

**METALİK SACLARIN HİDROLİK
ŞEKİLLENDİRME İLE ŞEKİLLENEBİLİRLİĞİNİN
TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ**

Tahsin AĞYEL

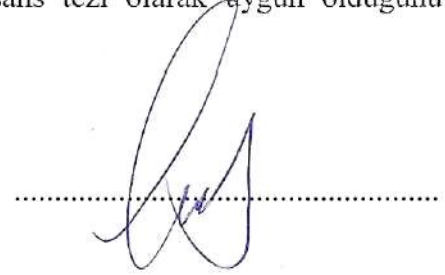
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK
NİSAN 2009**

Tahsin AĞYEL tarafından hazırlanan " METALİK SACLARIN HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME İLE ŞEKİLLENEBİLİRLİĞİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ " başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa YAŞAR

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında. Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/04/2009

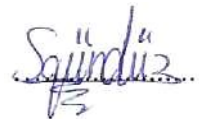
<u>Unvan, Ad SOYADI (Kurumu)</u>		
Başkan:	Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ	(KBÜ)
Üye :	Doç. Dr. Mustafa BOZ	(KBÜ)
Üye :	Doç. Dr. Mustafa YAŞAR	(KBÜ)
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ	(KBÜ)
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU	(KBÜ)

İmzası
Süleyman Gündüz
Mustafa Boz
Mustafa Yaşar
Metin Zeyveli
Cevdet Goloğlu

30.10.5/2009

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Tahsin AĞYEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

METALİK SAÇLARIN HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME İLE ŞEKİLLENEBİLİRLİĞİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Tahsin AĞYEL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mustafa YAŞAR

Nisan 2009, 73 sayfa

Hidrolik şekillendirme (hydroforming), sac veya tüp şeklindeki metal malzemelerin bir akışkan (su, yağ, viskoz polimerik malzeme vs) vasıtasıyla kapalı bir kaptaki şekillendirilmesidir. Yöntem sayesinde, yüksek şekil değişim oranlarına ulaşılabilmesi, şekillendirme esnasında meydana gelen kalınlık değişimlerinin düşük olması ve karmaşık geometriye parçaların tek bir işlemle üretilmesi daha hafif ve daha mukavim tasarımları mümkün kılmıştır.

Hidrolik şekillendirme için üç farklı metalik sac (AA 5754 serisi 0,8 mm'lik alüminyum alaşımlı sac, C 1006 serisi 1 mm'lik Dkp sac ve C 1006 serisi 0,30 mm'lik galvaniz kaplamalı sac) kullanılmıştır. Bu sacların spektral analizleri yapılarak kimyasal özellikleri ve malzeme standartları tespit edilmiştir. Bu standartlar ışığında literatürde yapılan araştırmalar sonucunda sacların mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Sacların tespit edilen bu özellikleri ışığında kalıplar

yapılmıştır. Hidrolik şekillendirme çalışmalarında yalnızca erkek kare zımba kullanılmış, dişi kalıp yerine sıvı kullanılmıştır. Yapılan kalıpların CAD programlar kullanılarak modellenmesi yapılmıştır. Bu modellemeler LS-DYNA yazılımına aktararak 1/4'lük teorik modelleri oluşturulmuştur. Bu amaçla hidrolik şekillendirme sistemi kurulmuş, teorik modelden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak deneysel çalışmalara geçilmiştir. Analizlerde farklı malzeme modelleri kullanılarak elde edilen teorik sonuçların deneysel sonuçlar ile uygunluğu irdelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında oluşacak kırışıklıklar ve yırtılmalar minimum seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Yapılan hidrolik şekillendirmeler neticesinde teorik sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasında numunelerdeki kalınlık değişimleri açısından en fazla % 15 fark (% 85 uyumluluk) olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Sac metal şekillendirme, Hidrolik şekillendirme, Alüminyum Alaşım, Dkp sac, Galvanizli sac

Bilim Kodu : 626. 19. 01.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF FORMABILITY OF METAL SHEETS BY HYDROFORMING

Tahsin AĞYEL

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metal Education**

**Thesis Advisor:
Associate Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

February 2009, 73 pages

Hydroforming is formation of metallic materials of sheet or tube by means of a fluid (water, viscous polymeric material, etc.) in an enclosed container. Through this method it allows reaching higher formability ratios, lower thickness changes occurring during formation, and producing components having complicated geometrical shapes by a single process, therefore it enables lighter and stronger designs.

For hydroforming, three different metallic sheets (0.8 mm thickness of AA 5754 1 mm thickness of DKP, and 0.30 mm thickness of galvanised sheets) were used. Spectral analysis of thee plates were realised and their chemical properties and material standards were determined. In light of so colled the results, and at the end of searches in literature, mechanical properties of sheet metal were determined. In the

light of features determined, dies were produced. In hydroforming studies only male square punch has been used and liquid also has been used instead of female mold. The configured dies were modeled by CAD program and they were transferred to ANSYS-LS/DYNA software. Their 1/4 theoretical models were made. Hydroforming system has been established; taking theoretical model into consideration, it has been accessed to the experimental work. While using different materials models on analysis, the results obtained by the theoretical studies were compared to the experimental results.

During the experiments, it was tried to keep wrinkles and tears at minimum level during the experimental studies. As a result of the theoretical results obtained by hydroforming configuration, the experimental results between the maximum thickness of the samples are shown 15 % difference (85% compliance).

Key Words : Sheet metal forming, Hydroforming, Aluminium alloy, Dkp
Sheet, coated Galvanized sheet

Science Code : 626. 19. 01.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, bana yol gösteren ve alışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Do. Dr. Mustafa YAŞAR'A ve diğer bölüm hocalar ma, ÇETİNKAYA ailesine, sevgili arkadaşlarım Őaban BÜLBÜL, Ferdi AVCI, Murat AYDIN, Yakup KAYA, Celalettin ASLANDAĞ, Mehmet Akif ALTAŐ, Mehmet KESBİÇ, Doğan ŐİMŐEK ve Salih ÖZER'E teŐekkürlerimi sunar m.

Bu günlere gelmemde ve bu çalışmanın hazırlanmasında maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen sevgili aileme ayrıca teşekkür eder, sayđlarım sunar m.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XV
KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME	3
2.1. GİRİŞ	3
2.2. HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME TÜRLERİ	5
2.2.1. Hidrolik Sac Şekillendirme	6
2.2.2. Tüp Hidrolik Şekillendirme	6
2.2.3. Hidromekanik Derin Çekme	10
2.3. ŞEKİLLENDİRME SINIR DİYAGRAMI	11
BÖLÜM 3. HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	16
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
4.1. GİRİŞ	29
4.2. HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME SİSTEMİ	29

	<u>Sayfa</u>
4.3. MALZEME SEÇİMİ	31
4.4. TEORİK MODELLEME.....	34
4.5. DENEYSEL ŞEKİLLENDİRMELERİN YAPILIŞI.....	35
BÖLÜM 5. TEORİK SONUÇLAR İLE DENEYSEL SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRILMASI.....	37
5.1. SIVI BASINÇLI HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME.....	37
5.1.1. AA 5754 Serisi Alüminyum Sac Hidrolik Şekillendirme	37
5.1.2. C 1040 Serisi Galvaniz Kaplamalı Sac Hidrolik Şekillendirme	42
5.1.3. C 1040 Serisi Dkp Sac Hidrolik Şekillendirme	47
5.2. SIVI BASINÇSIZ HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME	51
5.2.1. AA 5754 Serisi Alüminyum Sac Hidrolik Şekillendirme	52
5.2.2. C 1040 Serisi Galvaniz Kaplamalı Sac Hidrolik Şekillendirme.....	54
5.2.3. C 1040 Serisi Dkp Sac Hidrolik Şekillendirme	57
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
6.1. SONUÇLAR	61
6.2. ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	64
EK AÇIKLAMALAR A. HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME SİSTEMİNİN AYRINTILI ÖLÇÜLERİ	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tüp hidrolik şekillendirme yoluyla üretilen otomobil parçaları koyu renkte görülmektedir.....	4
Şekil 2.2. a) Hidrolik şekillendirme presi ve b) Üretilen parça.....	5
Şekil 2.3. Hidrolik sac şekillendirme	6
Şekil 2.4. Tüp hidrolik şekillendirme 1.Aşama.	7
Şekil 2.5. Tüp hidrolik şekillendirme 2.Aşama.	8
Şekil 2.6. Tüp hidrolik şekillendirme 3.Aşama.	8
Şekil 2.7. Tüp hidrolik şekillendirme 4.Aşama.	8
Şekil 2.8. Tüp hidrolik şekillendirme ile sac parçaların imalat	9
Şekil 2.9. Tüp hidrolik şekillendirmeye yapılmış araba amortisörü.....	9
Şekil 2.10. Hidrostatik ve hidrodinamik hidromekanik derin çekme.	10
Şekil 2.11. Hidromekanik derin çekme.....	11
Şekil 2.12. Şekil 2.12. hidrolik şekillendirme kullanılan ızgara (grid) tekniği a)Şekillendirme işlemine başlamadan önce sac levhanın üzerine eşit aralıklarla ve büyüklükte çizilen çemberler. b) Şekillendirme işlemi sonucunda deformasyona uğramış olan levhadaki çemberlerin son hali c) levha üzerine çizilen çemberlerin bir tanesine etki eden çekme kuvvetleri.....	13
Şekil 2.13. Farklı gerilim oranlarına benzer farklı deformasyon biçimlerini gösteren gerilim diyagramı	14
Şekil 2.14. Az karbonlu çeliğe ait şekillendirme sınır diyagramı örneği.....	15
Şekil 3.1. Bükme işleminde, zımba stroku optimum sıvı basıncı ilişkisi	17
Şekil 3.2. Hidromekanik derin çekme sisteminin sistematik tanıtım ve parabolik parçaların görünümü	18
Şekil 3.3. Farklı basınç değerlerinde tüpün aldığı şekiller	19
Şekil 3.4. Taylan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma sırasında kullandıkları kalıplar	20

Şekil 3.5. Silindirik kabın derin çekilmesinin şematik gösterimi a) Deneysel kurulum b) Teorik model	21
Şekil.3.6. Mühendis tüp	22
Şekil.3.7. Bir mühendislik tüpün et kalınlığı dağılımı	22
Şekil 3.8. T bağlantılı kalıbın sistematik tamunu ve deforme olmamış kalıp ve borunun sonlu elemanlar modeli	24
Şekil 3.9. Hidrolik ve elektrohidrolik sac metal şekillendirilme sistemine genel bakış	25
Şekil 3.10. Farklı sac malzeme şekilleriyle derin çekmenin son şeklinin karşılaştırılması	27
Şekil 3.11. Farklı zımba kurslarında iş parçasının deformasyonu	28
Şekil 4.1. Hidrolik şekillendirme sisteminin şematik resmi	30
Şekil 4.2. Hidrolik şekillendirme sistemi	30
Şekil 4.3. Hidrolik şekillendirme sisteminin LS-DYNA Explicit Sonlu Elemanlar modeli	34
Şekil 5.1. AA 5754 Serisi alüminyum sac hidrolik şekillendirme malzeme kalınlık değişim grafiği sonuçla >	38
Şekil 5.2. 0,8 mm AA 5754 sac için Ş.S.D.	39
Şekil 5.3. AA 5754 Alüminyum sac deneysel sonuç	40
Şekil 5.4. Teorik çözümleme sonucu elde edilen AA 5754 serisi alüminyum sacda oluşan deformasyon bölgeleri.	40
Şekil 5.5. Değişik basınçlarda yapılmış AA 5754 serisi alüminyum sac deneysel sonuçlar.	41
Şekil 5.6. C 1006 serisi 0,30 mm galvaniz kaplamalı sac için Ş.S.D.	43
Şekil 5.7. C 1006 serisi galvanizli sac deneysel sonuç.	44
Şekil 5.8. Teorik çözümleme sonucu elde edilen C 1006 serisi galvaniz kaplama > sacdaki deformasyon bölgeleri.	44
Şekil 5.9. C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sacın hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçla >	45
Şekil 5.10. Değişik basınçlarda yapılmış galvaniz kaplamalı sac deneysel sonuçlar	46

Şekil 5.11. C 1006 serisi Dkp sac hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçlar	48
Şekil 5.12. C 1006 serisi 1 mm Dkp sac için Ş.S.D.....	49
Şekil 5.13. C 1006 serisi Dkp sac deneysel sonuç.....	49
Şekil 5.14. Teorik çözümlene sonucu elde edilen C 1006 serisi Dkp sac.....	50
Şekil 5.15. Değişik basınçlarda yapılmış C 1006 serisi Dkp sac deneysel sonuçlar	50
Şekil 5.16. AA 5754 serisi alüminyum sac hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçlar	52
Şekil 5.17. AA 5754 serisi 0,8 mm alüminyum sac için Ş.S.D.....	53
Şekil 5.18. AA 5754 serisi alüminyum sac deneysel sonuç.....	54
Şekil 5.19. Teorik çözümlene sonucu elde edilen AA 5754 serisi alüminyum sacda olşan deformasyon bölgeleri.....	54
Şekil 5.20. C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçla >	55
Şekil 5.21. C 1006 serisi 0,30 mm galvaniz kaplamalı sac İçin Ş.S.D.....	56
Şekil 5.22. C 1006 serisi galvaniz kaplamal sac deneysel sonuç	56
Şekil 5.23. Teorik çözümlene sonucu elde edilen C 1006 serisi galvaniz kaplamal sac	57
Şekil 5.24. C 1006 serisi Dkp sac hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçla >.....	58
Şekil 5.25. C 1006 serisi 1 mm Dkp sac için Ş.S.D.....	59
Şekil 5.26. C 1006 serisi Dkp sac deneysel sonuç.....	59
Şekil 5.27. Teorik çözümlene sonucu elde edilen C 1006 serisi Dkp sac	60
Şekil A1. Solid Works'te çizilmiş pres sapının ayrıntılı ölçüleri	70
Şekil A2. Solid Works'te çizilmiş zımbanın ayrıntılı ölçüleri	70
Şekil A3. Solid Works'te çizilmiş baskı plakasının ayrıntılı ölçüleri.....	71
Şekil A4. Solid Works'te çizilmiş şekillendirme kalıbının ayrıntılı ölçüleri	71
Şekil A5. Solid Works'te çizilmiş tablanın ayrıntılı ölçüleri	72

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. Şekillendirilecek sacların ölçüleri.....	32
Tablo 4.2. AA 5754 serisi sacın kimyasal özelliği.....	32
Tablo 4.3. AA 5754 serisi sacın mekanik özelliği.....	33
Tablo 4.4. C 1006 serisi sacın kimyasal özelliği.....	33
Tablo 4.5. C 1006 serisi sacın mekanik özelliği.....	33
Tablo 4.6. Kalıp elemanlarının ölçüleri.....	34
Tablo 5.1. Ön sıvı basıncı AA 5754 serisi alüminyum hidrolik şekillendirme işleminde kullanılan parametreler.....	38
Tablo 5.2. Ön sıvı basıncı C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirmede kullanılan parametreler.....	45
Tablo 5.3. Ön sıvı basıncı C 1006 serisi Dkç sac hidrolik şekillendirme kullanılan parametreler.....	47
Tablo 5.4. Ön sıvı basıncı AA 5754 serisi alüminyum sac hidrolik şekillendirmede elde edilen çekme yükseklikleri.....	52
Tablo 5.5. Ön sıvı basıncı C 1006 serisi galvaniz kaplamalı hidrolik şekillendirmede elde edilen çekme yükseklikleri.....	55
Tablo 5.6. Ön sıvı basıncı C 1006 serisi Dkç sac hidrolik şekillendirmede elde edilen çekme yükseklikleri.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

THF : Tüp hidrolik şekillendirme

HDD : Hidromekanik derin çekme

BCC : Hacim merkez kübik yapı

FCC : Yüzey merkez kübik yapı

IGES: Ansys'te analizi yapılacak parçanın Solid Works'teki yapıları montajının dosya uzantısı .

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, metallerin soğuk şekillendirilmesi alanındaki yeni uygulamalardan biri hidrolik şekillendirme dir.

Hidrolik şekillendirme temel olarak metal sac veya tüp malzemenin akışkan bir ortam (su, viskoz polimerik malzeme vs) vasıtasıyla kapalı bir ortamda şekillendirilmesidir. Bu kadar geniş bir tanım olmasından dolayı, hidrolik şekillendirme daha çok benzer işlemler için kullanılan genel bir ad olarak düşünülebilir [1]. Tüp hidrolik şekillendirme genel olarak otomotiv endüstrisinde, araç gövde parçaları, şasi sistemleri, motor parçaları ve gövde sistemlerinin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Sac hidrolik şekillendirme teknolojisi ise düşük adetli üretimlerde, prototip imalatında, alüminyum alaşımları ve yüksek dayanımlı çelikler gibi şekillendirilebilirliği göreceli olarak düşük malzemelerin kullanıldığı durumlarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır [1]. Dünyada hidrostatik basınç etkileri konusunda çok uzun yıllardan beri çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. McClintock [2], Rice ve Tracey [3], hidrostatik basınç altında, malzemeye uygulanan kuvvetin arttığı halde, sac metal levhalarda meydana gelen sünek yırtılmaların çok ani olarak azaldığını çalışmalarında göstermişlerdir. Clift ve diğerleri [4], Hartley ve diğerleri [5], sac metallerin derin çekme çalışmalarında kullandıkları hidrostatik basınç sayesinde mikro çatlakların başlangıcını geciktirdikleri ve oluşabilecek yayılmalarını önlediklerini ortaya koymuşlardır. E. Önder ve E. Tekkaya [6] çalışmalarında, geleneksel derin çekme ve hidro dinamik derin çekme yöntemlerinin birbirlerine göre üstünlüklerini araştırmışlar, çeşitli kesitlerdeki parçaların çekme sonuçlarını teorik olarak ortaya koymuşlardır [6].

Hidrolik şekillendirme yöntemi üzerine yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak derin çekme işlemine alternatif olması amacıyla yapılmıştır. Derin çekme ile üretimde

karşılaşılan hatalar hidrolik şekillendirme ile büyük ölçüde azaltılmıştır. Sac hidrolik şekillendirmenin, geleneksel yöntemlere göre karmaşık parçaların şekillenebilirliği, yüksek ölçü tamlığı, yüzey kalitesinin iyi oluşu, yüksek çekme oranı, kalınlık değişimlerinin düzenli oluşu gibi birçok yönden avantajı vardır. Yüksek basınç altında şekillendirme işlemiyle çok özel şekiller diğer imalat yöntemlerine göre çok daha hafif olarak üretilmektedir. Özellikle alüminyum alaşımlı malzemeler bu yöntemle diğer imalat yöntemlerine göre % 50 daha hafif olarak üretilebilmektedir [7].

Yapılan literatür araştırmalarında silindirik zımba kullanılarak silindirik parçaların üretilmiş. Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmalara alternatif olması amacıyla kare zımba kullanılarak kare parçaların üretimi planlanmıştır. Yapılan bu çalışmada hidrolik akışkan basıncı kullanılarak AA 5754 serisi alüminyum alaşımlı sac malzeme, C 1006 serisi Dkp sac malzeme ve C 1006 serisi galvaniz kaplama sac malzemelerin şekillendirilmesi incelenmiş ve şekillendirme sırasında kırışıklıkların ve yırtılmaların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Malzeme üzerindeki kalınlık değişimlerine etki eden faktörlerin birbirleriyle ilişkisi incelenip, en iyi sonucun elde edilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu şekilde maliyet, üretilebilirlik, parça sayısı gibi önemli kriterlerden belli kolaylık ve avantajlar sağlanmıştır.

BÖLÜM 2

HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME

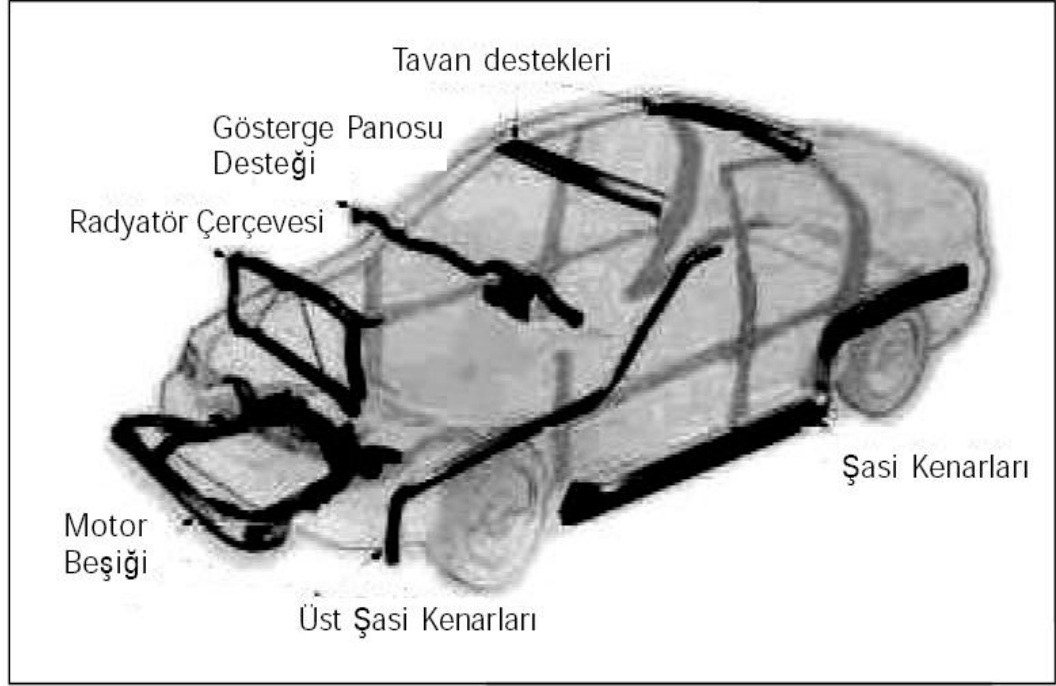
2.1. GİRİŞ

Saç metallerin ve tüplerin şekillendirilmesi, metal işleme operasyonlarının önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Bu şekillendirme işlemleri, sanayileşmiş ülkelerdeki üretim alanlarında her yıl daha da büyüyen şekilde gelişmektedir [8]. Daha da ötesi, üretim endüstrisinde maliyeti azaltma ve performansın artırılması, buna ek olarak, geleneksel çelik malzemeler yerine çevreye duyarlı, çok daha hafif ve yüksek dayanımlı malzemelerin kullanımına önem verilmektedir. Örneğin otomotiv endüstrisinde, otomobil parçalarının ağırlıklarında % 50 oranında bir azalma sağlayacağından ve böylece yakıt tüketimi de azalacağından dolayı bu parçaların alüminyum alaşımlarından üretilmesi konusunda birçok çalışma yapılmış ve halen devam etmektedir [8]. Bunun yanında, alüminyumun çok iyi bir geri kazanım karakteristiğine sahip olması, bu konunun önemini daha da arttırmaktadır. Günlük yaşamda otomobiller vazgeçilmez en önemli ulaşım araçları olmasından dolayı, ilgili alanda yapılan çalışmaları önemli kılmaktadır.

Hidrolik şekillendirme ilk olarak 1890'larda ortaya çıkmış [9] ancak asıl gelişimini II. dünya savaşı sonrasında gerçekleştirmiş bir imalat yöntemidir. İlk araştırmalar Almanya ve Japonya'da gerçekleştirilmesine rağmen günümüzde Amerika, Rusya, Fransa, İsrail, Kore gibi değişik ülkelerde gerek üniversite gerekse özel araştırma birimlerinde yoğun bir şekilde konu üzerinde çalışılmaktadır. Yöntem, yeterli bilgi birikimine ulaşılamamış olmasından ve bazı teknik zorluklardan ötürü 1990'lara kadar gereken ilgiyi görmemiştir [9].

Günümüzde özellikle otomotiv sanayinde tüp hidrolik şekillendirme yoluyla üretilmiş gövde sistemleri (gösterge panosu, radyatör çerçeveleri, koltuk çerçeveleri), tavan yan kenarları; şasi sistemleri (motor beşiği, arka beşik, merdiven çerçeveleri,

sönümlenme çubukları); kontrol ve süspansiyon sistemleri (kontrol kollar , direksiyon milleri); motor ve çekiş sistemleri (egzoz manifoldu, kam mili) görmek mümkündür. Şekil 2.1’ de tüp hidrolik şekillendirme yöntemiyle üretilmiş otomobil parçaları görülmektedir [10].



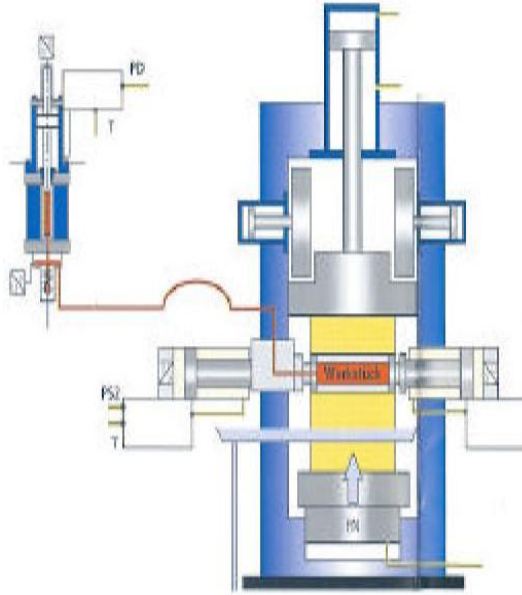
Şekil 2.1. Tüp Hidrolik Şekillendirme Yoluyla Üretilen Otomobil Parçaları Koyu Renkte Görülmektedir [10].

Sac hidrolik şekillendirme teknolojisi ise düşük adetli üretimlerde, prototip imalatında, alüminyum alaşımları ve yüksek dayanımlı çelikler gibi şekillendirilebilirliği göreceli olarak düşük malzemelerin kullanıldığı durumlarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır [10].

Hidrolik şekillendirme işleminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [10]

- Zor geometriye sahip malzemeler rahatlıkla üretilmekte (şekil 2.2),
- Birçok operasyon yerine tek operasyonda üretim yapılabilen,
- Yüksek mukavemetli malzemeler rahatlıkla şekillendirilebilmekte, hassas ölçüleri yakalayabilmekte,
- Diğer imalat yöntemlerine göre parçaların % 50 ye yakın daha hafif olarak üretim imkânı sağlanabilmekte,

- e. Çevreyle uyumlu olmayan plastik parçalar yerine çevre ile daha uyumlu yeniden kullanıma daha uygun metal parçalar kullanabilmektedir.



a) Hidrolik şekillendirme Presi



b) Üretilen parça

Şekil 2.2. a) Hidrolik Şekillendirme Presi ve b) Üretilen Parça [10].

2.2. HİDROLİK ŞEKİLENDİRME TÜRLERİ

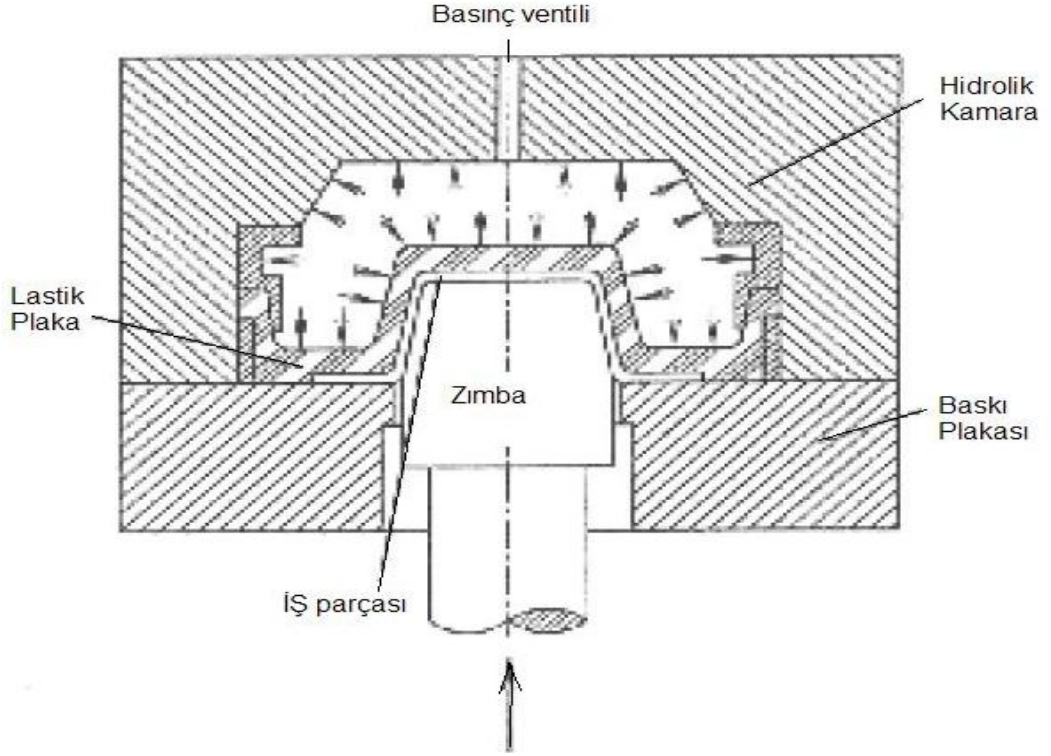
Hidrolik şekillendirme bir tür değişken biçimli takım (soft tool) veya diğer bir deyişle esnek şekillendirme teknolojisidir. Değişken biçimli takımla şekillendirme teknolojileri basit ekipmanlar gerektirmeleri, mevcut donanma uyum sağlayabilmeleri, düşük enerji tüketimleri, yüksek ürün kaliteleri ve fayda/maliyet oranlarının yüksek olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

Hidrolik şekillendirmeyi 3 ana grup altında toplayabiliriz;

- Hidrolik sac şekillendirme.
- Tüp hidrolik şekillendirme.
- Hidromekanik derin çekme [10].

2.2.1. Hidrolik Sac Şekillendirme

Bu uygulama için kullanılan temel ekipmanlar Şekil 2.3' de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hidrolik Sac Şekillendirme [10].

İşlem esnasında şekillendirilecek sac baskı tablası üzerine konulur ve zımba sacı lastik plakaya doğru iter. Sacın hidrolik kamara üzerine itelenmesi hidrolik basınçın artmasına sebep olur. Kamaradaki artan basınç, sacın zımba üzerine sıvanmasını sağlar. Zımbanın hidrolik kamara içine ilerlemesi ile orantılı olarak artan hidrolik basınç, basınç ventili vasıtasıyla istenilen seviyede tutulur. Sac istenilen şekli aldıktan sonra basınç boşaltılır ve parça çıkarılır. Bu teknoloji özellikle havacılık sanayinde büyük boyutlu parçaların imalatında, az adetli üretimlerde ve prototip hazırlamada kullanılmaktadır [10].

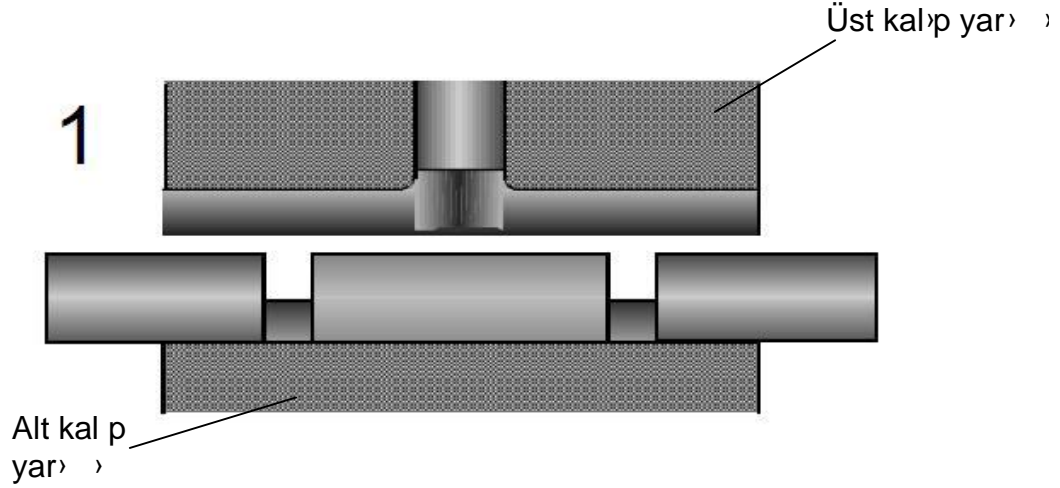
2.2.2. Tüp Hidrolik Şekillendirme

Bu teknolojiye zımbanın yerini tamamen sıvı bir ortam alır. İşlem, düz ya da önceden belirli bir geometride bükülmüş boru parçasının uygulanan eksensel kuvvet ve iç

basınç veya sadece iç basınç tarafından kalıp boşluğunun şeklini almaya zorlanmas olarak özetlenebilir. Diğer hidrolik şekillendirme uygulamalarına göre göreceli olarak daha yüksek basınçlarla şekillendirme gerçekleştirilir. Uygulanan basıncın büyüklüğüne göre (a) alçak basınçlı şekillendirme (b) yüksek basınçlı şekillendirme olarak ikiye ayrılır. Alçak-basınçlı şekillendirmede uygulanan iç basınç genel olarak 80–100 MPa civarında ve cidar inceliği çoğunlukla % 5' den daha azdır. Yüksek basınçla şekillendirmede ise iç basınç 690 MPa gibi yüksek değerlere çıkabilmekte ve buna bağlı olarak da boru malzeme daha karmaşık kalıp boşluklarını doldurabilmektedir. Endüstride her iki yöntem birlikte uygulanmaktadır. Öncelikle kalıp kapanırken düşük basınçla şekillendirme başlamakta, kalıp tam kapandıktan sonra yüksek basınçlı şekillendirmeye geçilmektedir. Böylece sürtünme kuvvetleri azalmakta, uygulanması gereken en yüksek basınç miktarı düşmektedir [10].

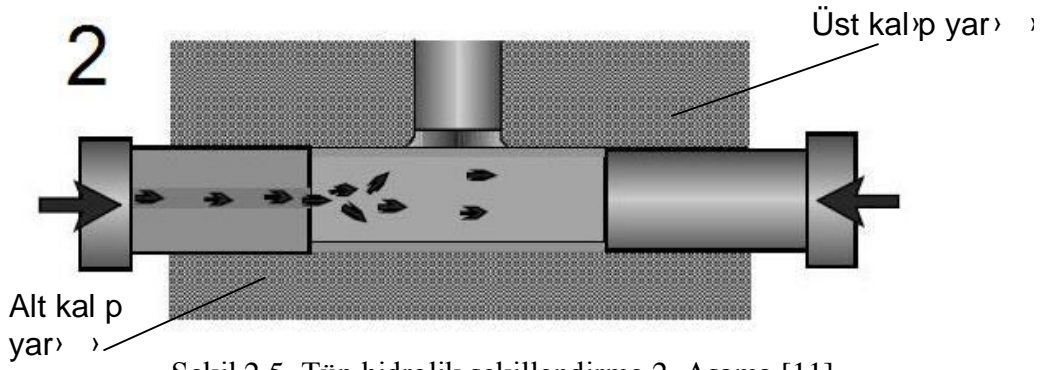
Tüp hidrolik şekillendirme 4 aşamada açıklanmıştır;

1. İlk adımda düz veya ön şekillendirilmiş boru, üretilecek ürünün profiline sahip kalıp içine yerleştirilir (Şekil 2.4).



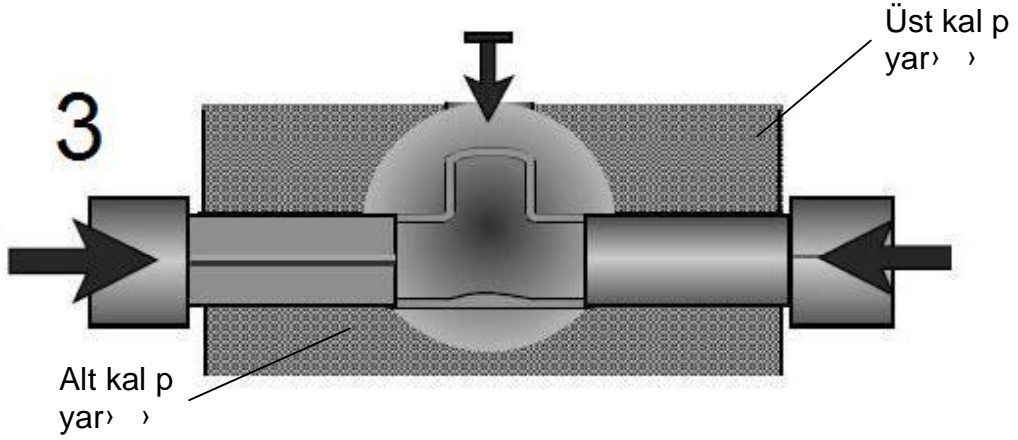
Şekil 2.4. Tüp hidrolik şekillendirme 1. Aşama [11].

2. Kalıp hidrolik pres yardımıyla kapatılır ve basınç uygulanır. Sızdırmazlığı ve aynı zamanda aksenal stroku sağlayacak olan pistonlar harekete geçer, borunun iki tarafını kapatır ve ortam şekillendirmeyi sağlayacak akışkanla doldurulur. Bu akışkan uygulamanın türüne göre değişik özelliklerde olabilir. Genel olarak yağ veya su kullanılmakla beraber, daha iyi sızdırmazlık özelliklerine sahip olmasından dolayı polimerik viskoz akışkanlarda kullanılmaktadır (Şekil 2.5).



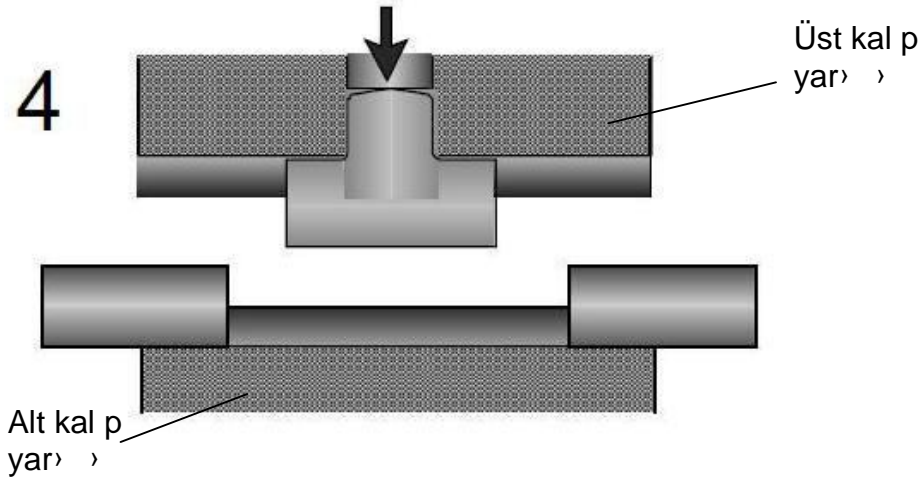
Şekil 2.5. Tüp hidrolik şekillendirme 2. Aşama [11].

3. Uygulanan iç basınçtan ve eğer varsa aksel sıkıştırmadan dolayı malzeme kalıbın içinde akmaya başlar, şişer ve kalıbın şeklini alır (Şekil 2.6).

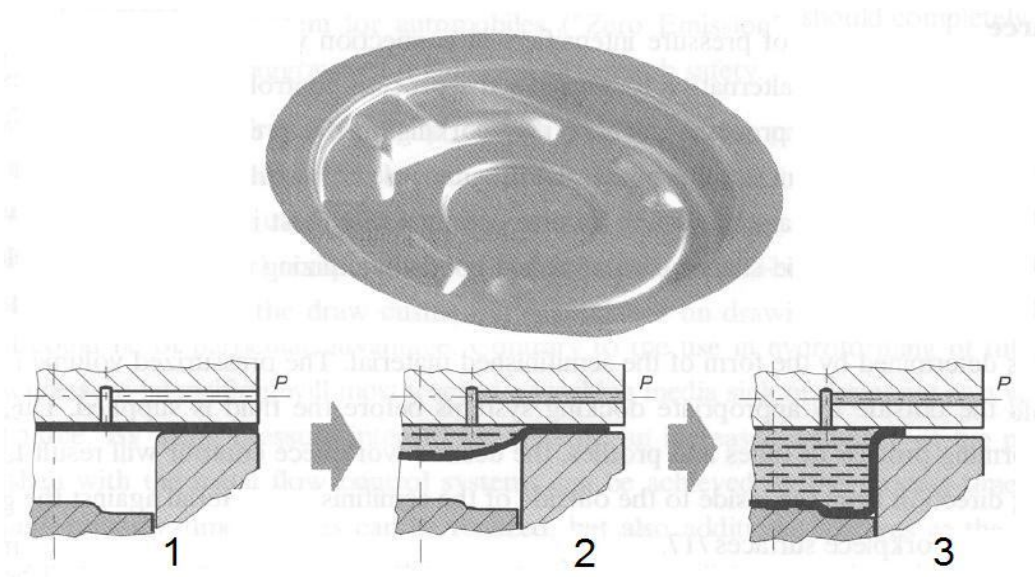


Şekil 2.6. Tüp hidrolik şekillendirme 3. Aşama [11].

4. İşlem sonunda kalıp içerisindeki sıvı boşaltılır kalıp açılır ve parça dışarıya alınır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Tüp hidrolik şekillendirme 4. Aşama [11].



Şekil 2.8. Tüp hidrolik şekillendirme ile sac parçaların imalatı [12].

Şekilde 3 aşamada gerçekleşen imalat, parçanın geometrisine göre artar ya da azalır. Parçanın yüzeyinin düzgün çıkması ve yarıtların önüne geçmek için kalıpların yüzeyinin pürüzsüz olması ve radiuslerin dikkatli verilmesi gerekir (Şekil 2.8).

Tüp hidrolik şekillendirmeye örnek;

Şekil 2.9’da Tüp hidrolik şekillendirme ile üretilmiş araba amortisörü üzerine konan alüminyumdan yapılmış köprü vazifesi gören tüp hidrolik’e örnek bir parça görülmektedir [12].

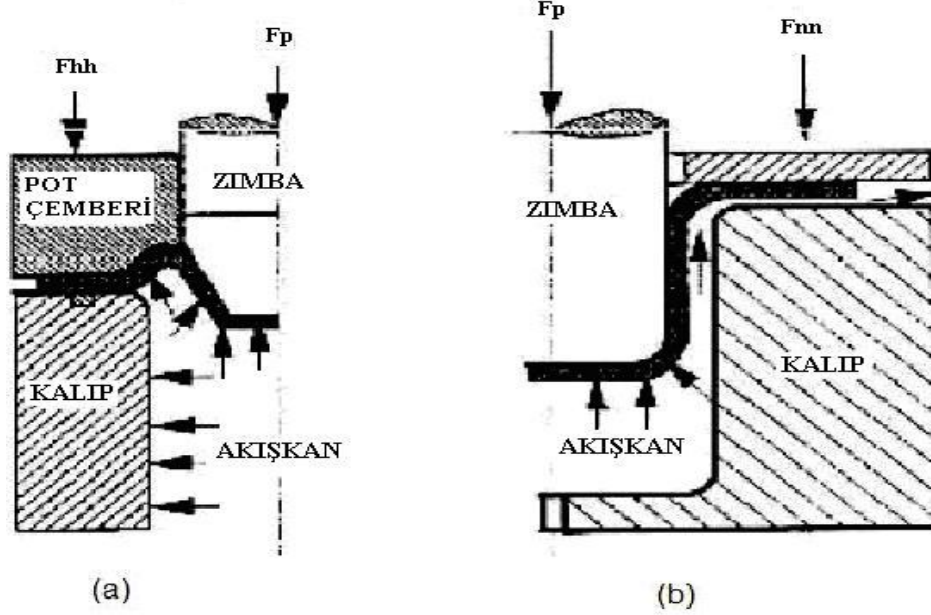


Şekil 2.9. Tüp hidrolik şekillendirmeyle yapılmış araba amortisörü [12].

2.2.3. Hidromekanik Derin Çekme.

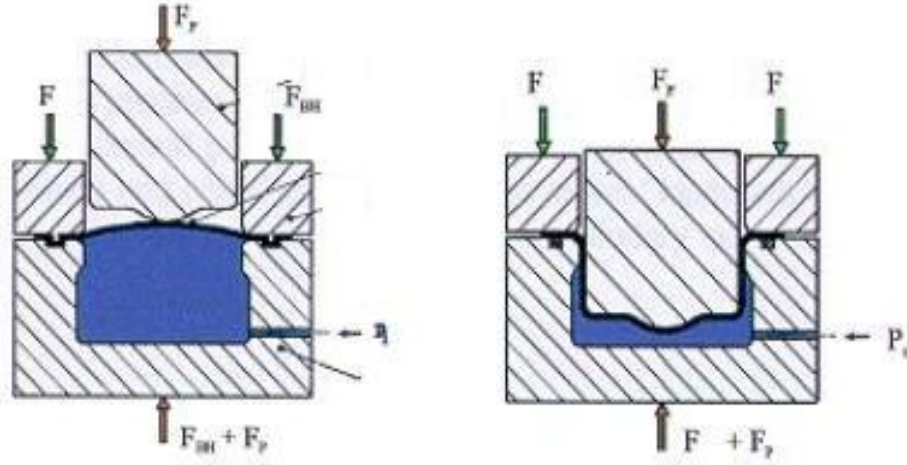
Klasik hidrolik şekillendirme işlemi esnasında kullanılan lastik plaka bu işlem esnasında ortadan kalkar. Malzeme direk olarak akışkan ortamı ile temas halindedir (Şekil 2.10). Birçok farklı türe ayrılabilmesine rağmen temel olarak 2 ana sınıfta düşünebilir:

- Hidrostatik hidromekanik derin çekme
- Hidrodinamik hidromekanik derin çekme [13].



Şekil 2.10. Hidrostatik ve hidrodinamik hidromekanik derin çekme [13].

Hidromekanik çekme yönteminde klasik çekmeye oranla daha yüksek çekme oranlarına ulaşılabilir. Pratik uygulamalar hidromekanik çekmede Şekil 2.11' deki gibi yüksek derin çekme oranlarına rahatlıkla ulaşabilmektedir. Bu durum bize klasik çekmede birden çok çekme kademesi gerektirecek profillere tek adımda ulaşma imkânı verir [13].



Şekil 2.11. Hidromekanik derin çekme [13].

Ayrıca bu işlem esnasında, malzemenin çekme zımbasına akışkan basıncı yardımıyla s›vanmas› sayesinde taban kavisi bölgesinde malzeme incelmesi çok az olmaktadır. Bu büyük üstünlük, çok ince malzemelerin bile hidromekanik yöntem kullanılarak çekilmesine olanak sağlar. Küçük taban kavisleri kullanılabilir. Bu özellik, basınçlı kap imalatı gibi alanlarda, oldukça büyük avantaj sağlamaktadır [13]. Klasik derin çekmede et kalınlığındaki yerel incelmelerden kaçınmak için, nominal kalınlıktan daha kalın levhalar kullanılmakla birlikte; hidromekanik derin çekme yöntemiyle üretilen parçalarda, nominal kalınlığa çok daha yakın malzemeler kullanılabilir. Yöntem otomobil parçalarının üretiminde (far kovanlar, çamurluklar), uçak sanayinde ve mutfak ekipmanları üretiminde kullanılmaktadır [13].

2.3. ŞEKİLLENDİRME SINIR DİYAGRAMI

Sac ve levha şeklindeki metal malzemelerin çok eksenli zorlanmalar altında şekillendirilebilme sınırlarının belirlenmesinde “Şekillendirme Sınır Diyagramları (ŞSD)” olarak tanımlanan malzeme verilerinden yararlanılmaktadır [14].

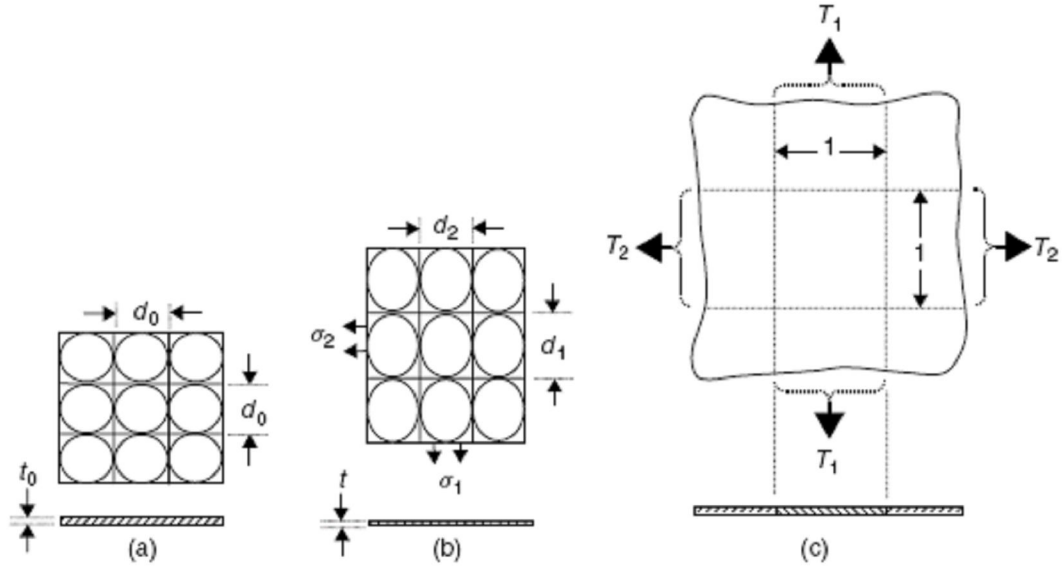
Malzemenin üretim koşullarındaki davranışını inceleyebilmek için, plastik şekil değiştirme analizlerine ihtiyaç vardır. Bu amaçla, metalik sac yüzeyine, elektrokimyasal yolla, dairelerden oluşan bir ağ çizilir [14].

Deney numunesinin boyutlarını, yağlama yöntemini ve yağlayıcı türünü değiştirerek, çekme deneyiyle, plastik şekil değiştirme işlemi için farklı gerilme durumları oluşturulur. Bu gerilme koşulları altında malzemede boyun verme veya çatlama gerçekleşinceye kadar plastik şekil değiştirme işlemi sürdürülür. Deney sonrası değerlendirme için boyun verme bölgesindeki, çatlak bölgesindeki veya çatlağın bitişiğindeki 1.ci ve 2.ci komşu daire seçilir [14].

Şekillendirme işlemi sonunda başlangıç daire çapında ya büyüme olur (dengeli iki eksenli çekme gerilmesi durumunda) veya daire elipse dönüşür (Şekil 12.14). Şekil değiştirmiş dairenin en büyük eksenini ile en küçük eksenini ölçülerek, en büyük (e_1) ve en küçük (e_2) birim şekil değiştirme miktarları bulunur [14].

Her olay için önce bir şekil değiştirme analizi yapılır, daha sonra çözüm yoluna gidilir. Genelde z mba veya erkek kal p kuvvetini azaltacak önlemler, şekillendirme işleminin emniyetli bölgede kalmasına katkıda bulunacaktır [14].

Hidrolik şekillendirme sonucu saclarda plastik şekil değişiminin ölçülmesinde "zgara (grid)" tekniğinden (Şekil 2.12) yararlanılmaktadır. Bu yöntemde başlangıçta levha üzerine (2–5 mm gibi) belirli çapta çok sayıda çember foto-kimyasal veya elektro-kimyasal bir yöntemle işlenmektedir (a). Şekillendirme işlemi sonrasında bu çemberler çeşitli boyut ve oranda elipslere veya daha büyük çaplı dairelere dönüşmektedir (b). Bu elipslerden boyun verme hasarının üstüne veya hemen yanına denk gelenlerin büyük ve küçük eksen boyları ölçülerek kaydedilir. Büyük (ϵ_1) ve küçük (ϵ_2) gerçek birim şekil değişimi değerleri aşağıdaki hesaplanmaktadır [14]:



Şekil 2.12. hidrolik şekillendirme kullanılan ızgara (grid) tekniği a) Şekillendirme işlemine başlamadan önce sac levhanın üzerine eşit aralıkta ve büyüklükte çizilen çemberler. b) Şekillendirme işlemi sonucunda deformasyona uğramış olan levhadaki çemberlerin son hali c) levha üzerine çizilen çemberlerin bir tanesine etki eden çekme kuvvetleri [14].

Başlıca gerilimler:

Şekillendirme işlemi sonundaki başlıca gerinim;

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0}; \quad \varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0}; \quad \varepsilon_3 = \ln \frac{t}{t_0} \quad (2.1)$$

Gerinim Oran :

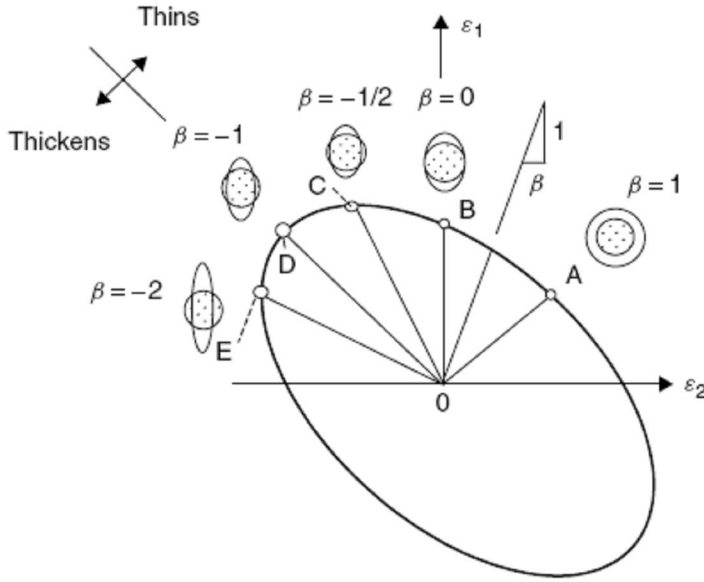
$$\beta = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{\ln (d_2/d_0)}{\ln (d_1/d_0)} \quad (2.2)$$

Bir Noktadaki Deformasyon:

$$\varepsilon_1 = \ln \left(\frac{d_1}{d_0} \right); \quad \varepsilon_2 = \ln \left(\frac{d_2}{d_0} \right) = \beta \varepsilon_1; \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_3 = \ln \left(\frac{t}{t_0} \right) = -(1 + \beta) \varepsilon_1 \quad (2.4)$$

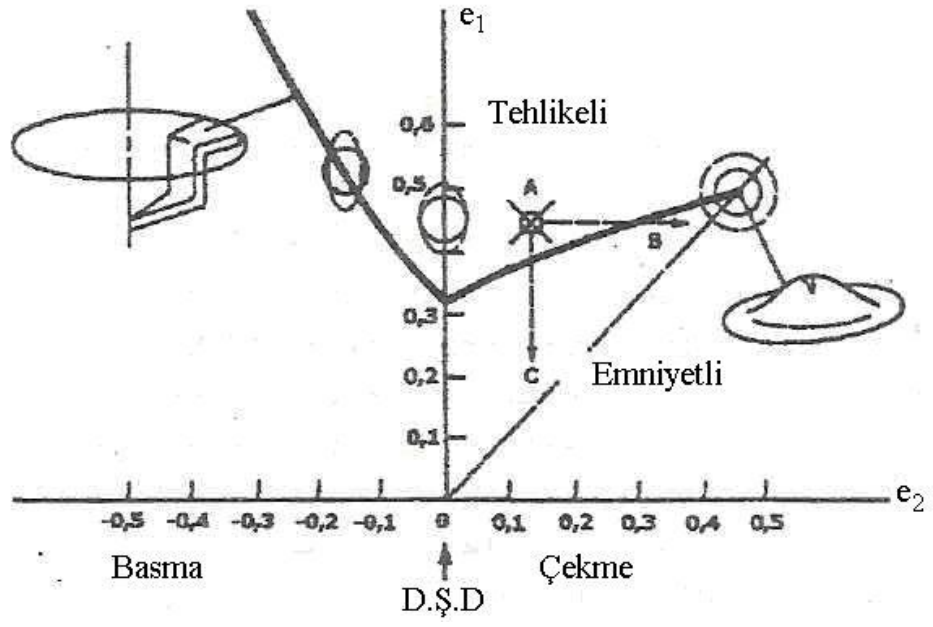
Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler neticesinde Şekil 2.13' teki örnek gösterimi verilmiş olan gerinim diyagramı elde edilir.



Şekil 2.13. Farklı gerinim oranlarına benzer farklı deformasyon biçimlerini gösteren gerinim diyagramı [14].

Değişik deneylerde, değişik koşullar için bulunan değerler bir diyagram üzerinde gösterildiğinde Şekil 12.14' de görülen "Şekillendirme Sınır Diyagramı" (Ş.S.D.) elde edilir [14].

Şekillendirme sınır diyagramının üst bölgesi tehlikeli bölge, alt bölgesi emniyetli bölgedir. Diyagram ayrıca, çekme-çekme veya çekme-basma tipi şekil değiştirme türlerinin bulunduğu iki bölgeye ayrılır. Çekme-çekme bölgesinde ε_2 pozitif işaretlidir. Çekme-basma bölgesinde ε_2 negatif işaretlidir [14].



Şekil 12.14. Az karbonlu çeliğe ait şekillendirme sınır diyagramı örneği [14].

Şekillendirme sınır diyagramında e_2 'nin sıfır olduğu nokta, düzlemsel şekil değiştirmeyi belirleyen noktadır. Farklı malzemelerin birbiriyle karşılaştırılmasında bu noktaya ait değerler kullanılır [14].

BÖLÜM 3

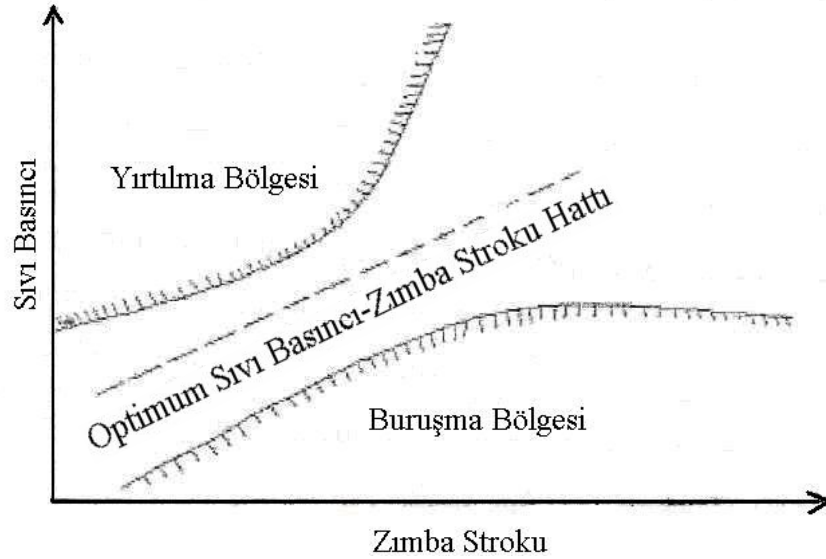
HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

McClintock [15], RJce ve Tracey [16]. Hidrostatik basınç altında, malzemeye uygulanan kuvvetin arttığı halde, sac metal levhalarda meydana gelen sünek yırtılmaların çok ani olarak azaldığını çalışmalarında gösterdiler. Clift, Hartley, Sturgess ve Rowe [17], Hartley, Pillinger ve Sturgess [18], sac metallerin derin çekme çalışmalarında kullandıkları hidrostatik basınç sayesinde mikro çatlakların başlangıcını geciktirdikleri ve mikro çatlakların oluşması durumunda bile yayılmalarını önlediklerini gösterdiler. Bu çalışmalardaki başarının temelinde hidrostatik basınç kullanarak levhalarda meydana gelen yırtılmaların başlangıcını geciktirmeleri vardır.

Youssef and Denault [19] çalışmalarında hidrolik şekillendirme ile bükme işleminin avantajlarının bir kısmını ortaya koymuşlardır. Özellikle otomotiv ve uzay endüstrisinde dikkate değer oranda işlemlerde kullanılabileceğine dikkat çekmişler. Bu avantajlara, akışkan tarafından uygulanan basınçtan dolayı derin çekilebilme özelliğinin çok önemli ölçüde artması, zımba ve kalıp arasındaki sürtünmeden doğan aşınmaların minimize edilmesi, geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında ürünün son halinde bazı bölgelerinde meydana gelen aşırı incelmelerin ve buna bağlı olarak oluşan yırtılmaların azalması, takım kullanılmasının azalmasından dolayı dikkate değer oranda ekonomikliği ve işi bitirmek için gerekli işlem basamaklarının azalması dâhildir.

Yossifon ve Tirosh [20–21] tarafından da gösterildiği gibi, sıvı basıncı, üst sıvı odasında çok yüksek olursa, malzemenin sünekliğinin izin vermesinden daha hızlı olarak kalıbın şeklini almaya zorlanacaktır. Bu da şekillenecek levhada beklenenden daha evvel yırtılmalara yol açar. Diğer taraftan, eğer sıvı basıncı çok düşük olursa, işlem esnasında yeterince uzama meydana gelmemesinden dolayı, malzeme buruşmaya daha meyilli olacaktır. Bundan dolayı, üst ve alt limitler

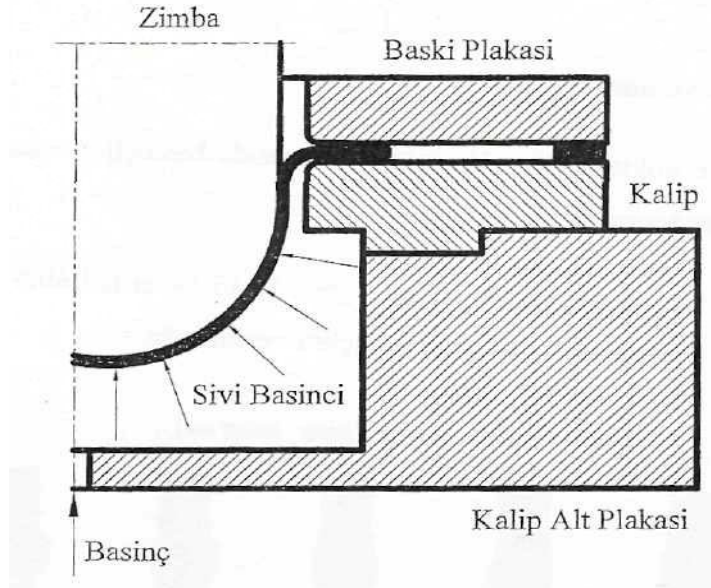
arasında sıvı basıncını ayarlamak gerekir. Zımba kursu ile ilişkili olduğu gibi, optimum sıvı basıncının kontrolü de bitmiş üründe yırtılmaların ve buruşmaların en az seviyeye çekilmesini sağlayan bir etkidir. Bu fikre yardımcı olması açısından Şekil 3.1’ de bir genelleştirilmiş şema görülmektedir. Sac metallerin hidrolik şekillendirme bükme işleminde yırtılma ve buruşma oluşumundan kaçarken, uygun basınç-zımba stroku oranını yakalamak zordur. Lo, Hsu ve Wilson [22], Hsu ve Hsieh [23], metalik yarım küre hydroforming bükme işlemi için sıvı basıncı-zımba stroku konusu ile ilgili bir seri deneysel ve teorik çalışma yapmışlardır. Metaller ve termoplastiklerle ilgili olarak halen bu değerlendirmeler devam etmektedir.



Şekil 3.1. Bükme işleminde, zımba stroku optimum sıvı basıncı ilişkisi [20-21].

Genellikle kompleks sac malzemelerin şekillendirilmesinde hidromekanik derin çekme (HDD) teknolojisi kullanılır. Zhang ve arkadaşları [24–25] hidromekanik derin çekme teknolojisiyle parabolik alüminyum sac malzemenin şekillendirilmesinde çeşitli yöntem parametreleriyle explicit finite element metodu kullanarak derin çekme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Bazı şekillendirme şartları için yırtılma ve buruşma kusurlarının önceden tespit edilerek ve kalınlık dağılım sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır. Zımba hareketinin başlangıcındaki üçte birlik kısmı sırasında başlıca zayıf noktalar tespit (zımba sac malzemeni çekmeye başladığı anda malzemedeki zayıf noktaların tespiti) edilmiş, zımba hareketinin sonunda

malzemede gerçekleşen buruşukluklar gözlenmiştir. Baskı plakasının ve sıyrık plaka kuvvetinin deformasyonda etkilerinin tartışılarak nümerik sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırmıştır. Parametre olarak kalıp ve sıyrık plaka arasındaki boşluk, basınç odasındaki basınç miktarı ve ara eleman yüksekliği kullanılmıştır. (Şekil 3.2). Üç farklı model (A,B,C) kurulmuştur. Sonuç olarak farklı şekillendirme şartları altında malzemenin bölgesel zayıflıkları ve buruşmalar tahmin edilmiş ve deformasyonda baskı plakasının etkisi analiz edilmiştir. Şekillendirme imalatında başarı elde etmek için oda basıncı, baskı plakası kuvveti, ara eleman yüksekliğinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntemin başlıca avantajı geleneksel derin çekme teknolojisiyle alt adımda gerçekleştirilmek zorunda olunan parabolik şekillendirme, bir adımda gerçekleştirilebilmektedir. İlave olarak, hidromekanik derin çekme (HDD) teknolojisi kullanıldığında üretim ölçülerinde dikkate değer bir tamamlık elde edildiğini ve yüzey kalitesi iyileştiği, şekillendirme sisteminin basitleşeceği ve kullanılan takım sayısının azalacağı vurgulanmıştır.



Şekil 3.2. Hidromekanik derin çekme sisteminin sistematik tanıtım ve parabolik parçanın görünümü [24–25].

M. Brunet, S. Boumaiza and G. Nefussi [26] çalışmalarında dahili basınç ve aksel kuvvet birleşimi altında hidroforming şekillendirilen boru için yırtılmanın gelişimini deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Şekil verme işleminde iki farklı yırtılma şekli meydana geldiğini tespit etmişler. Bunlar boyun verme,

çatlama, buruşma ve eğilmedir. Bu çalışmanın özgünlüğü ise dıştaki kuvvetler ve içtekilerin oranı temel alınarak birleştirilmiş yaklaşımın hesaba katılmasıdır.

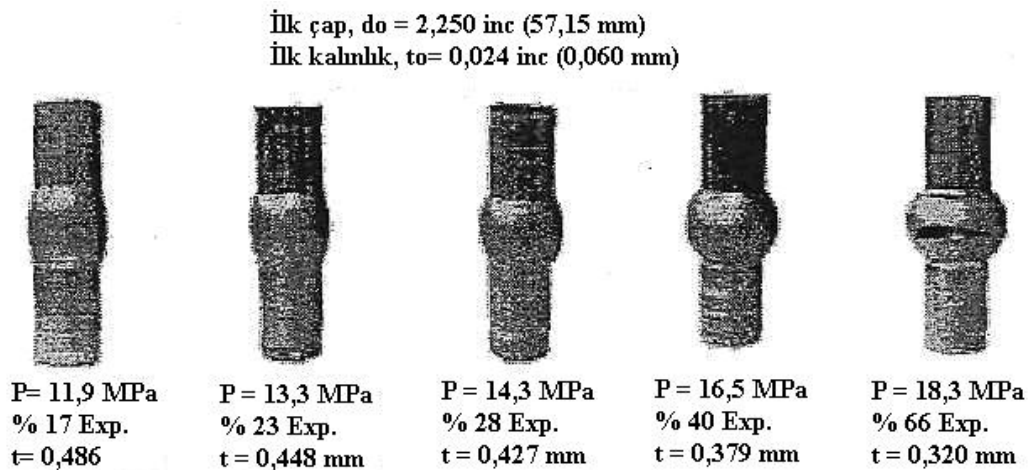
Taylan Altan vd., [27] yaptığı çalışmada basınçlı akışkanla şekillendirme için kullanılan bir sistemde hesaba katılması gereken ve tüpün şekillendirme sonundaki kalitesini belirleyen malzeme özellikleri ve şekillendirme başlamadan önceki tüpün geometrisi (kalınlık dağılımı ve tüpün boyutları) gibi faktörler düzenlenmiştir.

Bu faktörlerin her biri başarılı bir şekillendirmede önemli rol oynadığı belirtilmiştir. Bundan dolayı basınçlı akışkanla şekillendirme teknolojisi uygulanırken dikkate alınması gerekenler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Tüp malzemesi ve şekillendirilebilirliği
- Sürtünme ve yağlama
- Ekipman
- Çevrim süresi ve imalat oran [27].

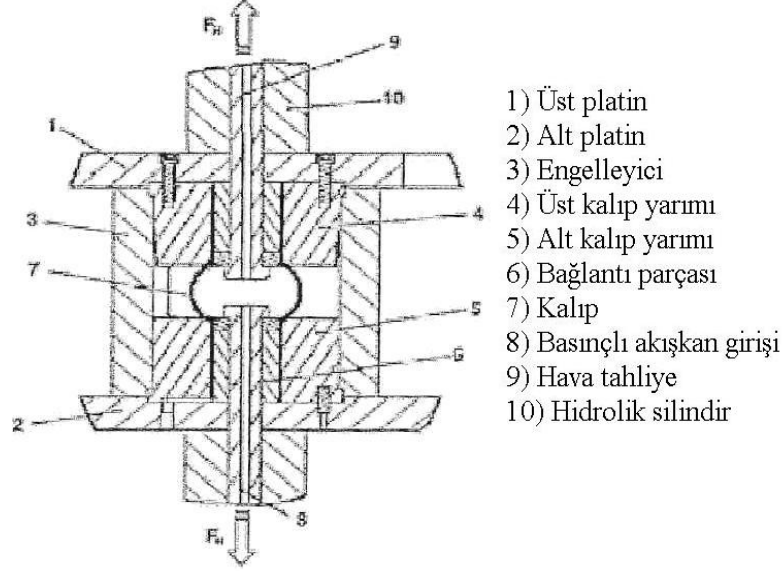
Yapılan çalışmada bu noktalar tartışılmış, bunun yanında basınçlı akışkanla şekillendirmede bilgisayar destekli benzeşimine yer verilmiştir [27].

Şekil 3.3' de farklı basınç değerleri altında iç çapı 57,15 mm ve et kalınlığı 0,6 mm olan tüpün şekillendirme sonucu elde edilen deneysel sonuçları verilmiştir [27].



Şekil 3.3. Farklı basınç değerlerinde tüpün aldığı şekiller [27].

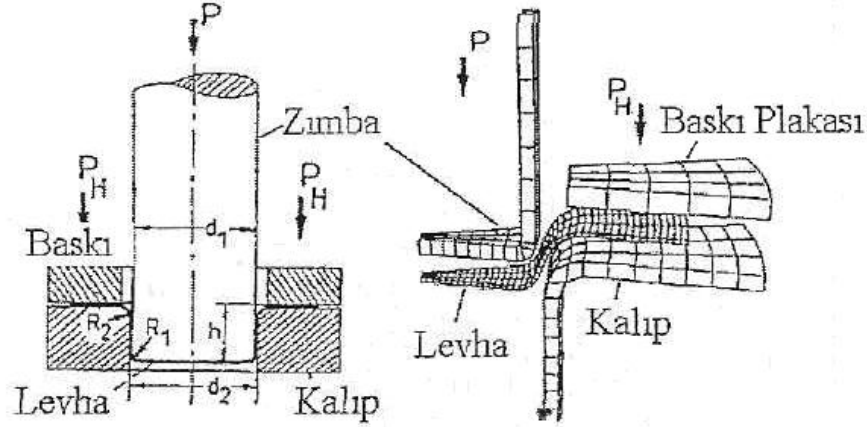
Şekil 3.4' de Taylan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma sırasında kullandıkları kalıbın kesit görünüşü verilmiştir. Kalıbı oluşturan parçalar sırasıyla üst platin, alt platin, engelleyici, üst kalıp yarımı, alt kalıp yarımı, bağlantı parçası, kalıp, basınçlı akışkan girişi, hava tahliye, hidrolik silindir [27].



Şekil.3.4. Taylan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma sırasında kullandıkları kalıp [27].

Mamalis and others [28-29], 1996 yılında eksplisit sonlu elemanlar tekniğini kullanarak, silindirik kapların derin çekilmesini, malzemenin şekillendirme karakteristiğine etkisi simülasyonu ile araştırmıştır. Çalışmasında sac metallerin şekillendirme simülasyonunda eksplisit non-lineer FE DYNA3D kodunu kullanmıştır, Silindirik kabın derin çekilmesi için 3D FE model kurulmuş ve farklı simülasyon parametreleri kullanılarak simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Kullandığı parametreler: zımba hızı, metalin yoğunluğu, takım-levha arasındaki Coulumb sürtünme katsayısı ve tipi, FE ağ örme elementinin büyüklüğüdür. Zımba kuvveti, zımba hareket mesafesi değiştirilerek 5 değişik galvanizli sac ve alüminyum sac için uzama dağılımına bağlı olarak (radyal, çevresel ve kalınlık boyunca) teorik sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve iyi bir uyum gözlemlenmiştir. CPU zamanı, makroskopik deformasyon modu, deforme olmuş malzemenin uzama dağılımı değerlendirilmiştir. Daha sonra aynı şartları

kullanarak kare kabın derin çekilmesi konusunda çalışılmıştır. Bu çalışmada da kare şeklinde şekillendirmenin simülasyonu ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.5' de kurulan deneysel ve teorik model sunulmuştur.



Şekil 3.5. Silindirik kabın derin çekilmesinin şematik gösterimi a) Deneysel kurulum b) Teorik model [28–29].

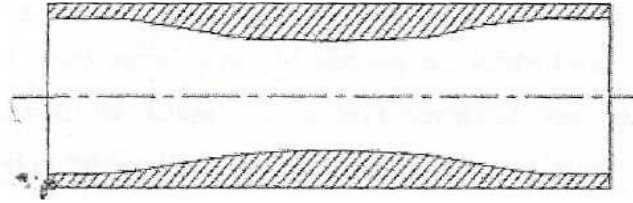
Benzeşim, basınçlı akışkanla şekillendirme yönteminde deneysel araştırmaların yerini almakta ve imalat sırasında gerekli olabilecek ekipmanların test edilmesi için kullanılır. Metal şekillendirme işlemlerinin uygulanabilirliğinin pahalı takımlar kullanılmadan kontrol edilebilmesi için özellikle benzeşim önemli bir role sahiptir.

Reimund Neugebauer ve arkadaşları yaptıkları çalışmada metal şekillendirme işlemlerinde benzeşim yardımıyla, örneğin bazı özel kesitli malzemelerin şekillendirilmesi ve basınçlı akışkanla şekillendirmede benzeşiminin kaçınılmazlığı tartışılmıştır ve benzeşimle metal şekillendirme işlemlerini kontrol ve en iyileşimi ve imalatta pahalı takımlar kullanılmadan uygulanabilirliği göstermişlerdir [30].

Basınçlı akışkanla şekillendirmede, tüp kalıbın şeklini alıncaya kadar yüksek basınç altında genişler. Genişleme sırasında tüp hacmini korur ama tüpün duvarlarında incelme gerçekleşir. Sık sık aksenal besleme kullanılarak duvar incelmeleri azaltılmaya çalışılır. Ama bu her zaman gerçekleşmez.

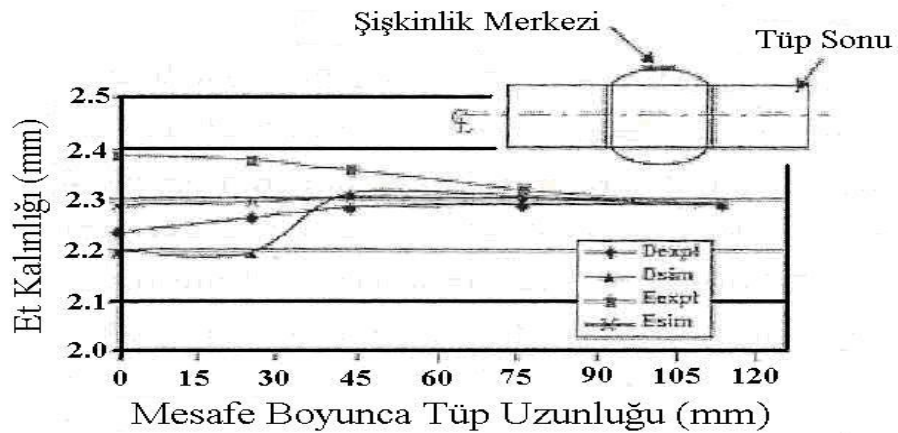
Serhat Kaya ve arkadaşları [31] yaptıkları çalışmada düzgün duvar kalınlığı dağılımına sahip tüp ve şekil sınır diyagramına göre duvar kalınlığı gittikçe incelen tüpün karşılaştırılıp değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmede hem teknik tüp tasarımlarının değerlendirilmesi için yöntem biliminin tanımlanması, hem de deneysel sonuçlarla teorik sonuçların karşılaştırılması içeriyor. FEA ile beş teknik tüp tasarımı (Şekil 3.6) analiz edilmiştir. Bunlardan ikisinde şekillendirme sonucunda sabit duvar kalınlığı elde edilmiştir.

Teknik tüp kavramı ise yapılan çalışmada tüplerin uzunlukları boyunca çeşitli et kalınlıklarına sahip oldukları zaman aldıkları isim olarak tanımlanmıştır. Teknik tüpte tüp boyunca malzemenin kalınlığının değiştiği yerler şekillendirme sırasında aşırı incelmelerin ve yırtılmaların gerçekleştiği şekillendirme bölgeleridir. Böylece şekillendirme sonunda istenilen et kalınlığı dağılımı elde edilmiş olunuyor.



Şekil.3.6. Teknik tüp [31].

Şekil 3.7' de bir teknik tüpün şekillendirmeye başlamadan önceki malzeme boyunca et kalınlığı görülmektedir. Bu et kalınlığı 2,2–2,4 mm arasındadır. Şekillendirmeden sonra et kalınlık dağılımı istenilen değere yani 2,3 mm 'ye ulaşmıştır [31].



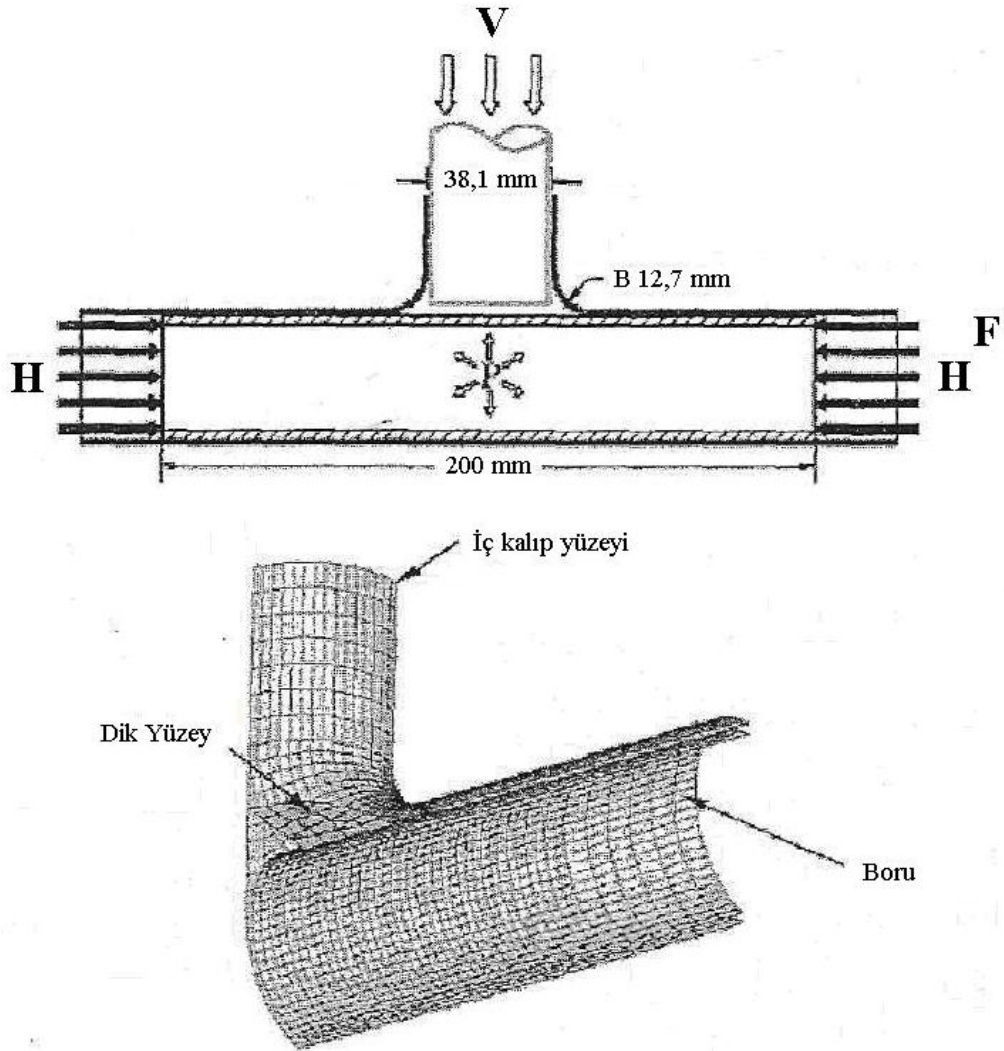
Şekil.3.7. Bir teknik tüpün et kalınlığı dağılımı [31].

Brunet ve arkadaşları [32] 1998 yılında sac metal şekillendirme işleminde boyun vermenin deneysel ve teorik olarak yaptıkları çalışmada, şekillendirme sınır diyagram kontrolü için iki farklı yaklaşımı detaylı olarak açıklamıştır. İlk önce deneysel çalışma anlatılmıştır. Çalışmada, sacdaki yer değişim alanlarını ölçmek için bir korelasyon tekniği geliştirilmiştir. İkinci yaklaşım ise teoriktir. Burada boyun verme kriteri, yükün uygulanış şekline ve düzlemsel uzama meydana geldiği yerin belirlenmesi amaçlanmış Hill'in veya Barlat-Lian'ın anisotropisini izah etmek amacıyla Gurson-Tvergaard'in hasar modeli düzenlenerek ihtimaller verilmiştir. Özellikle non-lineer uzama yolu için ve lineer uzama hattı için kriterlerin yazıldığı formlar hazırlanmıştır. Sonuç olarak, üç farklı alüminyum sacın ve orta sertlikte bir çelik sacın şekillendirme sınır diyagramları deneysel ve teorik yollarla hesaplanarak elde edilmiştir.

Mattiasson'da [33] 2000 yılında Endüstride Sac metal şekillendirme işlemlerinin sonlu elemanlarla simülasyonu konusundaki yaptığı çalışmayla; son yıllarda sacların şekillendirilmesi işleminin simülasyonu için nümerik işlemlerinin kullanımında büyük gelişmeler olduğundan bahisle, özellikle otomotiv endüstrisinde gerçek bir uygulama alanı bulduğundan bahsetmiştir. Bu makalede sac metal şekillendirme konusunda, pratik ve uygulanabilir konular sunulmuş ve bazı şekillendirme hatalarının meydana gelebileceği yerler belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada, yerinde şekillendirme metodu gözden geçirilmiş, pratik kullanımı konusunda sac şekillendirme simülasyonu yapılmıştır. Bu konuda özellikle değişik sonlu element formülasyonları, konunun tarihi gelişiminin gözden geçirilmesiyle uygulanmıştır. Sonuçta ise günümüz simülasyon teknolojisi olarak tanıtılmıştır, özellikle de otomotiv endüstrisindeki sac metallerin şekillendirme simülasyonları konusundaki uygulamalar geniş olarak anlatılmıştır.

M. Imaninejad ve arkadaşları [34] tüp hidro şekillendirme imalatında en uygun yük yolu adlı çalışmalarında boru şekillendirme çalışmaları sırasında meydana gelen yrtılmalar önlemek için aksenal ve radyal kuvvetleri birleştirmişlerdir (Şekil 3.8). Bu çalışmadaki amaç gerilmeleri en düşük seviyeye çekmek ve istenen toleranslar arasında kalınlık değişimini elde edebilmektir. Geliştirilen T bağlantısına rağmen kalıp şekli için borunun ayarlanması, T göbek yükseldiği

araştırılmıştır. Sonlu elemanlar simülasyonu ile en iyi yük yolunu, başlıca aksel besleme gereksinimlerini, iç basınç altında borunun hazırlanmasına yardımcı olmuştur. Yapılan deneyler de tek adımda, çift adımda, dört adımda yüksek ve düşük basınç altındaki kalınlık değişimleri incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmış ve uygunluk gözlemlenmiştir.



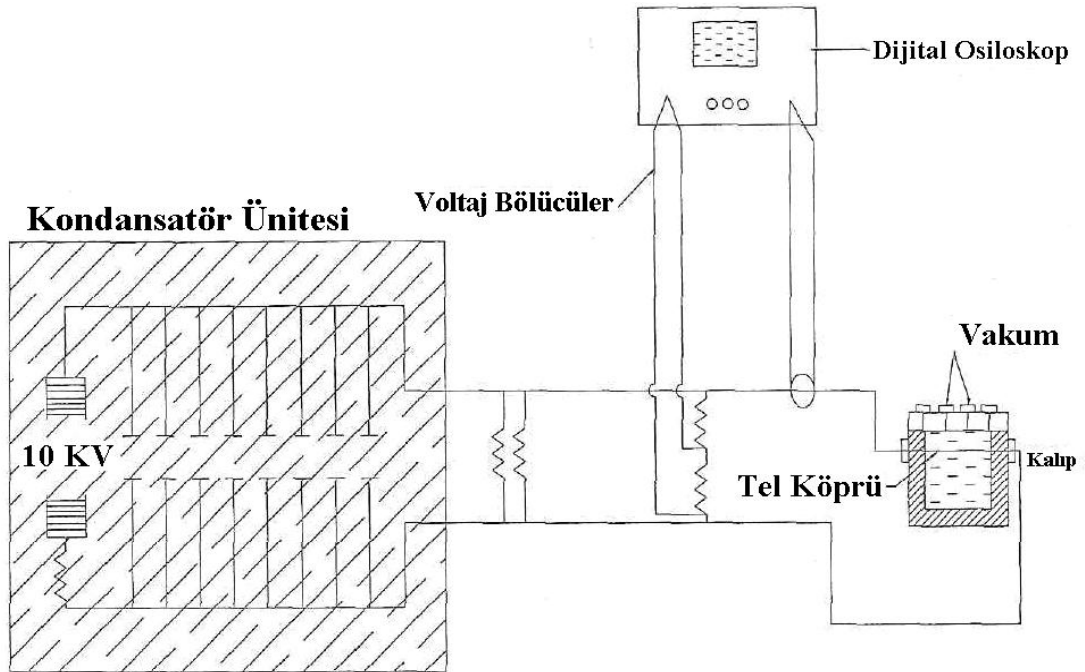
Şekil 3.8. T Bağlantılı kalıbın sistematik tamunu ve deforme olmamış kalıp ve borunun sonlu elemanlar modeli [34].

Akira Honda, Minoru Suzuki [35] gaz patlama şekillendirme kullanılarak sac metallerin şekillendirilmesi adlı çalışmalarında kapalı bir kalıpta yaptıkları patlamadan kaynaklanan şok basıncın belirlenmesi ve sac metal şekillendirme teknolojisinde meydana getirilen patlamanın görüntülenmesini öncülük etmişlerdir.

Patlama merkezinde en yüksek basınç olarak 12–37 GPa ve sac malzeme merkezinde 200–650 MPa basınç gözlenmiştir ve gaz patlama şekillendirme kullanılarak bir aşırı yüksek enerjili şekillendirme yöntemi kurmuşlardır.

Wilson ve Bruno'nun deneyleri [36-37], Ohio State grubuna IF-demir ve OFHC bakırın tavlama kadar, alüminyumun 2024-T4'ün elektromanyetik şekillendirilmesi çalışmalarına öncülük etmiştir. Şekil 3.9' da deney düzeneği oldukça basit olarak gösterilmektedir. Sac metal iki kısımla konik kalıp içerisinde şekillendirilmiştir. Başlangıçta, hidrolik basınç kalıp içerisinde sac parçayı yavaş bir şekilde şekillendirmiş ve ikincisinde kondansatörler boşaltılarak meydana gelen şok dalgasıyla oluşan 200 m/s'lik hızdaki bir akışkanın yönlendirilmesiyle sac metalin kalıbın şeklini almaya zorlanmıştır [36,37].

Bu deneylerin sonuçlarında yavaş hızdaki akışkanla yapılan hidrolik şekillendirme deneylerinde sac malzemelerin hepsi sınır şekillendirme diyagramına göre yarılmıştır. Yüksek hızda şekillendirme deneylerinde ise sac metal her durumda düzlem gerilmesine çok yakın bir şekilde % 100'ün üzerinde bir gerilmeyle uzad. Bu materyaller için 3–5 kat şekil değiştirme gerilmesi artırılmış oldu.



Şekil 3.9. Hidrolik ve elektrohidrolik sac metal şekillendirilme sistemine genel bakış [36–37].

Gasper Gantar ve arkadaşlarının [38] nümerik simülasyon kullanılarak sac metal şekillendirme işleminde en iyileşim adlı çalışmalarında parçada herhangi bir kusur meydana gelmeden işlemi tamamlayabilmek için sonlu elemanlar metodu temel alınarak nümerik simülasyon kullanılmıştır. Araştırmalar endüstriyel örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekillenecek parçanın ilk şeklinin belirlenmesi, yırtılmaların, parçanın son kalınlığı ve kırışıklık tahmini yapılmıştır. Nümerik simülasyon sonuçları yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. İstenmeyen yırtılmalar ve kalınlık dağılımlarından kaçınabilmek için tedbirler alınmıştır.

Taylan Altan ve arkadaşları [39] yaptıkları çalışmada tüp hidro şekillendirmede (THF) üretiminin başarısının büyük ölçüde kullanılan yük yoluna bağlı olduğunu göstermişlerdir. Sonlu elemanlar temelli simülasyon, farklı özellikteki tüp malzemeleri ile parçaların yapılarında hidro şekillendirme için uygun yük yolunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Deneylerin ve simülasyonların sonuçları, FE temelli yük yolunun belirlenmesinin kompleks parçalarda THF'in verimliliğini ve üretkenliğinin arttığını ve hata sayılarının önemli miktarda azaldığını göstermiştir. Test sonuçlarında da FE temelli yük yolunun belirlenmesi yüksek oranda parçanın malzeme özelliklerine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Deneylerde SF ve AS olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmış. SF yaklaşımı iki adım içermektedir. İlk adım aksel basınç ve dâhili basınç arasındaki ilişkiyi belirtmek için kullanılmıştır. Sürtünme sıfır kabul edilmiştir. Zamana göre yer değiştirme incelenerek, tüpteki deformasyon sonucu oluşan kalınlık değişimi belirlenmiştir. Buna göre yaklaşık bir aksel besleme belirlenerek tüp de meydana gelebilecek aşırı kalınlık değişiklikleri tahmin edilmiştir, ikinci adımda uygun aksel beslemeyi bulabilmek için bir sürtünme katsayısı alınmış ve besleme bir büyüklük faktörü kullanılarak belirlenmiştir. AS yaklaşımının temel fikri: herhangi bir kırışıklık veya yırtılma olmadan tahminlere göre deformasyon bölgesinin beslenmesidir.

Modern taşıt konstrüksiyonunda ağırlığın azaltılması için isteklerin artmasıyla otomobil endüstrisi kullanıcılar ve endüstrinin desteğiyle, araştırma faaliyetleriyle hidrolik şekillendirme teknolojisi alanında araştırmalar ve gelişmeler sağlanmıştır. Son zamanlardaki gelişmeler ve yenilikler bu teknolojinin uygulamaların

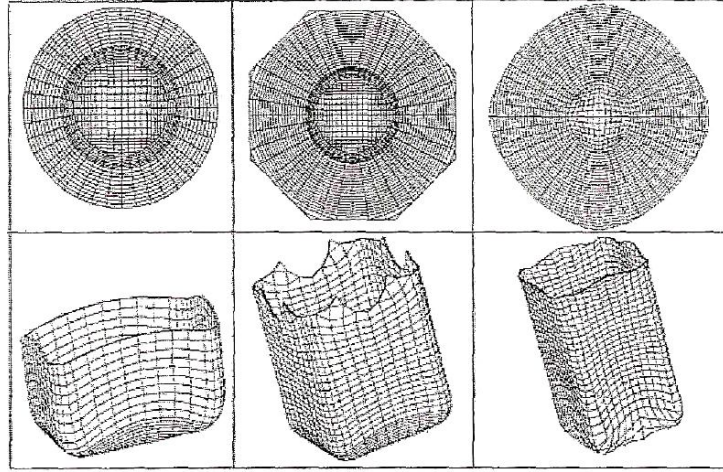
artmasıyla desteklendi ve karışık şekilli hafif parçaların üretimindeki avantajlar dikkat çekmiştir.

Ch. Hartl [40] hidrolik şekillendirmenin endüstriyel uygulamaları ve önemli avantajları adlı çalışmasında hidrolik sepilendirmenin durumuna genel bir bakış ve işlem basamaklarının tasarımıyla ilgili hidrolik şekillendirmenin önemli avantajları, yan mamul üretimi, presler ve kullanılan takımlar ve k saca bugünkü hafif malzemelerin şekillendirilmesinde yararlanılan ısı enerjisi kullanımına benzer yeni hidrolik şekillendirme teknolojisi anlatılmıştır.

Li-Ping Lei [41] ve arkadaşları paslanmaz çelik sac metal şekillendirmesinde tasarım ve sonlu elamanlar analiziyle deneysel yöntemin karşılaştırılması adlı çalışmalarında: bükme ve çekme işlemlerinde Code Marc Finite-Element sonlu gerilme formülüyle katı elementler kullanılarak paslanmaz çelik sac metal şekillendirme analizleri yapılmıştır. Bükme deformasyonunda zımba ve iş parçası temas yüzeyi arasındaki boşluğun arttırılması sırasında geri esneme açısının artmıştır. Kontak tanımlamaları basitleştirildiği için teorik ve deneysel sonuçlar arasında farklar meydana gelmiştir.

Simetrik olmayan derin çekme işlemlerinde akış davranışının analizi genel metodlarla kolay değildir. Kare derin çekmede başlıca problem duvar kalınlıkları ve köşe radüslerindeki değişimdir.

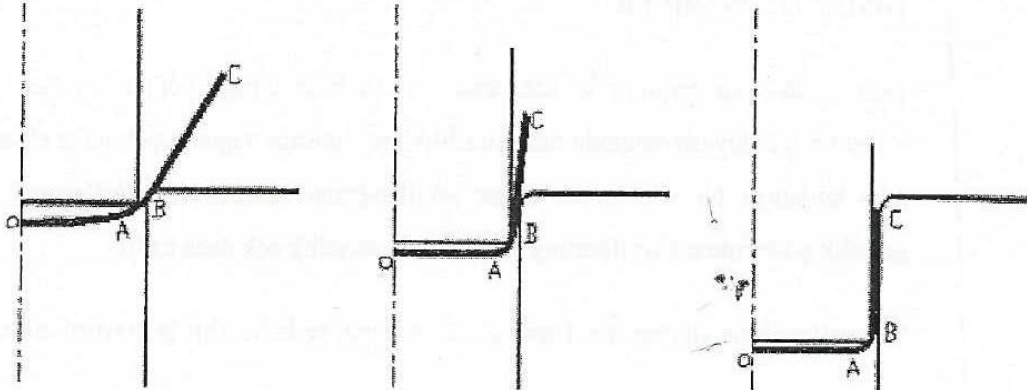
Şekillendirilecek olan sac metal malzeme üç farklı şekilde hazırlanır (Şekil 3.10). Bu çalışma şekilleri bu çalışmada analiz edilmiştir [41].



Şekil 3.10. Farklı sac malzeme şekilleriyle derin çekmenin son şeklinin karşılaştırılması [41].

Ayrıca sonlu elemanlar simülasyonu ile çeşitli zımba kurs boylarının bükme işlemindeki etkileri incelenmiştir. Bükme işlemindeki birinci kademe, en büyük yer değiştirme OA ve BC' de meydana gelmiştir (Şekil 3.11). A noktasında büyük oranda gerilme oluşur. Bu gerilme yırtılmalar netice verir.

Zımba yükü ve kurs boyu arasındaki ilişki incelendiğinde ilerleme sırasında zımba yükü keskin bir şekilde artmıştır, zımbanın ilerlemeye devam ettiğinde ise zımba yükünün azaldığı görülmüştür. Yağlayıcı maddenin etkisi kare derin çekmede, özellikle köşelerin şekillenmesinde önemlidir. İyi bir yağlayıcı iyi bir sonuç için gereklidir. Farklı sac şekilleri ve ölçüleri malzeme akışını ve materyal dağılımını etkiler.



Şekil 3.11. Farklı zımba kurslarında iş parçasının deformasyonu [41].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

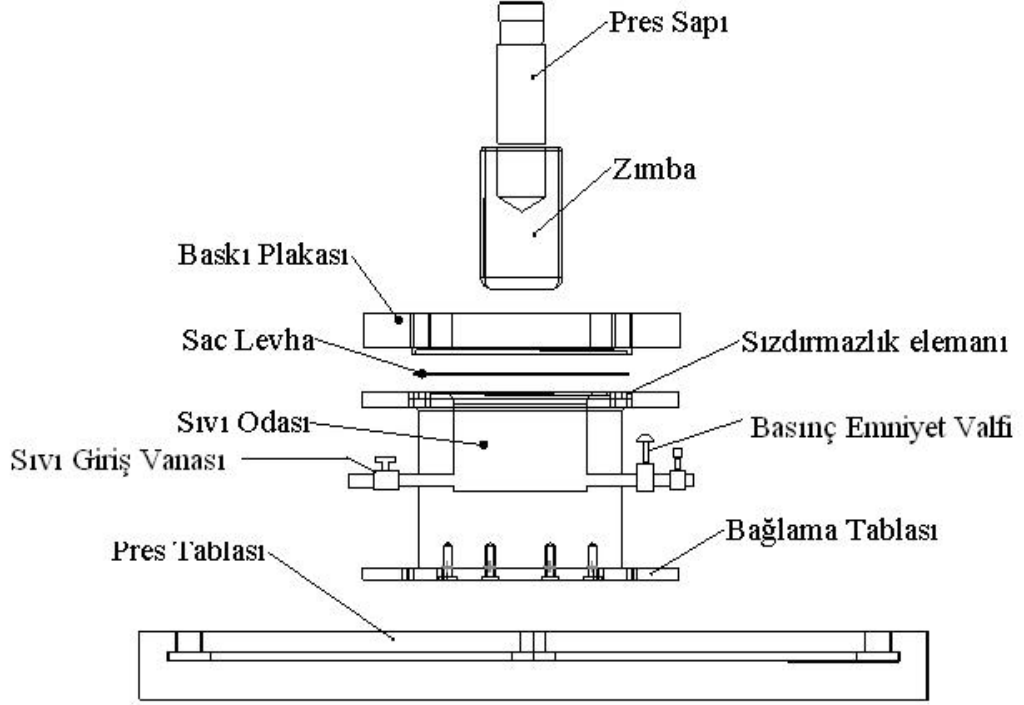
4.1. GİRİŞ

Hidrolik sac şekillendirme ile zor geometriye sahip malzemeler ve birden fazla aşama sonucu üretilen malzemeler bu şekillendirme yöntemi ile tek aşamada üretilebilmektedir. Aynı zamanda hidrolik şekillendirme ile üretilen parçalarda maliyette % 50'ye varan tasarruf sağlanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada hidrolik şekillendirme yöntemi kullanılması tercih edilmiştir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda silindirik zımba kullanılarak silindirik parçaların üretildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada literatürde ki çalışmalara alternatif olması amacıyla kare zımba kullanılarak kare parçaların üretiminin yapılması planlanmıştır. Bu çalışmada hidrolik şekillendirme sonucu malzemenin cidar kalınlıklarındaki değişimin incelenmesi, oluşacak deformasyon ve yırtılmaların tespiti ve bunun geciktirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hidrolik şekillendirme sistemi kurulmuş, yapılacak deneylerin teorik modellenmesi yapılmış teorik modelden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak deneysel çalışmalara geçilmiştir.

4.2. HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME SİSTEMİ

Bu çalışmada oluşturulan hidrolik şekillendirme sisteminin şematik çizimi Şekil 4.1' de, hidrolik şekillendirme sistemi Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Sistem 50 tonluk hidrolik prese bağlanmıştır. Hidrolik şekillendirme için akışkan sıvının konulduğu sıvı odası (matris), malzemeye pot baskı uygulayan baskı plakası ve şekillendirmeyi sağlayan zımba kullanılmıştır. Baskı plakası ve zımba arasında sızdırmazlığı sağlamak için dairesel kesitli o-ring'ler yerleştirilmiştir. Hidrolik akışkan, sıvı giriş vanası kullanılarak sıvı odasına konulmuş ve baskı plakası ile sac malzeme sıkıştırılmıştır. Zımbanın malzemeyi şekillendirmesi sırasında sıvı odasında sıkışan akışkanda basınç meydana gelmiştir. Bu basınç şekillendirme için gerekli

olan değeri aştığında basınç emniyet valfi ve akış kontrol valfi kullanılarak yağ tankına tahliyesi sağlanmıştır. Bu sistemde malzeme her zaman zımbanın şeklini almaktadır. Akışkan sıvının sıkıştırılması ile sac malzemeyi zımbaya sararak şekillenme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Hidrolik şekillendirme sisteminin şematik resmi.



Şekil 4.2. Hidrolik şekillendirme sistemi.

Kurulan sistemde maksimum çekme yüksekliği 70,72 mm, hidrolik şekillendirmeye tabii tutulacak sac malzemelerin çapı 176 mm'dir. Baskı plakasının kalınlığı 30 mm

ve sıvı odasının kalınlığı 14 mm olarak üretilmiştir. Sıvı odasında oluşan basıncın baskı plakası ve sac malzemeyi yukarı kaldırma etkisi yüzünden baskı plakasının kalınlığı daha fazla olacak şekilde tasarlanmıştır. Baskı plakası M*14 vatalar ile sıvı odasına bağlanmıştır. Akışkan sıvının doldurulması sırasında sıvı odasındaki havanın tahliyesi için 1 mm çapında bir adet hava deliği yerleştirilmiştir. Bu hava deliği setiskur c vata ile sabitlenmiştir. Böylece sistem içerisinde kalan havanın deformasyona olan etkisi giderilmiştir. Hidrolik şekillendirme sisteminde ki zımba C 1040 serisi sıcak iş takım çeliğinden yapılmış olup, zımba yapılırken ilk önce vargelde kare haline getirilmiş olup daha sonra zımbanın tam ortasına pres sapının yerleştirilmesi için tornada M*42'lik delik açılmıştır. Hidrolik şekillendirme esnasında numunelerin zarar görmemesi için kare olan zımbanın keskin köşelerine CNC' de 3 mm ve 10 mm radiuslar verilmiştir. Yine burada pres sacı C 1040 serisi sıcak iş takım çeliğinden yapılmış olup ve tornada işlenerek yuvarlak hale getirilmiştir. Hidrolik şekillendirme sisteminin Solid Works'teki çizimleri ve ayrıntılı ölçüleri EK A'da verilmiştir.

4.3. MALZEME SEÇİMİ

Hidrolik şekillendirme yönteminin, derin çekme yöntemine göre karmaşık parçaların şekillenebilirliği, yüksek ölçü tamlığı, yüzey kalitesinin iyi oluşu, yüksek çekme oranı, kalınlık değişimlerinin düzenli oluşu gibi birçok yönden avantajları vardır.

Hidrolik şekillendirmenin bu avantajlarını göstermek amacıyla, piyasada çok yaygın olarak kullanılan metalik saclardan Al esaslı ve demir esaslı sacların yaygınlığını da göz önüne alarak bu çalışmada 1mm kalınlığında C 1006 Dkp sac, 0,8 mm kalınlığında AA 5754 sac, 0,30 mm kalınlığında C 1006 galvaniz kaplamalı sacların kullanılması tercih edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen sac çeşitlerinden, AA 5754 alüminyum alaşımlı sac, C 1006 galvaniz kaplamalı sac ve C 1006 Dkp sac 175 mm çapında sac makası yardımıyla kesilmiştir. Bu sac çeşitlerinden kesilen numunelerin kesilen yüzeyleri pürüzlü olduğundan daha sonra taşlanarak ve zımparalanarak hassas ölçüsüne yani 175 mm'ye getirilmiştir. C 1006 ve AA 5754 sac çeşitlerinin teorik şekillendirmede

kullanılmak üzere, kimyasal özelliklerinin ve malzeme standardının tespiti için Karabük Saka Demir Çelik fabrikasında spektrum analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan AA5754 (DIN AlMg3) standartlarındadır. AlMg sertleştirilemeyen bir alaşımdır. % 0,6-7 Mg ve % 0.2-0,6 ihtiva eder. Deniz suyuna dayanıklılığı fazladır. Mg oranına göre çok farklı yerlerde kullanılır. AlMg, saf alüminyum gibidir. Mg'un % 5'den fazla olması halinde, kaynak yapılması ve işlenmesi zorlaşır. Gerilme nedeniyle korozyona uğrar ve çok iyi olan anot oksitlenmesi yapabileceği özelliğine sahiptir. Alüminyum alaşımlı sac hafif ve dayanıklıdır. Alüminyum alaşımlı sacın hafiflik ve dayanıklılığın yanında asıl avantajları şekillendirme kabiliyetinin çok yüksek olması ve endüstride geniş bir kullanım alanının bulunmasıdır. Alüminyumla çalışmak genel olarak demir esaslı metallere çalışmaktan daha kolay olduğu ve üretimde ufak düzeltmelerle iş bittiği için kullanım çok yaygındır. Endüstride alüminyum çok çeşitli şekillerde ve ölçülerde üretilmektedir. Bunlar alüminyum folyo, sac, tabaka, kat metal, boru olarak sayılabilir. Ayrıca çok geniş bir alışımlı ve bunları kullanma alanına sahiptir. Bu çalışmada şekillendirilecek sacların ölçüleri Tablo 4.1' de, AA 5754 serisi alüminyum sacın kimyasal özelliği Tablo 4.2' de, mekanik özelliği Tablo 4.3' te verilmiştir.

Tablo 4.1. Şekillendirilecek sacların ölçüleri

Sac Çeşitleri	Kalınlık (mm)
AA 5754 sac	0,8 mm
C 1006 Dkp sac	1 mm
C 1006 galvaniz kaplamalı sac	0,3 mm

Tablo 4.2. AA 5754 serisi sacın kimyasal özelliği

								Diğer	
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Her Biri	Toplam
0,40	0,40	0,10	0,50	2,6-3,6	0,30	0,20	0,15	0,05	0,15

Tablo 4.3. AA 5754 serisi sacın mekanik özelliği

Yoğunluk	Çekme Dayanım	Akma Dayanım	Elastikiyet Modülü	Poisson Oran	Tangent Modülü
kg/m ³	MPa	MPa	MPa		MPa
2,67x10 ³	220	100	71000	0,3	416

Demir esaslı sacın akma ve çekme noktaları alüminyuma göre yüksek ve daha iyi yüzey kalitesine sahiptir. Aynı zamanda alüminyum saca göre dayanım ve korozyon direnci yüksek olduğu gibi şekil verme ve yüzey işlemlerine (galvanizleme) elverişlidirler. En önemli kullanım alanları; mutfak eşyası üretimi, beyaz eşya sanayi, otomotiv sanayi, makine sanayi, doğalgaz sanayi ve inşaat sanayisinde çatı kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Demir esaslı saclar endüstride çeşitli şekillerde üretilmektedirler. Bunlar; düz sac, oluklu sac, trapez sac, stor sac olarak sayılabilir. Bu açıdan düşünüldüğünde demir esaslı sacın hidrolik şekillendirmede kullanılması sanayiye büyük bir üretim kolaylığı ve maliyet düşüklüğü sağlayacaktır. Bu çalışmada kullanılan demir esaslı C 1006 serisi sacın Saka Demir Çelik fabrikasında yapılan spektrum analiz sonucu elde edilen kimyasal özelliği Tablo 4.4’ de ve mekanik özelliği ise Tablo 4.5’ te, verilmiştir.

Tablo 4.4. C 1006 serisi sacın kimyasal özelliği

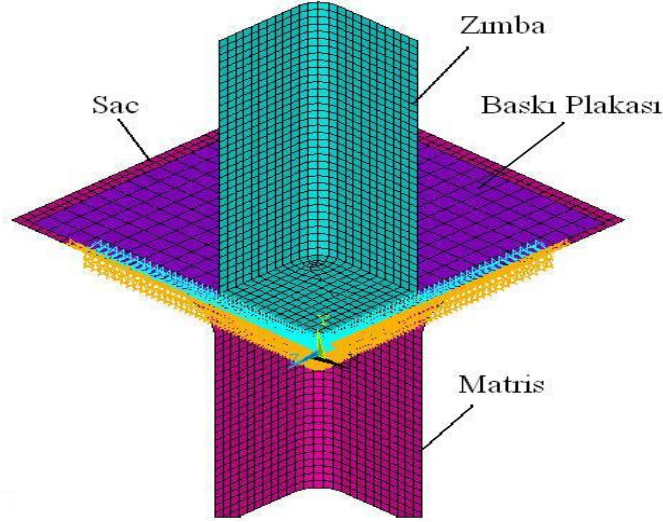
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
%	0,066	<0,005	0,194	0,008	0,007	0,019	<0,005	0,015	0,051
	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Fe
%	<0,010	<0,005	<0,002	0,007	<0,001	0,017	<0,002	0,001	99,6

Tablo 4.5. C 1006 serisi sacın mekanik özelliği

Yoğunluk	Çekme Dayanım	Akma Dayanım	Elastikiyet Modülü	Poisson Oran	Tangent Modülü
kg/m ³	MPa	MPa	MPa		MPa
7,85x10 ³	330	285	205000	0,3	550

4.4. TEORİK MODELLEME

Deneysel çalışmada hidrolik şekillendirme için kullanılacak sıvı basıncının, baskı plakası kuvvetini ve zımba hareket miktarını belirleyebilmek, metalik sacların yarıma limitlerini belirleyerek deneysel çalışmalarda temel alınacak değerleri tespit etmek amacıyla, deneysel düzeneğin teorik modeli oluşturulmuştur. Daha önceden CAD programıyla oluşturulan 3D model, teorik çözümlemede kullanılacak olan LS-DYNA programına aktarılmıştır. Şekil 4.3’ te kare çekme için matris, baskı plakası, zımba ve sac malzemenin teorik modeli gösterilmiştir. Oluşturulan teorik modelin çözülmesi uzun zaman almasından dolayı analizlerin çözüm zamanını azaltmak bakımından kalıp elemanlarını ¼ yüzey modeller olarak tasarlanmıştır. Modellenen sistemde kalıp parçalarının ölçüleri Tablo 4.6’ da verilmiştir.



Şekil 4.3. Hidrolik şekillendirme sisteminin 1/4 teorik modeli.

Tablo 4.6. Kalıp elemanlarının ölçüleri

Parametreler	Ölçü (mm)
Zımba	70,72*70,72
Zımba Yan Radius	5
Zımba Alt Radius	9,50
Baskı Plakası İç Çapı	101
Sıvı Odası İç Çapı	115
Baskı Plakası Radius	5
Sıvı Odası Radius	10

Bütün parçalarda element tipi Thin Shell 163, element formülü Belytschko-Wong olarak seçilmiştir. Bunun sebebi bütün literatür çalışmalarında bu element tipi ile işlem yapılmış olması ve literatürde kabul görmüş olmasıdır. Analizlerde matris, baskı plakası ve z mba Rijit malzeme olarak tanımlanmıştır. Böylelikle işlem sayısı azaltılmıştır. Teorik çözümlemede kullanılacak verilerin azlığı ve kullanılan sac malzemelere ait teorik verilerin Bilinear Kinematic malzeme modeli için elimizde yeteri kadar olmasından dolayı, bütün sac malzeme çeşitleri için Bilinear Kinematic malzeme modeli seçilmiştir. AA 5754 sac için malzeme özellikleri Tablo 4.3' de, C 1006 serisi sac için Tablo 4.5' te gösterilen değerler kullanılarak teorik model oluşturulmuştur. Parçalara mesh örülürken şekillendirilecek sac malzemenin ağı daha küçük olarak tanımlanmış, diğer parçalarda ağ daha büyük olarak örülmüştür. Sac malzemeler için kullanılan element sayısı 7500'dür. Parçalar arasında Surface to Surface-Automatic kontak parametresi seçilmiş ve statik Colomp sürtünme katsayısı 0.1 olarak tanımlanmıştır. Analizlerde matris her yönden sabitlenirken, baskı plakası ve z mbaya hareket yönünde serbestlik sağlanmıştır.

Teorik modellemede z mba hareketi, sıvı basıncı ve zaman parametreleri kullanılmıştır. Zımbanın hareket değeri çekme derinliği olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerde maksimum çekme derinliği 31mm'dir. Yapılan teorik deneylerde sıvı basıncı önce tahmini olarak verilmiş şekillendirmenin yeterliliğine göre sıvı basıncı daha sonra artırılarak veya azaltılarak tahmin edilmiştir. Teorik modelden elde edilen değer deneysel çalışmalarda aynen kullanılmıştır.

Bu çalışmada teorik modelin çözümü için P4 1Gb Ram PC kullanılmıştır. Her bir modelin çözüm zamanı 25 dakikadır.

4.5. DENEYSEL ŞEKİLLENDİRMELERİN YAPILIŞI

Deneysel şekillendirmeler sıvı basıncı ve sıvı basıncı olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır. Bunun sebebi hidrolik şekillendirme sonucu malzemede daha düzenli cidar kalınlıkları değişimi elde edebilmek, oluşacak yırtılmaları ve kopmaları daha az indirebilmek ve daha fazla çekme derinlikleri elde edebilmektir.

Deneysel şekillendirmeler yapılırken teorik modelden elde edilen pot baskı kuvveti, zamba kurs ölçüsü ve sıvı basınç kuvveti değerleri deneysel şekillendirmelerin yapılmasında kıstas olarak alınmıştır.

Hidrolik şekillendirme işleminin yapılabilmesi ve yüksek çekme oranlarına ulaşabilmek için deneysel şekillendirmeler Hidroliksan marka 50 ton kapasiteli hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği kurulmuş, deney malzemesi olan sac kalıba konmuş; yırtılma, kopma veya yüksek çekme oranlarına ulaşıncaya kadar hidrolik şekillendirme işlemi yapılmıştır. Deneysel şekillendirme sonucu kare olarak şekillenmiş numunelerin kalınlık değişimlerinin teorik şekillendirmedeki numune kalınlıkları ile karşılaştırmak için kayseri Simfer Beyaz Eşya fabrikasında tel erozyon yöntemi ile numuneler köşelerinden ikiye kesilmişlerdir. Köşe bölgelerinden kesilmesinin sebebi ise yırtılmalar, kopmalar ve aşırı incelemeler numunenin köşe bölgelerinde meydana gelmektedir. Tel erozyon yönteminin seçilmesinde ki amaç pürüzsüz bir kesme yüzeyi elde edilmesidir. Teorik şekillendirmede numuneler ¼ yüzey modeller olarak tasarlandığı için tel erozyon sonucu kesilen numunelerin kesilmiş yüzeylerinin yarısı 50 eşit parçaya bölünmüştür ve daha sonra kalınlık değişimleri her eşit parçanın tam orta noktasından iğne uçlu mikrometre ile ölçülmüştür. Teorik ve deneysel şekillendirme sonucu elde edilen kalınlık değişimlerini görmek ve karşılaştırmak için Microsoft Excel programında karşılaştırmalı kalınlık grafiği çıkarılmıştır.

BÖLÜM 5

TEORİK SONUÇLAR İLE DENEYSEL SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. SIVI BASINÇLI HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME

Deneysel çalışmalarda daha net ve karşılaştırmalı sonuçlar elde etmek amacıyla çalışma iki parçaya bölünmüştür. Çalışmanın birinci bölümünde, aynı kağıtlar kullanılmakla birlikte ters yönde hidrolik basınçla deneyler yapılmıştır. İkinci bölümünde ise ters yönde hidrolik basınç kullanılmadan aynı deneyler yapılmıştır.

Ön sıvı basınçlı şekillendirmede üç çeşit levha kullanıldığı için üç farklı şartta hidrolik şekillendirme yapılmıştır.

5.1.1. AA 5754 Alüminyum Sac Hidrolik Şekillendirme

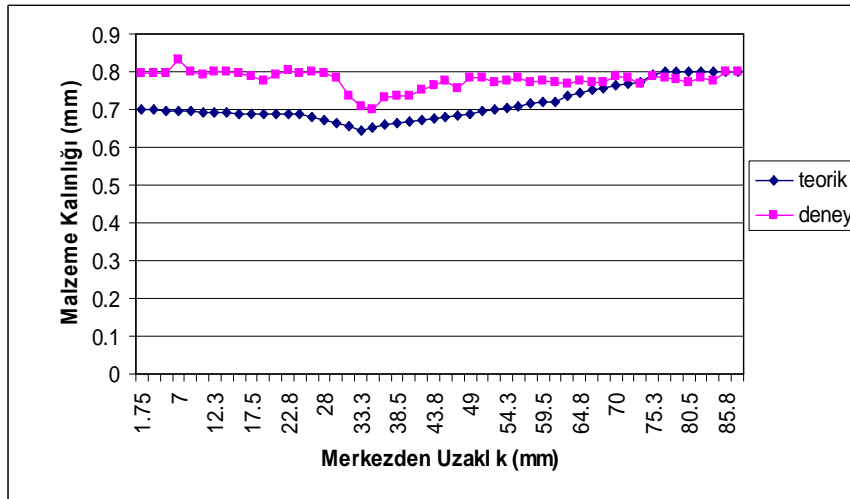
Bölüm 4.4' te ifade edildiği gibi teorik modelden elde edilen pot baskı kuvveti, zımba hareketinin ölçüsü ve sıvı basıncı kuvveti değerleri deneysel çalışmaların yapılmasında ölçü olarak alınmıştır. Fakat yine de tam sağlıklı sonuçlar elde etmek amacıyla deneysel çalışmalarda tek bir deney yapılmamış farklı basınçlar ve hareket miktarları kullanılarak deneyler yapılmıştır.

AA 5754 serisi sacın deneysel çalışmalarında en düşük sıvı basıncı sabit 6 MPa olarak hesaplanmıştı, deneylerde bu değer baz alınarak işlemler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan 5 ayarlı zımba basınç kuvveti, pot baskı kuvveti, şekillendirme sonrasında elde edilen çekme yüksekliği ve uygulanan sıvı basınç değerleri Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Ön s basıncı AA 5754 serisi alüminyum sac hidrolik şekillendirmede kullanılan parametreler.

Numune Numarı	Pot Basıncı Torku (Nm)	Zımba Basıncı Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basıncı (MPa)
1	30	8	20	6
2	30	8	25,5	6
3	50	8	18,2	6
4	50	13,3	14	10
5	35	13,3	13	10

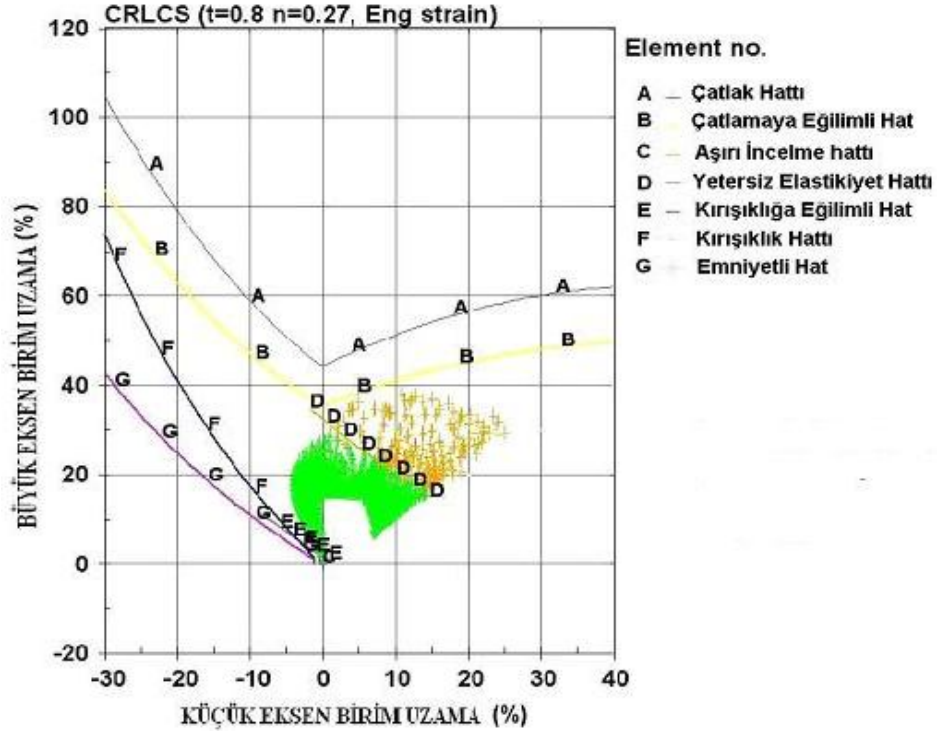
Ansys programında yapılan teorik şekillendirme sonucunda malzeme kalınlığında düzenli bir değişim (incelme) oluşmuştur. Bu deney için ölçülen karşılaştırmalı kalınlık değişim grafiğine (Şekil 5.1) bakıldığında, teorik ve deneysel sonuçlar arasında grafikte bir paralellik olduğu görülmektedir. Bu paralellik ise teorik ve deneysel sonuçlar arasında malzeme kalınlık değişim grafiğinde uyum olduğunu göstermektedir. Deneysel şekillendirme neticesinde malzemede kalınlık değişiminin olduğu Şekil 5.1’de görülmektedir. Bu kalınlık değişimi şekillendirme işlemi yapılırken şekillenen sacın köşelerine yakın yerlerinde incelmeler oluşurken, sacın dış kenarlarında kırışmanın da etkisiyle kalınlaşmaktadır. Genel olarak parça kalınlığında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. AA 5754 alüminyum sacın yapılan teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda malzeme kesitindeki değişim grafiği Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. AA 5754 Serisi alüminyum sac hidrolik şekillendirme malzeme kalınlık değişim grafiği sonuçları.

AA 5754 sacın yeterli miktarda şekillendiğini araştırmak amacıyla teorik modelden elde edilen sonuçlardan yararlanarak Şekil 5.2’ deki Şekillendirme Sınır diyagramı (ŞSD) oluşturulmuştur.

Şekil 5.2’ deki ŞSD’nin geneline bakıldığında ise meydana gelen birim uzamaların tamamı emniyetli bölgede oluşmuştur. Fakat ŞSD dikkatle incelendiğinde hemen hemen hiç kırışmanın olmadığı görülür. Bunun en iyi açıklaması sacın genelindeki birim uzamaların çok dengeli olarak uzadığı ve dolayısıyla da yırtılmaların aynı oranda geciktirildiği anlaşılmaktadır. Şekil 5.1’ deki deneysel ve teorik sonuçlardan da anlaşılacağı gibi saclarımızın herhangi bir bölgesinde, kalınlıkta aşırı bir incelme olmadığı anlaşılmaktadır.



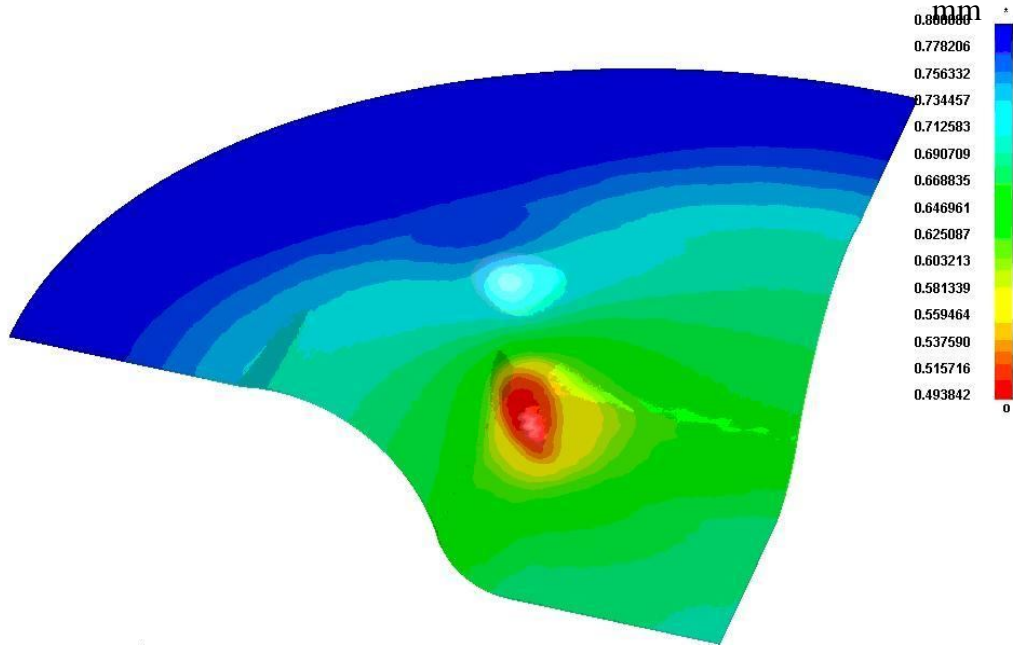
Şekil 5.2. 0,8 mm AA 5754 sac için Ş.S.D.

Deneysel olarak şekillendirilmiş alüminyum sac Şekil 5.3’ te, teorik olarak ¼ şekillendirilmiş levha Şekil 5.4’te verilmiştir. Değişik basınçlarda yapılmış deneyler neticesinde elde edilen AA 5754 serisi alüminyum sac deneysel sonuçlar Şekil 5.5’ te gösterilmiştir.

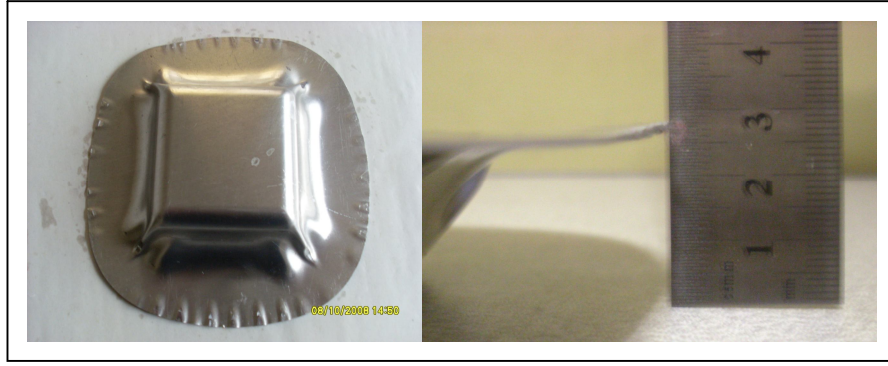


Pot Bas ν Torku (Nm)	Zımba Bas ν Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı bas ν (MPa)
30	8	20	6

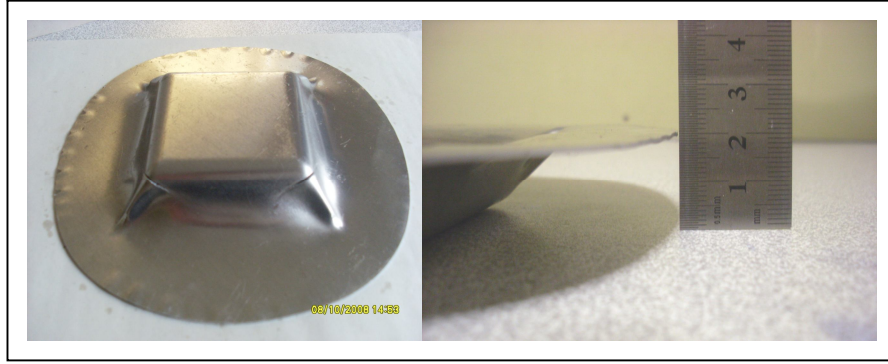
Şekil 5.3. AA 5754 sac deneysel sonuç.



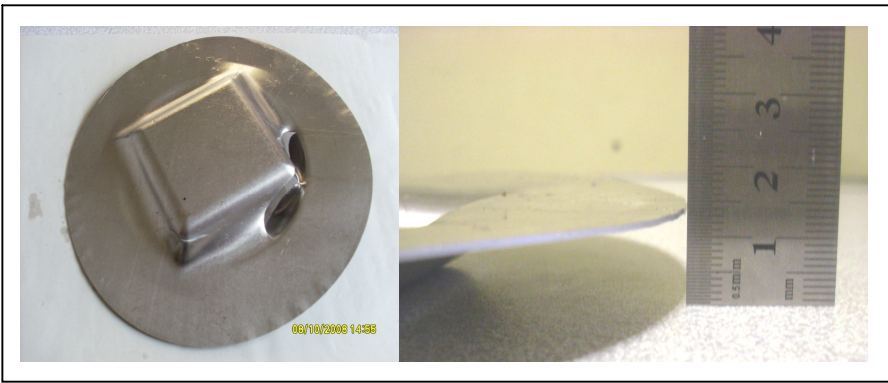
Şekil 5.4. Teorik çözümleme sonucu elde edilen AA 5754 serisi alüminyum sacda oluşan deformasyon bölgeleri.



Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Ön Sıvı Basınç (MPa)
30	8	25,5	6

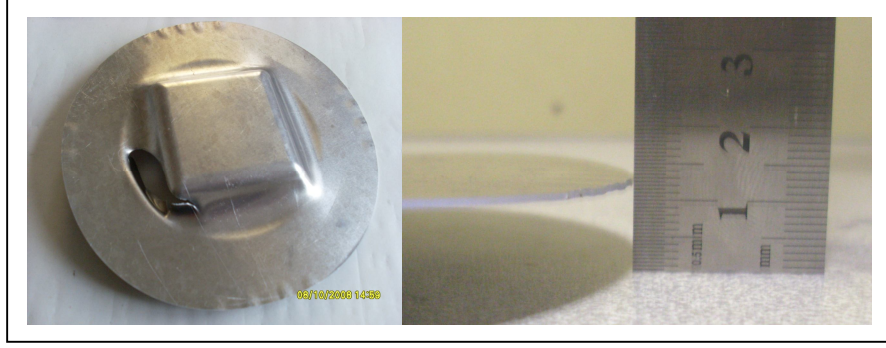


Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Ön Sıvı Basınç (MPa)
50	8	18,2	6



Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Ön Sıvı Basınç (MPa)
50	13,3	14	10

Şekil 5.5. Değişik basınçlarda yapılmış AA 5754 serisi alüminyum sac deneysel sonuçlar.



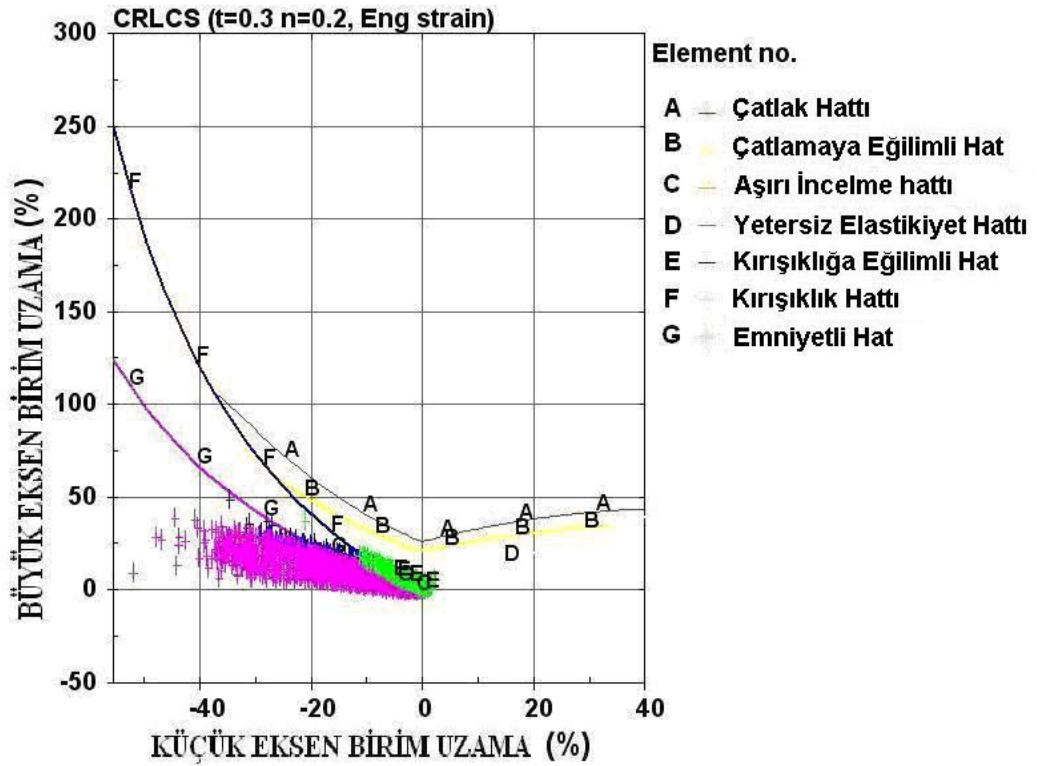
Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Ön Sıvı basıncı (MPa)
35	13,3	13	6

Şekil 5.5. (Devam Ediyor).

5.1.2. C 1006 Serisi Galvaniz kaplamalı Sac Hidrolik Şekillendirme

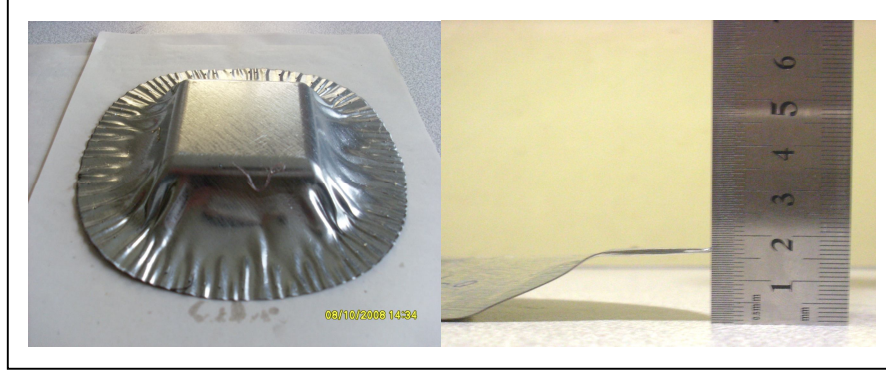
Bu şekillendirme işlemindeki en düşük sıvı basıncı 4 MPa'dır. Bu çalışmada 5 farklı şartta deney yapılmıştır. AA 5754 malzemesinin şekillendirilmesinde olduğu gibi bu deneyde kendi içerisinde iki aşamalı olarak tasarlanmıştır. İlk deneyler ters yönde hidrolik sıvı basıncı kullanılarak ikinci aşamada ise sıvı basıncı kullanılmadan yapılmıştır.

C 1006 galvaniz kaplamalı sacın malzeme kalınlığının ince olması nedeni ile plastik deformasyon neticesinde ŞSD'nda da (Şekil 5.6) görüleceği gibi kırışıklıkların olduğu bölgeler oluşmuştur. Bunun neticesinde C 1006 galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirmede çok büyük çekme yüksekliklerine ulaşamamıştır. Şekillendirme işlemi sonucunda oluşan kırışıklığı minimuma indirmek için baskı plakasının kuvvetini arttırmak gerekmiştir.



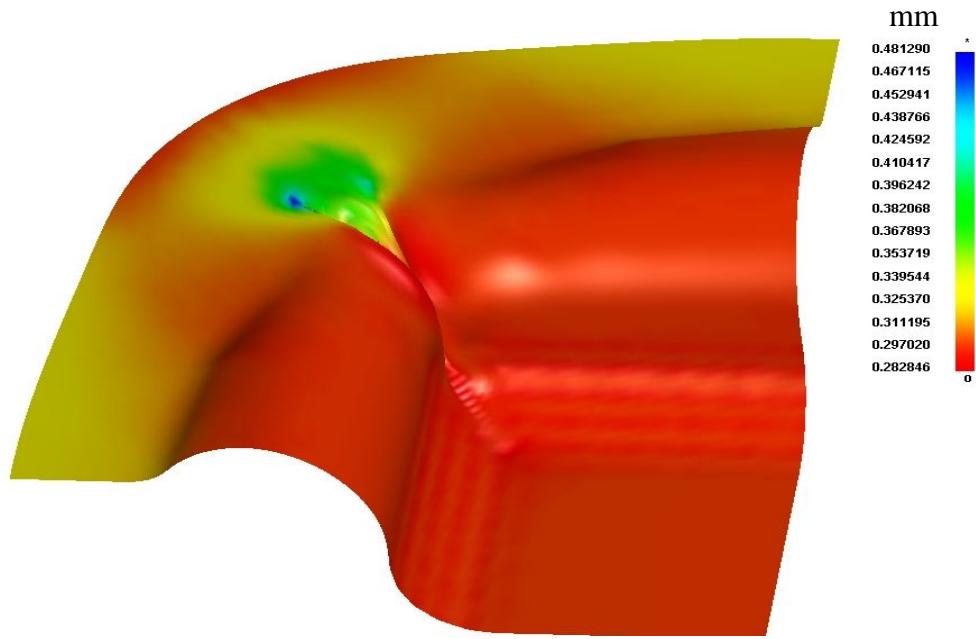
Şekil 5.6. C 1006 serisi 0,30 mm galvaniz kaplamalı sac için Ş.S.D.

Yapılan bu deneyde teorik ve deneysel şekillendirme sonuçları arasında uyum olduğu Şekil 5.7 ile Şekil 5.8' e karşılaştırmalı olarak bakıldığında görülmektedir. Baskı plakası kuvvetinin artırılmasıyla oluşan kırışıklıklarda azalmıştır. Bu kırışıklıkların bir diğer sebebi de etki eden sıvı basıncının yetersiz olmasıdır. Hem teorik şekillendirme hem de deneysel şekillendirme sonucunda numune (malzemede) yırtılma olmama da modellemeyle deneysel çalışmalar arasındaki uyumu göstermektedir.



Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı basıncı (MPa)
30	5,3	23	4

Şekil 5.7. C 1006 serisi galvanizli sac deneysel sonuç.

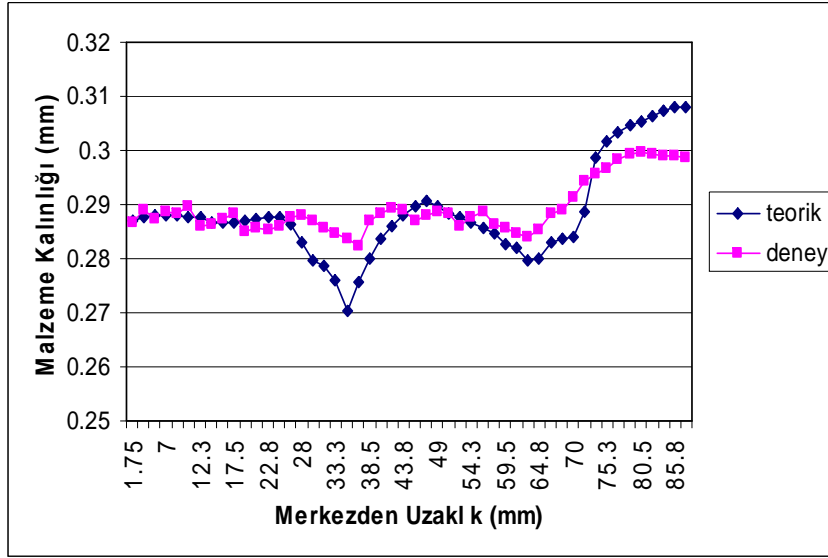


Şekil 5.8. Teorik çözümleme sonucu elde edilen C 1006 serisi galvaniz kaplama sac.

Numunelerin hidrolik şekillendirme sırasında kullanılan zımba basınç kuvveti, pot basıncı torku, şekillendirme sonrasında elde edilen çekme yüksekliği ve uygulanan ön sıvı basıncı değerleri Tablo 5.2’ de verilmiştir. Malzeme kalınlıkları değişimi teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 5.9’ da verilmiştir.

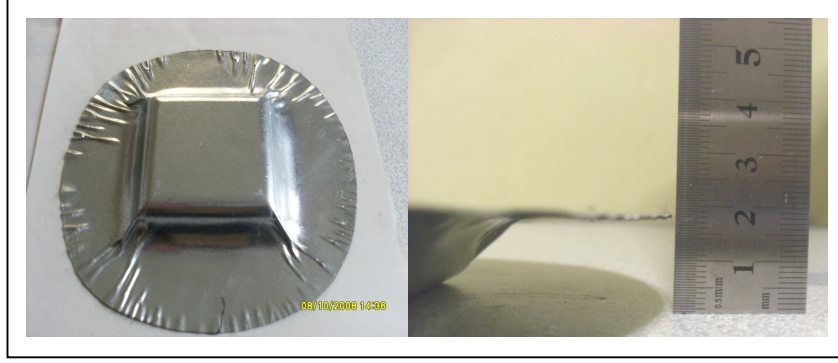
Tablo 5.2. C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sacın hidrolik şekillendirme kullanılan parametreleri.

C 1006 Serisi 0,30 mm Galvaniz kaplamalı sac				
Numune Numarı	Pot Bask Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basınç (MPa)
1	30	5,3	23	4
2	40	8	16,8	6
3	50	8	11,2	6
4	50	13,3	12	10
5	35	8	12,7	10



Şekil 5.9. C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sacın hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçları.

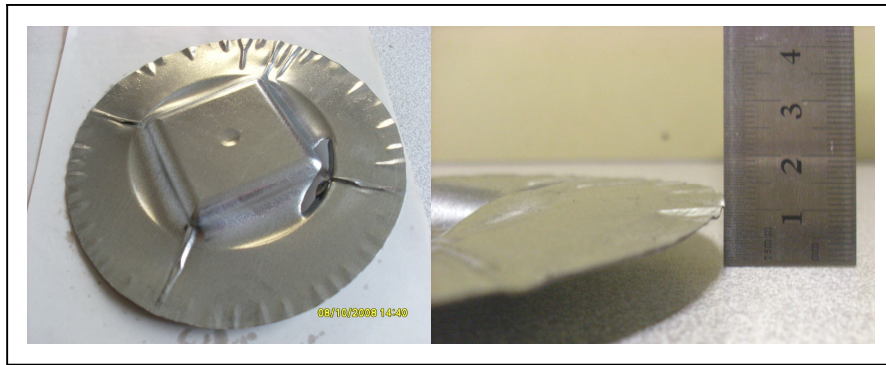
C 1006 galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirme elde edilen sonuçların sağlıklı sonuçlar olduğundan emin olmak için farklı basınç ve hareket değerleri kullanılarak 4 ayrı deney yapılmıştır. Farklı basınçlarda yapılmış C 1006 galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirme deneysel sonuçları Şekil 5.10’da verilmiştir.



Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basınç (MPa)
40	8	18,8	6



Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basınç (MPa)
50	8	11,2	6



Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basınç (MPa)
50	13,3	12	10

Şekil 5.10. Değişik basınçlarda yapılmış C 1006 galvaniz kaplamalı sac deneysel sonuçları.



Pot Bask Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basıncı (MPa)
35	8	12,7	10

Şekil 5.10. (Devam Ediyor).

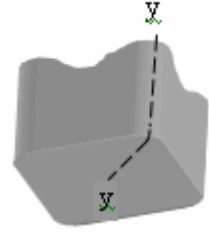
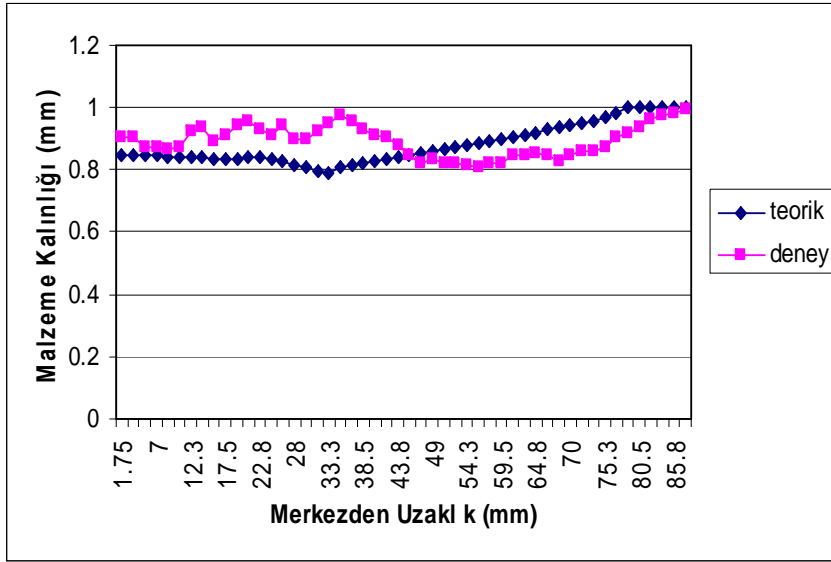
5.1.3. C 1006 Serisi Dkp Sac Hidrolik Şekillendirme

Yukarıdaki diğer iki şekillendirme işleminde olduğu gibi bu şekillendirme işleminde de deneysel şekillendirmeler iki aşamalı olarak tasarlanmıştır. Birinci aşaması ön sıvı basınçlı olarak ikinci aşaması ise ön sıvı basınçsız olarak gerçekleştirilmiştir. C 1006 Dkp sac hidrolik şekillendirme işleminde en düşük sıvı basıncı olarak teorik modelde hesaplamalar sonucu elde edilen 8 MPa kullanılmıştır. Hidrolik şekillendirme sırasında kullanılan zımba basınç kuvveti, pot bask torku, şekillendirme sonrasında elde edilen çekme yüksekliği ve uygulanan ön sıvı basıncı değerleri Tablo 5.3' te verilmiştir.

Tablo 5.3. C 1006 serisi Dkp sac hidrolik şekillendirmede kullanılan parametreler.

C 1006 Serisi 1 mm Dkp sac				
Numune Numarı	Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basıncı (MPa)
1	30	6	22,8	8
2	40	6	30,6	8
3	50	6	29	8
4	60	10	31	13,3
5	60	12	29	16

Şekil 5.11’ de malzeme kalınlık değişim grafiğine bakıldığında Şekillendirme işlemi sonucunda levhanın malzeme kalınlığında incelmelerin olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise Şekillendirme işlemi esnasında zımbanın uyguladığı bas n kuvveti neticesinde sac levhanın zımbanın köşe bölgelerine karşılık gelen yerlerinde incelmeler oluşmuştur. Fakat Şekillendirme işlemi sonucunda sac levhanın kalınlığında oluşan bu incelemeler aşırı bir incelme değildir.



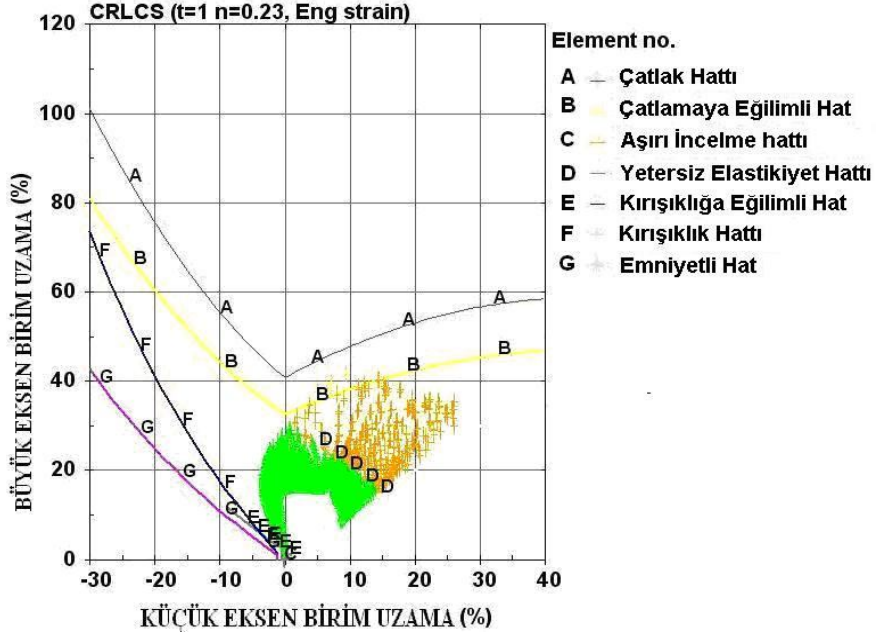
Şekil 5.11. C 1006 serisi Dkp sac hidrolik Şekillendirme teorik ve deneysel sonuçları.

C 1006 Dkp sacın Őekillenmesinin yeterli miktarda olup olmadığı araştırmak amacıyla teorik modelden elde edilen veriler kullanılarak Şekil 5.12’ de görülmekte olan Şekillendirme sınır diyagramı (Ş.S.D.) oluşturulmuştur.

Şekil 5.12’ de Şekillendirme sınır diyagramına bakıldığında oluşan birim uzamalar emniyetli bölge (güvenli bölge) diye adlandırılan bölgede oluşmuştur.

Bu deneyde hem teorik Şekillendirme hem de deneysel Şekillendirme neticesinde levhada yırtılma olmamıştır. Aynı zamanda Şekillendirme işlemi sonucunda Şekillendirme sınır diyagramına bakıldığında hemen hemen hiç kırıkışıklık oluşmamıştır. Bunlara getirilecek en iyi a klama, Şekillendirme işlemi neticesinde sac levhada dengeli birim uzamalar n oluştuğunu ve dolay›yla sac levhada oluşacak yırtılmaların aynı oranda geciktirildiğini göstermektedir.

Ön s>v> bas nç > olarak yapılan Dkp sac hidrolik şekillendirmedeki en yüksek çekme oran 31 mm'dir.



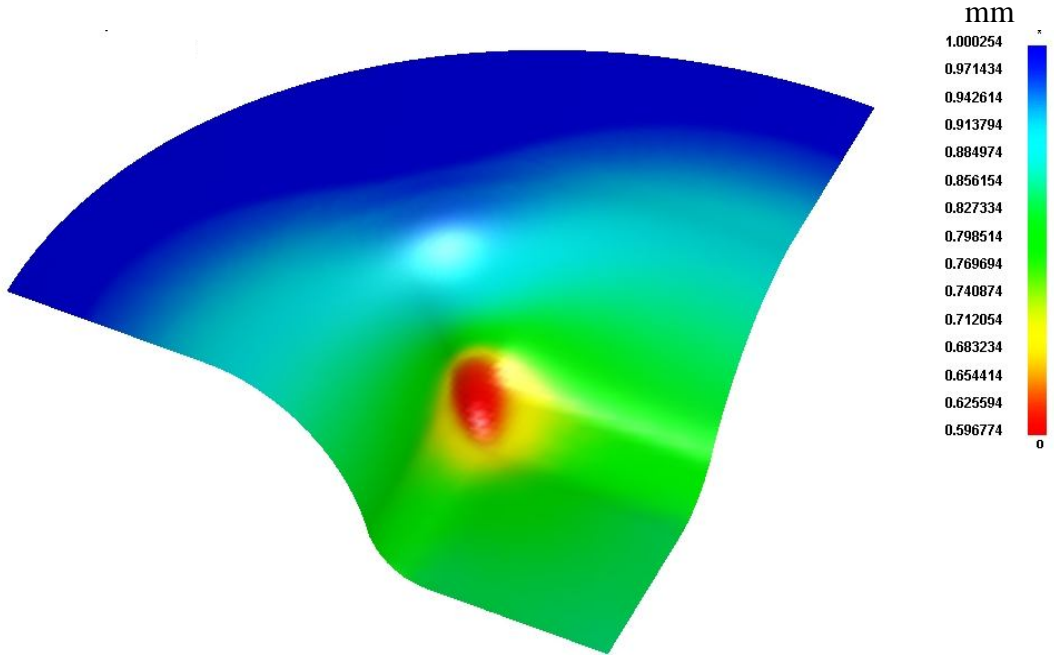
Şekil 5.12. C 1006 serisi 1 mm Dkp sac için Ş.S.D.

Bu hidrolik şekillendirmede deneysel olarak şekillendirilmiş Dkp sac Şekil 5.13' de, teorik olarak şekillendirilmiş levha Şekil 5.14' te verilmiştir. Yine bu şekillendirme işleminde sağlıklı sonuçlar elde etmek amacıyla olduğumuzdan değişik değerlerde zimba basınç kuvveti ve pot baskı torku kullanılarak deneyler yapılmıştır. Değişik değerlerde yapılmış olan Dkp sac deneysel sonuçla > Şekil 5.15' de gösterilmiştir.



Pot Bas > Torku (Nm)	Zimba Bas nç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	S>v> bas nç (MPa)
30	6	22,8	8

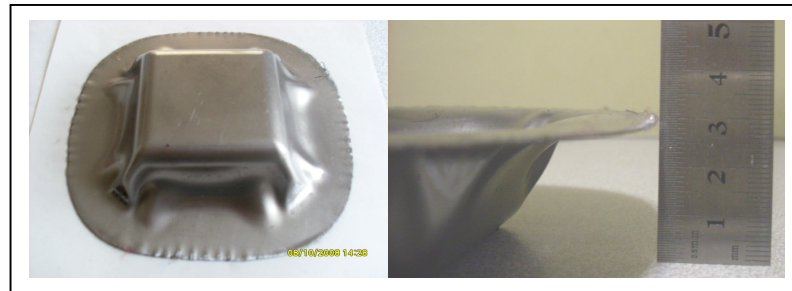
Şekil 5.13. C 1006 serisi Dkp sac deneysel sonuç.



Şekil 5.14. Teorik çözümleme sonucu elde edilen C 1006 serisi Dkp sac.

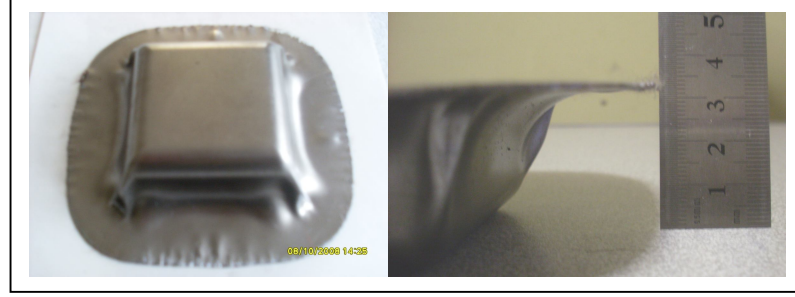


Pot Bas > Torku (Nm)	Z>mba Bas nç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	S>v> bas nç (MPa)
40	6	30,2	8

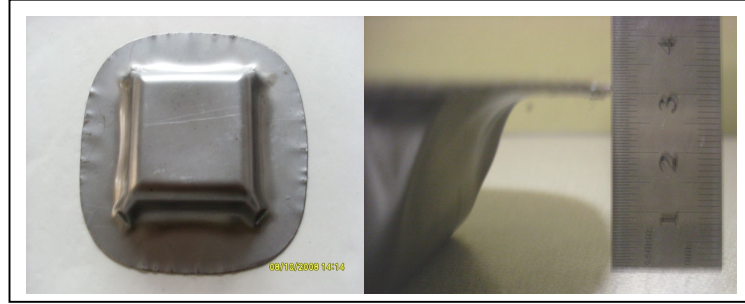


Pot Bas > Torku (Nm)	Z>mba Bas nç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	S>v> bas nç (MPa)
50	6	29	8

Şekil 5.15. Değişik değerlerde yapılmış C 1006 Dkp sac deneysel sonuçlar .



Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basınç (MPa)
60	10	31	13,3



Pot Basınç Torku (Nm)	Zımba Basınç Kuvveti (MPa)	Çekme Yüksekliği (mm)	Sıvı Basınç (MPa)
60	12	29	16

Şekil 5.15. (Devam Ediyor).

5.2. SIVI BASINÇSIZ HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME

Bölüm 5.1.'de de ifade edildiği gibi çalışmanın ikinci bölümü olan ön sıvı basınçsız hidrolik şekillendirme bölümünde çalışmanın birinci bölümde deneylerde kullanılan kalıpların aynısı kullanılmış olup, zımbanın uyguladığı kuvvetin tersi yönde hidrolik basınç kullanılmadan aynı deneyler yapılmıştır. Ön sıvı basınçsız hidrolik şekillendirme işleminde ön sıvı basınçlı şekillendirme işleminde olduğu gibi üç farklı sac kullanılarak üç değişik şekillendirme işlemi yapılmıştır.

5.2.1. AA 5754 Serisi Alüminyum Sac Hidrolik Şekillendirme

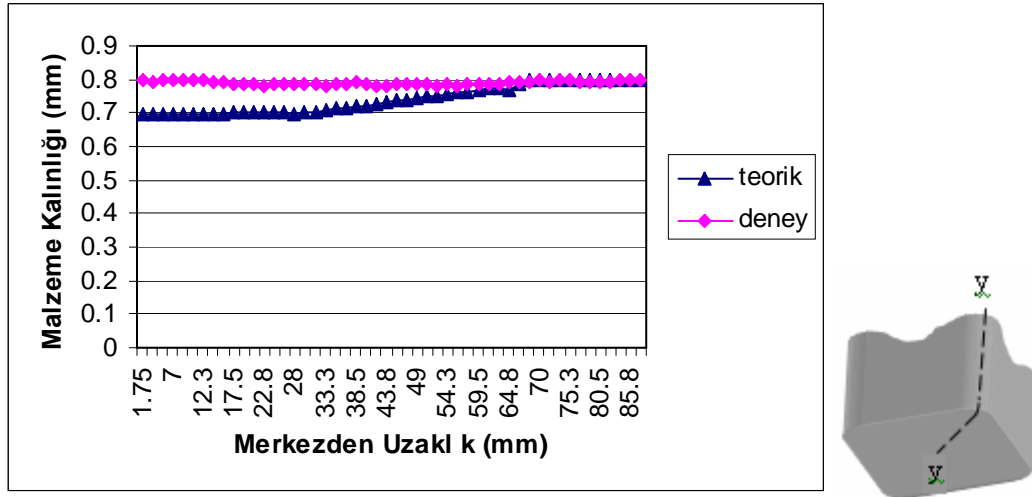
Teorik modelde kullanılan değerler AA 5754 hidrolik şekillendirme işleminde deneysel çalışmalarda da kullanılmış olup, şekillendirme işlemi sonucunda elde

edilen çekme yüksekliği değerleri Tablo 5.4' te verilmiştir. Alüminyum sac hidrolik şekillendirme neticesinde elde edilen malzeme kalınlıkları teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırmalı grafiği Şekil 5.16' de verilmiştir.

Tablo 5.4. AA 5754 Serisi alüminyum sac hidrolik şekillendirmede elde edilen çekme yükseklikleri.

Numune Numarı	Çekme Yüksekliği (mm)
1	18,4
2	25,6

Yapılan bu deney sırasında sac levhada yırtılma olmamıştır. Teorik ve deneysel sonuçlar arasında malzeme kalınlığındaki değişim grafiğine (Şekil 5.17) bakıldığında grafikte teorik ve deneysel sonuçlar arasında fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Buda elde edilen teorik deneysel sonuçlardaki sac levha kalınlık değişimlerinin uyumlu olduğunu göstermektedir.

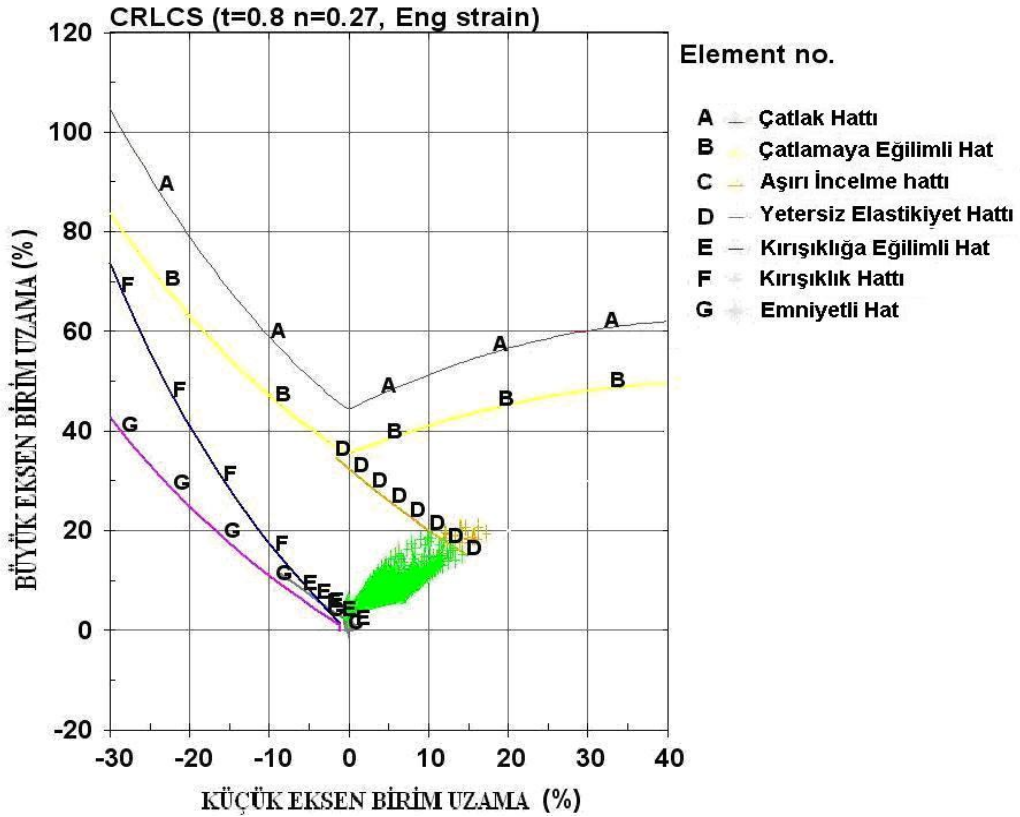


Şekil 5.16. AA 5754 serisi alüminyum sac hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçları.

Baskı plakasının uygun bir sıkıştırma kuvveti ile bağlanması neticesinde levhada kırışıklık oluşmamıştır. Yapılan şekillendirme sonucu şekillendirme sırasında (Şekil 5.17) görüldüğü gibi sac levhada oluşan birim uzamalar güvenli bölge diye adlandırılan bölgede oluşmuştur. Deneysel şekillendirme sonucu sac levhada eş eksenli yani dengeli birim uzamalar oluşmuştur. AA 5754 sac hidrolik şekillendirme deneysel çalışmalar sonucunda sac levhada yırtılma olmamıştır. Elde

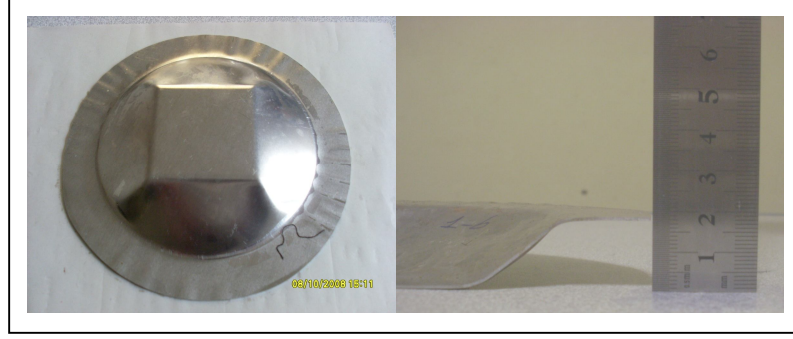
edilen tüm bu sonuçlara istinaden AA 5754 hidrolik şekillendirme sonucu sac levhada oluşacak yırtılmalar geciktirilmiştir.

Bölüm 5.1.1' de ön sıvı basınçlı yapılan şekillendirme ile ön sıvı basınçsız yapılan bu şekillendirme elde edilen çekme yükseklikleri açısından karşılaştırıldığında sıvı basınçsız yapılan deneyde hidrolik akışkan kullanılmadığı için daha düşük çekme yükseklikleri elde edilmiştir. Bunun sebebi ise bu şekillendirmede kalıpta matraste hidrolik akışkan kullanılmadığından bu şekillendirme işleminde daha fazla sürtünme meydana gelmiştir ki buda elde edilen çekme yüksekliği değerini düşürmüştür.

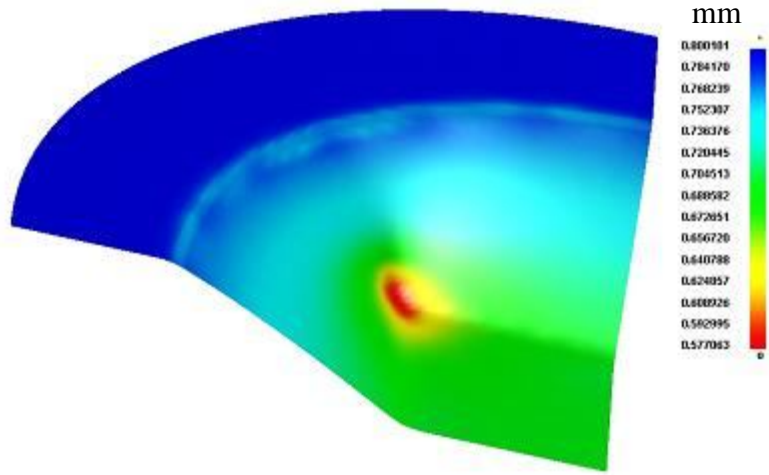


Şekil 5.17. AA 5754 serisi 0,8 mm alüminyum sac için Ş.S.D.

Bu hidrolik şekillendirmede deneysel olarak şekillendirilmiş alüminyum sac Şekil 5.18' de, teorik olarak şekillendirilmiş levha Şekil 5.19' da verilmiştir.



Şekil 5.18. AA 5754 serisi alüminyum sac deneysel sonuç.



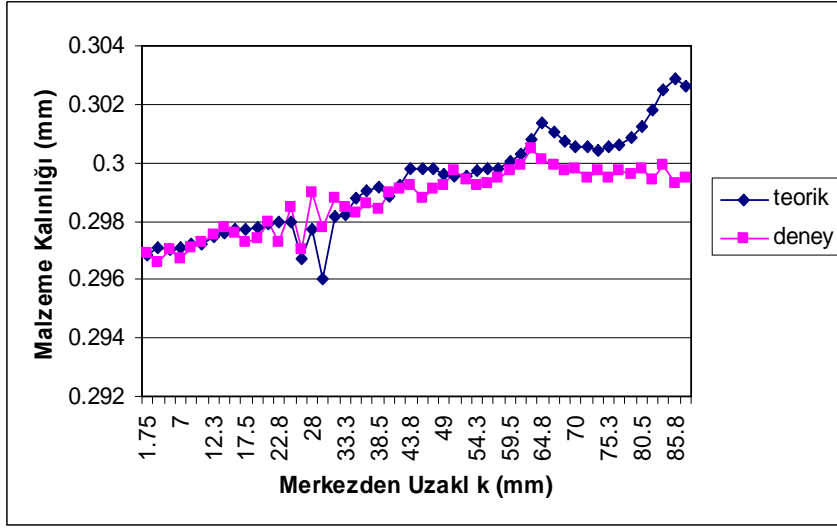
Şekil 5.19. Teorik çözümleme sonucu elde edilen AA 5754 serisi alüminyum sac.

5.2.2. C 1006 Serisi Galvaniz kaplamalı Sac Hidrolik Şekillendirme

Galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirme sonucunda malzemenin kalınlıkları arasında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Bu da teorik ve deneysel sonuçlarda paralelliğin oluşmasına ve oluşan kalınlık değişim grafiğinin biraz daha uyumlu olmasına sebep olmuştur. Tablo 5.5.' de C 1006 serisi 0,30 mm galvaniz kaplama sac numunelerin yapılan şekillendirme işlemi sonrasında elde edilen çekme yüksekliği değerleri verilmiştir. Şekil 5.20' de ise hidrolik şekillendirme neticesinde elde edilen malzeme kalınlıkları değişimi teorik ve deneysel sonuçlar verilmiştir.

Tablo 5.5. C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirmede elde edilen çekme yükseklikleri.

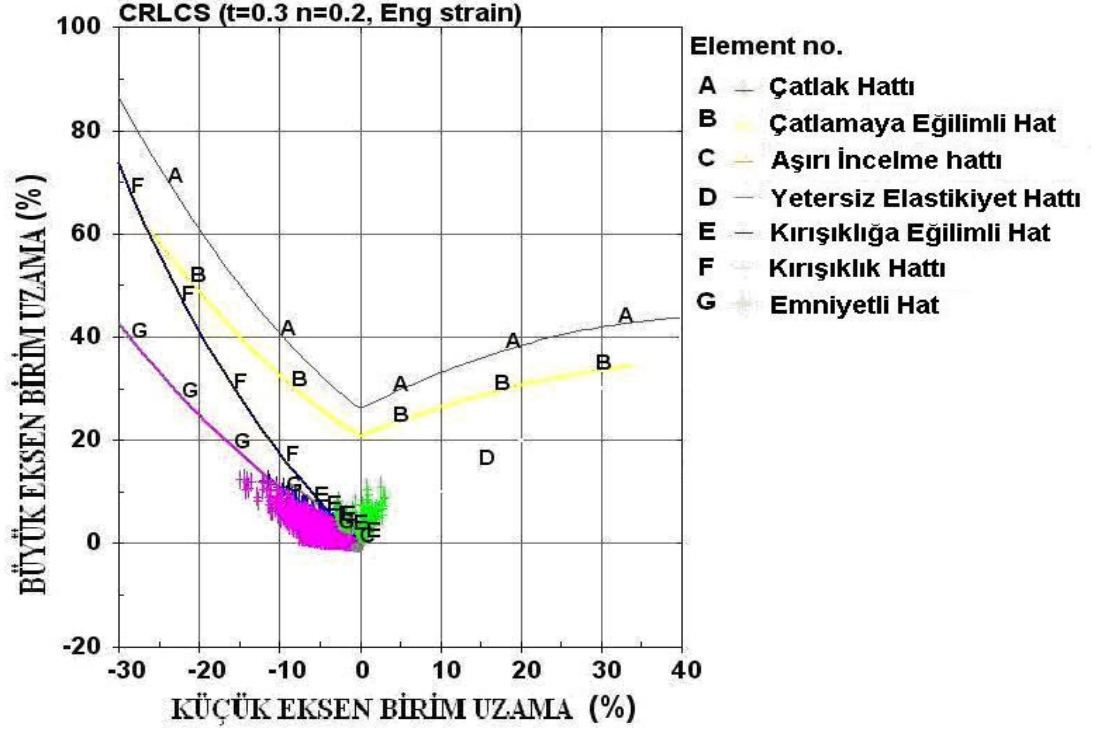
Numune Numar	Çekme Yüksekliği (mm)
1	16,6
2	25



Şekil 5.20. C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçları.

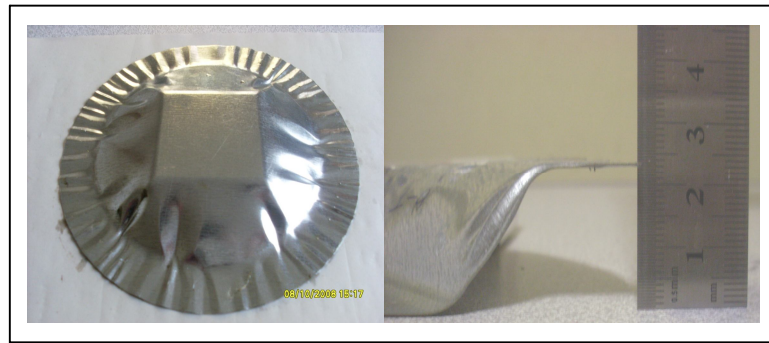
Teorik modelleme sonucu elde edilen değerler kullanılarak C 1006 galvaniz kaplamalı sac levhanın şekillendirme sınır diyagramı oluşturulmuştur. Yapılan hidrolik şekillendirme sonucunda meydana gelen birim uzamalar Şekillendirme sınır diyagramında güvenli bölgede meydana gelmiştir.

Bölüm 5.1.2' de de olduğu gibi bu deneyde de yine malzeme kalınlığının ince olmasından dolayı şekillendirme sınır diyagramında kırışıklıkların olduğu bölgeler oluşmuştur. Oluşan bu kırışıklar neticesinde yapılan deneysel şekillendirme sonucunda çok yüksek çekme oranlarına ulaşamamıştır. C 1006 galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirme sonucunda oluşan bu kırışıklıkları minimuma indirmek için baskı plakasının kuvvetini arttırmak gereklidir.

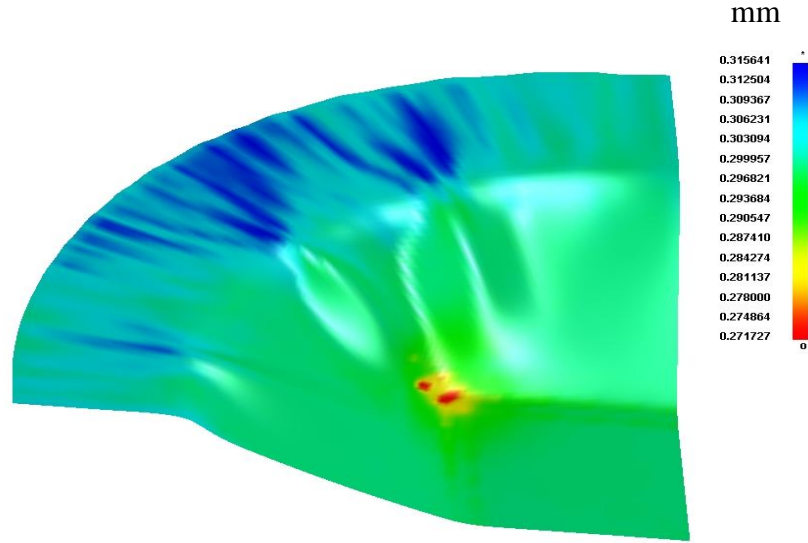


Şekil 5.21. C 1006 serisi 0,30 mm galvaniz kaplamalı sac için Ş.S.D.

Teorik şekillendirme ve deneysel şekillendirme karşılaştırıldığında, elde edilen şekillendirilmiş numune şekilsel olarak (Şekil 5.22 – Şekil 5.23) ve malzeme kalınlık değişimi (Şekil 5.20) olarak aralarında bir uyum olduğu görülmektedir. Deneysel olarak şekillendirilmiş C 1006 galvaniz kaplamalı sac Şekil 5.22’ de, teorik modelleme sonucu şekillendirmiş levha Şekil 5.23’ de verilmiştir.



Şekil 5.22. C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sac deneysel sonuç



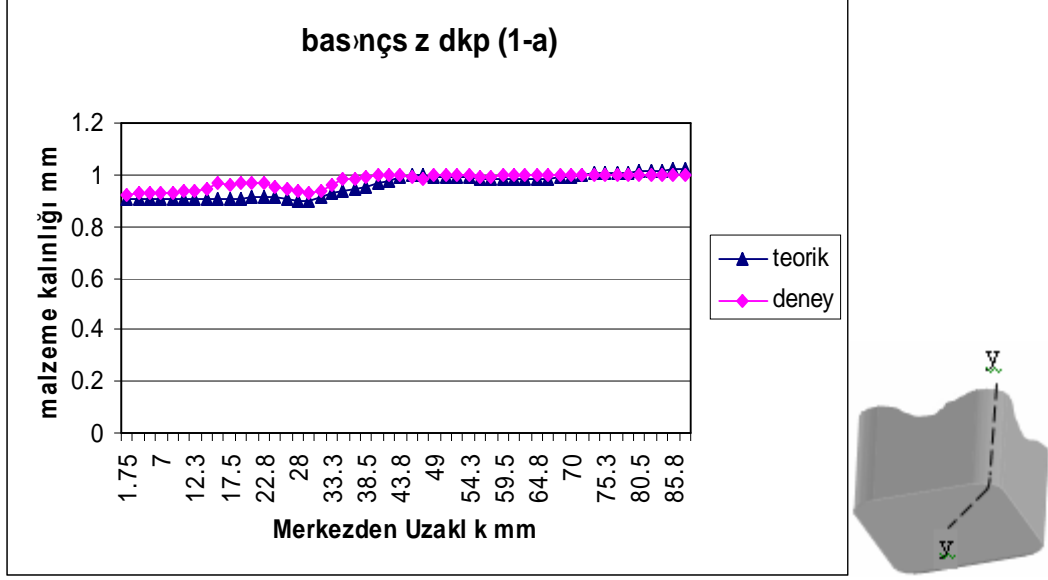
Şekil 5.23. Teorik çözümlene sonucu elde edilen C 1006 serisi galvaniz kaplamalı Sac.

5.2.3. C 1006 Serisi Dkp Sac Hidrolik Şekillendirme

Tablo 5.6' da C 1006 serisi 1 mm Dkp sac numunelere şekillendirme sırasına göre numara verilmiş olup, bu numunelerin şekillendirme sonrasında elde edilen çekme yüksekliği değerleri verilmiştir. Şekil 5.24' te ise yapılan teorik ve deneysel şekillendirmeler neticesinde elde edilen malzeme kalınlıkları karşılaştırmalı grafiği verilmiştir. Grafiğe dikkat edilirse elde edilen sonuçlar arasında paralellik olduğu yani birbirine yakın değerlerin elde edildiği görülmektedir. Bu paralellik ise elde edilen sonuçların uyumlu olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.6. C 1006 serisi Dkp sac hidrolik şekillendirmede elde edilen çekme yükseklikleri.

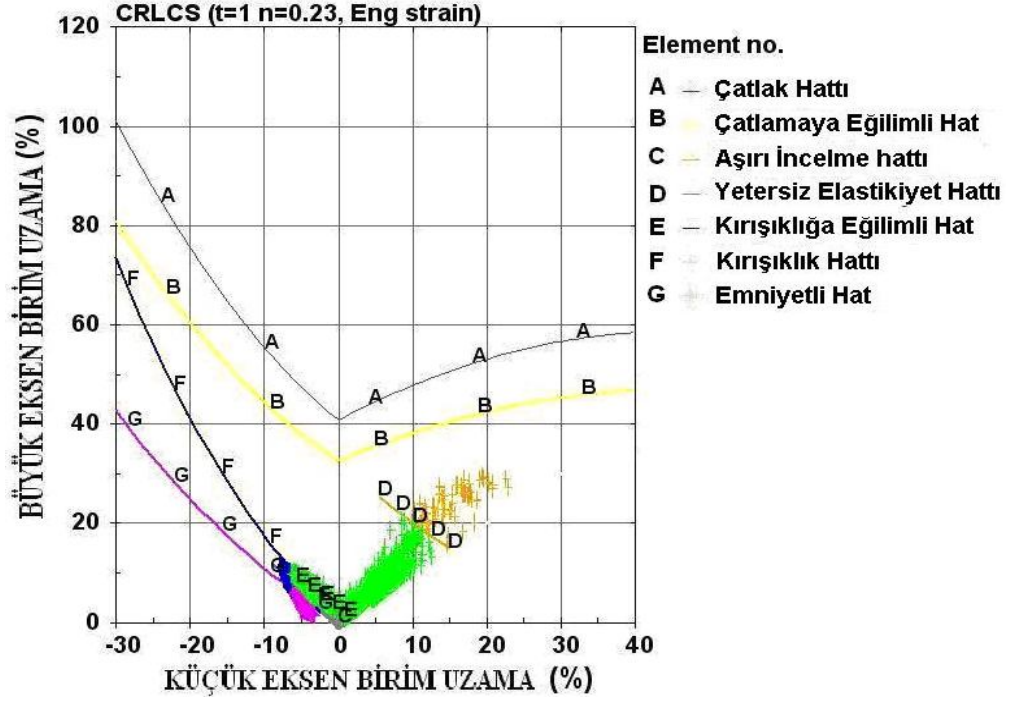
Numune Numar	Çekme Yüksekliği (mm)
1	25,4
2	26



Şekil 5.24. C 1006 serisi Dkp sac hidrolik şekillendirme teorik ve deneysel sonuçları.

Önceki şekillendirme işlemlerinde de bahsedildiği gibi bu şekillendirme işleminde de teorik modelden elde edilen değerler neticesinde şekillendirme sınır diyagramı oluşturulmuştur. Şekillendirme sınır diyagramında oluşan birim uzamaların hepsi güvenli bölgede meydana gelmiştir. Yapılan bu deneysel çalışma sonucu şekillendirme sınır diyagramında da görüldüğü üzere sac levhada yok denecek kadar az kırışıklık oluşmuştur.

Ön sövüş basıncı C 1006 Dkp sac hidrolik şekillendirmede olduğu gibi yapılan bu şekillendirme işleminde de levhalarda yırtılma olmamıştır. Elde edilen tüm bu sonuçlar ışığında şekillendirme işlemi sonucunda sac levhada oluşacak yırtılmalar geciktirilmiştir.

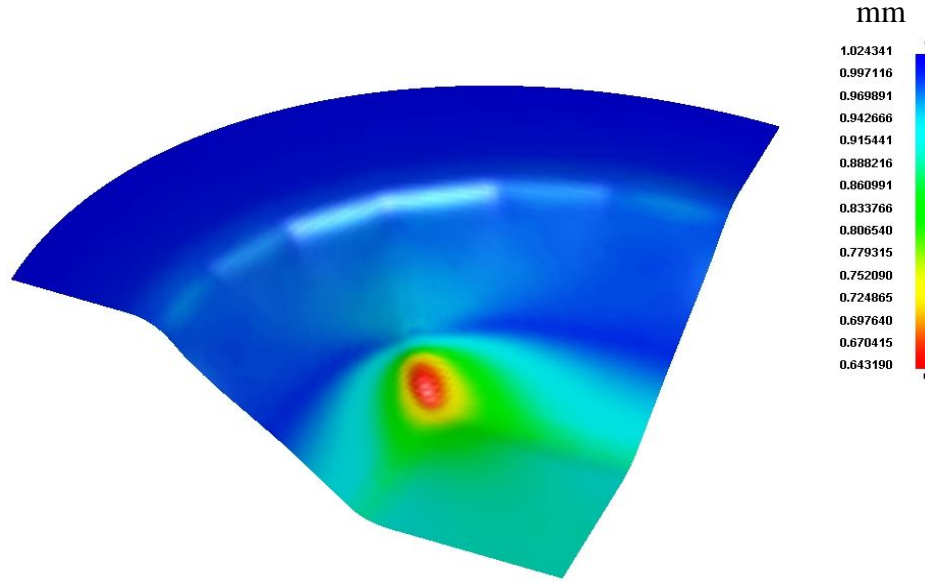


Şekil 5.25. C 1006 serisi 1 mm Dkp sac için Ş.S.D.

Yapılan bu çalışmada deneysel olarak şekillendirilmiş C 1006 serisi Dkp sac Şekil 5.26' da, teorik modelleme sonucu şekillendirmiş levha Şekil 5.27' de verilmiştir.



Şekil 5.26. C 1006 serisi Dkp sac deneysel sonuç.



Şekil 5.27. Teorik çözümleme sonucu elde edilen C 1006 serisi Dkp sac.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Yapılan literatür araştırmalarında silindirik zımba kullanılarak silindirik parçalar üretilmiş. Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmalara alternatif olması amacıyla kare zımba kullanılarak kare parçaların üretimi planlanmıştır. Bu tez çalışmasında, üç farklı metalik sac kullanılarak, bu sacların kare şekillendirilmesi çalışılmıştır. Çalışmalarda yalnızca erkek kare zımba kullanılmış, dişi kalıp yerine sıvı kullanılmıştır. Sıvıların sıkıştırılamazlığından yararlanarak sacın kalıbın şeklini alması sağlanmaya çalışılmıştır.

Çalışmalara başlamadan önce sacların spektral analizleri yapılarak kimyasal özellikleri ve malzeme standartları tespit edilmiştir. Tespit edilen standartlara dayanarak literatürden sacların mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Belirlenen bu mekanik özelliklere göre yapılan kalıpların CAD programları kullanılarak modellenmesi yapılmış ve modellerin Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanarak Eksplisit çözüm yapan LS-DYNA yazılımına aktararak ¼ lük teorik modelleri oluşturulmuştur.

LS-DYNA yazılımından metalik sacların kalınlık değişimleri, ŞSD'ları, baskı plakası kuvvetleri, derin çekilebilirlik miktarları, sıvı basıncı vb. değerleri test edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu değerler kullanılarak deneysel çalışmalara geçilmiştir. Böylelikle deneysel çalışmalardaki deney sayısı azaltılmaya çalışılmıştır. Deneyler sırasında da, teorik modellemenin faydası görülmüş, hem deney sayısı hem de zamandan büyük tasarruf sağlanmıştır.

Daha sonra teorik modelden elde edilen sonuçlarla, deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarındaki uyum araştırılmıştır. Deneysel çalışmaların güvenilirliğini tam olarak

belirlemek amacıyla teorik modeli yapılmayan fakat teorik modelden elde edilen değerlere yakın değerlerde de çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca tüm çalışmalarda hem sıvı basınçlı hem de sıvı basınçsız deneyler yapılmış ve bunlarında kendi içlerinde karşılaştırması yapılmıştır.

Elde edilen değerler ve karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıya çıkartılmıştır.

- 1- Bu tez çalışmasında, yapılan hidrolik şekillendirmeler neticesinde teorik sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında malzeme kalınlık değişimleri açısından en fazla % 15 fark (% 85 uyumluluk) olduğu görülmüştür.
- 2- Deneysel çalışmalar sonucunda çekme yüksekliği açısından en iyi sonuç AA 5754 serisi alüminyum alaşımlı sacda sıvı basıncı 8 MPa ve çekme yüksekliği 25,5 mm olarak 2 numaralı numunede, C 1006 serisi Dkp sacda sıvı basıncı 13.3 MPa ve çekme yüksekliği 31 mm olarak 4 numaralı numunede, C 1006 serisi galvaniz kaplamalı sacda sıvı basıncı 5.3 MPa ve çekme yüksekliği 23 mm olarak 1 numaralı numunede elde edilmiştir.
- 3- Yapılan hidrolik şekillendirmede sıvı basınçlı ve sıvı basınçsız yapılan deneysel çalışmalar neticesinde C 1006 galvaniz kaplamalı sac numunelerde kırışıklıklar oluşmuştur.
- 4- Sıvı basınçlı ve sıvı basınçsız C 1006 galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirmelerin her ikisinde de levhanın malzeme kalınlığının 0,30 mm gibi çok ince olması ve levhada kırışıklıkların oluşması neticesinde düşük çekme yüksekliklerine ulaşılmıştır.
- 5- Hidrolik şekillendirme sonucu elde edilen numunelerin malzeme kalınlığında zımbanın köşelerine karşılık gelen bölgelerinde incelmelerin olduğu, numunelerin ağız kısmına doğru malzeme kalınlıklarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

- 6- Hidrolik şekillendirmede kullanılan C 1006 galvaniz kaplamalı sac, AA 5754 alüminyum sac ve C 1006 Dkp saclar arasında en iyi şekillendirilebilirlik gösteren sac levha C 1006 Dkp sac olduğu, levhalarda elde edilen çekme yükseklikleri ve levhalarda meydana gelen birim uzamalardan (oluşan bu birim uzamalar şekillendirme sınır diyagramlarında da görülmektedir) anlaşılmaktadır.
- 7- Deneysel çalışmalar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise sıvı basıncı kullanılarak şekillendirilen parçalarda hem şekillendirme derinliği açısından hem de parçanın şekillendirilmesi açısından büyük farklar olduğu gözlenmiştir.
- 8- Hidrolik şekillendirme sistemi sayesinde dişi veya erkek kalıp kullanılmadan parça şekillendirildiğinden kalıp maliyetleri açısından %50 tasarruf sağlanmıştır.
- 9- Teorik modelde kullanılan malzeme modelinin ve oluşturulan modelin bu gibi çalışmalarda yeterli sonuç vereceği anlaşılmıştır.

Geneli itibari ile bakıldığında bu tez çalışmasında elde edilen kırışıklıkların minimum seviyede olması, oluşacak yırtılmaların geciktirilmesi ve deneysel şekillendirmelerde elde edilen çekme yüksekliği açısından amaca ulaşıldığı söylenebilir.

6.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada deneysel şekillendirme neticesinde numunelerde kırışıklıkların önüne geçmek için baskı plakasının uyguladığı kuvvetin kontrol altına alınması daha iyi sonuçların elde edilmesini sağlayabilir. Baskı plakasının uyguladığı kuvveti görmek ve kontrol altına almak için ek bir sistem kurulabilir.

İnce kesitli malzemelerin hidrolik şekillendirmede daha iyi sonuç vermesi için hidrolik şekillendirme sisteminde sıvı odasının derinliğinde daha değişik değerler kullanılabilir. Yine burada C 1006 galvaniz kaplamalı sac hidrolik şekillendirmede

daha yüksek çekme oranlarına ulaşmak için daha yüksek et kalınlığına sahip sac levha kullanabilir.

Farklı tür ve kalınlıkta ki sacların hidrolik şekillendirmede nasıl bir sonuç vereceği araştırılabilir. Kullanılan zımbanın köşe bölgelerindeki radiüsler daha uygun değerde olursa oluşan veya oluşacak yırtılmalar biraz daha azalmış olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Şahin, S., “Hidrolik Şekillendirme Yönteminin Esasları ve Sınıflandırılması”, *Mühendis ve Makine*, 45 (533): 35-39 (2004).
2. McClintock, F.A., “A Criterion for Ductile Fracture by the Growth of Holes”, *Journal of Applied Mechanics*, 35: 363-371 (1968).
3. Rice, J.R. and Tracey, D.M., “On the Ductile Enlargement of Voids on Triaxial Stress Fields”, *Journal of Mechanical Physics and Solids*, 17: 201-217 (1969).
4. Clift, S.E., Hartley, P., Sturgess, C.E.N. and Rowe, G.W., “Fracture Prediction in Plastic Deformation Process”, *International Journal of Mechanical Science*, 32 (1): 1-17 (1990).
5. Hartley, P., Pillinger, I. and Sturgess, C., “Numerical Modeling of Material Deformation Processes Research Development and Applications”, *Springer-Verlag* (1992).
6. Çelikayar, G., “Yüksek Basınç Altında Metallerin Şekillendirilmesi (Hidroforming)”, *III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi*, 4-7 Aralık İzmir, 29-38 (2003).
7. Önder, E. and Tekkaya, A.E., “Numerical Simulation of Various Cross Sectional Workpieces Using Conventional Deep Drawing and Hydroforming Technologies”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48: 532–542 (2008).
8. Honda, A. and Suzuki, M., "Sheet Metal Forming by Using Gas Imploding Detonation", *Jor. of Materials Processing Technology*, 85: 198-203 (1996).
9. Wang Q., “Hydromechanical Deep Drawing”, *New Technol. New Process*, 5: 23-24 (1994).

10. Kara, A., “Hidrolik şekillendirme kalıbı”, Lisans Tezi,
Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük,
2-17 (2008).
11. Erkaslan, A., “Basınçlı Akışkan Yardımıyla Şekillendirme”, Lisans Tezi,
Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük,
26–38 (2006).
12. Ay, İ., “Bal kesir Üniversitesi, İmalat Yöntemleri II Dersi, 2008 Yılı Ders
Notlar ”, Bal kesir, (2008).
13. İnternet: Schuler Hydroforming, http://www.schulergroup.com/en/30_products/60_hydroforming/10_with_pressure_from-within/index.php (2008).
14. Ensari, C. ve Kaya, E., S., “Metalik Sacları Şekillendirme Yöntemleri”,
Metallere Plastik Şekil Verme İlke Ve Uygulamaları, *İstanbul Teknik
Üniversitesi*, 3: 384-385 (2000).
15. McChntock, F.A., "A Criterion for Ductile Fracture by the Growth of Holes",
Journal of Applied Mechanics, 35: 363-371 (1968).
16. Rice, J.R. and Tracey, D.M. "On the Ductile Enlargement of Voids on Triaxial
Stress Fields", *Journal of Mechanical Physics and Solids*, 17: 201-217 (1969).
17. Clift, S.E., Hartley, P., Sturgess C.E.N., and Rowe, G.W., "Fracture
Prediction in Plastic Deformation Process", *International Journal of
Mechanical Science*, 32 (1): 1-17 (1990).
18. Hartley, P., Pillinger, I. and Sturgess, C., "Numerical Modeling of Material
Deformation Processes Research Development and Applications", *Springer-
Vcrlag*, (1992).

19. Youssef, Y. and Denault, J., "Thermoformed Glass Fiber Reinforced Polypropylene: Micro structure, Mechanical Properties and Residual Stresses", *Polymer Composites*, 19 (3): 301-309 (1998).
20. Tirosh, J., Yossifon, S., Eshel, R. and Betzer, A., "Hydroforming Process of Uniform Wall Thickness Products", *ASME Journal of Engineering for Industry*, 99: 685-691 (1977).
21. Yossifon, S. and Tirosh, J., "On the Permissible Fluid-Pressure Path in Hydroforming Deep Drawing Processes - Analysis of Failures and Experiments", *Journal of Engineering for Industry*, 110: 146-152 (1988).
22. Lo, S.W., Hsu, T.C. and Wilson, W.R.D., "An Analysis of the Hemispherical-Punch Hydroforming Process", *Journal of Materials Processing Technology*, 23: 225-239 (1993).
23. Hsu, T.C. and Hsieh, S.J., "Theoretical and Experimental Analysis of Failure for the Hemisphere Punch Hydroforming Processes", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 118: 434-438 (1996).
24. Zhang, S.H., Lang, L.H., Kang, D.C., Danckert, J. and Nielsen, K.B., "Hydromechanical deep-drawing of aluminum parabolic workpieces-experiments and numerical simulation", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40: 1479-1492 (2004).
25. Zhang, S.H. and Danckert, J., "Development of hydromechanical deep drawing", *Journal of Materials Processing Technology*, 83: 873-882 (2004).
26. Brunet, M., Boumaiza, S. and Nefussi, G., "Unified failure analysis for tubular hydroforming", *Journal of Processing Technology*, 149: 217-225 (2002).

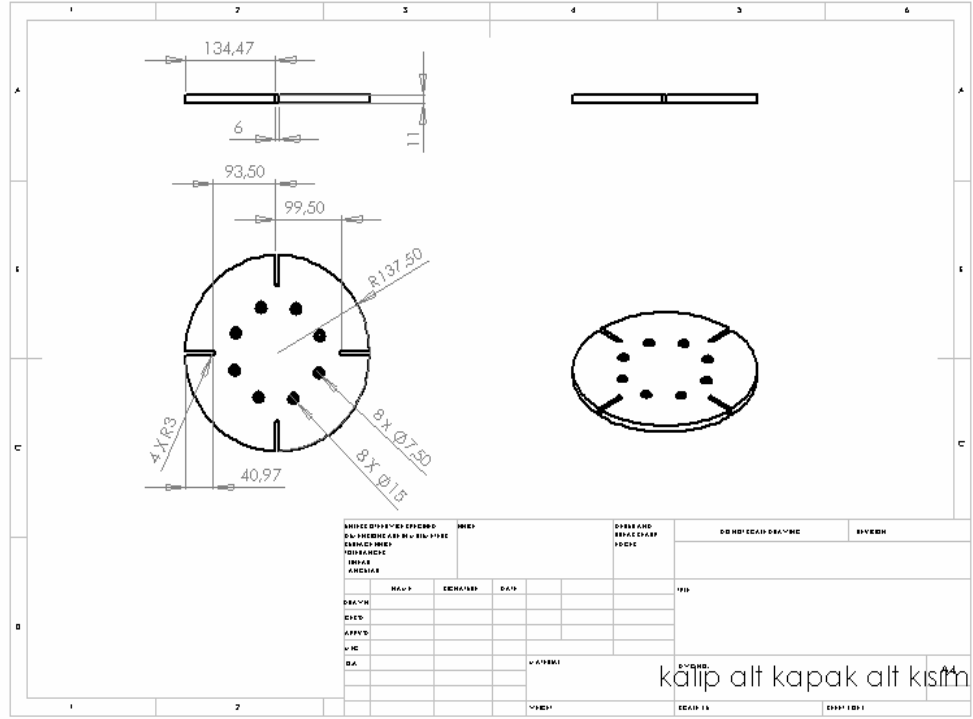
27. Altan, T. and Jiathearant, S., "Successful tube hydroforming: Watching Parameters, Accurately Simulating The Process Yield Good Results", *The Tube & Pipe Journal*, June 15, (2001).
28. Mamalis, A.G., Manolakos, D.E., Baldoukas, A.K., "Simulation of Sheet Metal Forming using Eksplisit Finite-Element Techniques: Effect of Material and Forming Characteristics Part 1. Deep-drawing of Cylindrical Cups", *Journal of Materials Processing Technology*, 72: 48-60 (1998).
29. Mamalis, A.G.; Manolakos, D.E.; Baldoukas, A.K., "Simulation of Sheet Metal Forming using Eksplisit Finite-Element Techniques: Effect of Material and Forming Characteristics Part 2. Deep-drawing of Square Cups", *Journal of Materials Processing Technology*, 72: 110-116
30. Neugebauer, R., Putz, M., Leihkau, J., B. Schulze, "Effective simulation of hydroforming: Current capabilities and requirements for the future", *The Tube & Pipe Journal*, (2001).
31. Aue-u-lan, Y., Soman, P., Kaya, S., Smith, C. and Atlan, T., "Hydroforming tapered engineered tubes", *The Tube & Pipe Journal*, June 8, (2004).
32. Brunet, M., Mguil, S., Morestin, F., "Analytical and Experimental Studies of Necking in Sheet Metal Forming Process", *Journal of Materials Processing Technology*, 80: 40-46 (2000).
33. Mattiasson, K., "On Finite Element Simulation of Sheet Metal Forming Process in Industry", *European Congress on Computational Methods in Applied Science and Engineering (ECCOMDS 2000)*, Barcelona, 11-14 (2000).
34. Imaninejad, M., Subhash, G., Loukus, A., "Loading path optimization of tube hydroformmg process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1504-1514 (1997).

35. Honda, A. and Suzuki, M., "Sheet Metal Forming by Using Gas Imploding Detonation", *Jor. of Materials Processing Technology*, 85: 198-203 (1996).
36. Wilson, F., W., E., "High Velocity Forming of Metals", *American Society of Tool and Manufacturing Engineers* (1964).
37. Bruno, EX., "High Velocity Forming of Metals", *Revised Edition, ASTME*, (1999).
38. Gantar, G., Pepelnjak, T., Kuzman, T., "Optimization of sheet metal forming processes by the use of numerical simulations", *Journal of Materials Processing Technology*, 130-131: 54-59 (2002).
39. Aue-U-Lan, Y., Ngaile, G., Altan, T., "Optimizing tube hydroforming using process simulation and experimental verification", *Journal of Materials Processing Technology*, 146: 137-143 (2002).
40. Hartl. Ch., "Research and advances in fundamentals and industrial applications of hydroforming", *Journal of Materials Processing Technology*, 167: 383-392 (1979).
41. Lei, L., Hwang, S., Kang, S., "Finite element analysis and design in stainless steel sheet forming and its experimental comparison", *Journal of Materials Processing Technology*, 110: 70-77 (2000).

EK AÇIKLAMALAR A

HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME SİSTEMİNİN AYRINTILI ÖLÇÜLERİ

TABLA



Şekil A5. Solid Works'te çizilmiş tablanın ayrıntılı ölçüleri.

ÖZGEÇMİŞ

Tahsin AĞYEL 25.02.1981’de Kars ilinde doğdu; İlköğretimini Kars Kurşun oğlu İlköğretim Okulu’nda, Ortaöğrenimini Gazi Kars Orta Okulunda ve Liseyi Kars Alpaslan Lisesinde tamamladı .

2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümüne girdi. 2006’da Metal Öğretmenliği programından final sınavında mezun oldu.

2006 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : K lavuzlar Köyü Vatan Cad.
Uzun oğlu Apt. 29/A daire no: 2
K lavuzlar / KARABÜK

Tel : 0 505 582 70 51

E-posta : tahsinagyel@gmail.com
tahsinagyel@mynet.com