



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ULTRA YÜKSEK MUKAVEMETLİ SAC METAL
MALZEMELERİN KARE DERİN ÇEKİLMESİNİN DENEYSEL VE
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

İSA ÇOLAKOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ NURİ ŞEN**

DÜZCE, 2020

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRA YÜKSEK MUKAVEMETLİ SAC METAL
MALZEMELERİN KARE DERİN ÇEKİLMESİNİN DENEYSEL VE
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

İsa ÇOLAKOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi M. Hüseyin ÇETİN

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 09/01/2020

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

09 Ocak 2020

İsa ÇOLAKOĞLU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP)-2018.06.05.725 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

09 Ocak 2020

İsa ÇOLAKOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL BİLGİLER	4
2.1. METAL ŞEKİLLENDİRME	4
2.2. SAC METAL ŞEKİLLENDİRME.....	4
2.2.1. Bükme.....	5
2.2.2. Kesme.....	5
2.2.3. Derin Çekme ve Derin Çekme Mekanikliği.....	6
2.2.4. Derin Çekmenin Gerilim Bölgeleri	7
2.2.5. Derin Çekmeyi Etkileyen Parametreler	7
2.2.5.1. Şekillendirmedeki “m” Değerinin Etkisi	8
2.2.5.2. Şekillendirmedeki “r” Değerinin Etkisi.....	8
2.2.5.3. Şekillendirmedeki Sürtünmenin ve Yağlayıcının Etkisi	9
2.2.5.4. Şekillendirmedeki Baskı Plakası Kuvvetinin Etkisi.....	10
2.3. DERİN ÇEKME HATALARI.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. ÇALIŞMANIN AMACI.....	12
3.2. MALZEME KAREKTERİZASYON ÇALIŞMALARI.....	12
3.2.1. Çekme Testi	13
3.2.2. Test Parçalarının Hazırlanması.....	14
3.2.3. %0,2 Akma Noktasının Tayini ve Sonuçlar	14
3.3. KARE DERİN ÇEKME DENEY DÜZENEGİ.....	16
4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA	17
4.1. MALZEME KAREKTERİZASYON TESTLERİ	17
4.2. SINIR ÇEKME ORANI (SÇO)	18
4.2.1. Deneysel Çalışmalarda Kare Derin Çekilmiş Kapların Kalınlık Dağılımı	21
4.3. NÜMERİK ANALİZ	24
4.3.1. Sonlu Elemanlar Analizi ve Simufact V16	24
4.3.2. Derin Çekme Deneylerinin Modellenmesi.....	24
4.3.3. Sonuçlar	27
4.3.3.1. Sınır Çekme Oranı.....	27
4.3.3.2. Analiz Çalışmalarda Kare Derin Çekilmiş Kapların Kalınlık Dağılımı	28
4.3.3.3. Derin Çekme Deneyleri ve Simulasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	29

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	31
5.1. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	31
5.2. ÖNERİLER	31
6. KAYNAKLAR	32
ÖZGEÇMİŞ.....	34



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Sac metal şekillendirme işlemlerinin sınıflandırılması.....	4
Şekil 2.2. a) V bükme b) Kenar bükme	5
Şekil 2.3. Saçın kesme boşluğunun a) küçük olması b) büyük olması durumu.	6
Şekil 2.4. Derin çekme işleminin şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.5. Derin çekme mekaniği.	7
Şekil 2.6. Derin çekme esnasında parçada meydana gelen gerilmeler.....	7
Şekil 2.7. Çekme testlerinin yönleri.	9
Şekil 2.8. Coulomb sürtünme katsayısı.	10
Şekil 2.9. Çekme işleminde gözlenen hatalar	11
Şekil 3.1. a) Belirgin olmayan akma göstermeyen malzemeler b) Belirgin akma dayanımı gösteren malzemeler.....	14
Şekil 3.2. Çekme testi numunesi ve ölçüleri (mm).	14
Şekil 3.3. Fiji ImageJ görüntü işleme programı yardımıyla 25°'de çekme testine maruz bırakılmış DP600 çeliğinin %0,2 akma noktasının tespiti.	15
Şekil 3.4. Kare kap için ortalama zımba çapının (dzımba) belirlenmesi.....	16
Şekil 4.1. DP600 ve DP800 sacının yöne bağlı karakteristiğinin belirlenmesi için, hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° doğrultulardaki çekme test sonuçları. a) DP600 b) DP800.	17
Şekil 4.2. Çift fazlı çeliklerin mikroyapı görüntüleri a) DP600, b) DP800.....	18
Şekil 4.3. Derin çekme işleminde karşılaşılan hata sınır eğrilerinin, baskı plakası kuvveti – derin çekilen malzemenin yüksekliği grafiğinin şematik gösterimi.	18
Şekil 4.4. Deney düzeneği.	19
Şekil 4.5. a) Teflon film (0,25 mm) b) Graphite 702 (yağlayıcı).	20
Şekil 4.6. DP600 kare derin çekilmiş malzemeler.	21
Şekil 4.7. DP800 kare derin çekilmiş malzemeler.	21
Şekil 4.8. Kalınlık değişimi ölçüm noktaları.	21
Şekil 4.9. Taranmış Numuneler a) Ø 70 b) Ø 72 c) Ø 74.....	22
Şekil 4.10. DP600, t=1 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.	22
Şekil 4.11. Taranmış Numuneler a) Ø 68 b) Ø 70 c) Ø 72.....	23
Şekil 4.12. DP800, t=1 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.	23
Şekil 4.13. Deneylerde kullanılan gerinim-gerilim eğrisi- DP600.	25
Şekil 4.14. Deneylerde kullanılan gerinim-gerilim eğrisi- DP800.	25
Şekil 4.15. Dişi kalıp ve zımbaya ait ağ yapıları.	26
Şekil 4.16. Baskı plakası ve sac numuneye ait ağ yapıları.	26
Şekil 4.17. Kalıp prosesine ait ağ yapıları.	27
Şekil 4.18. DP600 kare derin çekilmiş kaplar.....	27
Şekil 4.19. DP800 kare derin çekilmiş kaplar.....	28
Şekil 4.20. DP600 Ø 72 örnek ölçüm değerleri.	28
Şekil 4.21. DP600, t=1 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.	29
Şekil 4.22. DP800, t=1 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.	29
Şekil 4.23. DP600 malzemesine ait SEY ve deneysel kare şekillendirmenin kalınlık değişimleri.....	30
Şekil 4.24. DP800 malzemesine ait SEY ve deneysel kare şekillendirmenin kalınlık değişimleri.....	30

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 4.1 DP600 ve DP800 malzemelerin kimyasal bileşimi.17



KISALTMALAR

AHSS	Advanced High Strength Steel
BPK	Baskı Plakası Kuvveti
DÜBAP	Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
DÜBİT	Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi
HSS	High Speed Steel
FEM	Finite Elements Method
LSR	Limit Shrinkage Ratio
PLC	Programmable Logic Controller
SÇO	Sınır Çekme Oranı
SSAB	İsveç Çelik Firması
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi



SİMGELER

Cu	Bakır
σ	Plastik Gerilme
c	Malzeme Sabiti
m	Gerinim Hızı Duyarlılığı Üssü
CO ₂	Karbondioksit
ε_w	Genişlikteki Gerinim
ε_t	Kalınlıktaki Gerinim
r	İzotropik Malzeme
F	Sürtünme Kuvveti
P _n	Normal Kuvvet
μ	Sürtünme Katsayısı
τ_i	Sürtünme Gerilmesi
P	Basma Gerilmesi
d _d	Kalıp İç Çapı
d _b	Test Parçası Çapı
r _{cd}	Kalıp Köşe Radyüsü

ÖZET

ULTRA YÜKSEK MUKAVEMETLİ SAC METAL MALZEMELERİN KARE DERİN ÇEKİLMESİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

İsa ÇOLAKOĞLU

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN

Ocak 2020, 33 sayfa

Araç üreticilerinin talepleri doğrultusunda çelik üreticileri tarafından yüksek ve ultra yüksek mukavemetli sac metal malzemeler High Speed Steel (HSS) ve Advanced High Strength Steel (AHSS) üretilmiştir. Bu tür malzemeler; otomotiv, uzay ve savunma sanayi vs. gibi farklı sektörlerde kullanımı şekillendirilebildikleri oranda her geçen gün artmaktadır. Bu artışa, bu alanda yapılan ve devam eden akademik çalışmalar büyük katkı sağlamaktadır. Yüksek mukavemet gibi büyük avantaja sahip olmasının yanında düşük yüzde uzamalarına sahip olması şekillendirme açısından dezavantaja sahiptir. Sac malzemelerin maksimum şekillendirme oranı Sınır Çekme Oranı (SÇO) ile ifade edilmektedir. Bu deneysel çalışmada; İsveç çelik firması (SSAB) tarafından üretilmiş çift fazlı çeliklerden DP600 ve DP800 malzemenin kare derin çekilmesi işlemi hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemi (SEY) olan ve sadece metal şekillendirme için geliştirilen Simufact Forming 16 versiyonu kullanılarak şekillendirilmiştir. Deneysel çalışmalar, çift etkili 50/20 ton kapasiteli Programmable Logic Controller (PLC) kontrollü hidrolik pers'te gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaya geçmeden önce ısı girdisini önleme adına sujeti marifetiyle çekme test malzemeleri kesilmiştir. Test sonucunda elde edilen veriler SEY işleminde kullanılmıştır. Şekillendirmeyi etkileyen parametrelerden sürtünme ve baskı plakası kuvveti optimize edilerek SÇO DP600 malzeme için 1,97 DP800 malzeme için 1,92 olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda ise SEY sonucunda elde edilen SÇO değerleri benzerlik göstermektedir. Ayrıca kullanılan bu iki yöntem sonucunda sürtünme değeri coloumb değeri olarak 0,03 olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma bize SEY yönteminin deneysel çalışmaya geçmeden kullanılacak olması hem maliyet hem de zaman anlamında büyük avantaj sağlayacağını göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Çift fazlı çelikler, DP600, DP800, Kare şekillendirme.

ABSTRACT

ANALYSIS OF SQUARE DEEP DRAWING OF ULTRA HIGH STRENGTH SHEET METAL MATERIAL AS EXPERIMENTAL AND NUMERICAL

İsa ÇOLAKOĞLU

Düzce University

Institute of Science, Department of Manufacture Engineering, Master's Thesis

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nuri ŞEN

January 2020, 33 pages

High and Advanced High Strength Sheet Materials (HSS and AHSS) are produced in line with automotive manufacturers' requests by steel producers. These kinds of materials; directing and shaping the usage increase in automotive, space and defence industry etc. day by day. Academic researches which are placed and ongoing in this field provides a positive effect on that increase. Besides it has a great advantage as high strength, it has a disadvantage because of low elongation characteristic in terms of shaping. Maximum Shaping Rate of Sheet Metals is expressed as Limit Shrinkage Ratio (LSR). In this experimental study; square deep Extrusion operation of dual-phase steels DP600 and DP800 which are produced by Sweden steel company (SAAB) is formed by using Simufact Forming version 16 which has both Finite Elements Method (FEM) and Experimental Method and is only developed for metal shaping. Experimental studies are performed with dual effect 50/20 ton and PLC controlled the hydraulic press. Before continue with the experimental study, Extrusion test materials are cut by waterjet to prevent heat effect. Materials out of cutting operation are used in FEM. Optimizing Friction and hold-down force which affects shaping, LSR is found 1,97 for material DP600 and 1,92 for material DP800. In Experimental Studies, LSR results which are found in FEM show similarity. On the other hand, using these two methods, Friction Value is found 0,03 as a column. This study shows us, using LSR before Experimental Study provides us big advantages in both cost and time.

Keywords: Dual-phase steels, DP600, DP800, Square shaping.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, artan rekabet ve talep ister içten yanmalı araçlarda olsun ister her geçen üretimi artan elektrikli araçlarda olsun daha güvenli, daha ucuz, çevreyi daha az kirletici ve ağırlık/dayanım oranı daha düşük otomobiller üretmek olmuştur [1]. Belirtilen ve arzu edilen bu özellikleri yakalamak için otomobil üreticileri, çelik firmaları ve bu alanda çalışan akademisyen tarafından yeni tür çelik üretmek için yoğun çaba içinde olmuşlardır. Bu çalışmalara özellikle çelik üreticilerin hem alt yapısının gelişmiş olması hem de Ar-Ge faaliyetlerine azami oranda değer vermeleri sonucunda yüksek ve ultra yüksek mukavemete sahip çelikleri üretmişlerdir. Bu çeliklerin üretilmesiyle otomotiv endüstrisi, büyük gelişmelere imza atmaktadır. Özellikle şu günlerde elektrikli araçların gün geçtikçe artması, üzerinde çalışılması için gereken iki önemli konu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi bataryaların geliştirilmesi. İkincisi ise bataryalarla iyiden iyiye artan araç gövde ağırlığını azaltmak için HSS ve AHSS çeliklerin şekillendirme oranlarının geliştirilmesidir.

SÇO geliştirmek için, şekillendirmeyi etkileyen parametrelerden; malzemenin mekanik özellikleri, sıcaklık, baskı plakası kuvveti (BPK), sürtünme, kalıp boşluğu gibi başlıklar [2] altında yapılmış çalışmalar mevcuttur. Literatüre baktığımızda bu alanda yapılmış akademik çalışmalar;

Lin vd. yaptıkları çalışmada, derin çekme işleminde kalıp boşluğu ve zımba arasındaki sürtünmeyi arttırmak ve zımba üzerine uygulanan zımba çekme kuvvetini dağıtmak ve yüzeyleri zımbalamak için mikro kalıplar entegre etmişler. Derin çekmede kullandıkları 0,2 mm kalınlığındaki UNS27200 bakır alaşımli sac malzemenin şekillendirme kuvvetini % 3 oranında artırırken derin çekilebilirlik en az % 100 arttığını hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemiyle göstermişlerdir [3].

Chen vd. magnezyum alaşımli AZ31 malzemesinin kare derin çekilebilirliğini oda sıcaklığında, 100 °C, 150 °C, 200 °C ve 250 °C'lerde hem deneysel hem de sayısal analiz çalışmalarını birlikte değerlendirmiştir. Her iki deney sonucunda yırtılmadan maksimum derinliğe 200 °C'de yakalamıştır. Sıcaklığın şekillendirme üzerine olumlu etkisini ortaya koymuştur [4].

Younis vd. yaptıkları çalışmada düşük karbon çeliklerinden 1008-AISI malzemesinin kare derin çekilmesini hem deneysel hem de sayısal analiz programı ANSYS11.0 ile şekillendirme çalışması yürütmüştür. Çalışma sonucunda radyal boşluğun kap yüksekliğine, kap duvar kalınlığının kalıp Radius üzerine etkisini incelemiştir. İnceleme neticesinde radyal boşluğun azalmasıyla kap yüksekliğinin arttığı, kalıp radyüsün artmasıyla kırışıklık oluşumunun artacağını ve kalıp radyüsün azalmasıyla kabın incelmesinin arttığını rapor etmişlerdir [5].

Karaağaç ve Özdemir yaptıkları çalışmada, Bakır (Cu) ve Erdemir 6112 (DC01) sac metalleri hidromekanik derin çekme deney düzeneğinde kare geometrili kap olarak şekillendirilebilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada farklı sıvı basınçlarında, farklı kalıp radiüslerinde, farklı hızlarda ve farklı kalınlıklarda deneyler gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda her iki malzeme için de tek seferde 2,6 sınır çekme oranına ulaştığı diğer derin çekme işlemlerine göre daha homojen kalınlık dağılımı elde ettiklerini belirtmişlerdir [6].

Demirci vd. ticari AA5754-O malzemesinin kare kap şekillendirmesinde baskı plakası kuvvetinin derin şekillendirme üzerine hem deneysel hem de LS-DYNA analiz programıyla sayısal analiz çalışması yürütmüşlerdir. Bu çalışma sonucunda, 1,3 ile 8 MPa arasındaki baskı plakası kuvvetlerinde kırışıklığın ve yırtılmanın oluşmadığı, 18 MPa'daki baskı plakası kuvvetinde yırtılmanın oluştuğu fakat en iyi sonucun 5 MPa'da gözlemlendiğini belirtmiştir. Deneysel ve sayısal analiz çalışmaları arasında % 85 oranda benzerlik oluştuğunu duyurmuştur [7].

Gavas ve Izciler kare derin çekmede kalıp boşluğunun şekillendirmeye olan etkisini deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışmada, 1 mm kalınlığındaki alüminyum malzemenin kare derin çekilmesinde baskı plakası ile kalıp arasındaki boşluk 1 mm'den 1,8 mm arasındaki değerlerde gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, boşluk değerinin artmasıyla daha fazla malzemenin kalıp boşluğuna çekilebileceğini, daha büyük boşlukların kırışıklığa sonrasında yırtılmalara sebebiyet verdiğini ve 1 mm ve 1,7 mm arasındaki boşluklarda yırtılmadan malzemenin derin çekilebildiği fakat 1,3 mm'den sonraki boşluklarda yüzey kalitesinde bozulmaların başladığını açıklamışlardır [8].

Yapılan bu yüksek lisans tezinin amacı, firmalar tarafından geliştirilen AHSS çeliklerin kullanım oranını artırmak için şekillendirme oranlarını geliştirmektir. Bununla beraber bu tür çelikleri kullanarak otomotiv firmaları araç gövde ağırlığını azaltmış, müşterilerin

talebi olan kaza anında yaşam mahallini daha az hasara sebebiyet vermiş ve hükümetlerin beklentisi olan çevreye daha az zararlı CO₂ gazının salınması sağlanmış olacaktır.

Yapılan bu yüksek lisans tezinin literatüre katkıları ise, öncelikle SEY yöntemiyle şekillendirmeyi etkileyen parametrelerden BPK ve sürtünme değeri optimize edilmiştir. Bu yöntemin sonuçları deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu ortaya konmuştur. AHSS çeliklerin SÇO belirlenmiştir. SEY kullanılmasıyla rekabetçi ortamda deneme yanılmada kaybedilen zaman ve maddi kaybın önüne geçileceği ortaya konmuştur. Bu çalışmayı okuyan yeni akademisyen adayları ve otomobil parçası üreten firmalar geliştirilmiş ve yeni geliştirilecek olan çelikleri otomobillerde, savunma sanayiinde ve havacılık sektöründe kullanılmasını sağlayacak bilgileri ve bulguları kullanılmasına olanak sağlamaktadır.



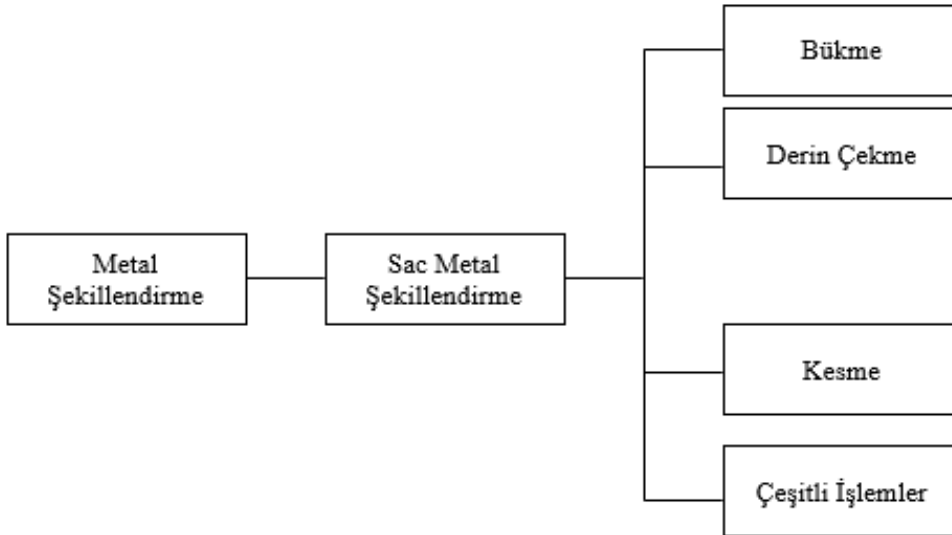
2. TEMEL BİLGİLER

2.1. METAL ŞEKİLLENDİRME

Şekillendirme, belirli bir geometrik şekle sahip bir parçanın kütleini veya malzeme kompozisyonunu bozmadan başka bir geometrik şekle dönüştürüldüğü bir imalat yöntemi olarak tanımlanır [9]. Sac malzemeye akma noktasından daha fazla kuvvet uygulanarak kalıp geometrisinin şeklini alması işlemine deformasyon denir. Metal şekillendirme temel olarak iş parçası kalınlığına göre iki ana gruba ayrılır; dökme metal şekillendirme ve sac şekillendirme [10].

2.2. SAC METAL ŞEKİLLENDİRME

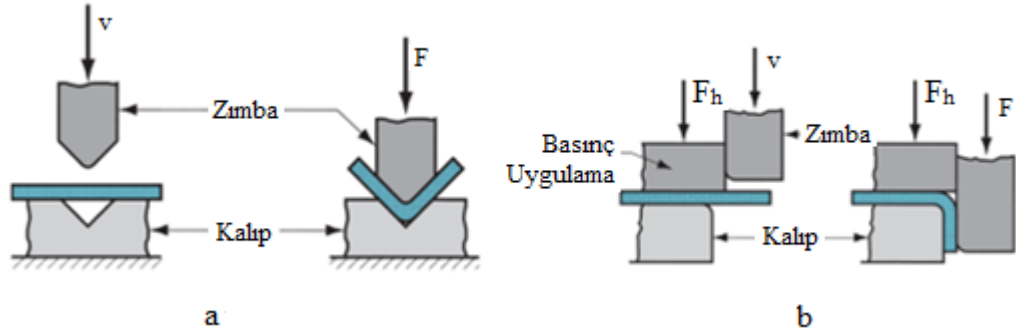
Sac şekillendirme metalik malzemenin plastik deformasyona uğrama işlemidir. Şekillendirmede kullanılan parçalar metal saclar, şeritler ve rulolardır. “Zimba, BPK ve kalıp adı verilen üç kalıp malzemesiyle gerçekleştirilir. Sac metal şekillendirme genellikle iki tiptedir, oda sıcaklığında gerçekleştirilen soğuk şekillendirme ve yeniden kristalleşme sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara ısıtıldığı gerçekleştirilen sıcak şekillendirme. Sac metal şekillendirme işlemlerinin sınıflandırılması Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Sac metal şekillendirme işlemlerinin sınıflandırılması.

2.2.1. Bükme

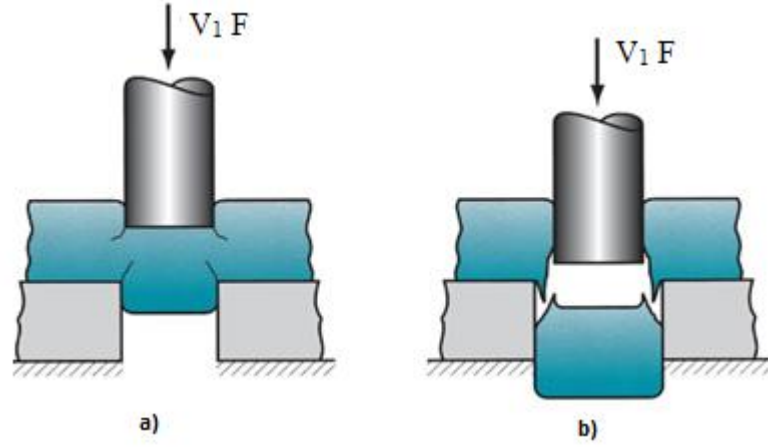
Tarafsız eksen çevresinde bükülen sacın çekme ve basma gerilmeleri altında şekillendirilmesi işlemidir. Malzeme, plastik deformasyona uğrayarak kalıcı şekil değiştirir. Kuvvet sac malzemenin üzerinden kalktıktan sonra şekil değişiminin elastik kısmı geri yaylanmaya neden olur. Bükme işlemi sonucundaki sac kalınlığında özellikle büküm bölgesinde az da olsa bir incelmeye neden olur. Bükme işleminde iki yöntem yaygın olarak kullanılır. Bunlar Şekil 2.2’de verilen V bükme ve kenar bükmedir (kıvrırma). Bükmede görülen en önemli yaygın problem geri yaylanma olayıdır.



Şekil 2.2. a) V bükme b) Kenar bükme [11].

2.2.2. Kesme

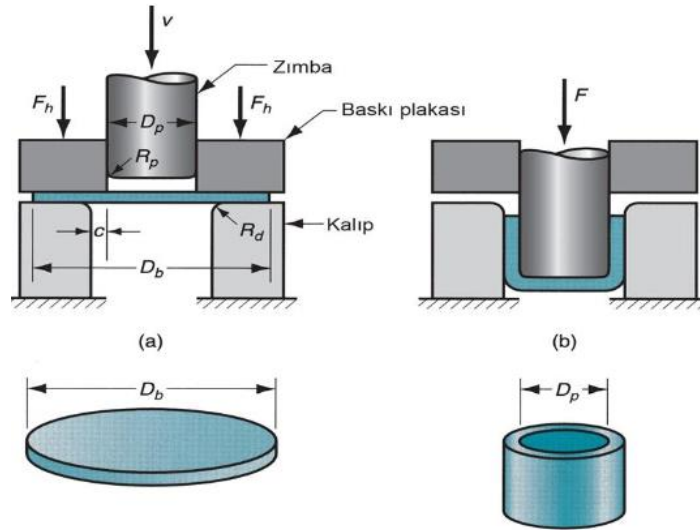
Sac parçasının biri sabit (kalıp) diğeri hareketli (zımba) iki keskin kalıp elemanları arasında makaslama işlemidir. Sac metal kesme işlemindeki parametreler kalıp ve zımba arasındaki kesme boşluğu, sac parçasının kalınlığı, sac malzemenin cinsi, mukavemeti ve kesme uzunluğudur. Kesme operasyonundaki kesme boşluğu (c) kalıp ile zımba arasındaki mesafedir. Bu boşluk malzeme özelliğine ve kesilecek parçanın kalınlığına bağlı olarak hesaplanır. Klasik kesme işlemlerde sac kalınlığının %4 ila %8'i kadar olan bu boşluk çok hassas kesme ve parça çıkarma işlemlerinde ise sac kalınlığının %1'i kadardır. Kalıp boşluğu optimum değerinden küçük olması durumunda gerekli kesme kuvveti büyüyecek, kesme boşluğun fazla olması durumunda ise çapağı büyütecek ve ürün kalitesini olumsuz etkileyecektir [11]. Şekil 2.3’de, silindirik bir sac’ın kesme işleminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.3. Saçın kesme boşluğunun a) küçük olması b) büyük olması durumu [11].

2.2.3. Derin Çekme ve Derin Çekme Mekanikği

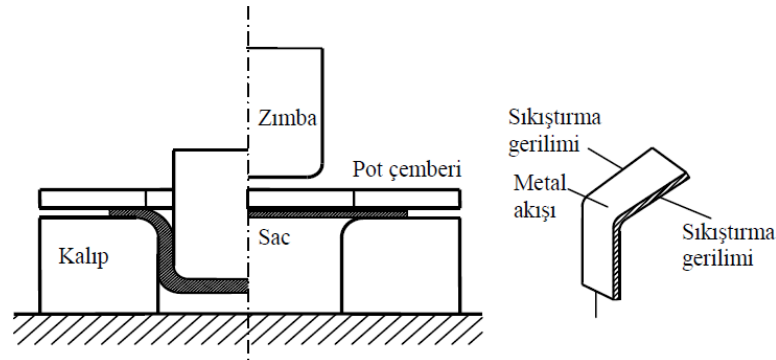
İki boyuta sahip, düzlemsel iş parçasını zımba yardımıyla sac metal parçayı kalıp boşluğu üzerine bastırılarak belirli derinlik ve şekillere sahip üç boyutlu paçalar elde edilmesi işlemine “çekme” denilmektedir. Çekme yardımıyla elde edilmesi düşünülen şekiller birden fazla şekillendirme operasyonu ile oluşturulabilirler. Bu şekillendirme yöntemi önemli bir imalat yöntemidir. Yöntem kare, dairesel veya karmaşık şekle sahip parçaların imalatında pek çok avantaj sunmaktadır. Başta otomotiv sektörü olmak üzere mutfak, iklimlendirme elemanları, ev aletleri gibi pek çok imalat alanında yaygın olarak tercih edilmektedir. Şekil 2.4’de, d çapına sahip silindirik bir kabın derin çekme işlemiyle elde edilmesinin şematik gösterimi verilmiştir [2], [11].



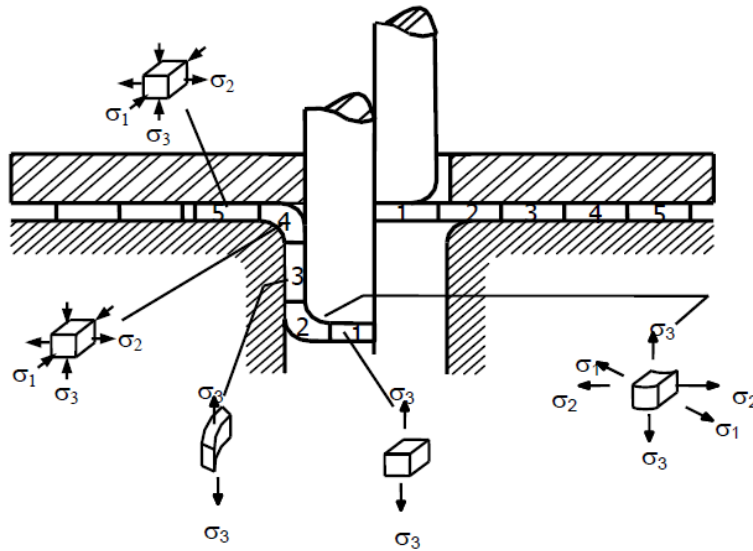
Şekil 2.4. Derin çekme işleminin şematik gösterimi [11].

2.2.4. Derin Çekmenin Gerilim Bölgeleri

Derin çekme esnasında, zımba ve BPK nedeniyle, farklı gerilim bölgeleri oluşur. Bunlar; zımba temas bölgesine uygulanan kuvvet bölgesi, derin çekilen kabın duvar bölgesi ve flanş bölgeleridir [12]. Farklı noktalarda çekme etkisi oluşur. Bu olay zımbanın ilerlemesiyle maksimum değere ulaşır zımba bölgesinden kırılır. Sacın flanş bölgesine baskı plakası kuvvetinden dolayı gerilim, radyal çekme gerilimi ve baskı gerilimlerine maruz kalabilir. Derin çekilen kabın duvar et kalınlığı yukarıdan aşağıya doğru azalır. Derin çekme mekaniğini Şekil 2.5'te ve gerilim dağılımını Şekil 2.6'da verilmiştir [11].



Şekil 2.5. Derin çekme mekaniği [13].



Şekil 2.6. Derin çekme esnasında parçada meydana gelen gerilmeler [13].

2.2.5. Derin Çekmeyi Etkileyen Parametreler

Sac metal malzemelerin şekillendirilebilirliğini etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Bun etkenler, malzeme ve işlem prosesi olarak iki gruba ayrılabilirler. Bunlardan proses faktörleri, saca uygulanacak zorlanmanın cinsini belirlerken, malzeme etkenleri ise bu

zorlanmaya karşı dayanabilecek malzemenin faktörünü belirler.

2.2.5.1. Şekillendirmedeki “m” Değerinin Etkisi

Malzeme şekillendirilirken oluşan sertleşmeleri yenmek için daha çok gerilmeye ihtiyaç duyulduğundan şekil değiştirme üniform olarak dağılır. Akma noktasından sonraki deformasyon miktarı m (Deformasyon Hız Duyarlılığı Üssü) ile yakın ilişki bulunmaktadır [14].

Gerilim hızı hassasiyet üsteli “ m ” pozitif ve yüksek olan saclarda boyun verme olayından sonraki şekil değiştirme miktarı artar. Bu tür sac metal malzemelerde akma noktası bölgesinde plastik gerilme artar ve boyun verme olayının çevreye yayılmasını sağlar. Bu şekilde kalınlık azalması işlemi sadece belirli bölgede değil tüm malzeme yüzeyine üniform olarak dağılmasını sağlar [15].

Sıcak şekillendirmede ($T > 0,5T_m$) gerinim hızının malzeme mukavemetine etkisi çoktur. Sabit sıcaklıkta ve birim değiştirme miktarı için kullanılan bağıntı aşağıda verilmiştir [15].

$$\sigma = c\epsilon^m \quad (2.1)$$

σ = Plastik Gerilme

c = Malzeme Sabiti

m = Gerinim hızı duyarlılığı üssü

2.2.5.2. Şekillendirmedeki “r” Değerinin Etkisi

Anizotropi, sac malzemelerinin şekillendirebilirliğini değerlendiren bir parametredir. Malzemelerin anizotropik özellikler göstermesi, tane sınırları veya fazlar gibi elementler tarafından ortaya çıkan kristalografik yapıdan kaynaklanır [9].

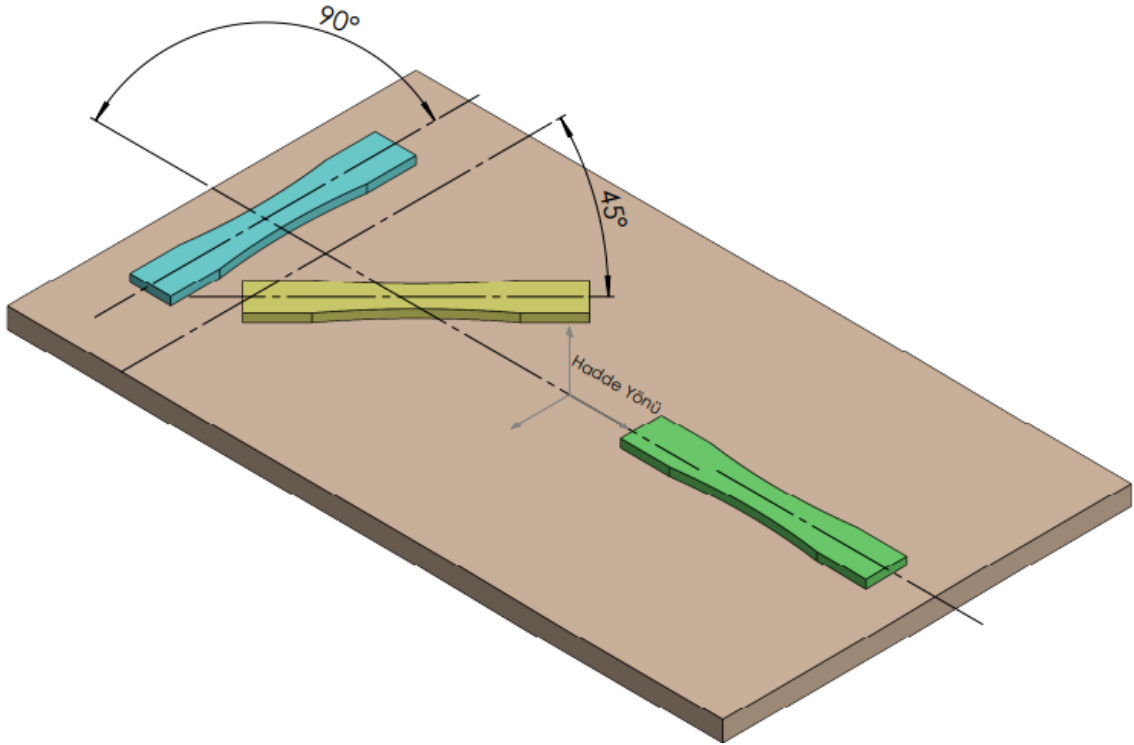
r değeri sac malzemedeki hazırlanan ve tek eksenli çekme deneyinin uygulanmasıyla elde edilir. Anizotropi değeri r Genişlik yönündeki birim şekil değişimi ϵ_w 'nin kalınlık yönündeki birim değişimi ϵ_t 'ye oranı olarak bilinir.

$$r = \epsilon_w / \epsilon_t \quad (2.2)$$

ϵ_w = Genişlikteki gerinim

ϵ_t = Kalınlıktaki gerinim

izotropik malzemelerin “r” değeri 1’dir. Eğer anizotropi değeri 1’den büyük ise, malzeme genişlik yönünde akar ve sac kalınlık yönünde plastik akmada yüksek geçirgenliğe sahip olacaktır. Sac metal malzemelerin çoğu (0°), (45°) ve (90°) yönlerinde farklı özellikleri gösterir. Çekme testlerinin yönlerini gösteren şema Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Çekme testlerinin yönleri.

2.2.5.3. Şekillendirmedeki Sürtünmenin ve Yağlayıcının Etkisi

Sürtünme, aşınma, yağlama konuları ve bunlara bağlı olayları araştıran bilim dalına “Triboloji” denir. Sürtünme, Birbirlerine temas ve bağıl olarak hareket eden iki cismin temas yüzeylerinin hareket veya hareket olasılığına karşı gösterdikleri dirençtir [16].

$$\mu = F/P_n \quad (2.3)$$

F= Sürtünme kuvveti

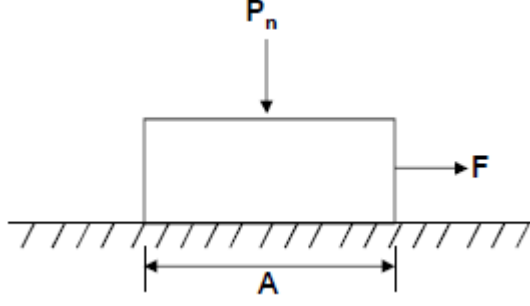
P_n = Normal kuvvet

Ara yüzeydeki basma gerilmesi;

$$P = P_n/A \quad (2.4)$$

Sürtünme gerilmesi veya ara yüzey kayma gerilmesi,

$$\tau_{(i)} = F/A \quad (2.5)$$



Şekil 2.8. Coulomb sürtünme katsayısı.

$$\mu = F/P_n = \tau_i/P \quad (2.6)$$

μ = Sürtünme katsayısı

τ_i = Sürtünme gerilmesi

P = Basma gerilmesi

2.2.5.4. Şekillendirmedeki Baskı Plakası Kuvvetinin Etkisi

Derin çekme işleminde uygulanacak baskı plakasının kuvveti flanş bölgesinde oluşması muhtemel kırışıklıkları önleme adına kullanılır. Şekillenme esnasında malzemenin akışının kontrolünü sağlayan önemli bir faktördür. Uygulanacak olan bu kuvvetin belirlenmesinde etkin olan faktörler ise şekillenecek olan malzemenin cinsi, kalınlığı, deney numunesinin çapı, zımba çapı ve kullanılacak yağlayıcıdır. SÇO'nun geliştirilmesine yönelik ileride yapılacak çalışmalar, baskı bölgesi ve baskılayıcı kuvvet çalışmalarının önemli olduğu düşünülmektedir.

Tek tekrarda silindir şeklinde derin çekme işlemi için gerekli BPK aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$F_B = P \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - (d_d + r_{cd})^2) \quad (2.7)$$

P=2,5 N/mm², çelikler için önerilen

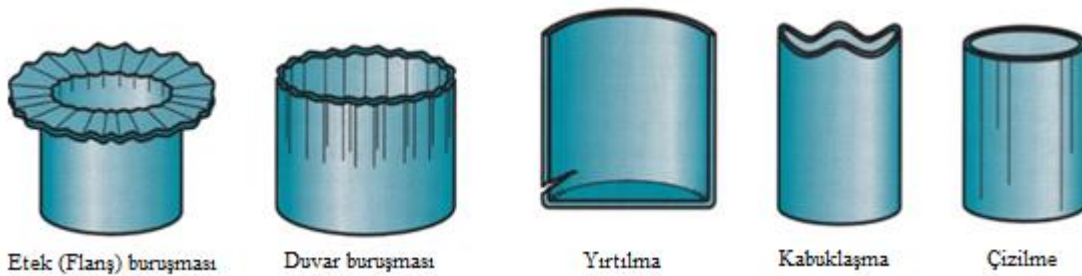
d_d = Kalıp iç çapı

d_b = Test Parçası çapı

r_{cd} = Kalıp köşe radyüsü

2.3. DERİN ÇEKME HATALARI

Sac metal malzemelerin derin çekilmesinde görülen hatalar, erken çatlama, boyun verme olayından dolayı malzeme mukavemetinin azalması, kırışıklık veya buruşma ve geri esnemenin dolayısıyla boyut toleranslarının değişmesi olarak sıralanabilir [17]. Bunların yanında özellikle iri taneli yapıya sahip metalik saclarda parça yüzeyinde pürüzleşme oluşur. İnce taneli sac metalik malzeme kullanılırsa bu sorun ortadan kalkar. Derin çekme işlemlerinde çatlama olayı büyük oranda zımba radyüsünün üzerindeki bölgede oluşmaktadır. Zımba veya kalıp radyüsünün az olması, şekillenecek malzemenin özelliklerinin şekillendirmeye yetersiz olması, BPK'nın yüksek olması, kalıp boşluğunun küçük olması, uygun yağlayıcının kullanılmaması veya yetersiz kullanılması bu hatanın oluşumuna sebebiyet verir [18]. Bu faktörlerin uygunsuzluğunun sonucunda zımba kuvveti artar ve malzemenin kritik bölgede kalınlığının düşmesi ve sonuçta kopma işlemi gerçekleşir. Derin çekmeye uygun malzeme kullanımının yanında zımba kuvvetini azaltıcı önlemlerin alınması ile bu hata giderilebilir. Bazı durumlarda ise çatlama olayı kabın üst veya dış kısımlarında görülür. Bunun durumun sebebi ise malzemenin çevresel dış basınca karşı koyamayacak zayıflıkta olmasıdır. Şekillenmiş kap üzerinde çentik gibi izlerin olması da çatlama sebebiyet verebilir. Kırışıklık olayı ise, kalıp boşluğunun büyük olması, BPK'nın yetersiz olması, kalıp ve zımba radyüsleri ile taslak çapının gereğinden büyük olması veya numunenin çok ince olduğu durumlarda görülür. Gerekli kalıp boşluğunun ve öngörülen BPK'nın hassas ayarlanması ile buruşma önlenir. Şekil 2.9'da derin çekme işleminde gözlenen hatalar verilmiştir [16].



Şekil 2.9. Çekme işleminde gözlenen hatalar [11].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Derin çekme işlemi, sac-metal şekillendirmede yaygın olarak kullanılan önemli bir imalat yöntemidir. Bu imalat yönteminde şekillendirme faktörlerinin ve bu faktörlerin malzeme üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, otomotiv, ev aletleri ve savunma sanayii vb. açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, 19.yy. başından itibaren sac şekillendirme metodunun geliştirilmesine yönelik çalışmalar başlamıştır. Otomotiv üreticilerinin, kullanıcıların ve hükümetlerin çevre kirliliğine önleme adına aldığı kararlar neticesinde fosil yakıt kullanan otomobillerin yerine bu günlerde elektrikli araçlar almaya başlamıştır. Otomotiv firmaları kendi aralarında daha hafif araç üretme noktasında yarış halindedir. Bu talepleri sağlama adına üretilen yüksek ve ultra yüksek mukavemete sahip çeliklerin araçlarda kullanım oranının artırma çabaları gün be gün artmaktadır. Bu çalışmalar otomotiv firmalarının Ar-Ge birimlerinde ve üniversitelerdeki akademisyenler tarafından çalışılan güncel bir konu olmaktadır.

Çalışılan bu yüksek lisans tezinde yüksek mukavemetli çift fazlı çeliklerden DP600 ve DP800 malzemesinin kare şekillenmesinde SÇO'nun tespit edilmesi ve SEY yöntemiyle doğruluğunun sağlanması amaçlanmıştır. SEY yönteminin önemi ortaya konmuştur. Kullanılan bu SEY yöntemiyle deneme yanılmayı ortadan kaldıracak ve hem maddi hem de zaman kazanılmasını ortaya konmuş olacaktır.

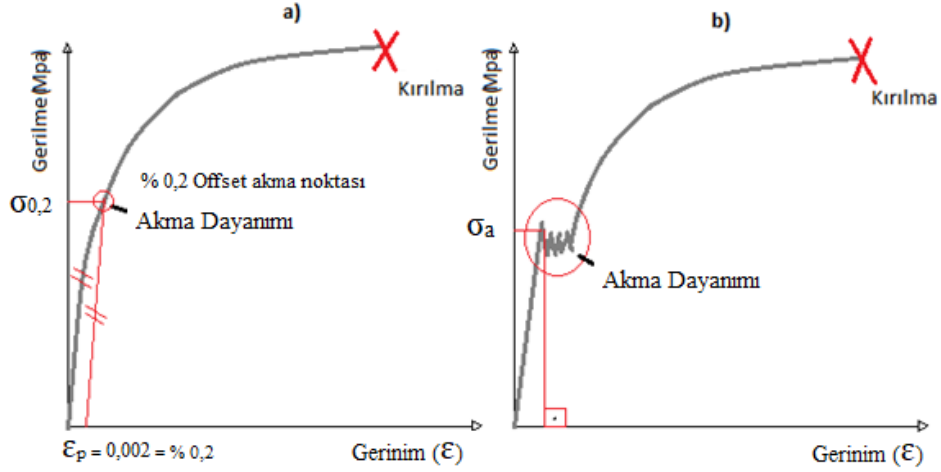
3.2. MALZEME KAREKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada, İsveç çelik üreticisi SSAB firmasından temin edilen 1 mm kalınlığındaki çift fazlı çeliklerden DP600 ve DP800 çeliğine Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında mevcut 100 kN'luk tek eksenli tekme testi cihazında ve kimyasal bileşenlerinin tespiti için Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi'nde (DÜBİT) spektro analiz yapılmıştır.

3.2.1. Çekme Testi

Mühendislik malzemelerinin dış etkenler altında davranışları gözlemlenmede kullanılan en yaygın test yöntemlerinden biridir. Eksenel yüklere maruz bırakılan numunenin mekanik davranışlarını belirlemek için kullanılır. Çekme testi esnasında malzeme artan yükler altında belirgin bir noktaya kadar lineer şekilde uzama gösterir ve yük kaldırılırsa sayet numune ilk haline geri döner. Ancak artan yükler altında bir noktada malzeme artık düzensiz uzama bölgesine girer ve plastik deformasyona uğrar. Artık bu noktadan sonra yük kaldırılırsa dahi numune ilk boyutlarına geri dönemez. Çekme grafiğinde elde edilen ve malzemenin çalışma yüklenmesi aralığını belirleyen akma dayanımı, uygulanan çekme kuvvetleri altında malzemenin elastik bölgeden plastik deformasyon bölgesine geçiş yapmaya başladığı ve düzensiz gerilme değerlerinin ilk görüldüğü noktadır.

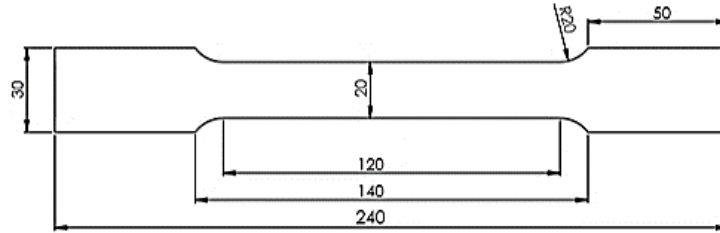
Pek çok mühendislik malzemesi belirgin şekilde akma noktası göstermez. Bu tipte malzemelerin çekme testi sonucunda elde edilen mühendislik çekme diyagramı üzerinden %0,1 ile %0,2 aralığında kalıcı deformasyona sebebiyet veren kuvvetin test numunesinin ilk durumdaki kesit alanına bölünmesi ile elde edilir. Bu kuvvetin belirlenebilmesi için mühendislik çekme diyagramında %0,2 veya 0,002 noktası belirlenir ve elastik kısma ait eğriye paralel çizilir. Bu paralel çizginin diyagram üzerindeki eğriyi kestiği noktaya karşılık dikey eksendeki değer çekme parçasının akma dayanımını verir. Şekil 3.1'a da da görüldüğü üzere birçok mühendislik malzemesinde numuneye uygulanan gerilme bir noktaya ulaştığında artık ilk oluşan lineer çizgi bükülmeye başlayarak sürekli bir eğri olarak numune kırılana kadar devam eder. Ancak Şekil 3.1'b de sürekli akma gösteren malzemelerde gerilme bir noktaya ulaşana kadar lineer artar ve bir noktada eğri kırılarak lüders bantları adı verilen testere ağzı şeklinde belirgin akma bölgesi gösterir ve numune şeklinden bağımsız olması sebebiyle alt akma noktası mühendislik hesaplarında kullanılır.



Şekil 3.1. a) Belirgin olmayan akma göstermeyen malzemeler b) Belirgin akma dayanımı gösteren malzemeler.

3.2.2. Test Parçalarının Hazırlanması

Çekme testi numunelerinin hazırlanmasında ısı girdisini önlemek için su jeti marifetiyle numuneler hazırlanmıştır. Çekme testi numuneleri DIN ISO 6892-1 standardına göre hazırlanmıştır. Bu standart oda sıcaklığındaki metalik malzemelerin çekme testi standardıdır. Test numunenin ölçüleri ve Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çekme testi numunesi ve ölçüleri (mm).

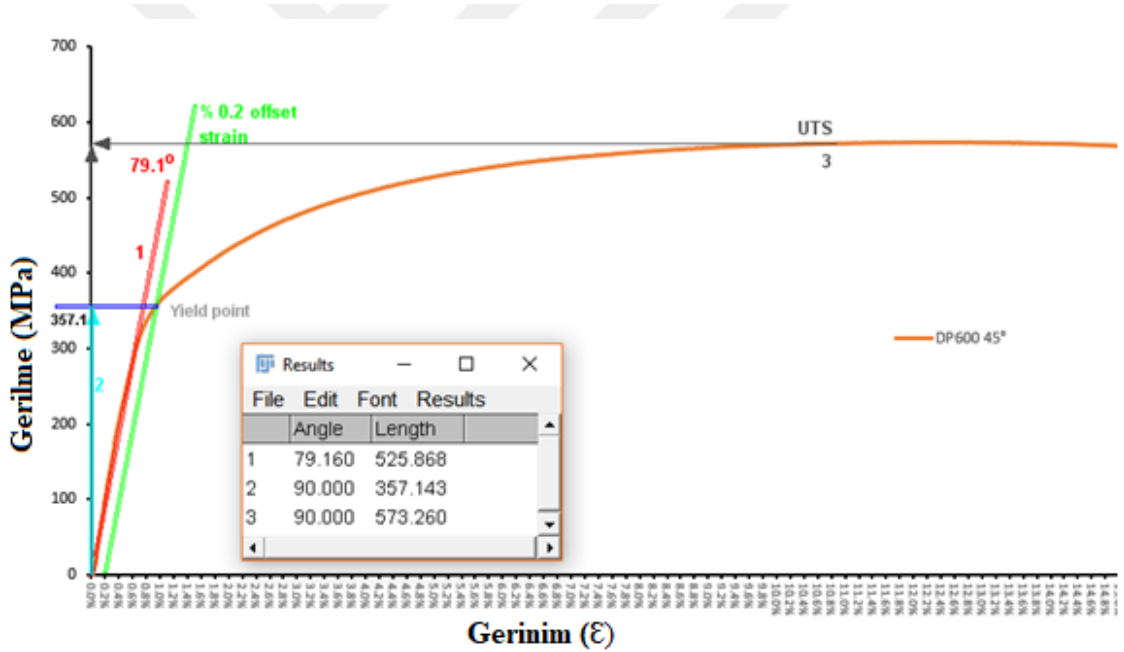
Çekme testleri her biri için 3'er adet hazırlandı ve 100 kN'luk UTEST marka çekme test cihazıyla yapılmıştır. Tek eksenli çekme testinden elde edilen datalar; akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleridir.

3.2.3. %0,2 Akma Noktasının Tayini ve Sonuçlar

Fiji Imagej Görüntü Analiz Programı, Birleşik Devletler Ulusal Sağlık Enstitüsü ve Wisconsin Üniversitesi ortaklığı ile geliştirilmiş açık kaynak kodlu kullanıcılar tarafından sürekli geliştirilen bir ileri düzey görüntü işleme ve analiz etme programıdır. Kullanıcılar plug-in adı verilen makro yazılım ekleyerek kendi özel işlemlerini bu program üzerinde

kolaylıkla yaptırabilmekte ve programa fonksiyon kazandırabilmektedirler.

Belirgin akma noktası bulunmayan mühendislik malzemelerinin %0,2 noktası tespitinde ImageJ programından yararlanılmış olup başarılı çıktılar elde edilmiştir. İlk olarak excel programında grafiği çizdirilmiş olan çekme testi sayısal verilerinin uygun çizgi grafiği kullanılarak mühendislik eğrisi oluşturulur. Ardından PNG veya JPEG gibi yüksek çözünürlüklü formatlarında kaydedilmiş olan bu grafik, ImageJ programına ham halde File>Open aracı kullanılarak veya sürükleyip bırak metodu ile aktarılır. Programın editör ekranına aktarılmış olan görüntü zoom in – zoom out araçları yardımıyla büyütülerek pikseller belirgin hale getirilir. Bu grafiğe ait dikey eksen üzerinde herhangi iki çizgi arasındaki “MPa” cinsinden fark referans alınması programa ölçüm yaptırmak üzere Standard uzunluk olarak tayininde gereklidir. Bu sayede dikey eksen üzerindeki gerilme miktarları piksel mesafeleri olarak programa tanıtılmış olur ve orjin noktasından çekilen eğrilerin uzunluğu gerilme miktarını vermiş olur.



Şekil 3.3. Fiji ImageJ görüntü işleme programı yardımıyla 25° de çekme testine maruz bırakılmış DP600 çeliğinin %0,2 akma noktasının tespiti.

Çekme grafiğinin lineer bölgesinde çizilen ideal lineer çizginin (elastik eğri) eğim değeri “measure (ctrl + M) “aracı ile otomatik olarak elde edilir. Elastik bölgeye ait olan bu eğrinin eğimi ImageJ programına makro kullanılarak yazılmış olan “paralel line” makrosunun (plug-in) programın araç çubuğu üzerindeki ilgili aracına yazılır ve grafikteki yatay % uzama ekseninde %0,2 noktasından ilk çizgiye paralel çizgi çizilir. Eğim sabit olduğu için program herhangi bir sapmaya müsaade etmeyecektir. Bu çekilen

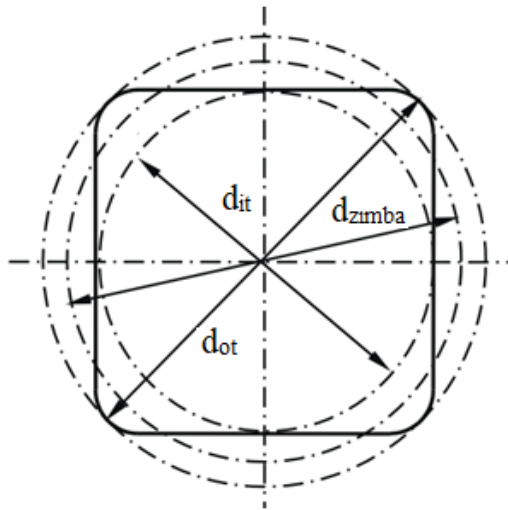
paralel çizginin çekme eğrisi ile kesiştiği noktadan “line aracı + shift tuşu” yardımıyla yatay eksene paralel şekilde dikeydeki gerilim eksenini kestirilir. Son olarak orijinden çekilen “arrow” ışınıyla bir önceki dikey ekseni 90° kesen çizgi ile karşılaştırılır ve “measurement (ctrl m)” aracı ile Şekil 3.3’de gösterildiği gibi ”Result” tablosu otomatik oluşturulur. Bu tablonun 2. satırında elde edilen “Length (Uzunluk)” değeri (gerilme değerlerini tespit etmek için programa ilk etapta piksel uzunluğunu “MPa” cinsinden tanıtmıştık.) %0,2 akma dayanımını verir. Ayrıca tablonun 1. satırındaki angle (eğim) derecesi ilk çizilen (kırmızı çizgi) ideal eğrinin açısını vermektedir.

3.3. KARE DERİN ÇEKME DENEY DÜZENEGİ

Kare derin çekilen kap için SÇO (β) belirlenirken zımba çapı, kare zımbanın iç teğet çapı ile dış köşegen çapının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 3.4. buna göre (β) değerleri, eşitlik 1 ve 2 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\beta = D_{\max} / d_{\text{zımba}} \quad (3.1)$$

$$d_{\text{zımba}} = (d_{\text{it}} + d_{\text{ot}}) / 2 \quad (3.2)$$



Şekil 3.4. Kare kap için ortalama zımba çapının ($d_{\text{zımba}}$) belirlenmesi.

Burada, D_{\max} ilkel parça çapı, d_{it} ve d_{ot} sırasıyla kare zımbanın iç kenar teğet dairelerinin ve dış köşegen teğet dairelerinin çapıdır.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

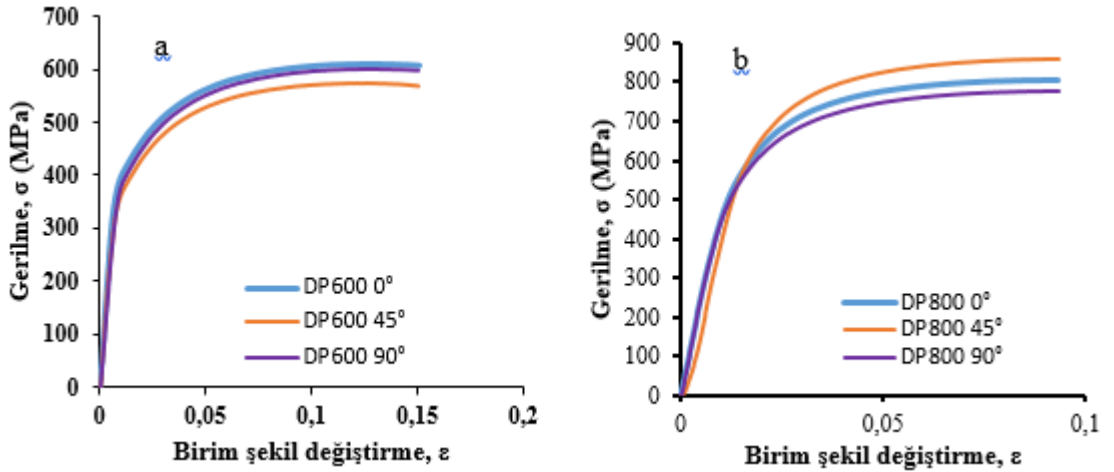
4.1. MALZEME KAREKTERİZASYON TESTLERİ

Bu çalışmada, DP600 ve DP800 sac malzemeler kullanılmıştır. Bu sac malzemelerin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. DP600 ve DP800 malzemelerin kimyasal bileşimi.

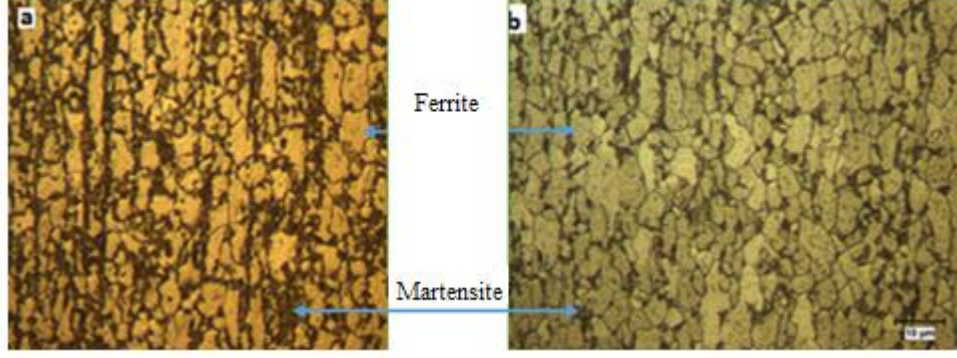
Malzeme	% Element bileşimi (Ağırlık %).							
	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti
DP600	0,097	0,225	0,823	0,0123	0,0120	0,053	0,014	0,007
DP800	0,141	0,214	1,483	0,0106	0,0156	0,085	0,018	0,009

Malzemelerin oda sıcaklığı tek eksen çekme testleri hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° doğrultularında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi sonucunda elde edilen Gerilme-Birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. DP600 ve DP800 sacının yöne bağlı karakteristiğinin belirlenmesi için, hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° doğrultulardaki çekme test sonuçları. a) DP600 b) DP800.

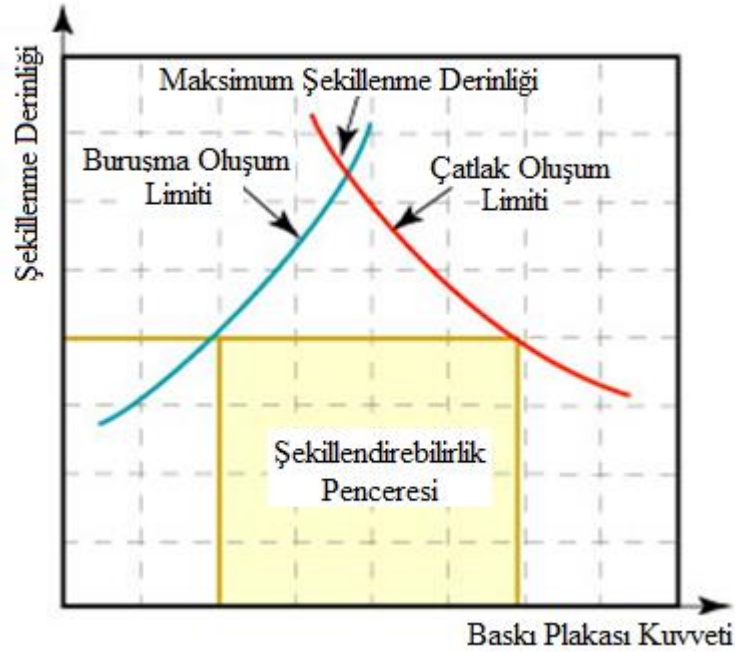
Her iki malzemenin mikroyapı görüntülerindeki ferrit ve martenzit yapısı, bakalite gömülmüş numuneleri zımparalama ve parlatma işleminin ardından %2 nital kullanarak numuneler dağlanmış ve ortaya çıkarılmıştır. Şekil 4.2’deki metal numunelerin mikroskopik görüntüleri incelendiğinde, beyaz bölgeler ferrit fazı gösterirken, siyah bölgeler martenzitik fazı göstermektedir.



Şekil 4.2. Çift fazlı çeliklerin mikroyapı görüntüleri a) DP600, b) DP800.

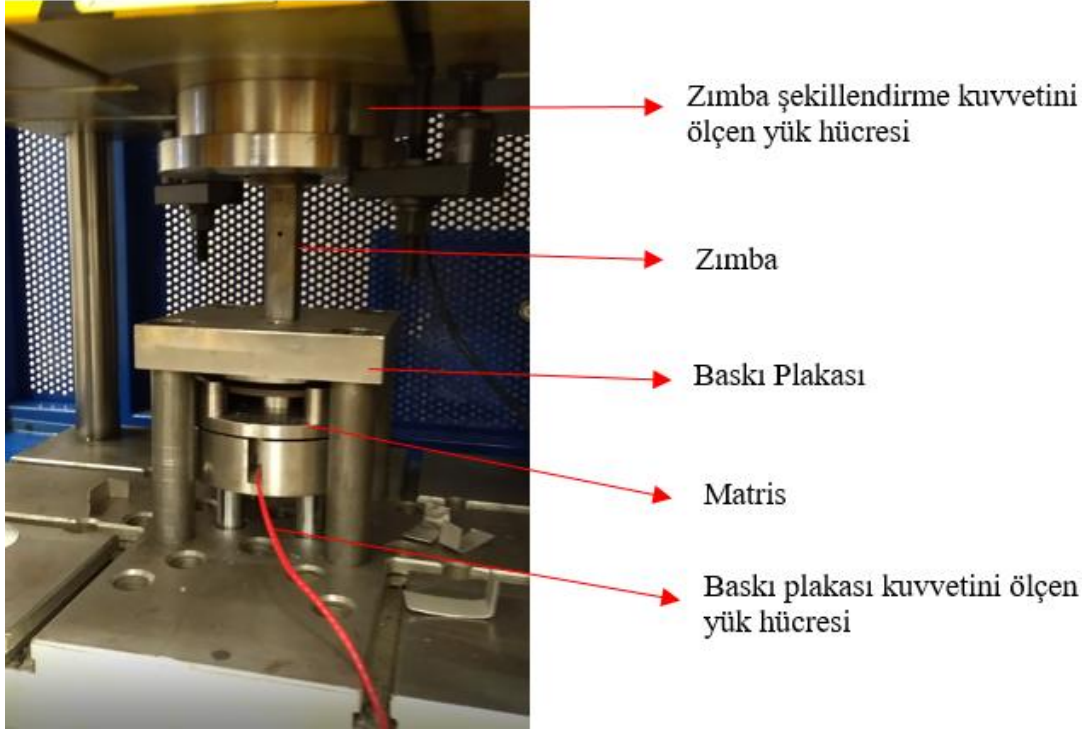
4.2. SINIR ÇEKME ORANI (SÇO)

Derin çekme işlemlerinde karşılaşılan hata sınır eğrilerinin, baskı plakası kuvveti – derin çekilen malzemenin yüksekliği grafiğinin gösterimi Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu grafikten de görüleceği gibi malzemelerin daha derin şekillendirilmesi için kırışıklık ve yırtılma sınır çizgisi aralığı daha da daraldığı görülmektedir. Yapılan yüksek lisans tezinde SÇO artırılmasını, öte yandan derinliğin artırılması hedeflenmiştir. Dolayısıyla uygulanması gereken BPK aralığı malzeme çapının artışı ile azalmaktadır.



Şekil 4.3. Derin çekme işleminde karşılaşılan hata sınır eğrilerinin, baskı plakası kuvveti – derin çekilen malzemenin yüksekliği grafiğinin şematik gösterimi.

BPK ile ilgili diğer önemli konu ise, bu çalışmada hidrolik presin PLC kontrollü olması şekillendirme derinliğinin artışında önemli olan BPK hassas bir şekilde ayarlanabiliyor olması anlamına gelmektedir. Bu önemli konular ışığında, oda sıcaklığı kare derin çekme deneyleri için belirlenen BPK değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığı deneyleri ile SÇO hesaplanmıştır. Deneyler Şekil 4.4’de verilen düzenekte gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Deney düzeneği.

Şekillendirmeyi etkileyen diğer önemli bir parametrede sürtünmedir. Numunenin kare derin çekme işleminde, yağlayıcı; deney malzemesinin, kalıbın ve baskılayıcı plaka temas alanlarının düşük oranda sürtünme kuvvetlerinin tesiri altında kolayca akmasını sağlar. Metal şekillendirmede, sürtünme ve yağlayıcıya etki eden faktörler, deney malzemesi, kalıp yüzey işleme kalitesi, sıcaklık, BPK ve yağlayıcı özellikleridir. Bu özelliklere bağlı olarak yağlayıcının performansı ve sürtünme katsayısını etkiler.

Matrisin içine doğru malzeme akışı sürtünmeden kaynaklanan ve BPK ile matris arasındaki ara yüzeyinde oluşan etkileri kontrol eder. Bu sebepten yağlayıcının doğru seçimi yüksek kaliteli ve derin çekme sınırına sahip ürünlerin imal edilmesini sağlar.

Derin çekme işleminde sürtünmenin en yüksek olduğu yerler Zimba temas bölgesi dışında kalan bölgelerdir. Bu bölgelerde sürtünmenin fazla olması zimba radyüsünde incelmenin fazla olmasına derin çekilen parçada incelmeye neden olur ve

şekillendirmenin ilerleyen aşamalarında malzeme yan yüzeyinde veya radyüs bölgesinden yırtılmaya sebep olur. BPK'nın üst sınırı, yırtılma oluşmadan en yüksek baskılayıcı kuvvet değeri girilerek başarılı derin çekme işlemi ile bulunur. Bu verilen bilgiler doğrultusunda uygun yağlayıcı seçimi yapılmıştır.

Burada sadece yağlayıcı kullanılmamıştır. Çünkü yüksek mukavemetli sacların şekillendirilmesinde yüksek BPK'lerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebepten şekillenme sürecinde yağlayıcı özelliğini kaybetmekte ve malzemenin yırtılmasına sebebiyet vermektedir. Yapılan bu çalışmada sac malzemenin hem BPK hem de matrise olan teması 0,25 mm kalınlığındaki teflon film kullanılarak kesilmiştir. Sac numune üzerine ORAPI (Fransa) firması tarafından üretilen "Graphene 702" isimli grafit bazlı spreyci yağlayıcı ile yağlanmıştır. Bu işlem ile sac numunenin matris içerisine akışı kolaylaştırılmıştır. Dolayısıyla sürtünme kuvvetini düşürmüştür. Teflon film şekillenme işlemi bittikten sonra bile yırtılmamış olması yağlayıcının özelliğini koruması anlamına gelmektedir. Grafit yağlayıcının spreyci olarak üretilmiş olması sac malzemeye kolay bir şekilde uygulamamıza imkân vermiştir.

Bu çalışmada, teflon film ve spreyci birlikte kullanılmasıyla sürtünme kuvveti düşürülmüştür. Bu yöntemin yüksek mukavemet çelik malzemelerin SÇO artırılmasına olumlu katkısı olduğu söylenebilir. Şekil 4.5'de deneylerde kullanılan yağlayıcılar verilmiştir.



Şekil 4.5. a) Teflon film (0,25 mm) b) Graphite 702 (yağlayıcı).

Deneysel çalışmalar Şekil 4.4'deki deney düzeneği ve Şekil 4.5'deki yağlayıcılar ile yapılmış kare derin çekme deney sonuçları DP600 malzeme için Şekil 4.6'da, DP800 malzeme için Şekil 4.7'de verilmiştir. Sırasıyla SÇO DP600 malzeme için 1,97 DP800 malzeme için 1,92 olarak elde edilmiştir.



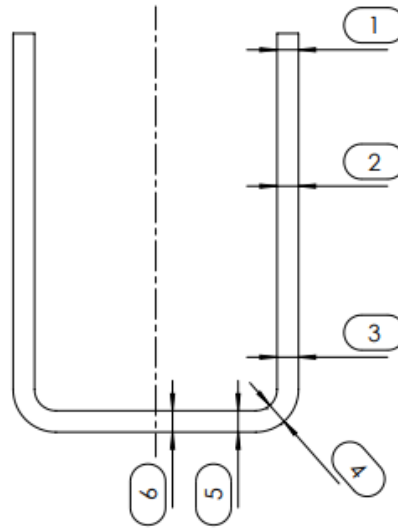
Şekil 4.6. DP600 kare derin çekilmiş malzemeler.



Şekil 4.7. DP800 kare derin çekilmiş malzemeler.

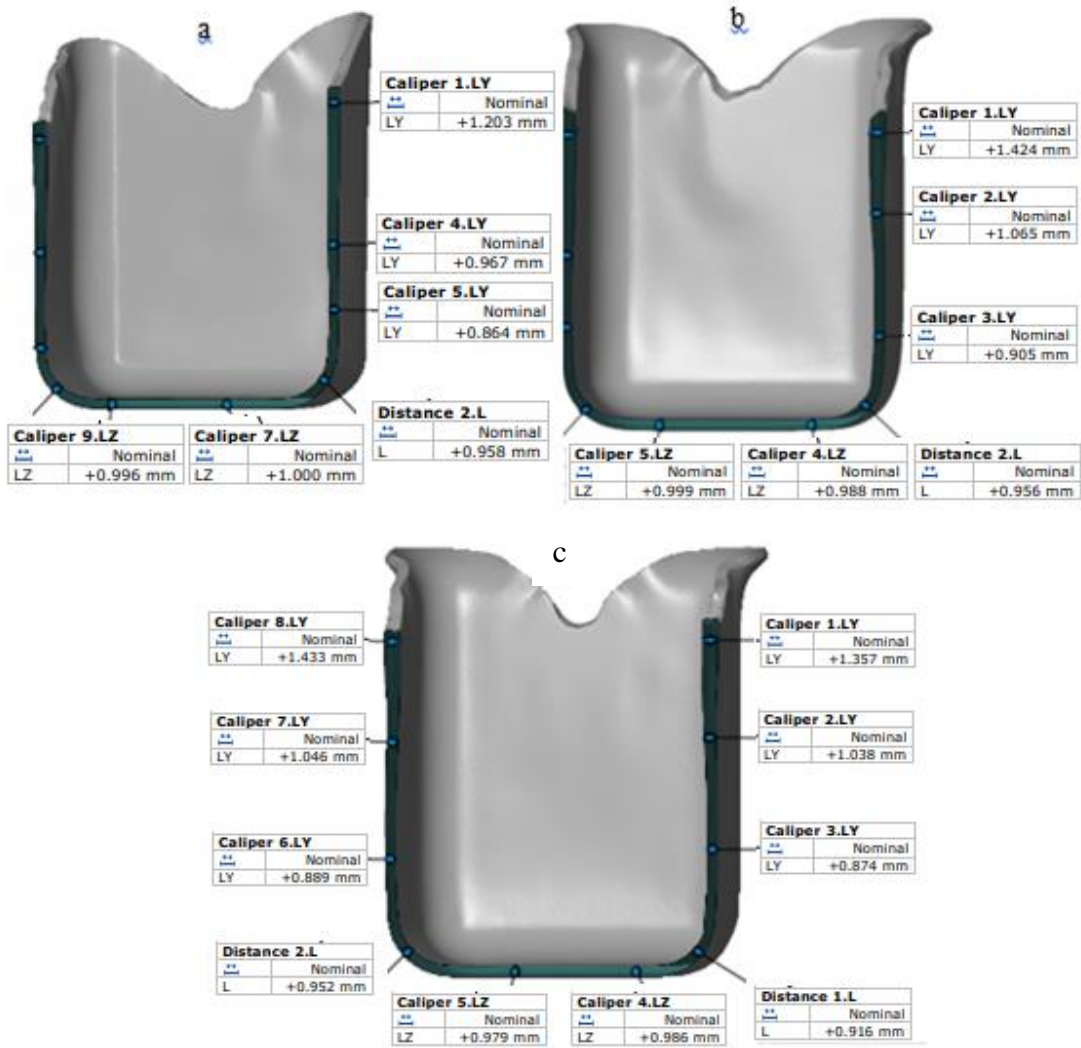
4.2.1. Deneysel Çalışmalarda Kare Derin Çekilmiş Kapların Kalınlık Dağılımı

Kare derin çekilmiş Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki kapların kalınlık değişimlerinin değerlendirilmesi için tersine mühendislikte kullanılan ATOS marka 3D tarama tezgâhında taranmıştır. Taranan numuneler kendi yazılım programıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.11'de görüldüğü gibi hazırlanmıştır.

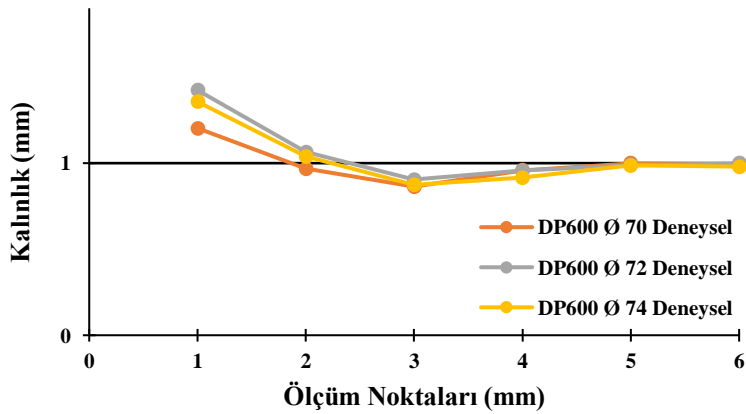


Şekil 4.8. Kalınlık değişimi ölçüm noktaları.

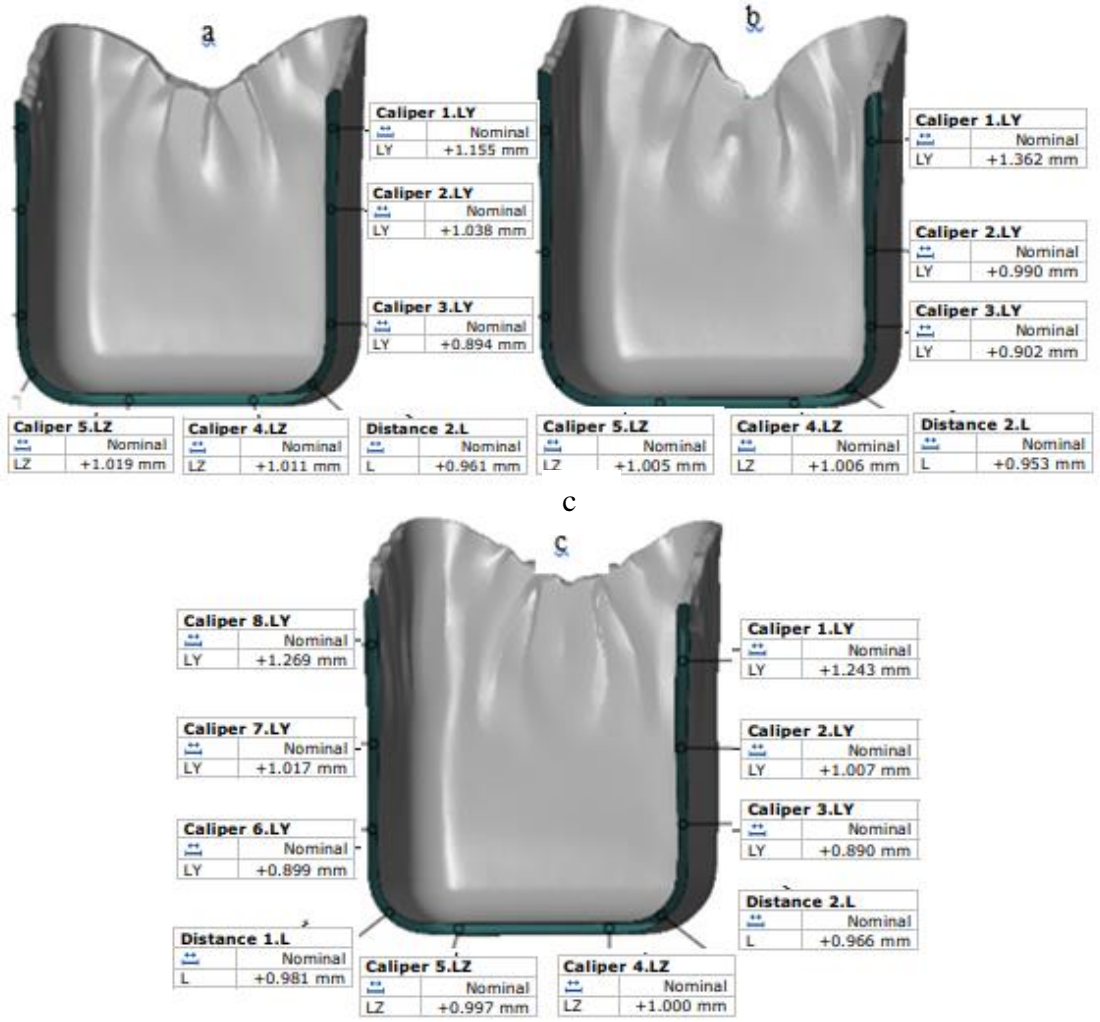
Hazırlanan bu numunelerin kalınlık ölçümleri Şekil 4.8’de belirtilen noktalardan % 0,1 hassasiyet ile ölçülmüştür.



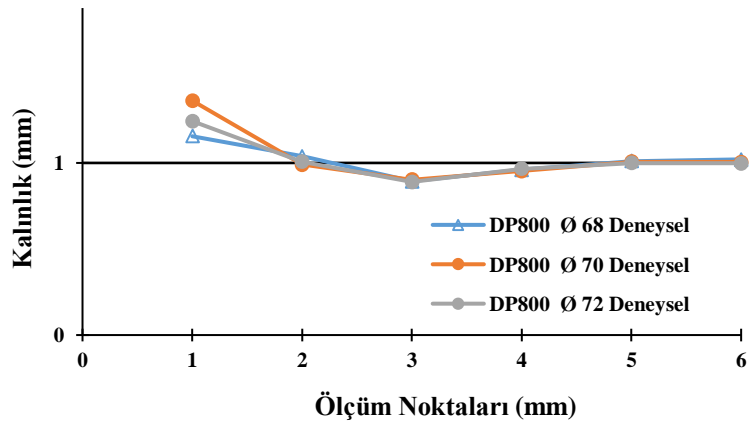
Şekil 4.9. Taranmış Numuneler a) Ø 70 b) Ø 72 c) Ø 74.



Şekil 4.10. DP600, t=1 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.



Şekil 4.11. Taranmış Numuneler a) Ø 68 b) Ø 70 c) Ø 72.



Şekil 4.12. DP800, t=1 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.

4.3. NÜMERİK ANALİZ

Önceki bölümde kare derin çekmenin deneysel çalışmaları incelenmiş ve sac malzemenin mekanik özelliklerle ilgili sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmalar nümerik analizlerle desteklenmelidir, çünkü tüm deneyleri yapmak veya karmaşık geometriye sahip şekilleri hesaplamalar yapmak (pres gücü, BPK değeri, sürtünme vb.) her zaman mümkün değildir. Özellikle sadece belli amaç için tasarlanmış örn. Sadece şekillendirme için tasarlanmış Simufact programı gibi sayısal analizler kullanılarak hem yapılan deneysel çalışmaları destekleyebilir hem de pahalı ve zaman alan deneme yanılma özelliği ortadan kaldırarak deneyler hakkında fikir verebilir.

4.3.1. Sonlu Elemanlar Analizi ve Simufact V16

Deney numunesi üzerinde ortaya çıkan deformasyonların sonlu elemanlar yöntemine göre analizleri özel olarak programlanmış ve sadece şekillendirme programı olan Simufact R16 paket programında gerçekleştirilmiştir. Simufact R16 paket programı şekillendirme operasyonların analizinde oldukça yüksek güvenilirliğe sahip bir metal şekillendirme program olarak bilinmektedir.

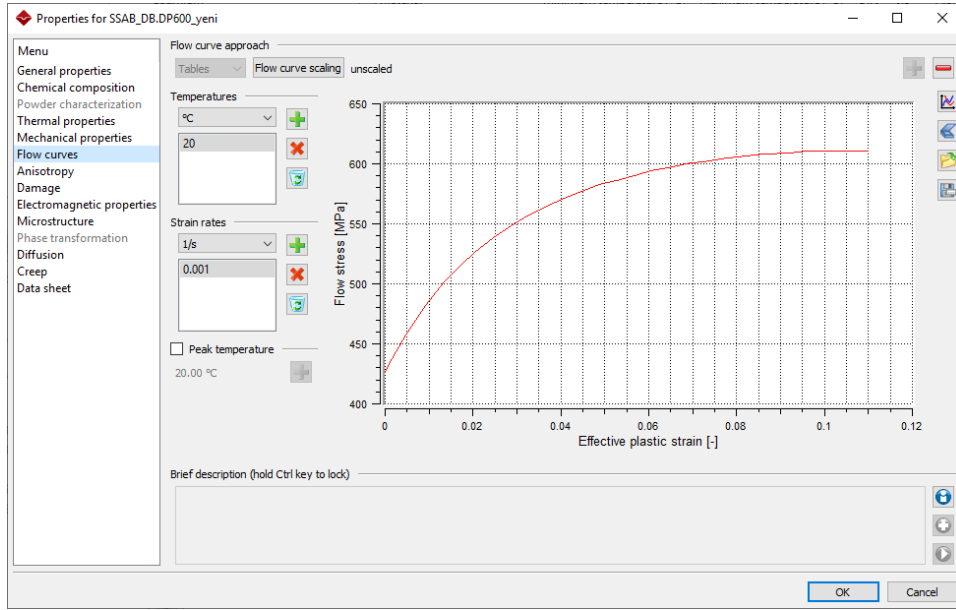
4.3.2. Derin Çekme Deneylerinin Modellenmesi

Kare derin çekme işleminin analiz çalışmalarında öncelikle kalıp elemanlarının ve deneylerde kullanılacak sac malzemenin bilgisayar ortamında tasarlanması, şekillendirme programına aktarılması, ağ yapısının oluşturulması, şekillendirmede kullanılacak ve çekme testi sonucunda elde edilen gerilim-gerinim eğrisinin sisteme tanıtılması gerekmektedir.

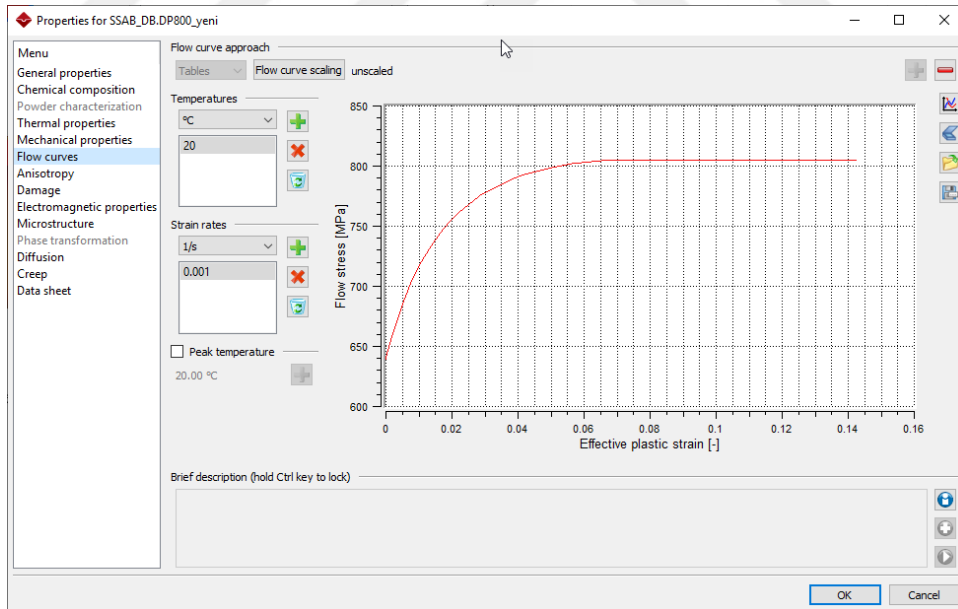
Derin çekme deneylerinde kullanılan kalıba ait geometrik özellikler (kalıp ölçüleri, zımba/matris radyüsleri, vb.) dikkate alınarak deney elemanlarının 3D modelleri SolidWorks 2019 paket programı vasıtasıyla elde edilmiştir. Oluşturulan katı model dosyaları, Simufact paket programında kalıp geometrisini oluşturmak için dosyalar step olarak kaydedilmiştir. Koordinat sistemi SolidWorks’de kullanılan koordinat sistemi esas alınmış, Simufact paket programı için tasarlanan modeller paket programın veri yapısına dönüştürülmüştür.

Analizlere başlamadan önce, kalıp unsurlarının tasarlanmasının ardından, deneylerde kullanılacak olan sac malzemelerinin modelleri oluşturulmuş, oluşturulan model için Isotropic malzeme modeli kullanılmıştır. Malzeme modeli için gerekli olan akma noktası

değeri ve çekme dayanımı, yapılan çekme testi sonucundan elde edilen gerilim-gerinim eğrisinin sisteme tanımlanmıştır. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 de deneylerde kullanılan ve sisteme tanımlanan gerilim-gerinim eğrileri verilmiştir.

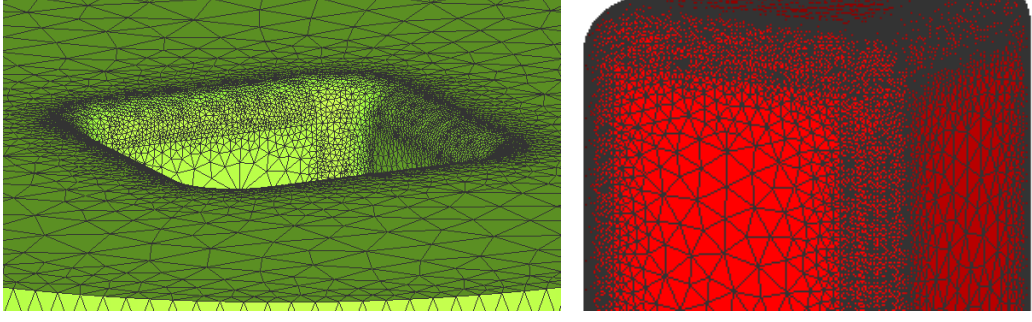


Şekil 4.13. Deneylerde kullanılan gerinim-gerilim eğrisi- DP600.

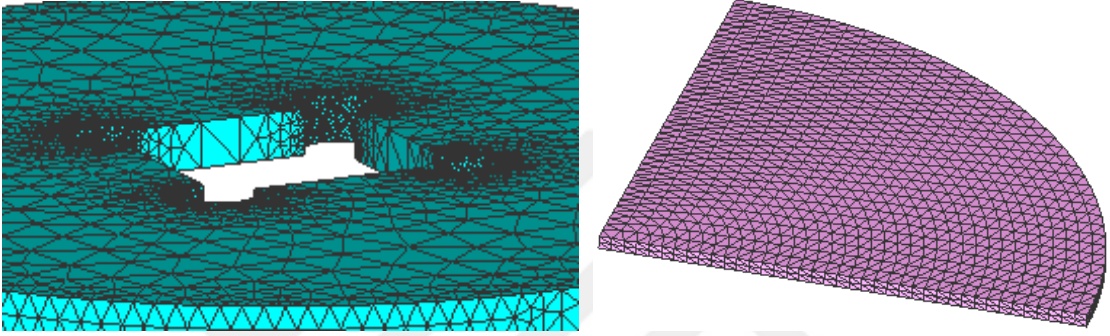


Şekil 4.14. Deneylerde kullanılan gerinim-gerilim eğrisi- DP800.

Kare derin çekme deneylerine başlamadan önce matris, baskı plakası, zımba ve sac malzeme için ağ yapıları sistemin otomatik olarak tanımlayan değerler kullanılarak oluşturulmuştur. Matris ve zımbaya ait ağ yapıları Şekil 4.15’de, baskı plakası ve sac malzemeye ait ağ yapıları ise Şekil 4.16’da verilmiştir.



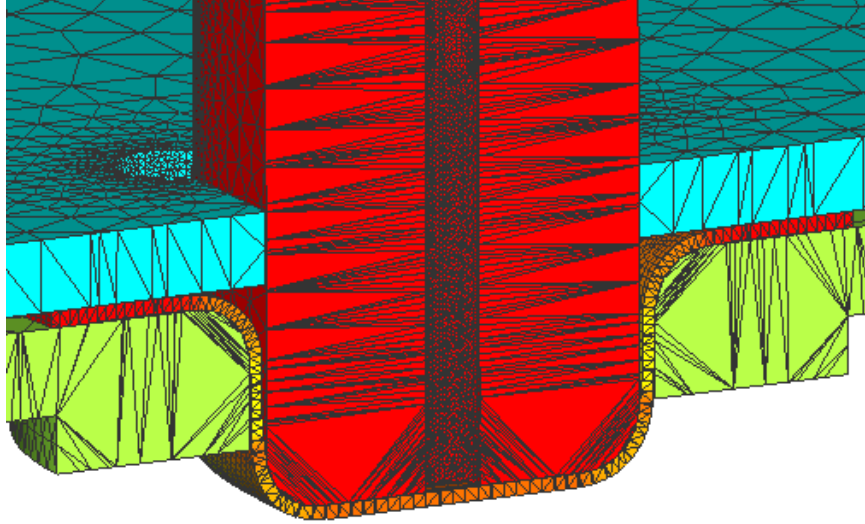
Şekil 4.15. Dışı kalıp ve zimbaya ait ağ yapıları.



Şekil 4.16. Baskı plakası ve sac numuneye ait ağ yapıları.

Ağ yapılarının oluşturulmasında, sac malzemede ağ aralığı 0,699 mm olarak sistemin vermiş olduğu değerler alınmıştır. SEY çalışmalarında, önemli olana sac malzemedeki deformasyon işleminin incelenmesi olduğu için, kalıp elemanlarının ağ yapıları zamanı verimli kullanma adına daha büyük tutulmuştur. Şekillendirme esnasında sac malzemenin zımba ve matris radyüslerine temasının daha iyi bir hesaplama için radyüslü yüzeylerdeki ağ aralığı daha da küçültülerek hassasiyetleri artırılmıştır.

SEY çalışmalarında, kalıplama şekli deneysel çalışmalarla kullanılan prese uygun olarak, ayarlanmıştır (Şekil 4.6). Her iki malzeme türü için çalışmalar tekrarlanmıştır.



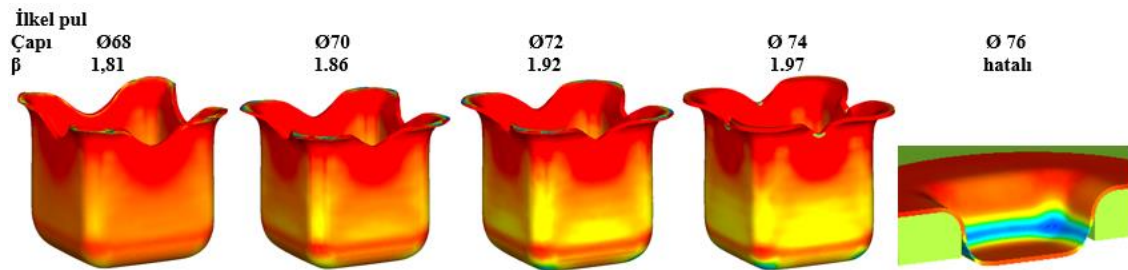
Şekil 4.17. Kalıp prosesine ait ağ yapıları.

4.3.3. Sonuçlar

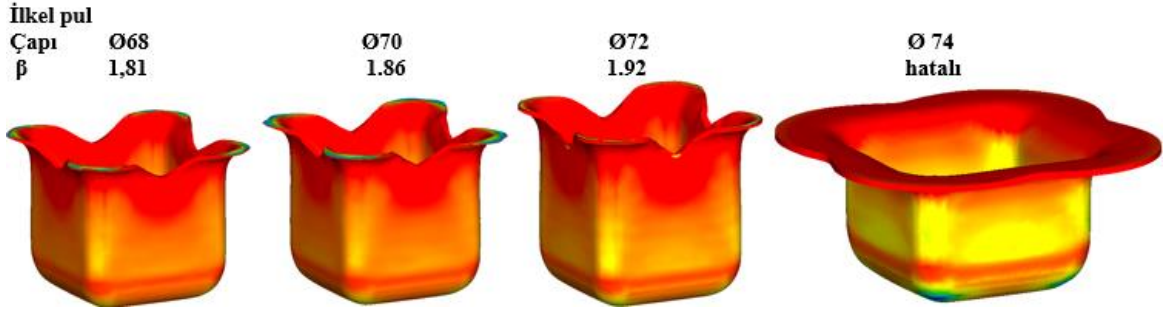
Nümerik analiz sonuçları üç ana bölümde değerlendirilebilir. Bunlardan birincisi SEY ile kare derin çekilmiş kapların kalınlık dağılımlarının incelenmesi, ikincisi SÇÖ belirlenmesi ve sonuncusu olarak deneysel verilerle SEY verilerinin karşılaştırılması.

4.3.3.1. Sınır Çekme Oranı

Çalışmada kullanılan DP600 ve DP800 malzemeler Simufact V16 metal şekillendirme programı kullanılarak sayısal analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan SEY analizleri sonucu elde edilen kare derin çekilmiş kaplardan DP600 Şekil 5’de ve DP800 Şekil 6’da verilmiştir. Yapılan bu analiz çalışmaları sonucunda SÇÖ belirlenmiştir.



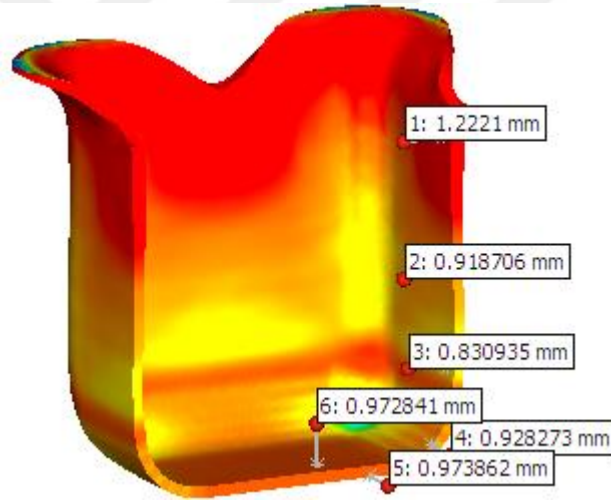
Şekil 4.18. DP600 kare derin çekilmiş kaplar.



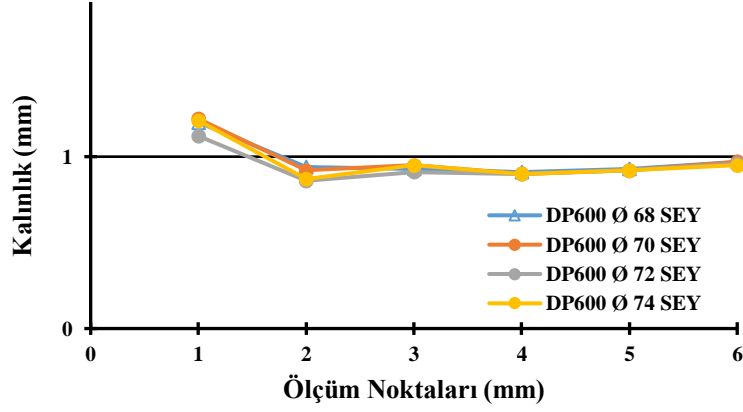
Şekil 4.19. DP800 kare derin çekilmiş kaplar.

4.3.3.2. Analiz Çalışmalarında Kare Derin Çekilmiş Kapların Kalınlık Dağılımı

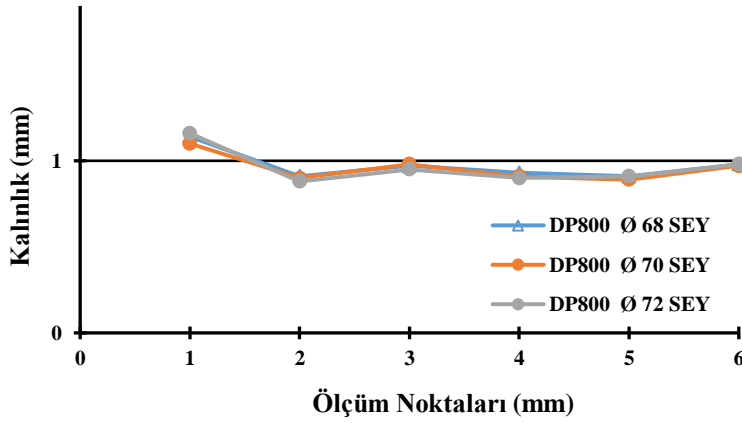
Analiz çalışmalarından elde edilen bu numunelerin kalınlık ölçümleri Şekil 4.8’de belirtilen noktalardan ölçülmüştür. Kare kaplara ait kalınlık değişimleri Şekil 4.19’da gösterildiği gibi şekillenmiş tüm kapların ölçülmüştür. Kalınlık ölçüm sonucunda elde edilen grafikler DP600 için Şekil 4.20’de ve DP800 için Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. DP600 Ø 72 örnek ölçüm değerleri.



Şekil 4.21. DP600, t=1 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.



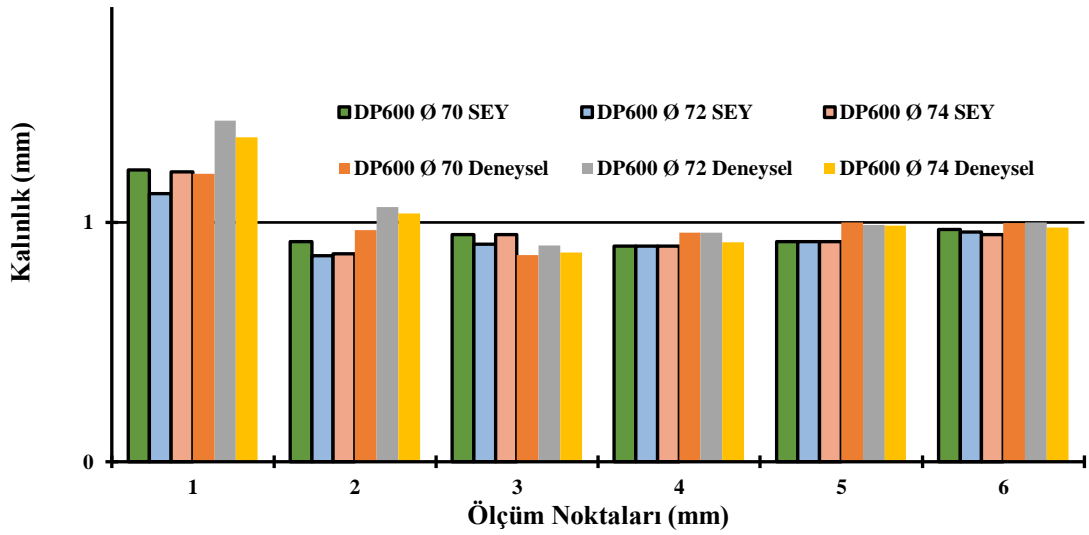
Şekil 4.22. DP800, t=1 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.

SEY yöntemiyle kare derin çekme sonucunda elde edilen kapların ölçüm grafikleri ve ölçüm sonuçları yorumlandığında, zımba kavisinin değdiği ve ona yakın olan yerlerin yanında 2 numaralı bölgenin de maksimum incelmeye uğradığı yerler olarak görülmektedir. Bunun sebebi şu şekilde açıklanır. Malzemenin içe doğru çekilmesi işlemi tamamen zımba radiusleri tarafından gerçekleştirildiği bunun yanında 2 numaralı bölgenin incelmeye uğraması ise sona doğru üst kısımlarda kalınlığın artması bir nevi malzemede çekme etkisi yapmasından dolayı incelmeye uğramasına sebebiyet vermektedir.

4.3.3.3. Derin Çekme Deneyleri ve Simulasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

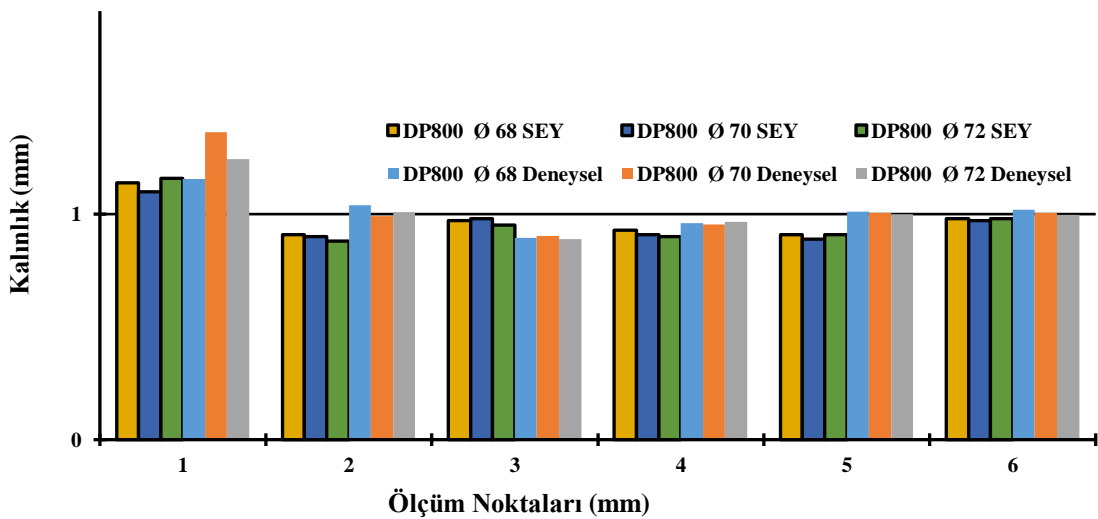
Simufact V16 metal şekillendirme programıyla yapılan kare derin çekilmiş numuneler ile laboratuvarında yapılan gerçek ortam deneylerinin öncelikle SÇO karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar. DP600 malzeme için her iki yöntemle de maksimum Ø74 mm çapındaki malzeme yırtılmadan şekillendirilmiştir. DP800 malzeme için her iki yöntemle de maksimum Ø72 mm çapındaki malzeme yırtılmadan şekillendirilmiştir. Bu sonuçların

hem SEY hem de deneysel çalışmaların uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.23. DP600 malzemesine ait SEY ve deneysel kare şekillendirmenin kalınlık değişimleri.

Simufact V16 metal şekillendirme programıyla yapılan kare derin çekilmiş numuneler ile laboratuvarında yapılan gerçek ortam deneylerin SÇO belirlendikten sonra kalınlık değişimlerinin karşılaştırılması için Şekil 4.22’de DP600 için Şekil 4.23’de ise DP800 için grafikler oluşturulmuştur. Her iki grafikte de ölçüm noktalarında minimal oranda değişikliklerin olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar kalınlık değişiminde de SEY ve deneysel çalışmanın uyumluluğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.24. DP800 malzemesine ait SEY ve deneysel kare şekillendirmenin kalınlık değişimleri.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, otomotiv sanayiinde kullanım oranı her geçen gün artan yüksek mukavemetli sac metal malzemelerin oda sıcaklığı şartlarında kare derin çekilmesi detaylı bir şekilde hem deneysel hem de SEY olarak Simufact V16 metal şekillendirme programı kullanılarak detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Araştırma sonuçları gösteriyor ki, yüksek mukavemetli sacları şekillendirmede hem SEY hem de gerçek ortam deneyleri arasında büyük oranda benzer sonuçlar vermiştir. Bu benzerlik bize verdiği sonuçlar;

- Deneme yanılma oranını iyiden iyiye düşüreceklerdir.
- Yüksek maliyetli kalıpları önce tasarlayıp uygunluğunu tespit etmemize fırsat verecektir.
- Doğru kalıp prosesini seçtikten sonra doğru malzeme seçiminin yapılmasına büyük katkı sağlayacaktır.
- Analiz programının içine gerçek ortam deneylerinde kullanılacak malzemeleri tanımlamamıza fırsat verdiği için hem SEY hem de gerçek ortam deneylerinin %90'nın çok üzerinde uyumluluk sağlayacağını göstermektedir.
- Yukarıdaki işlemlerin yapılacak olması hem maliyet hem de zamandan büyük oranda tasarruf edilmiş olacaktır.

5.2. ÖNERİLER

Bu lisansüstü tez çalışmada, yüksek mukavemetli çelik malzemelerin kare derin çekilmesinde hem SEY hem de gerçek ortam deneylerinin uyumluluğunu ortaya konmuştur. Gelecek çalışmalarda;

- Çelik firmaları tarafından geliştirilen farklı malzeme türlerinin SÇO'ları ortaya konulabilir.
- Her iki yöntemin büyük benzerlik göstermesi imalat yapan firmaların yeni tasarımlarında (sıcak şekillendirme, bölgesel ısıtma vb.) SEY kullanılmasıyla doğru sonuçlara varabilirler.

6. KAYNAKLAR

- [1] M. Madi, M. V. Júnior, R. A. C. Filho, ve P. V. P. Marcondes, “An analysis of the forming speed variation with relation to deep drawing depth of steel DP 600 sheets”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 99, sayı 9–12, ss. 2417–2424, 2018.
- [2] C. Özek ve E. Ünal, “The Effect of Die / Blank Holder Angles on Limit Drawing Ratio and Wall Thickness in Deep Drawing of Square Cups”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 27, sayı 3, ss. 615–622, 2012.
- [3] B. T. Lin, K. M. Huang, C. C. Kuo, ve W. T. Wang, “Improvement of deep drawability by using punch surfaces with microridges”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 225, ss. 275–285, 2015.
- [4] S. K. Akay, M. Yazıcı, A. Bayram, ve A. Avinc, “Fatigue life behaviour of the dual-phase low carbon steel sheets”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 209, sayı 7, ss. 3358–3365, 2009.
- [5] K. M. Younis ve A. S. Jabber, “Experimental Evaluation and Finite Element Simulation to Produce Square Cup by Deep Drawing Process”, *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, c. 14, sayı 1, ss. 39–51, 2018.
- [6] İ. Karaağaç ve A. Özdemir, “Experimental investigation on the formability of squareshaped cups by hydromechanical deep drawing process”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 28, sayı 1, ss. 33–41, 2013.
- [7] H. I. Demirci, C. Esner, ve M. Yasar, “Effect of the blank holder force on drawing of aluminum alloy square cup: Theoretical and experimental investigation”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 206, sayı 1–3, ss. 152–160, 2008.
- [8] M. Gavas ve M. Izciler, “Effect of blank holder gap on deep drawing of square cups”, *Materials and Design*, c. 28, sayı 5, ss. 1641–1646, 2007.
- [9] O. Erbaş, “Experimental and Numerical Analysis of Deep Drawability of Aluminium Alloys AA5754-H22 and AA6061-T6”, M.S. thesis, Master of Manufacturing Technology, Institute of Science, Turkish-German University, İstanbul, Turkey, 2015.
- [10] S. Semiatin, *Volume 14 Forming and Forging*, 3. baskı, Ohio, USA: ASM International, 1993, ss. 10-24.
- [11] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 5. baskı, Hoboken, USA: John Wiley & Sons, 2012, ss. 443-506.
- [12] S. Yalçın, “Analysis and modeling of plastic wrinkling in deep drawing”, M.S. thesis, Master of Science in Mechanical Engineering Department, Institute of Science, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2010.
- [13] K. Demiray, “AL 1050 Malzemesinin derin çekme işleminde baskı plakasının

etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2006.

- [14] T. Gündü, “Derin çekme saclarında derin çekilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2000.
- [15] S. Erdir, “Profilli derin çekmede hataların analizi ve alınabilecek önlemler”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1995.
- [16] N. Şen, “Yüksek mukavametli çelik sacların flanş bölgesinin ısıtılması ile derin çekme sınır oranının deneysel incelenmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2015.
- [17] A. T. Güneş, *Pres İşleri Tekniği*, Makine Mühendisleri Odası, c. 2, sayı 307, 2003.
- [18] E. S. Kayalı, *Mekanik İşlem Hasarları, Ders Notları*, İstanbul, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsa ÇOLAKOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.03.1986 /DÜZCE
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : isa8186_@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Müh.	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	Talaşlı Üretim Öğretmenliği.	Gazi Üniversitesi	2011
Lise	Endüstri Meslek Lisesi	Düzce Endüstri Meslek Lisesi	2003

YAYINLAR

- Nuri ŞEN ve İsa ÇOLAKOĞLU “Kare derin çekmede DP600 ve DP800 çeliğinin sinir çekme oranını sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmesi”, International Marmara Sciences Congress (Autumn) ss.1207-1212. 2019.