımlarında, preste elde edilen parçalarda ise yırtılmalar daha çok zımba dip radüsü ile kalıp üst radüsü arasında oluşmuştur.
- Sabit bir kalıp derinliği ($r = 25$ mm) esas alınarak, kalıp kavisleri karşılaştırıldığında en iyi şekillenmenin taban çapı 44 mm olan ve kalıbı daha iyi dolduran 15 mm'lik kalıp kavisinde olduğu, birim uzama ve kesitteki değişimin yine bu kalıp kavisinde maksimuma ulaştığı belirlenmiştir.
- Preste farklı kalıp kavislerinde elde edilen deneylerde, kalıp kavisinin 15 mm olduğu deneyde en fazla kalıp derinliğine ulaşılmış, birim uzama ve kesitteki değişim oranları 10 mm'lik kalıp kavisinde ise daha iyi sonuç vermiştir.
- Kalıp kavislerine göre ÇKDŞM ile yapılan serbest şekillenme deneyleri, preste yapılan deneylerle kıyaslandığında genel olarak kalıbı daha iyi doldurmakta, birim uzama, kesitteki değişim ve derinlik açısından kalıp kavisine göre değişen oranlarda % 20 ile % 50 daha avantaj sağlamaktadır.

BÖLÜM VI: TARTIŞMA DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu bölümde yapılan ÇKDŞM deneyleri, literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanarak, tartışılacak, getirmiş olduğu yenilik ve katkılar ortaya konularak değerlendirilecektir. İleride bu konuda yapılacak olan çalışmalar için öneriler sunulacaktır.

VI.1. Deney Sonuçlarının Literatürdeki Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Geliştirilen ÇKDŞM ile yapılan deney sonuçlarının, literatürde bu konuda yapılmış olan ve yapılan bu çalışmaya benzer çalışma sonuçları ile karşılaştırılması, yapılan çalışmanın geçerliliğini göstermek açısından faydalı olacaktır. Bu amaçla aşağıdaki çalışmalar incelenerek yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır.

ÇKDŞM ile yapılan deneylerde gaz detonasyonunun sac şekillendirmede kullanılması açısından benzer en yakın çalışmalar A. Honda, M. Suzuki [70] ve Gavas M. [48] tarafından yapılmıştır. Özellikle Honda ve Suzuki [70] tarafından yapılan çalışmada, detonasyonla şekillendirme yapmak amacı ile geliştirilen sistemde Metan (CH_4) ve Oksijen (O_2) gazları ile 0,3 mm ile 2 mm arasında değişik kalınlıklarda saf titanyum kullanılmış ve başlangıç basıncına bağlı olarak Tablo VI.1'de verilen basınç değerleri elde edilmiştir.

Tablo VI.1. Deneylerde başlangıç basıncına bağlı olarak elde edilen maksimum detonasyon basınç değerleri [70].

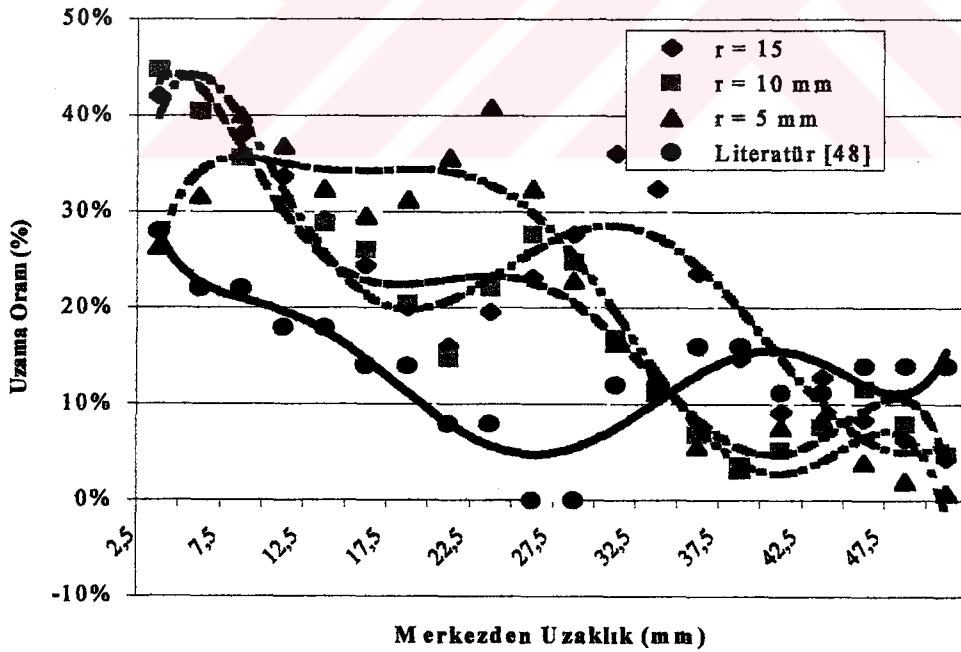
Başlangıç Gaz Basıncı (MPa)	Maksimum Detonasyon Basıncı (MPa)
0,0666	200
0,1013	350
0,1519	650

Elde edilen deney sonuçları preste, kalıp kavisi 5 mm, çapı 53 mm olan kalıp ve çapı 50 mm olan zimba kullanılarak yapılan deneylerle karşılaştırılmış, detonasyonla elde

edilen sonuçların daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu sistemle elde edilen bazı parçalar Şekil II.36'da verilmiştir.

A. Honda, M. Suzuki [70] tarafından yapılan çalışma, Etial 95 alüminyum kullanılarak ÇKDŞM ve preste elde edilen deney sonuçlarını, detonasyonla şekillendirmenin daha iyi sonuç vermesi açısından desteklemektedir. Elde edilen basınçlara baktığımızda A. Honda, M. Suzuki [70] başlangıç basıncına bağlı olarak 200-650 MPa ulaşmışlar, ÇKDŞM'de ise reaktant oranına bağlı olarak 6-10 MPa arasında detonasyon basıncına ulaşılmıştır.

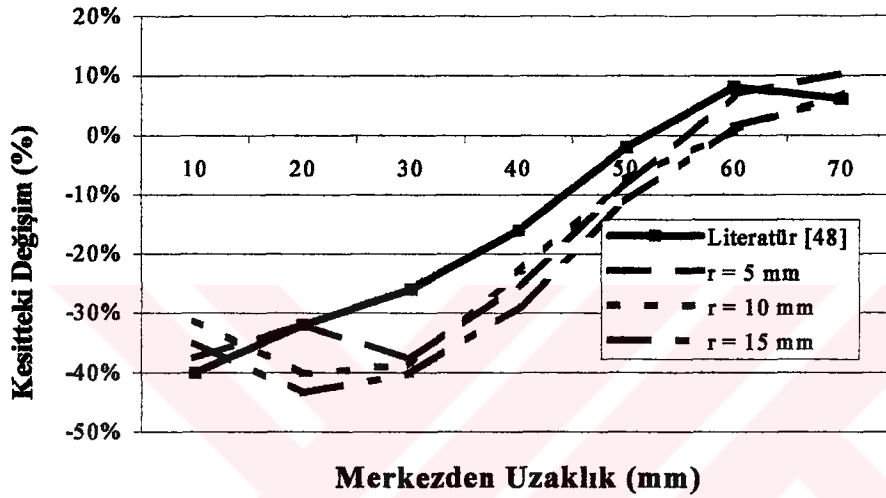
Gavas M., [48] tarafından yapılan çalışmada detonasyonla şekillendirme amacıyla geliştirilen tek kademeli sistemde propon-oksijen karışımı kullanılmış ve 0,5 mm kalınlığında alüminyum sac reaktant oranı sabit alınarak değişik ateşleme (stand-off) mesafelerinde şekillendirilmeye çalışılmıştır. Kullanılan kalıp 28 mm çapında, kalıp ağız yarıçapı 4 mm ve yarım daire şeklindedir. Deneyleerde detonasyon hızı ve detonasyon basınçları üzerinde bir çalışma yapılmamış şekillenmeye etkili parametre olarak parça ile ateşleme noktası arasındaki mesafe incelenmiştir. Deneyleerde elde edilen birim uzama ve kesitteki değişim oranlarının ÇKDŞM'de elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Şekil VI.1 ve Şekil VI.2'de verilmiştir.



Şekil VI.1. ÇKDŞM ile serbest olarak üç kalıp kavisinde (5,10,15 mm) elde edilen sonuçların literatürden elde edilen [48] dataları ile uzama oranı açısından karşılaştırılması

Şekillerde görüldüğü gibi kesitteki değişim ve birim uzama açısından ÇKDŞM ile elde edilen sonuçlar tüm kalıp kavislerinde daha verimlidir. Özellikle kalıp

kavislerinin yakın olması açısından 5 mm'lik kalıp kavisini ile Gavvas M., [48] tarafından 4 mm'lik kalıp kavisinde yapılan çalışmalar incelendiğinde ÇKDŞM'de merkeze yakın kısımda uzama oranının % 40 ulaşırken, diğer çalışmada uzamanın merkezde % 30 iken merkeze yakın kısımda düşüşe geçtiği ve kenarda tekrar arttığı görülmektedir. Ayrıca Gavvas M., [48] tarafından yapılan deneylerde istenilen şekillenme oranına ulaşmak için aynı malzeme üzerinde iki defa detonasyonla çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Buna rağmen ÇKDŞM ile daha iyi şekillenme tek detonasyonla çekme işleminde elde edilmiştir.



Şekil VI.2. ÇKDŞM ile serbest olarak üç kalıp kavisinde elde edilen sonuçların literatürden elde edilen dotalar ile kesitteki değişim açısından karşılaştırılması.

Literatürde bulunan diğer bir çalışma ise Raghu K., [37] ve arkadaşları tarafından kimyasal patlayıcılar kullanılarak tek işlemde sac levhalarla şekillenme ve kaplama çalışmaları üzerinedir. Bu çalışmalarda 1,5 mm kalınlığında bakır-bakır, bakır-alüminyum ve çelik-bakır sacların şekillenmesi ve birbirleri ile birleşmeleri incelenmiştir. Bu amaçla malzemeler önce belli bir sıcaklığa kadar ısıtılmış ve 2500 m/s detonasyon hızında şekillenme ve kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen şekillenmelerde kenarlarda kırışıklıklar oluştuğu ve iki levhanın birleşmesi ile dalgalı yüzeyler elde edildiği belirtilmektedir. Kalıp ağız radüsünün küçük olmasından dolayı şekillenen parçada çatlakların oluştuğu, yetersiz vakumlama sonucunda girinti ve yırtıkların oluştuğu rapor edilmiştir. Patlayıcının yetersiz kullanılmasında istenen şekillenmenin oluşmadığı fazla kullanılması durumunda ise yırtılmaların oluştuğu belirtilmiştir. Bu veriler detonasyonla yapılan çalışmalarda kırışıklıkların ve yırtıkların oluşmasını engellemek için reaktant oranının iyi ayarlanması gerektiğini ve yapılan bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

Huang Y., ve Chen J., [94] tarafından yapılan çalışmada preste, kalıp kavisinin düşük karbonlu çelik sacların silindirik olarak şekillenmesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel ve FEM analiz sonuçları en çok kesit daralması ve derin çekme sınırının en geniş kalıp radüsünde elde edildiğini göstermiştir. Küçük kalıp ağız radüsünün ise maksimum zımba kuvveti gerektirdiği belirtilmiştir. Bu sonuçlar ÇKDŞM ile yapılan çalışmada kalınlık incilmesi, birim uzama ve derin çekme sınırlarının en geniş kalıp kavisini olan 15 mm’de elde edilmesi ile uyumludur. Aynı şekilde ÇKDŞM’de kalıp kavisinin küçülmesi ile detonasyon basıncı artırılmış ve yırtılmalar meydana gelmiştir.

O.E. Kasing ve B.W. Skevis [93] tarafından 4,5 m boyunda, 56 mm iç çapında düşey bir çelik şok tüpünde sıvı basıncı kullanılarak, yüksek hızda yapılan çalışmada 0,55 mm ve 0,9 mm kalınlığında bakır diskler üzerinde silindirik şekillenme çalışmaları yapılmıştır. Bu metotla gerçekleştirilen deneylerde plastik bir piston içinde 4,5 bar basıncındaki hava tarafından sıkıştırılan suyun oluşturduğu basınç ile şekillenme oluşmaktadır. Şekil VI.3 ve Şekil VI.4’de 0,55 mm ve 0,9 mm kalınlığındaki bakır diskler üzerinde yapılan şekillendirmeler görülmektedir.



Şekil VI.3. 0,55 mm kalınlığında deformasyona uğrayan bakır diskler. Merkez nokta deformasyon miktarı (soldan sağa) : 10,95-13,45-14,4-16,15 mm [93].



Şekil VI.4. 0,9 mm kalınlığında deformasyona uğrayan bakır diskler. Merkez nokta deformasyon miktarı (soldan sağa) : 10,95-13,45-14,4-16,15 mm [93].

O.E. Kasing ve B.W. Skevis [93] tarafından yapılan bu çalışmada parçanın belli zaman aralıklarında şekillenme fotoğrafları çekilerek şekillenme hızları hesaplanmıştır. Maksimum basınç 40 MPa, maksimum şekillenme hızı 95,5 m/s, ortalama şekillenme hızı ise 68 m/s olarak elde edilmiştir. 0,55 mm kalınlığında bakır levha üzerinde yapılan serbest şekillenme deneylerinde 25,56 MPa basınçta 16,5 mm derinliğe ulaşılmıştır. Daha yüksek basınçlarda yırtılmalar olduğu bildirilmiştir. ÇKDŞM’de serbest şekillenme deneylerinde 0,5 mm kalınlığındaki Etial-98 Alüminyum malzeme ile 15 mm kalıp kavisinde maksimum basınç 5,4

MPa'da 38 mm, 10 mm kalıp kavisinde maksimum basınç 5,2 MPa'da 35 mm, 5 mm kalıp kavisinde maksimum basınç 5,2 MPa'da 28 mm derinliğe ulaşılmıştır.

Hu X. ve Daehn [95] tarafından yapılan sac levhanın tek yönlü gerilme ve halka genişleme testlerinde çeşitli deformasyon hızlarında süneklik oranı ve atalat etkileri incelenmiştir. Yüksek hızda çekilen parçanın sünekliğinin önce arttığı, inip çıkmalı bir dalgalanma gösterdiği ve sonra hızlı bir şekilde düştüğü gözlemlenmiştir. Halka genişleme testinde ise süneklik değişiklik göstermeden yükselmiştir. Bu davranışlar sonucunda yüksek hızda şekillenmede atalat etkileri sünekliği arttıran birinci etken olarak gözlemlenmiştir.

Daehn ve arkadaşları [17] hızın bir fonksiyonu olarak sünekliğin değişmesinin nedeninin şu üç faktör olabileceğini belirtmişlerdir. Bunlar malzemeyi oluşturan davranışların değişmesi, ısı generasyonu ve atalet etkileridir. Genel olarak bu üç faktör malzemenin sünekliğini arttırmakta ve sertliğini de değiştirmektedirler. Isı değişimi yüksek hızda deformasyon süresince malzemenin sünekliğine etki eder. Fakat sünekliğin artmasının kaynağı olarak ısı etkisi düşünülmemeyebilir. Özellikle boyun vermeden sonra ısı deformasyona zarar veren bir etkidir. Hızın artması ile sertliğin artması ise çok önemli değildir. Malzemenin sünekliği muhtemel olarak yüksek deformasyon hızında atalet etkilerine bağlı olarak artmaktadır sonucuna varmışlardır. Bu amaçla sac levhanın gerilme ve halka genişleme testlerini yüksek hızda yaparak atalat etkilerinin sünekliğe etkisini incelemişlerdir. Alüminyum levhalarla elektromanyetik şekillenme metodu ile yapmış oldukları deneylerde % 100'e varan birim uzamalar elde etmişlerdir.

Literatürde yapılan bu çalışmalar yüksek hızda şekillenmede parçaların şekillenme kabiliyetlerinin büyük miktarda arttığını sertliğinin değiştiğini belirtmektedir. ÇKDŞM ile yapılan deneylerde preste yapılan deneylere göre daha iyi şekillenme elde edilmiş, birim uzama ve kesitteki değişim ve kalıbı doldurma sonuçları da preste deneylerin çok üzerinde çıkmıştır. Yukarıdaki çalışmalar ve ÇKDŞM'de elde edilen sonuçlar gaz detonasyonu ile yüksek hızda şekillenmenin prese göre daha verimli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

VI.2. ÖNERİLER

- Detonasyonla şekillendirme konusu günümüzün sac şekillendirme problemlerinin çözümünde daha aktif olarak kullanılmalı bu amaçla geniş kapsamlı otomotiv ve uçak sanayiine yönelik yeni çalışmalar yapılmalıdır.

Uçak, uzay ve otomotiv sanayiinde şekillendirilen büyük ebatlı sac levhaların bu sistemle şekillendirilmesi ile daha ekonomik üretimler yapılabilir.

- Bakır levhalar üzerine yapılan kabartmalarda bu sistem kullanılabilir.
- Detonasyonla şekillendirilen levhalar üzerinde detonasyon basıncının mikro yapıya, şekillenen parçanın mekanik özelliklerine etkileri incelenebilir.
- ÇKDŞM'nin basınç, hız, sıcaklık baz alınarak ve yapılan bu çalışmaların teorik olarak modellenmesi yapılabilir.
- ÇKDŞM'ye yüksek vakumlama sistemi eklenerek grift şekilli parçaların kalıbı doldurması ve kalıp parametreleri incelenebilir.
- Değişik kalınlık ve malzemeler üzerinde detonasyonla şekillendirmenin etkileri incelenebilir.
- Değişik gazlar kullanılarak ve başlangıç basıncı yüksek tutularak daha yüksek detonasyon basınçlarında çalışmalar yapılabilir.
- ÇKDT içine sıvı doldurularak şekillenmeye etkisi incelenebilir.
- Detonasyonla şekillenme esnasında meydana gelen sürtünme ve şekillenme hızı ölçülerek çeşitli malzemeler üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. M. Padmanabhan, "Wrinkling and Springback in Electromagnetic Sheet Metal Forming and Ring Compression" *M.Sc. Theses*, Ohio State University, (1997).
- [2]. Glenn, S. Daehn "Improved Formability with Electromagnetic Forming: Fundamentals and a Practical Example", www.ohio.edu.tr/~daehn/ hyperplasticity (Erişim Şubat 2001).
- [3]. Erişkin, Y., "Uygulamalı Sac Metal Kalıp Konstrüksiyonu", Gazi Üniversitesi Yayın No:138, Teknik Eğitim Fakóltesi Yayın No: 1, Gazi Üniversitesi Basım-Yayın Yüksekokulu Matbaası, Nisan (1986).
- [4]. J.F. Duarte., A.B. Rocha., B. Bacroix., J.J. Gracio "Formability characterization of aluminium sheets used in automotive industry"., *Advanced Sheet Metal Forming, 19th IDDRG Biennial Congress*. Held in Hungary 10-14 June (1996).
- [5]. Duarte, J.F., Barata da Roche, A. Bacroix, B. Gracio. J.J., "Formability Characterization of Aluminium Sheets Used in Automotive Industry", *Advanced Sheet Metal Forming. 10-14 June (1996), 19th IDDRG Biennial Congress*, Eger, Hungary.
- [6]. P. Eisenburger., "Basic Research Needs for Vehicles of the Future". Princeton Materials İnstitute, Princeton, NJ (1995), pp.19-25.
- [7]. V.S. Balanethiram and G.S. Daehn, *Scripta Metall.*,27, (1992) pp.1783.
- [8]. Daehn, G.S., Altynova, M. Balanethiram, V.S. Fenton et al, G., "High Velocity Sheet Metal Forming. An Old Technology Addresses Current Problems" *Sheet Metal Forming Symposium*, October 29-November 2, (1995).
- [9]. G.S. Daehn., M. Altynova., V.S. Balanethiram., G. Fenton., "High.Velocity Sheet Metal Forming. An Old Technology Adresses Current Problems" *Sheet Metal Forming Symposium*, October 29-November 2, (1995).
- [10]. M. Altynova, X. Hu and G.S. Daehn. *Metall. Trans.*, (1995).
- [11]. Remmerswaal, J.L., "The Peaceful Use of Explosives", *Sheet Metal Industries*, Vol.39, No.423, p.475, July (1962).
- [12]. Zhang T., Li, Z.,Guo, C., Tong, Z., "Explosive forming of spherical metal vessels without dies", *Journal of Materials Prosessing Technology*, 31. (1992) 135-145.
- [13]. N. Takatsu, M Kato, K. Sato ve T. Tobe, "High-Speed Forming of Metal Sheets by Electromagnetic Force" *JSME International Journal*, Ser III, vol.31, No.1, (1988).

- [14]. Marina M. Altynova., "The Improved Ductility of Aluminum and Copper by Electromagnetic Forming Technique", *M.S. Thesis*, The Ohio State University, Columbus, OH, (1995).
- [15]. M.C. Noland, "Designing For the High-Velocity Metalworking Processes" *Machine Design*, Vol 39, Aug. 17, (1967), pp.163-182.
- [16]. M.M.Plum, "*Electromagnetic Forming*", in *Metals Handbook*, Vol. 14, 9th Edition, American Society for Metals, (1989), pp. 645-53.
- [17]. Daehn, G.S., "High Velocity Sheet Metal Forming: State of the Art and Prognosis for Advanced Commercialization". Department of Materials Science and Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH.
- [18]. Çimenoğlu, H.; Kayalı, E. S., "*Malzemelerin Yapısı ve Dinamik Davranışları*", İ.T.Ü. Kimya-Metalürji Fakültesi, İstanbul, (1991), 106-107
- [19]. Fontane, J.F.,Gelin, J.C., "A Finite Element Analysis of High Speed Metal Forming Process", *Annals of CIRP*, Vol. 40/1 (1991).
- [20]. Meyers, M.A.: "Dynamic Behavior of Materials", *John Wiley & Sons, Inc.* New York (1996).
- [21]. Vohnut, V.J., "A Hybrid Quasi-Static/Dynamic Process for Forming Large Sheet Metal Parts from Aluminum Alloys", The Ohio State University, *PhD Thesis*, USA, (1998).
- [22]. Johnson G.R., Cook, W.H. "Aconstitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates and High Temperatures", *Presented at the Seventh International Symposium on Ballistics*, The Hague, The Netherlands, April (1983).
- [23]. Blazynski, T.Z. "*Explosive Welding, Forming and Compaction*" Applied Science Publication Limited, (1983). Ripple Road, Barking. Essex, England.
- [24]. Munreo, C. E. "Modern Explosives", *Scribners Magazine*, May, (1988).
- [25]. Brunu, E.J., Editor, "High Velocity Forming of Metals", *American Society of Tool and Manufacturing Engineers*, Dearborn, Michigan (1968).
- [26]. Cole, R.H., "*Underwater Explosions*", Princeton University Press, Princeton, (1948).
- [27]. Hudson, G.E., "A Theory of the Dynamic Deformation of a Thin Diaphragm", *Journal of Applied Physics.*, p.1. Vol. 22, (1951).
- [28]. Noble, C.f and Oxley, P.L.B., "Estimating Charge size in Explosive Forming of Sheet Metal", *Proc.5th International Machine Tool design and research Conference*, p.329. Birmingham, (1964).

- [29]. Johnson, W., Duncan, J.L., Kormi, K., Sowerby, R. And Travis, F.W., "Some Contributions to High Rate sheet Metal Forming", *Proc.4th International Machine tool Design and Research Conference*, p.257 (Pergamon), Manchester, Sept. (1963).
- [30]. Johnson, W. And Sowerby, R., "Experiments on Clamped Blanks Subject to an Underwater Explosive Charge", *Proc. I.Mech.E.*, Vol.179, Part 1, No. 7, p.197, (1964-65).
- [31]. Corbett, S.E. and Bicker, A.W., "Some Small Scala Experiments in Explosive Forming", *Sheet Metal Industries*, Vol.39, No423, p.555, July (1962).
- [32]. Remmerswaal, J.L., "The Peaceful Use of Explosives", *Sheet Metal Industries*, Vol.39, No.423, p.475, July (1962).
- [33]. Hobson, G. and Amini, E., "Analysis of an Explosive Forming Machine", *Proc. 5th International Machine Tool Design and Research Conference*, p.339, Birmingham, (1964).
- [34]. Hobson, G., and Amini E., "Fundamentals of an Explosive Forming Machine", *International Journal of Machine Tool Design and Research*, Vol.4, p.73, (1964).
- [35]. Ezra, A.A., "Principles and Practice of Explosive Metalworking", Vol.1, Made and Printed by the Garden City Press Limited, Letchworth, Hertfordshire, SG6 1JS.
- [36]. Kadı, İ., "Dtanasyon Olaylarının Bilgisayar Destekli Ölçme ve Analizi", *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1992).
- [37]. Raghu Kandan K., Rathinasabapathi M. ve Veidyanayhan P.V., "Explosive 'form-cladding' – A critical study" *Journal of Materials Processing Technology*, 32 (1992) 65-71.
- [38]. Tiesheng, Z., Zhensheng, L., Changji, G. And Zheng, T., *Journal of Materials Processing Technology*. Vol.31, pp 135-145, May (1992).
- [39]. S.T.S. Al-Hassani, J.L. Duncan and W. Johnson., "Analysis of the electro-metal forming process" *proc. CIRP, USA, ASTM Conf.* September (1967).
- [40]. S.T.S. Al-Hassani, J.L. Duncan, W. Johnson., "The influence of the electrical and geometrical parameters in magnetic forming" *Proc. 8th Int. MTDR Conf.*, UK, September 1967, Pergamon, Oxford, (1968).
- [41]. S.T.S. Al-Hassani, J.L. Duncan, W. Johnson, "On the parameters of the magnetic forming process" *J.Mech. Eng. Sci.* 16 (1) (1974) 1.
- [42]. N. Takatsu, M. Kato, K. Sato, T. Tobe, "High speed forming of metal sheets by electrofmagnetic force," *Jpn. Soc. Mech. Eng. Int. J.* 31.1.(1988), 142.

- [43]. W.H. Gourdin, "Analysis and assesment of electromagnetic ring expansion as a high strain rate test" *J. Appl. Phys*, 65, (1989), 411.
- [44]. W.H. Gourdin, S.L. Weinland, R.M. Boling, "Development of the electromagnetically launched expanding ring as a high-strain test technique" *Rev. Sci. Instrum.* 60 (1989), 27.
- [45]. G.K. Fenton, "Development of Numerical Tools to Model Plasticity in Aluminum due to Electromagnetic Forces" *MSc Thesis*. Departman of Materials Science and Engineering, Ohio State University, June, (1996).
- [46]. I.V. Belly, S.M. Fertik, L.T. Khimenko, "*Electromagnetic Metal Forming Handbook*" (M.M. Altynova Trans.), a translation of the Russian book: *Spravochnik Po Magnitno-impul'snoy Obrabotke* (by Kharkov), Departman of Materials Science and Engineering, Ohio State University, (1996).
- [47]. Rui, Z., and Tie-Shang, Z., "Non-die Explosive Forming of Spherical Pressure Vessels", *Journal of Materials Processing Technology*, 41,(1994), Mar 341-347 Elsevier.
- [48]. Gavas, M. "Detanasyonla Derin Çekme İşlemlerine Etkili Paremetrelerin İncelenmesi" *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 130 sayfa., İstanbul (1998).
- [49]. H. Steinicke, A. Neubauer, K. Vinzens and H. Schmicker., " New Processes for Explosive Metal Forming of Sheet Parts in Batch Production", *Metalurgical Applications of Shock Wave and High Strain Rate Phenomeno.* p.991-1001,(1986).
- [50]. Sachs, G., "*Principles and Methods of Sheet-Metal Fabricating*" Second Edition, Revised and Enlarged by Henry E. Voegeli, reinhold Publishing Coorporation, New York, (1966).
- [51]. R Hardwick and A Doherty., "High energy rate forming- considerations and production methods" *Sheet metal industries.* (1970).
- [52]. Davies, R. and Austin, E.R., "*Developments in High Speed Metal Forming*" Industrial Press Inc. 2000 Madison Avenue, New York. N.Y.10016 (1970).
- [53]. Berman, I., Schroeder J., "Near-contact explosive forming in Explosive welding, Forming, Plugging and Compaction". PVP-44.1 1980. And Blazynski, T.Z. "*Explosive Welding, Forming and Compaction*" Applied Science Publication Limited, (1983). Pp. 347-351. Ripple Road, Barking. Essex, England.
- [54]. Johnson, W., Kormi, K., and Travis, F.W., " The explosive drawing of square and flat bottomed circulsr cups and bubble pulsation phenomena", *Proc. 5th*

- International Machine Tool Design and Research Conference*, Birmingham, Sept. p,293, (1964).
- [55]. Ezra A.A., "Principles and Practices of Explosive Forming", *Proc. 5th International Machine Tool Design and Research Conference*, Birmingham, Sept. (1964). (Pergomon).
- [56]. Noble, C.F. and Oxley, P.L.B., " Estimating Charge Size in Explosives Forming of Sheet Metal", *Proc. Proc. 5th International Machine Tool Design and Research Conference*, Birmingham, Sept. (1964), p.329. (Pergomon).
- [57]. Zhang T., Li Z., Guo C., and Tong Z., "Explosive forming of spherical metal vessels without dies", *Journal of Material Prossessing Technology*, 31 (1992),135-145 Elsevier.
- [58]. Brunu, E.J.; Editor.: "High Velocity Forming of Metals", *American Society of Tool and Manufacturing Engineers Dearborn, Michigan* (1968).
- [59]. A.A.Tamnane, V.J. Vohnout, M. Padmanaghan, G. Fenton, V.S. Balenethiram, M. Altynova, G.S. Daehn., "Opportunities in the High Velocity Forming of Sheet Metal" *Metal Forming*, January ,(1997), pp.42-49.
- [60]. G.S.Daehn, X. Hu, V.S. Balenethiram, M. Altynova, , M. Padmanaghan, "Hyperplasticity-a competitor to superplastic sheet forming" in: A.K. Ghosh, T.R. Bieler (Eds.), *Superplasticity and Superplastic Forming*, TMS, Warrendale, PA, (1995), pp. 11-16.
- [61]. Takatsu, M Kato, K. Sato ve T. Tobe "High-Speed Forming of Metal Sheets by Electromagnetic Force" *JSME International Journal*, Ser III, vol.31, No.1, (1988).
- [62]. Murata, K.; Takahashi, K.; Kato, Y., "Precise Measurement of Underwater Explosion Phenomena by Pressure Sensor using Fluoropolymer", *Jor. of Materials Processing Technology*, 85, (1999), 39-42.
- [63]. "Electro-magnetic Forming-a Preliminary Study of Basic Parameters" *Production Engineering Research Association of Great Britain*, Report no:158, November (1966).
- [64]. Brower, D. F., and Winter, M. A., "Magnetic Pulse Forming" *High velocity Forming of Metals*, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan (1968).
- [65]. Kegg, R. L., and Haverbec, K., " Effect of Process Variablotion Electric Discharge Forming", *C.I.R.P. Annal*, Vol. 11 No.3, p.131,(1963).

- [66]. Baines, K., Duncan, J. L. and Johnson, W., "Electro Magnetic Metal Forming", *Proc. I. Mec. E.*, Vol. 180, Part 1, (1965-6).
- [67]. Daehn, G.S., Altynova, M.; Balanethiram, V.S.; Fenton et al, G.: "High Velocity Sheet Metal Forming. An Old Technology Addresses Current Problems" *Sheet Metal Forming Symposium*, October 29-November 2, (1995).
- [68]. Venkata S. Balanethiram.: "Hyperplasticity ; Enhanced Formability of Sheet Metals at High Workpiece Velocity", *PhD thesis*, The Ohio State University, Columbus, OH, (1996).
- [69]. Kegg, R.L."A study of Electrical Requirements for Electric Discharge Metal Forming". American Society of Mechanical Engineers, *Journal of Engineering for Industry*. Series B. Vol.86. May p.127, (1964).
- [70]. A.Honda, M. Suzuki "Sheet metal forming by using gaz imploding detonation" *Journal of Materials Processing Technology*, 85, pp.198-203, (1999).
- [71]. Khitrin, L.;N., "The Physics of Combustion and Explosion", *Israel Program for Scientific Translations*, Jarusalem, (1962).
- [72]. Levon Çapon "Metallere Plastik Şekil Verme" Çağlayan Basımevi, III. Baskı, (1999), İstanbul.
- [73]. Erişkin, Y., "Uygulamalı Sac Metal Kalıp Konstrüksiyomu" Gazi Üniversitesi yayım no:138, Teknik Eğitim Fakültesi Yayın no:1, Nisan (1986).
- [74]. Alpers, B., Bergmann, D., Galanulis, K., Winter, D., "Advanced Deformation Measurement in Sheet Metal Forming", *GOM, Gesselscheft für Optisch Meßtechnik*, Germany, (2000).
- [75]. Hu,W., He, J., "Anisotropic Behaviors and Its Applications on Sheet Metal Stamping Process". *ETA Engineering Technology Associates*, (2000).
- [76]. Haar, R., "Friction in Sheet Metal Forming, The Influence of (local) Contact Condition and Deformations", University of Twente, *PhD Thesis*, The Netherlands (17 May 1996).
- [77]. Keeler, S."Die design and lubrication". *Sheet Metal Ind.* 687/Sept (1967).
- [78]. İsmail A., "Derin Çekme ve Pres kalıplarının Tasarımına etki Eden Faktörlerin Araştırılması" *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1991).
- [79]. www.c-f-c.com/spergas-products/acetylene.htm (Erişim Temmuz 2001).
- [80]. F.D.Miles, N.J.Keen "Forming aluminium" *Sheet Metal Endüstri*, December (1974), pp.735-740.

- [81]. Kumfulainen, J.O., "Effect of temperature on deep drawing of sheet metals", *J. Of Eng. Materials and Tech.* 105/191. (1983).
- [82]. Kaftanoğlu, B. "Determination of coefficient of friction under conditions of deep drawing and stretch forming". *Wear.* 25/177 (1973).
- [83]. N. Bay., Duncan J.L., "Die forming approximations for aluminium sheet" *Sheet Metal Industries.*, September (1978). pp.1015-1020.
- [84]. Schroder, J.W. "*Explosive Welding, Forming and Compaction*". Edited by Blazynski, T.Z., Applied Science Publication Limited, (1983). Ripple Road, Barking. Essex, England Explosive Forming.
- [85]. Wassilieff, B., Çeviren Sıtkı Lalık, "*Pres İşleri ve Takımları*", E.T.Y.Ö.O. Matbaası, Ankara (1973).
- [86]. ETİ Alüminyum A.Ş. Ürün Kataloğu, Şubat, (1991).
- [87]. Jakson, E., "Lubricant modelling and its effect on simulation of material forming", *J. Of Eng. Materials and Tech.* 3/74,(1989).
- [88]. Baraya, G.L., Parker, J. and Plowett. J.M., "Mechanical and Photographic Processes for Producing a Grid of Lines" *Int. J. Mech. Sci.* 5/365. (1963).
- [89]. Elektromak Ltd. Publication "*Elektromarking Application*" High street, Esher, England.
- [90]. Perace. R. "Forming limits in sheet metal" Light prod. England. (1970).
- [91]. Keeler S. "Circular grid system" *ASME*, paper no: 680092.
- [92]. Yaşar M. "Yüksek Hızda Şekillendirilen Alüminyum Alaşımlarında Oluşan Deformasyonun İncelenmesi". *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2001).
- [93]. O.E. Kasing ve B.W. Skews "The use of liquid shock waves for metal forming" *Proc. 21st Int. Symp. On Shock Waves*, Avustralia, (2000).
- [94]. Huang Y., ve Chen Jia-Wine. "İnfluence of the die arc on formability in cylindrical cup-drawing" *Journal of Materials Processing Technology*, 55, pp.360-369, (1995).
- [95]. HU X., and Daehn G.S., "Effect of velocity on flow localization in tension" *Acta Metallurgica et Materialia*, April, (1995).

EKLER

Ek 1: ÇKDŞM İLE YAPILAN BAZI DENEY SONUÇLARI

Denei No	Kalıp No	Malzeme	Hacim Oranı	Hız m/s	Mak.Basınç (Bar)	Ort. Basınç (Bar)	Basınç Etki Süresi (s)	Derinlik (mm)	Taban Çapı (mm)	Sıvama Derinliği (mm)	Açıklama
1	2	1	0,6	2742,338	57,37527	5,523755	7,10E-03	30	20	9	*
2	2	1	0,6	2742,338	71	5	6,01E-03	35		13,3	Taban parçalanmış
3	2	1	0,6	2742,338	39,60942	6,805652	3,37E-03	35	7	7,5	Ondülasyon var
6	2	1	0,8	2857,143	78	7,971561	7,15E-03	27	24,3	7	
7	2	1	0,8	2857,143	78	7,971561	7,15E-03	27,5	32,1	9,3	*
8	2	1	1	2777,78	68	8,979694	8,08E-03	27,5	35,7	7,6	*
9	2	1	1,2	1923,077	58,82842	9,93575	8,94E-03	30	38	10	
9	2	1	1,2	1923,077	58,82842	9,93575	8,94E-03	30	33,3	7,1	Tabanda kabarma
13	2	1	1,4	2857,143	63,937	10,32738	4,47E-03	27,5	40	12,5	Yanlarda dört adet yarık
14	1	1	0,8	2739,727	67,03165	9,448666	8,50E-03	25			Serbest şekillendirme
16	2	1	1,4	2857,143	63,937	10,32738	4,47E-03	30	40	13,6	Tab. buruşma ve parçala
17	2	1	1,4	2739,726	63,937	10,32738	4,47E-03	30	35,5	15	Tabanda yırtılma var
20	1	2	0,8	2857,143	78	7,971561	7,15E-03	30	27,5	8,5	Taban yırtılma oluşumu
34	2	2	0,6	2742,338	66,7504	8,775273	6,08E-03	32,5	6	8	
36	2	2	0,6	2742,338	62,06282	6,457513	5,81E-03	32,5	2,5	9,5	Tabanda oturma çok az
39	2	2	0,8	2857,143	62,15698	8,496727	7,65E-03				
40	2	2	0,8	2857,143	62,15698	8,496727	7,65E-03	30	16,5	5	Tabanda hafif kabarcık
41	2	2	1	2777,78	52,87521	9,422832	8,48E-03	30	21,5	8	Tabanda yırtılma
45	2	2	1	2777,78	64,40661	6,155625	4,19E-03	30	27,2	8,3	Tabanda yırtılma
46	2	2	1	2898,55	64,40661	6,155625	4,19E-03	30	25,3	8	Tabanda hafif kabarcık
47	2	2	1,2	2702,702	72,14108	8,062096	6,31E-03	30	30	11	Tabanda yırtılma var
48	2	2	1,2	2702,702	72,14108	8,062096	6,31E-03	30	41	16	Tabanda dört yırtılma.
50	2	2	0,6	2742,338	65,10976	5,537883	5,05E-03	27,5	32	7,5	Tabanda kabarcık oluş.
50a	2	2	0,6	2742,338	65,10976	5,537883	5,05E-03	27,5	30,5	8	Tabanda kabarma
51	2	2	0,6	2742,338	65,10976	5,537883	5,05E-03	27,5			
53	2	2	0,8	2777,778	61,21907	6,768776	4,52E-03	27,5	25	8	Tabanda halka şeklinde
54	2	2	0,8	2777,778	61,21907	6,768776	4,52E-03	27,5	27,3	6,2	
55	2	2	1	2702,703	52,78147	6,868054	5,55E-03	27,5	31,3	7	Tabanda hafif kabarma
56	2	2	1	2702,703	52,78147	6,868054	5,55E-03	27,5	30,5	7,5	Tab. halka şek. Kabarma
58	2	2	1,2	2857,143	79,92242	8,441949	7,58E-03	27,5	33	12	Kenarlarda çatlak yırtıl.
59	2	2	1,2	2857,143	79,92242	8,441949	7,58E-03	27,5	35	10	Tabanda kabarcık oluş.
60	2	2	0,6	2742,338	83,39121	5,497977	4,85E-03	25	39,5	8,1	Tabanda kabarma
61	2	2	0,6	2742,338	83,39121	5,497977	4,85E-03	25			
63	2	2	0,6	2742,338	83,39121	5,497977	4,85E-03	25	36,6	7	*
64	2	2	0,8	2857,143	64,78162	8,227915	7,38E-03	25	30,5	7,5	Tabanda halka oluşumu
65	2	2	0,8	2857,143	64,78162	8,227915	7,38E-03	25	29	7	Tabanda halka oluşumu

66	2	2	0,8	2857,143	58,03154	7,020582	6,32E-03	25	30	7,6	
67	2	2	1	2958,078	50,95332	7,820423	7,02E-03	25	35	7,5	Tabanda halka oluşumu
68	2	2	1	2958,078	50,95332	7,820423	7,02E-03	25	35	7,5	Tabanda halka oluşumu
70	2	2	1,2	3030,303	65,20351	8,143386	5,07E-03	25	36,2	7,1	Tabanda halka oluşumu
71	2	2	1,2	3030,303	78,89116	6,983305	5,64E-03	25	36,4	10,3	
73	2	2	1,4	2777,777	79,8287	11,47189	8,86E-03	25			
74	2	2	1,4	2777,777	79,8287	11,47189	8,86E-03	25	48,5		Yan duvarlarda yırtılma
75	2	2	1,4	2777,777	79,8287	11,47189	8,86E-03	25	46	13,5	Tabanda buruşma, yırtık
76	2	2	1,4	2777,777	80,15681	8,496242	7,63E-03	25	42	12,7	Tabanda hafif kabarma
77	2	2	0,6	2666,667	58,40654	5,69458	5,14E-03	22,5	42	9,2	Tabanda buruşma
78	2	2	0,6	2666,667	58,40654	5,69458	5,14E-03	22,5	35	7,5	Tabanda halka oluşumu
78a	2	2	0,6	2666,667	58,40654	5,69458	5,14E-03	22,5	36	7,5	Tabanda kabarcık oluş.
79	2	2	0,8	2739,725				22,5	40	7,5	Tabanda halka oluşumu
80	2	2	1	2898,551	74,20361	6,366897	5,71E-03	30	32,5	7,3	
80a	2	2	1	2898,551	74,20361	6,366897	5,71E-03	22,5	41,1	10	Tabanda halka oluşumu
81	2	2	1	2898,551				22,5	35	7,3	*
82	2	2	1,2	2777,778	60,89094	7,514429	6,59E-03	22,5	42	9,3	Tab.halka şek. Kabarma.
84	2	2	1		75,89113	9,351765	6,87E-03	22,5			Yırtılma oluştu
84a	2	2	1,2		75,89113	9,351765	6,87E-03	22,5	46,5	10	Yanlarda yırtılmalar oluş
85	2	2	1,4		77,20365	8,100734	5,51E-03	22,5	46,3	9	Tabanda buruşma
86	2	2	0,6	2742,338	69,37541	7,323002	6,70E-03	20	44,4	10	Tabanda kabarcık oluş.
87	2	2	1	2702,702	68,43792	8,979694	8,08E-03	20	44,4	10	Tabanda kabarcık oluş.
89	2	1	0,6	2666,667	67,12539	7,083519	5,17E-03	30	30	5	
89	2	1	0,6	2666,667	67,12539	7,083519	5,17E-03	30	21,2	6,6	Tabanda kabarcık oluş.
90	2	1	0,6	2666,667	67,12539	7,083519	5,17E-03	30	32	9,6	*
91	2	1	0,8	2857,143	66,32851	8,47524	7,63E-03	30	25,2	6,35	
92	2	1	0,8	2857,143	66,32851	8,47524	7,63E-03	30	30	6,2	Tab.kabarcık, iki yırtık
93	2	1	0,8	2857,143	66,32851	8,47524	7,63E-03	30	13	8,6	Tabanda kabarcık
94	2	1	0,6	2742,338	45,93763	4,132842	7,48E-03	27,5	39	14	*
94	2	1	0,6	2742,338	45,93763	4,132842	7,48E-03	27,5	9,2	7,2	
95	2	1	0,6	2742,338	61,12532	4,392242	7,91E-03	27,5	38,5	14,4	Tabanda yırtılma var
95a	2	1	0,6	2742,338	61,12532	4,392242	7,91E-03	27,5	34,2	7,6	Tabanda yırtılma var.
96	2	1	0,8	2857,143	51,5627	6,387562	5,83E-03	27,5	35	10	Yan duvarlarda yırtılma.
99	2	1	1	2777,778	81,0056	8,40862	7,57E-03	27,5	37	11	Yanlarda hafif çatlak
100	2	1	1	2777,778	81,0056	8,40862	7,57E-03	27,5	38	11,5	
102	2	1	1,2	2857,142	69,32855	9,854697	8,87E-03	27,5	38	13,2	Tek tarafta yırtılma var
104	2	1	1,2	2857,142	69,32855	9,854697	8,87E-03	27,5	38,3	11,7	Yarık ve çatlaklar var
105	2	1	0,6	2857,143	69,18793	6,465315	5,88E-03	25	41,4	10,5	*
106	2	1	0,6	2857,143	69,18793	6,465315	5,88E-03	25	44	13,6	*
107	3	1	1,2	2941,176	52,03145	8,529931	7,68E-03	20	39,2	8	Tabanda kabarcık oluş.
107	2	1	0,8	2941,176	52,03145	8,529931	7,68E-03	25	36,8	8,5	*
108	2	1	0,8	2941,176	52,03145	8,529931	7,68E-03	25	37,2	10,3	*
109	2	1	1	2777,778	75,04738	9,058908	8,15E-03	25	38	9	*
110	2	1	1,2	2816,901	75,98488	10,13367	9,12E-03	25	40,3	12,5	Tabanda hafif kabarcık o
111	2	1	1,4	2857,143	81,28182	10,38127	9,32E-03	25	49	14,3	Yırtılma, kabarcık oluşu
112	3	1	0,6	2666,667	72,60983	7,382023	6,74E-03	27,5	36,3	9	Tabanda yırtılma
113	3	1	0,6	2666,667	64,17223	6,733284	6,04E-03	27,5	20	7,5	Tabanda tersi yön. Yırıtı
114	3	1	0,6	2666,667	59,90656	6,493976	5,84E-03	27,5	19	6,5	
115	3	1	0,6	2666,667	58,50028	7,064181	6,46E-03	27,5	31,2	7,2	Tabanda yırtılma var
116	3	1	0,8	2941,176	62,1097	7,287356	6,54E-03	27,5	19	5,3	Tabanda yırtılma var
116	2	1	0,8	2941,176	62,1097	7,287356	6,54E-03	27,5	39	11,5	Tabanda buruşma. Yarıtl.

117	3	1	0,8	2941,176	61,50032	8,292439	7,44E-03	27,5	26,2			
119	3	1	0,6	2666,667	65,57851	7,81236	7,03E-03	25	25,5	6,3		*
121	3	1	0,6	2666,667	65,57851	7,81236	7,03E-03	25	25,5	5,35		Kenarlarda hafif ondulasyon
122	3	1	0,8	2898,55	60,00031	8,882797	7,99E-03	25	31	10		Tabanda hafif kabarcık
123	3	1	0,8	2898,55	60,00031	8,882797	7,99E-03	25	31,5	10		*
123	3	1	0,8	2857,143	60,00031	8,882797	7,99E-03	25	31,5	10		
124	3	1	1		64,21911	8,618366	7,76E-03	25	31	9		
125	3	1	1	3030,303	67,8754	8,551028		25	33,2	10		Hafif ondulasyon
126	3	1	1	2777,778	67,8754	8,551028		25	33,5	10		Tabanda birer yirtik var
126	3	1	1	2777,778	70,07856	8,485327		25	36,5	7		
127	3	1	1,2	2898,551	2898,551	2898,551	2898,551	25	40	12,5		Yanlarda çatlaklar var
128	3	1	1,2	2898,551	2898,551	2898,551	2898,551	25	38	10,8		Yırtılmalar var
129	3	1	0,6	2742,338	72,51609	8,104854	7,27E-03	22,5	29,2	5,25		*
130	3	1	0,6	2742,338	72,51609	8,104854	7,27E-03	22,5	37	10		*
131	3	1	0,6	2742,338	58,96905	7,272883	6,53E-03	22,5	29	7		*
133	3	1	0,8	2898,551	63,8441	8,249764	7,42E-03	22,5	32,2	6,5		Tabanda kabarcık oluşu.
134	3	1	0,8	2898,551	57,8909	8,836683	7,95E-03	22,5	31	5,5		Tabanda kabarcık oluşu.
135	3	1	1	2702,703	64,21911	8,618366	7,76E-03	22,5	39	8,55		Tabanda buruşma yırtıl.
136	3	1	1	2702,703	64,21911	8,618366	7,76E-03	22,5	36,9	7,6		*
137	3	1	1,2	2898,551	67,8754	8,551028	6,14E-03	22,5	37,5	8,55		Tabanda çok hafif buruş.
138	3	1	1,2	2898,551	67,8754	8,551028	6,14E-03	22,5	36,6	8,1		Tabanda hafif buruşma
139	3	1	0,6	2742,338	70,07856	8,485327	7,64E-03	20	35,4	7,7		Tabanda kabarcık oluşu.
140	3	1	0,6	2742,338	59,81281	8,430316	7,59E-03	20	33,2	3,5		Tabanda kabarcık oluş.
141	3	1	0,6	2742,338	70,07856	8,485327	7,64E-03	20	35,5	5,5		*
142	3	1	0,8	2898,551	54,14086	8,725897	7,85E-03	20	35,4	3,5		Tabanda küçük kabarcık
143	3	1	0,8	2898,551	54,14086	8,725897	7,85E-03	20	35,4	3,5		Tabanda küçük kabarcık
144	3	1	1	2857,143	2857,143	2857,143	2857,143	20	41	8,3		Tabanda küçük kabarcık
145	3	1	1	2857,143	2857,143	2857,143	2857,143	20	40,8	7,7		Tabanda küçük kabarcık
146	3	1	1,2	3225,806	72,79733	10,00411	9,00E-03	20	41	8,3		Tabanda buruşma
149	3	2	0,6	2742,338	68,10979	7,314662	6,56E-03	27,5	28,5	10,5		Tabanda yırtılma var
150	3	2	0,6	2742,338	68,10979	7,314662	6,56E-03	27,5				Taban tamamen parçal.
151	3	2	0,6	2898,551	70,78169	7,258095	6,53E-03	27,5	45	15,9		Taban parçalanmış
152	3	2	0,6	2898,551	73,40673	8,312349	7,46E-03	25	25,8	8		
153	3	2	0,6	2898,551	60,23468	8,505515	7,65E-03	27,5	20,5	6,6		*
154	3	2	0,6	2898,551	60,23468	8,505515	7,65E-03	27,5	13,5	6,35		*
155	3	2	0,8	3030,303	75,89113	9,36902	8,43E-03	27,5		5,7		Tabanda parçalanma
157	3	2	0,8	2941,176	75,89113	9,36902	8,43E-03	25	38	12		
158	3	2	0,8	2941,176	75,89113	9,36902	8,43E-03	25	32	9,5		Kenerda yırtılma
159	3	2	0,6	2777,777	62,48471	6,456244	5,91E-03	25	32	7,1		Tabanda kabarma
160	3	2	0,6	2777,777	73,26609	7,631391	6,96E-03	22,5	40	9,7		*
161	3	2	0,6	2777,777	73,26609	7,631391	6,96E-03	22,5	30,6	7,4		*
162	3	2	0,8	2898,551	62,29721	8,430649	7,59E-03	22,5	36	8,2		*
163	3	2	0,8	2898,551	62,29721	8,430649	7,59E-03	22,5	35,5	7,9		Tabanda kabarcık oluş.
164	3	2	1	2739,727	67,03165	9,448666	8,50E-03	22,5	37,4	10,5		Yırtılma tek kenarda
165	3	2	1	2739,727	67,03165	9,448666	8,50E-03	22,5	34	7,7		*
166	3	2	0,6	2742,338	52,68771	7,832764	7,05E-03	20	35	5,8		*
167	3	2	0,6	2742,338	52,68771	7,832764	7,05E-03	20	36	6,4		*
168	3	2	0,8	2857,143	61,96907	9,074312	8,17E-03	20	39,2	8,2		*
169	3	2	1,2	3076,923	69,75043	9,537532	8,58E-03	20	42,5	7,6		Tabanda kabarcık oluş
175	6	2	0,6	2742,338	69,93794	8,631058	7,77E-03	22,5	18	5		Tabanda kabarcık .
176	6	2	0,8	2985,075	58,12528	9,20246	8,28E-03	22,5	25,3	4		Tabanda kabarcık var.

177	6	2	0,8	2985,075	58,12528	9,20246	8,28E-03	22,5				
178	6	2	0,8	2985,075	67,3129	9,454847	8,51E-03	22,5				
179	6	2	0,8	53,71897	8,380517	7,54E-03	8,58E-03					
181	6	2	1	2777,778	68,76604	10,30544	9,27E-03	22,5	30,6			Taban ok yön. parçalan.
182	6	2	1	2777,778	68,76604	10,30544	9,27E-03	22,5		10,3		Taban parçalanmış
183	6	2	0,6	2742,338	77,53178	8,634638	7,77E-03	20	25	5,5		*
183	6	2	0,6	2742,338	77,53178	8,634638	7,77E-03	20	26,5	6,5		*
184	6	2	0,8	2777,777	66,281163	9,425768	8,48E-03	20	27,5	5		Tabanda ufak kabarcık
185	6	2	0,8	2777,777	66,281163	9,425768	8,48E-03	20	29	5,25		Tabanda ufak kabarcık
186	6	2	1	2941,177	68,62541	10,37098	9,33E-03	20	30	7		Tabanda ufak kabarcık
187	6	2	1	2941,177	68,62541	10,37098	9,33E-03	20	31	8,3		* Kenarlarda çatlaklar
188	6	2	1,2	2816,901	68,85979	10,245	9,22E-03	20	33	8,4		Kenarlarda çatlaklar
189	6	2	1,2	2816,901	68,85979	10,245	9,22E-03	20	31,6	7,2		Kenarlarda çatlaklar
190	6	1	0,6	2816,902				27,5				Taban parçalanmış
191	6	1	0,4	2777,777				27,5	6			
192	6	1	0,6	2816,902	57,5159	7,847836	7,04E-03	25				Taban parçalandı
194-	6	1	0,6	2816,902	57,5159	7,847836	7,04E-03	25	16,6	5,5		Kenarlarda çatlaklar var.
193	6	1	0,4	2777,777	75,51613	7,764732	6,99E-03	28		5		Serbest şekillendirme
195	6	1	0,8	2857,143	51,23457	9,44367	8,50E-03	25	17	5,6		Taban parçalandı
196	6	1	0,8	2857,143	51,23457	9,44367	8,50E-03	25				Taban ok yön.parçal.
197	6	1	0,8	2857,143	51,23457	9,44367	8,50E-03	25				Taban parçalanmış
198	6	1	0,6	2742,338	53,53148	8,265168	7,44E-03	22,5	24,4	3,5		*
199	6	1	0,6	2742,338	53,53148	8,265168	7,44E-03	22,5	25	5		Kenarlarda çatlak yırtıl.
200	6	1	0,8	2941,176	60,89095	8,615327	7,75E-03	22,5	26,3	9,6		Tabanda parçalanma
201-	6	1	0,8	2941,176	60,89095	8,615327	7,75E-03	22,5	26	9,1		* Kenarlarda çatlaklar
202	6	1	0,6	2816,901	46,59388	8,707121	7,84E-03	20	30,8	7,4		*
203	6	1	0,6	2816,901	46,59388	8,707121	7,84E-03	20	26	4,5		*
204	6	1	0,8	2985,075	72,28171	9,119019	8,21E-03	20	32	7,5		*
205	6	1	0,8	2985,075	72,28171	9,119019	8,21E-03	20	33	8,6		Kenarlarda çatlaklar
206	6	1	1	2898,551	71,76608	8,429224	7,38E-03	20	38,5	9,3		Hafif yırtılma var
207	6	1	1	2898,551	71,76608	8,429224	7,38E-03	20	32,5	8		

EK 2: İYONİZASYON SINYALLERİNİ FİZİKSEL BÜYÜKLÜKLERE ÇEVİRME VE HIZ ÖLÇÜMÜ

Rem İyonizasyon Sinyallerini Fiziksel Büyüklüklere Çevirme

MaxV1 = 0: MaxV2 = 0: Min = 100: Kat = .5

C1Bas = 128 * Preamble1!(8) - Preamble1!(9)

C2Bas = 128 * Preamble2!(8) - Preamble2!(9)

FOR i = 1 TO Preamble1!(3)

Gdat1(i) = (waveform1%(i) * Preamble1!(8) - C1Bas) * 1000

Gdat2(i) = (waveform2%(i) * Preamble2!(8) - C2Bas) * 1000

IF Gdat1(i) > MaxV1 THEN MaxV1 = Gdat1(i)

IF Gdat2(i) > MaxV2 THEN MaxV2 = Gdat2(i)

IF Gdat1(i) < Min THEN Min = Gdat1(i)

NEXT i

REM *** 1. Kanal Alev Cephesi Bulunması

FOR i = 1 TO Preamble1!(3)

IF Gdat1(i) >= MaxV1 * Kat THEN EXIT FOR

NEXT i

Tim1 = i * Preamble1!(5)

FOR i = 1 TO Preamble1!(3)

IF Gdat2(i) >= MaxV2 * Kat THEN EXIT FOR

NEXT i

Tim2 = i * Preamble2!(5)

Dt = ABS(TIM2 - TIM1)

Hiz = (buji(2)) - (buji(1)) / Dt

IF MaxV1 > MaxV2 THEN Max = MaxV1 ELSE Max = MaxV2

END SUB

Hız Ölçümü İçin Hazırlanan Alt Program

REM "Hız Ölçüm deneyleri için dijital osiloskopun set edilmesi için

hazırlanmış prosedür"

CLOSE

OPEN "COM2:19200,N,8,1,CD1000,CS1000,DS1000" FOR RANDOM AS #1

LEN = 2

lf\$ = CHR\$(10)

PRINT #1.: "*RST"; lf\$;

'SETUP 1.KANALI

PRINT #1.: ":channel1:RANGE 3 V"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:OFFSET 1 V"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:COUP DC"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:probe X1"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:Bwlimit off"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:INVERT on"; lf\$

'SETUP 2.KANALI

PRINT #1.: ":channel2:RANGE 6 V"; lf\$;

```
PRINT #1.: ":channel2:OFFSET 2 V"; lf$;
PRINT #1.: ":channel2:COUP DC"; lf$;
PRINT #1.: ":channel2:probe X1"; lf$;
PRINT #1.: ":channel2:Bwlimit off"; lf$;
PRINT #1.: ":channel2:INVERT on"; lf$
'SEUP TETİKLEME
PRINT #1.: ":TRIGGER:SOURCE chan1"; lf$
PRINT #1.: ":acquire:complete 80"; lf$;
PRINT #1.: ":TRIGGER:MODE SING"; lf$;
PRINT #1.: ":TRIGGER:LEVEL .3 V"; lf$;
PRINT #1.: ":TRIGGER:SLOPE POSITIVE"; lf$
PRINT #1.: ":TRIGGER:REJECT hf"; lf$;
PRINT #1.: ":TRIGGER:NREJECT on"; lf$;
'SETUP DİĞER PARAMETRELER~
PRINT #1.: ":waveform:points 2000"; lf$;
PRINT #1.: ":acquire:type NORMAL"; lf$;
PRINT #1.: ":waveform:source chan1"; lf$;
PRINT #1.: ":waveform:format word"; lf$;
PRINT #1.: ":waveform:byteorder msbf"; lf$;
'SETUP ZAMAN SABİTLER~
PRINT #1.: ":TIMEBASE:DELAY 0 MS"; lf$;
PRINT #1.: ":TIMEBASE:REFERENCE LEFT"; lf$;
PRINT #1.: ":TIMEBASE:RANGE 1 MS"; lf$;
PRINT #1.: ":TIMEBASE:MODE NORMAL"; lf$;
PRINT #1.: ":TIMEBASE:VERNIER off"; lf$;
'1. Ve 2. KANALLARDAN ÖLÇÜMLER
PRINT #1.: ":view channel1"; lf$
PRINT #1.: ":view channel2"; lf$
```

EK 3: BASINÇ DENEY SİNYALLERİNİ FİZİKSEL BÜYÜKLÜKLERE ÇEVİRME VE BASINÇ ÖLÇÜMÜ İÇİN HAZIRLANAN ALT PROGRAM

REM Basınç Deney Sinyallerini Fiziksel Büyüklüklere Çevirme Analiz İçin
Veri Hazırlama

MaxV1 = 0: MaxV2 = 0: Min = 100: Kat = .5: Tscal1 = 10: Tscal2 = 10
C1Bas = 128 * Preamble1!(8) - Preamble1(9)

FOR i = 1 TO Preamble1!(3)

Gdat1(i) = (waveform1%(i) * Preamble1!(8) - C1Bas) * Tscal1

IF Gdat1(i) > MaxV1 THEN MaxV1 = Gdat1(i)

IF Gdat1(i) < Min THEN Min = Gdat1(i)

PRINT Gdat1(i)

NEXT i

FOR i = 1 TO Preamble1!(3)

IF Gdat1(i) >= Kat * MaxV1 THEN EXIT FOR

NEXT i

K1 = i

Tim1 = K1 * Preamble1!(5)

REM Dt = ABS(Tim2 - Tim1)

REM IF Dt = 0 THEN Dt = .0000001#

REM Hiz = (buji(bno2) - buji(bno1)) / Dt

REM IF MaxV1 > MaxV2 THEN Max = MaxV1 / .95 ELSE Max = MaxV2 /

.95

REM Min = Min - 3

END SUB

REM Basınç Deneyleri için Dijital Osiloskopun Set Edilmesi için Hazırlanmış
Prosedür

CLOSE

OPEN"COM2:19200,N,8,1,CD1000,CS1000,DS1000" FOR RANDOM AS #1

LEN = 2

lf\$ = CHR\$(10)

PRINT #1.: "**RST"; lf\$

'SETUP 1.KANALI

PRINT #1.: ":channel1:RANGE 10 V"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:OFFSET 3 V"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:COUP DC"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:probe X1"; lf\$;

PRINT #1.: ":channel1:Bwlimit off"; lf\$;
PRINT #1.: ":channel1:INVERT off"; lf\$;

'SEUP TETIKLEME

PRINT #1.: ":TRIGGER:SOURCE chan1"; lf\$;
PRINT #1.: ":acquire:complete 100"; lf\$;
PRINT #1.: ":TRIGGER:MODE SING"; lf\$;
PRINT #1.: ":TRIGGER:LEVEL .3 V"; lf\$;
PRINT #1.: ":TRIGGER:SLOPE POSITIVE"; lf\$;
PRINT #1.: ":TRIGGER:REJECT OFF"; lf\$;

'SETUP DİĞER PARAMETRELER~

PRINT #1.: ":waveform:points 4000"; lf\$;
PRINT #1.: ":acquire:type NORMAL"; lf\$;
PRINT #1.: ":waveform:source chan1"; lf\$;
PRINT #1.: ":waveform:format word"; lf\$;
PRINT #1.: ":waveform:byteorder msbf"; lf\$;

'SETUP ZAMAN SABİTLERİ

PRINT #1.: ":TIMEBASE:DELAY 0 MS"; lf\$;
PRINT #1.: ":TIMEBASE:REFERENCE LEFT"; lf\$;
PRINT #1.: ":TIMEBASE:RANGE 10 mS"; lf\$;
PRINT #1.: ":TIMEBASE:MODE NORMAL"; lf\$;
PRINT #1.: ":TIMEBASE:VERNIER off"; lf\$;

'1. KANALLARDAN ÖLÇÜMLER

PRINT #1.: ":view channel1"; lf\$;

**EK 4: KONVENSİYONEL METOTLA (PRESTE)
YAPILAN DERİN ÇEKME DENEYLERİ VE
ÖZELLİKLERİ**

Deney No	Zımba No	Kalıp	Sac Kalınlığı (T)	Hız (mm/s)	Basınç (kg)	Max. Derinlik (mm)	Max. Deformasyon
1	1	1	0.5	0.25	510	25	Yırtıldı
2	1	1	0.5	0.25	430	26,5	Yırtıldı
3	1	1	0.5	0.25	445	27,5	Yırtıldı
4	1	1	0.5	0.25	580	26	Yırtıldı
5	1	1	0.5	0.25	490	23,7	Yırtıldı
6	1	1	0.5	0.25	480	26,5	Yırtıldı
7	1	1	0.5	0.25	450	28	Yırtıldı
8	1	1	0.5	0.25	480	23,7	Yırtılma başlangıcı
9	1	1	0.5	0.25	480	22,8	*
10	1	1	0.5	0.25	500	22,6	*
11	1	2	0.5	0.25	470	18	Yırtılma başlangıcı
12	1	2	0.5	0.25	430	21,3	Yırtıldı
13**	1	2	0.5	0.25	470	21,4	Yırtılma başlangıcı
14	1	2	0.5	0.25	560	19,4	Yırtıldı
15	1	2	0.5	0.25	600	19,8	*
16	1	2	0.5	0.25	560	20,2	Yırtıldı
17	1	2	0.5	0.25	580	21,4	Yırtıldı
18	1	2	0.5	0.25	410	19,8	Yırtıldı
19	1	2	0.5	0.25	550	18,8	*
20**	1	2	0.5	0.25	560	23,3	Yırtılma başlangıcı
21	1	3	0.5	0.25	490	20,3	Yırtıldı
22**	1	3	0.5	0.25	430	22,7	Yırtıldı
23	1	3	0.5	0.25	460	23,9	Yırtıldı
24	1	3	0.5	0.25	460	23,9	Yırtıldı
25**	1	3	0.5	0.25	450	22	*
26	1	3	0.5	0.25	450	18,7	*
27	1	3	0.5	0.25	600	24,6	Yırtıldı
28	1	3	0.5	0.25	430	22,1	Yırtılma başlangıcı
29	1	3	0.5	0.25	600	24,1	Yırtıldı
30	1	3	0.5	0.25	410	22	Yırtıldı
31	2	1	0.5	0.25	800	22,5	*
32	2	1	0.5	0.25	830	27	Yırtıldı
33	2	1	0.5	0.25	930	26	Yırtıldı
34	2	1	0.5	0.25	870	18,9	Yırtıldı
35	2	1	0.5	0.25	750	25,1	Yırtıldı
36**	2	1	0.5	0.25	700	27,8	*
37	2	1	0.5	0.25	850	21,8	*
38	2	1	0.5	0.25	870	26,9	Yırtıldı
39	2	1	0.5	0.25	700	26,9	*

40	2	1	0.5	0.25	700	23,8	*
41	2	2	0.5	0.25	750	21,5	Yırtıldı
42	2	2	0.5	0.25	720	20,6	Yırtıldı
43	2	2	0.5	0.25	850	23,3	Yırtıldı
44	2	2	0.5	0.25	920	16,5	*
45	2	2	0.5	0.25	930	19,8	Yırtıldı
46	2	2	0.5	0.25	920	16,8	*
47	2	2	0.5	0.25	750	23,5	Yırtıldı
48	2	2	0.5	0.25	720	20,7	Yırtıldı
49	2	2	0.5	0.25	750	19,8	Yırtıldı
50	2	2	0.5	0.25	850	15,8	*
51	2	3	0.5	0.25	670	20,9	Yırtıldı
52**	2	3	0.5	0.25	750	19,7	*
53	2	3	0.5	0.25	770	16	*
54	2	3	0.5	0.25	760	18,7	Yırtıldı
55	2	3	0.5	0.25	760	21,4	Yırtıldı
56	2	3	0.5	0.25	710	22,6	Yırtıldı
57	2	3	0.5	0.25	680	22	Yırtıldı
58	2	3	0.5	0.25	670	20,5	Yırtıldı
59	2	3	0.5	0.25	700	20,5	*
60	2	3	0.5	0.25	720	23	Yırtıldı

EK 5: DETONASYON BİRİM UZAMA VE KALINLIK ÖLÇÜM DATALARINA ÖRNEKLER

Birim Uzama

Deney No : 108

Data 0°	Data 45°	Data 90°
3,024144	3,063425	3,086788
3,073045	3,060121	3,065497
3,264345	3,218513	3,22648
3,386431	3,062072	3,262158
3,636205	3,557894	3,217411
3,639018	3,659694	3,275277
3,237308	3,309673	3,555718
3,176498	3,374487	3,216396
3,048458	3,167945	3,271669
3,26942	3,253415	3,143085
2,844783	2,971873	3,166197
3,056439	2,899017	3,193057
2,829838	2,733315	2,935895
2,716812	2,68168	2,989062
2,75485	2,685099	2,804771
2,79115	2,600942	2,408933
2,463447	2,560053	2,544232
2,783667	2,533787	2,685945
2,588361	2,626008	2,587494
Toplam	Toplam	Toplam
57,48422	57,01901	57,63607

Kalınlık Ölçümü

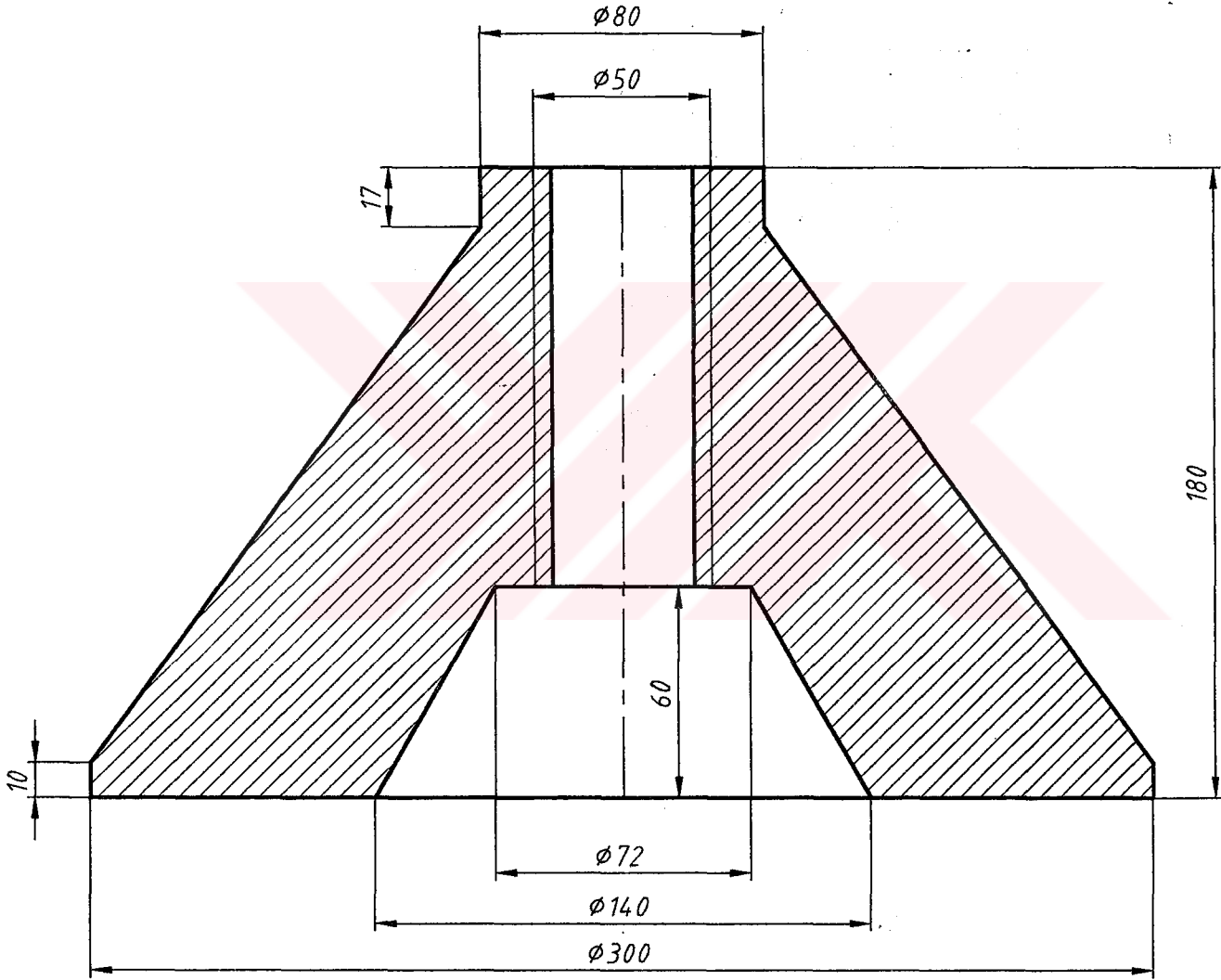
Deney No: 205

1- 510	18- 531	35- 357	52- 378	69- 365	86- 533
2- 516	19- 536	36- 370	53- 381	70- 380	87- 540
3- 527	20- 521	37- 359	54- 384	71- 379	88- 551
4- 526	21- 505	38- 366	55- 385	72- 372	89- 506
5- 522	22- 503	39- 361	56- 379	73- 405	90- 508
6- 528	23- 500	40- 353	57- 373	74- 413	91- 523
7- 526	24- 516	41- 339	58- 363	75- 432	92- 504
8- 526	25- 485	42- 334	59- 353	76- 403	93- 506
9- 515	26- 480	43- 333	60- 349	77- 458	94- 516
10- 521	27- 476	44- 331	61- 342	78- 468	95- 500
11- 539	28- 469	45- 337	62- 337	79- 474	96- 508
12- 530	29- 468	46- 358	63- 337	80- 489	97- 520
13- 521	30- 448	47- 367	64- 335	81- 505	98- 517
14- 521	31- 425	48- 368	65- 340	82- 515	99- 526
15- 518	32- 416	49- 373	66- 342	83- 524	100- 534
16- 528	33- 385	50- 379	67- 341	84- 521	101- 530
17- 530	34- 365	51- 377	68- 347	85- 539	102- 534

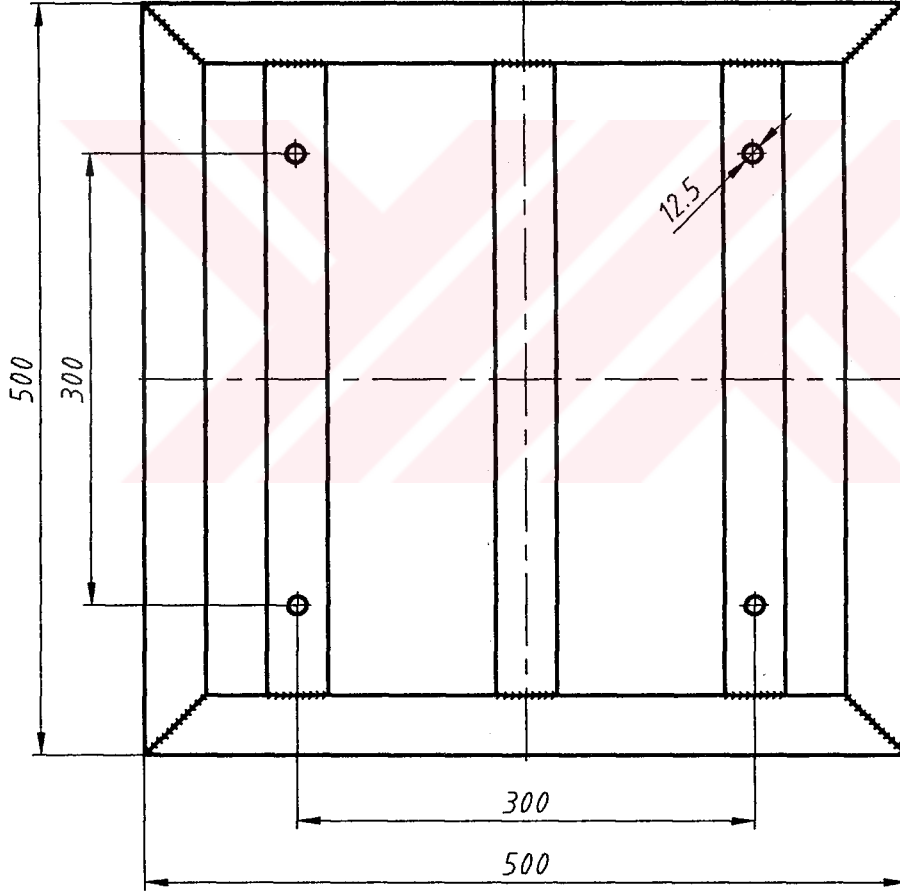
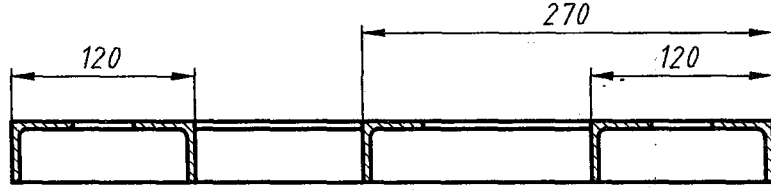
**EK 6 : ÇİFT KADEMELİ DETONASYONLA
ŞEKİLLENDİRME MAKİNASI (ÇKDŞM) YAPIM VE
MONTAJ RESİMLERİ**



N8/



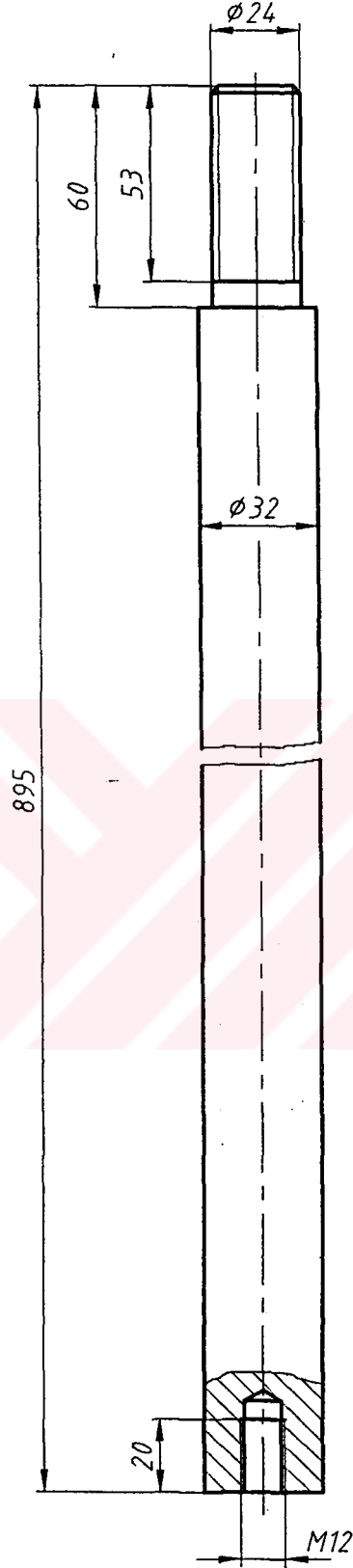
Fe 42	1/2	1	ALT TABLA	H. I. DEMIRCI	DSS - 01
Çelik	Ölçü	Sayı	Adı	Çizen	Resim Nr



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

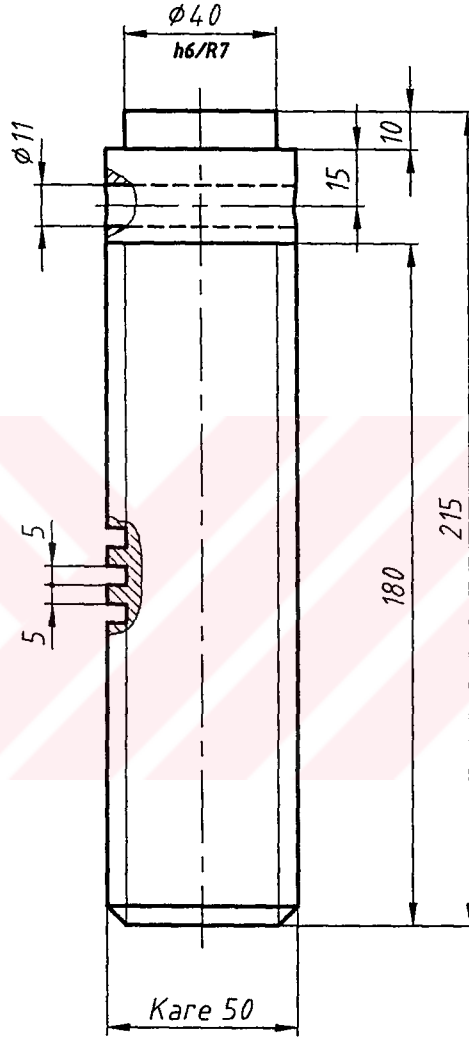
Fe 37	1/5	1	TABAN	H. I. DEMIRCI	DSS - 02
Gerçek	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim Nr.

N5/



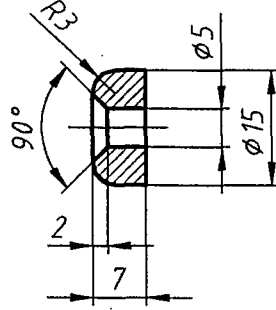
Ç 1060	1/2	4	SÜTUN	H. I. DEMIRCI	DSS - 03
Gereç	Ölçek	Sayi	Adi	Çizen	Resim Nr.

N7/



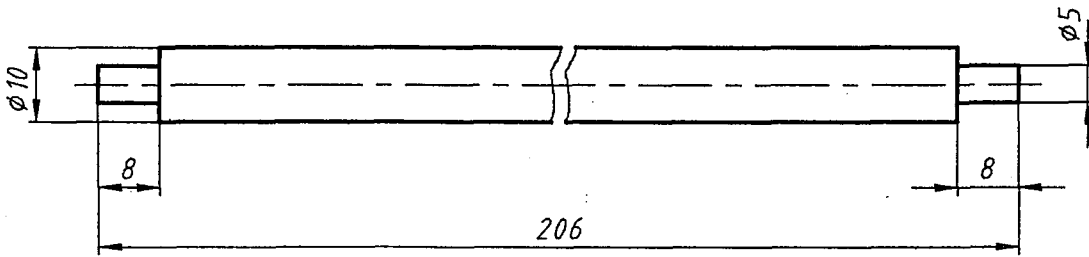
Ç 1060	1/2	1	VIDALI MIL	H. I. DEMIRCI	DSS - 04
Gereç	Ölçek	Sayı	Adi	Çizen	Resim Nr.

N8/

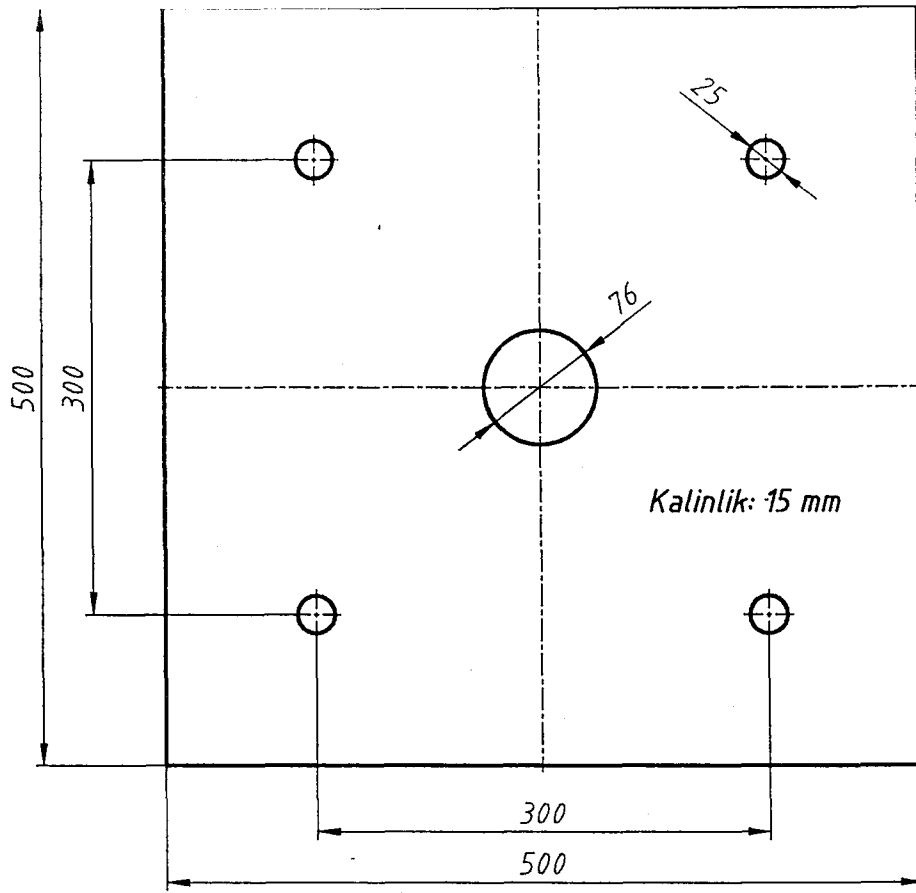


Ç 1020	1/2	2	ÇEVİRME KOLU PABUCU	H. I. DEMIRCI	DSS - 06
Gereç	Ölçek	Sayi	Adi	Çizen	Resim Nr.

N8/



Ç 1040	1/2	1	ÇEVİRME KOLU	H. I. DEMIRCI	DSS - 05
Gereç	Ölçek	Sayi	Adi	Çizen	Resim Nr.

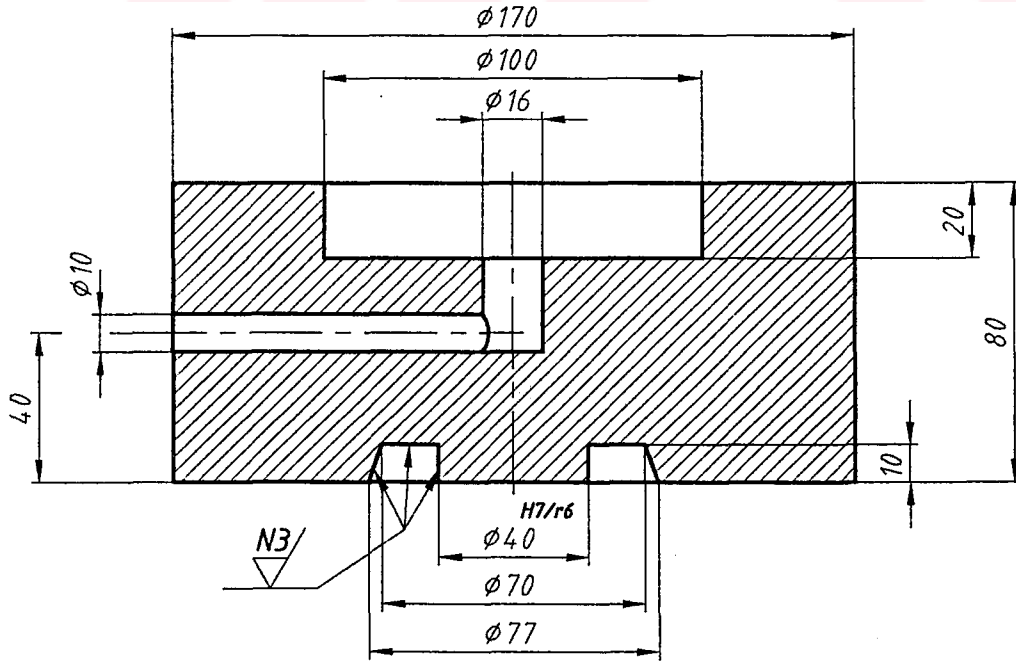


N8/

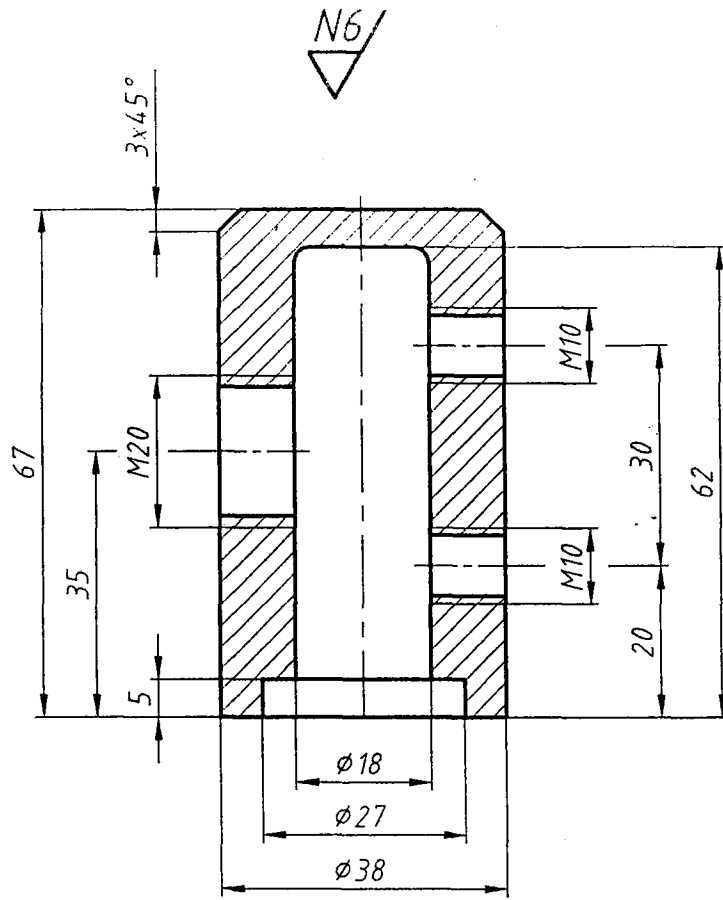
Kalınlik: 15 mm

Ç 1020	1/5	1	ÜST PLAKA	H. I. DEMIRCI	DSS - 14
Gereç	Ölçek	Sayi	Adi	Çizen	Resim Nr.

N6/ (N3/)

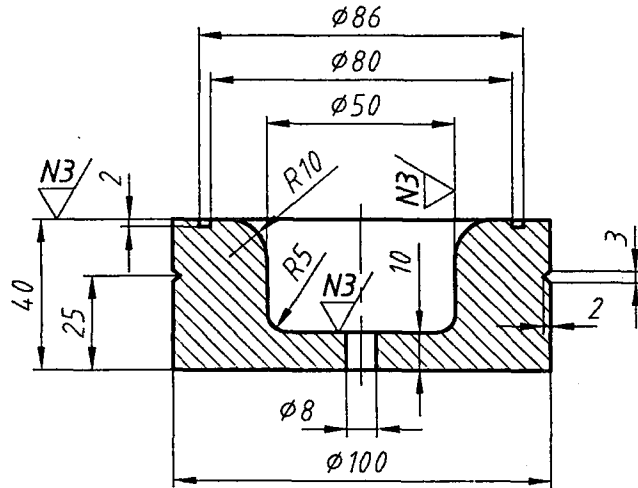


DD 22	1/2	4	KALIP ALTLIGI	H. I. DEMIRCI	DSS - 07
Gereç	Ölçek	Sayi	Adi	Çizen	Resim Nr.



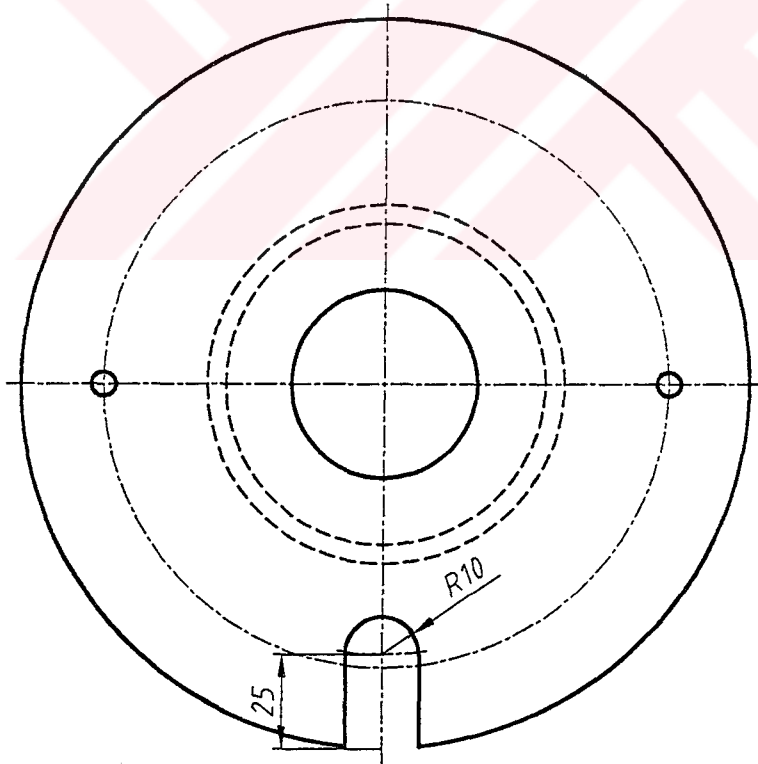
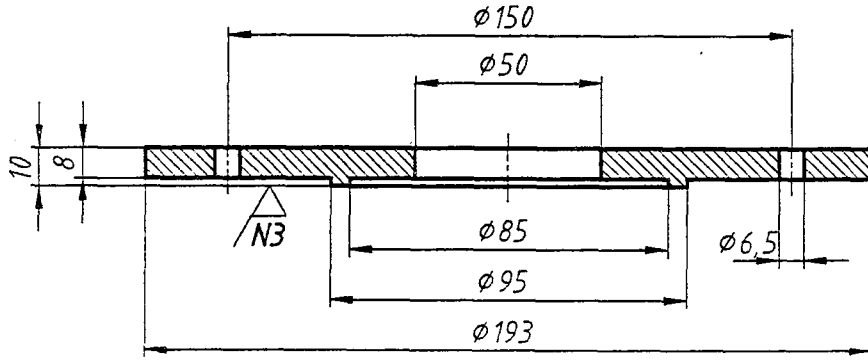
Ç 1050	1/2	1	DETENASYON BORUSU BASLIGI	H. I. DEMIRCI	DSS - 16
Gereç	Ölçek	Sayı	Adi	Çizen	Resim Nr.

N6/ (N3/)



90MnCrV8	1/2	1	KALIP	H. I. DEMIRCI	DSS - 9
Gereç	Ölçek	Sayı	Adi	Çizen	Resim Nr.

N6 / (N3)



Ç 1020

1/2

1

BASKI PLAKASI

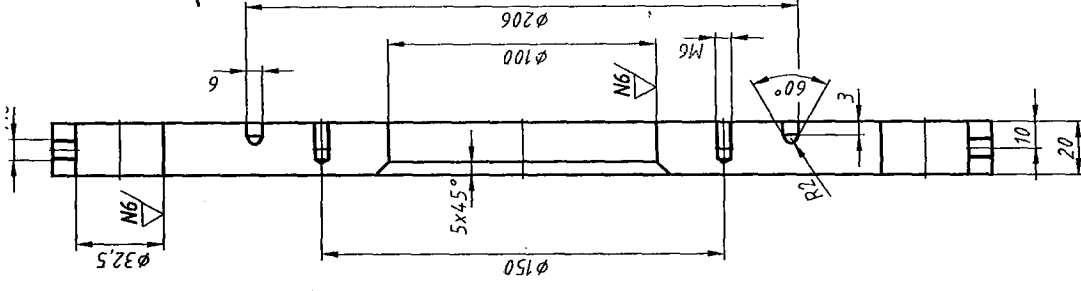
H. I. DEMIRCI

DSS - 10

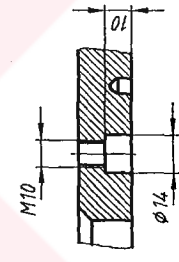
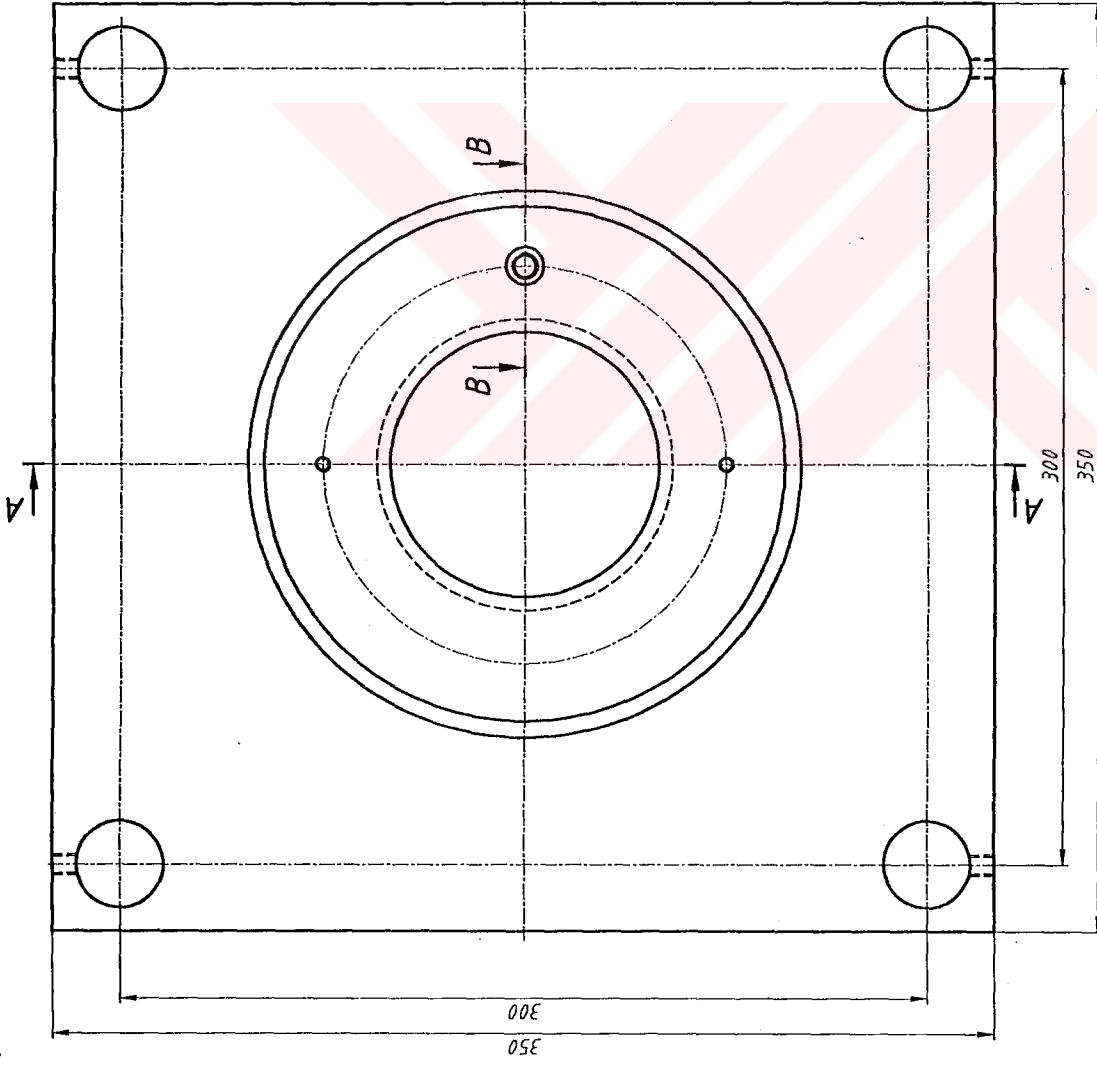
Adı

Çizen

Resim Nr



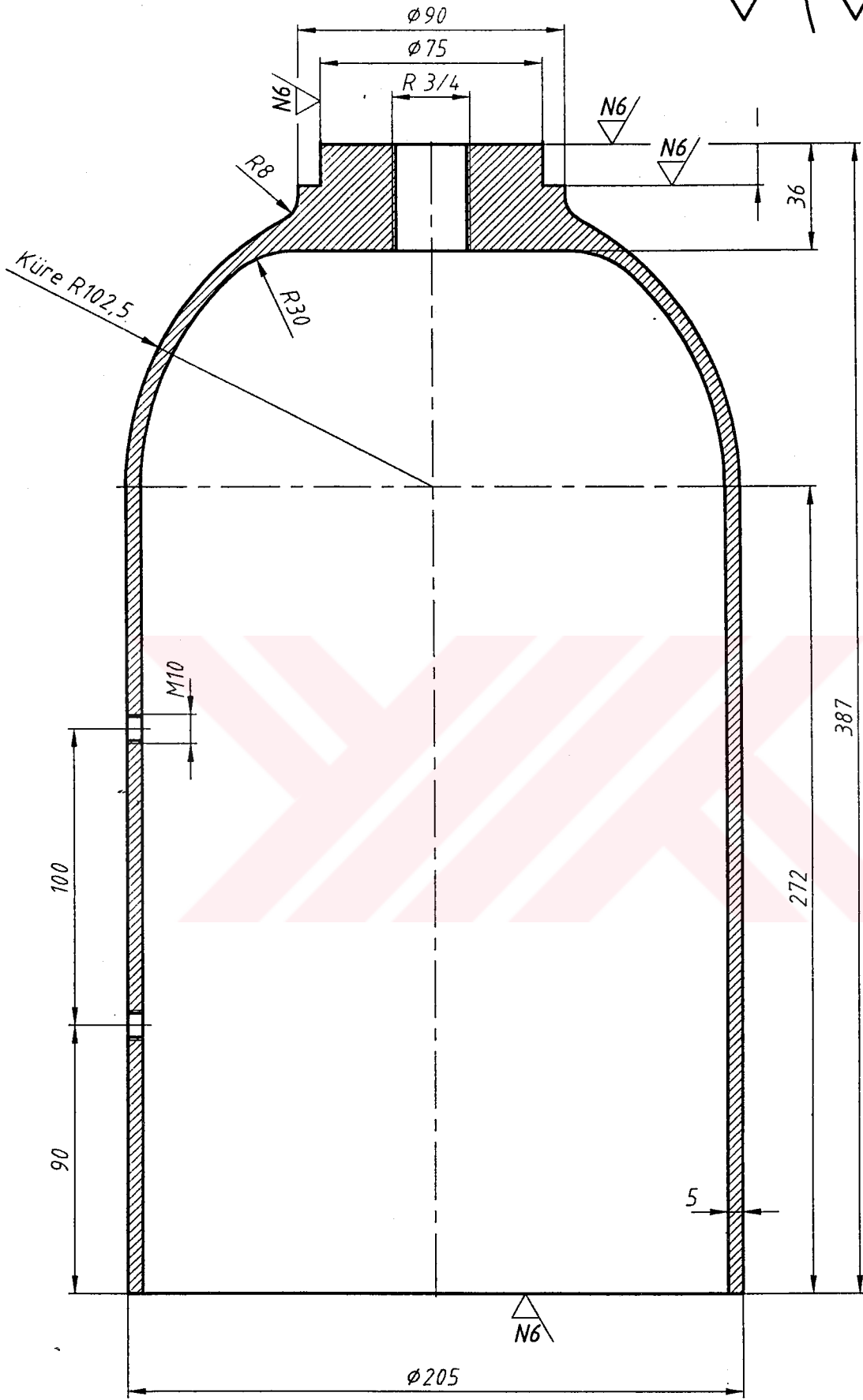
A-A Kesiti



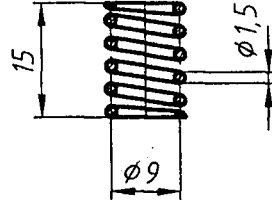
B-B Kesiti

Ç 1060	1/2	1	HAREKETLİ TABLA	DSS - 11
Gereç	Ölçek	Sayı	Adı	Resim Nr.
			H. I. DEMİRCİ	Çizen

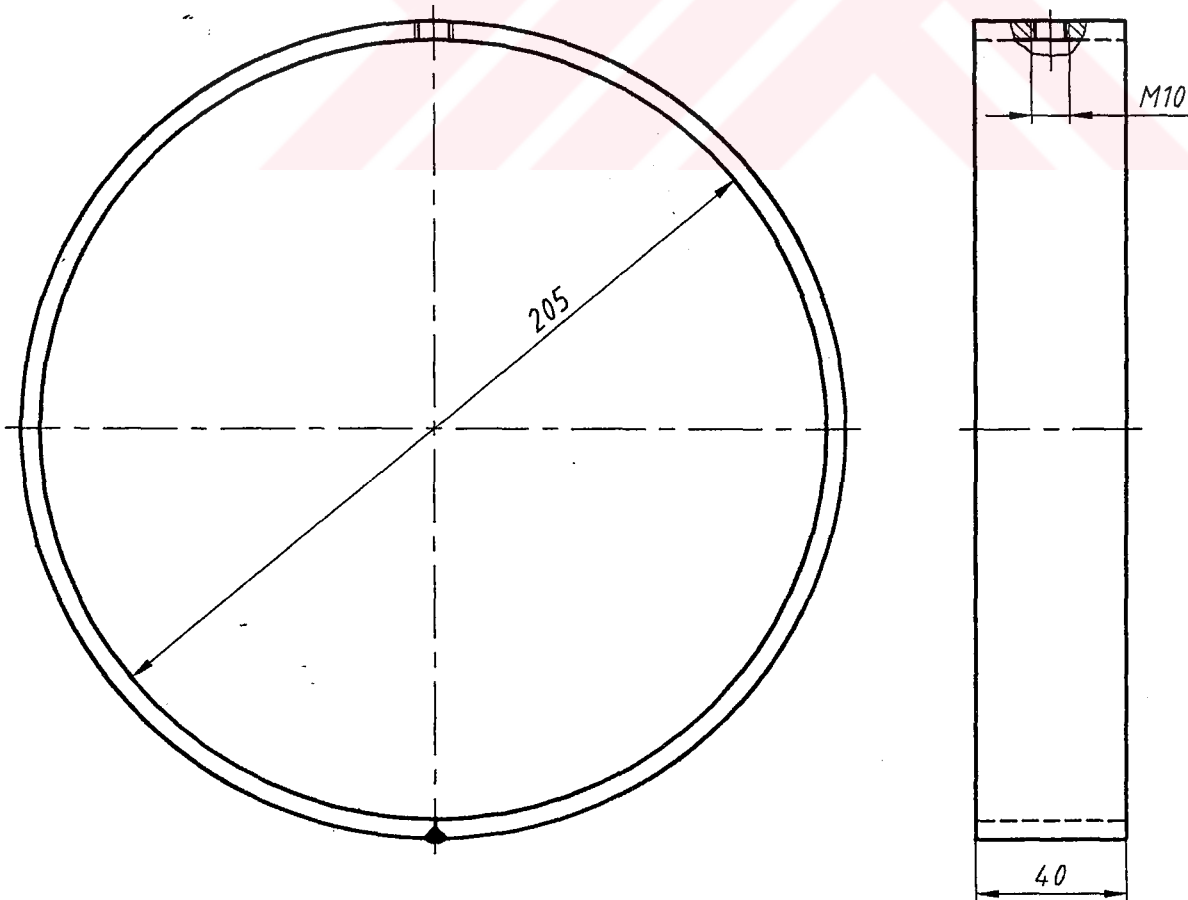
N8 / (N6 /)



Ç 1020	1/2	1	DETENASYON TÜPÜ	H. I. DEMIRCI	DSS - 12
Gereç	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim Nr.

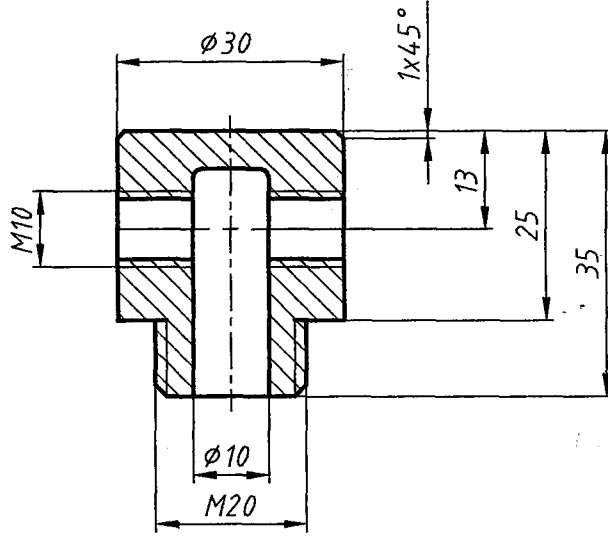


Yay Çeligi	1/2	4	BASKI YAYI	H. I. DEMIRCI	DSS - 11
Gereç	Ölçek	Sayi	Adi	Çizen	Resim Nr.

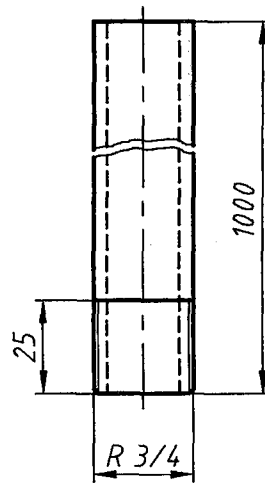


Fe 42	1/2	2	DESTEK ÇEMBERİ	H. I. DEMIRCI	DSS - 13
Gereç	Ölçek	Sayi	Adi	Çizen	Resim Nr.

N6



Ç 1020	1/2	1	DETENASYON GAZ GIRISI	H. I. DEMIRCI	DSS - 17
Gereç	Ölçek	Sayı	Adi	Çizen	Resim Nr.



Not: Dikissiz boru

Ç 1050	1/2	1	DETENASYON BORUSU	H. I. DEMIRCI	DSS - 15
Gereç	Ölçek	Sayı	Adi	Çizen	Resim Nr.

ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Karabük'te doğdu. Karabük Endüstri Meslek Lisesini tamamladıktan sonra Gazi Üniversitesi Bolu Eğitim Yüksek Okulu'ndan 1987 yılında, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinden 1991 yılında mezun oldu. Aynı yıl M.E.B açmış olduğu Öğretmenlik Sınavını kazanarak 1991-1993 yılları arasında İstanbul Sultanahmet Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi'nde iki yıl öğretmenlik yaptı. 1993 yılında YÖK tarafından açılan Yurtdışı Lisansüstü Eğitim Sınavını (YLS) kazanarak Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1994 yılında Yüksek Lisans için görevlendirildiği İngiltere Hertfordshire Üniversitesi'nde 6 aylık İngilizce kursunu tamamlayarak 1995-1997 yıllarında Hertfordshire Üniversitesi Makine-Uçak Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans çalışmasını tamamladı. 1997 yılında yurda dönerek Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi ve Öğretim Görevlisi olarak 3 yıl görev yaptı. Halen doktora çalışmasını tamamlamak üzere görevlendirildiği M.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.