



**SAC METAL PARÇALARDA DELİK FLANŞLAMA İŞLEMİNİ
ETKİLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

İsmail ERYILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İsmail ERYILMAZ

16/08/2021

SAC METAL PARÇALARDA DELİK FLANŞLAMA İŞLEMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

İsmail ERYILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2021

ÖZET

Delik flanşlama işlemi, sac parçaların birbirine veya başka parçalara herhangi bir yöntemle (perçinleme, kaynak, vidalama) bağlantılarının sağlanması, delik çevresinin mukavemetinin artırılması ve bir yüzeye dayandırılması maksadıyla referans belirlemek için uygulanan sac metal şekillendirme yöntemidir. Bu yöntemde şekillendirme esnasında sac malzemede çatlama ve yırtılmalar oluşmadan, arzu edilen yükseklik ve et kalınlığında flanş yapısı elde edilmesi amaçlanmaktadır. Yapılan bu çalışmada delik flanşlama işlem parametrelerinin flanş yapısına etkileri deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında yüksek mukavemet değerleri ve kolay şekil alabilme özelliklerine sahip olması nedeniyle otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan 1 mm ve 1,5 mm kalınlık ölçülerindeki çift fazlı DP600 ve DP800 çelik sac malzemeler kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, sac malzemelere 0°, 45°, 90° hadde yönlerinde tek eksenli çekme testleri uygulanarak malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Sac malzemelerin kimyasal özellikleri X ışını floresansı (XRF) analizi ile belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda, köşe kavisli, küresel ve konik olmak üzere üç farklı geometride zımba formu ile delik flanşlama işlemleri gerçekleştirilmiş ve zımba formunun flanşlama işlemine etkileri incelenmiştir. Ayrıca malzeme kalınlığı, malzeme cinsi, zımba çapı ve ön delik yüzey kalitesine bağlı olarak deney numunelerinde oluşan çatlama, yırtılma, flanş yüksekliği ve et kalınlığı değişimleri incelenmiştir. Delik flanşlama işleminde malzeme ve işlem parametrelerinin, elde edilen flanş yapısını doğrudan etkilediği görülmüştür. Deneysel çalışmalar ile aynı parametre değerleri kullanılarak, sonlu elemanlar analizleri de gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ile analiz çalışmalarının büyük benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar delik flanşlama işleminin endüstriyel uygulamalarında pratik kullanımlar için literatüre kazandırılmıştır.

Bilim Kodu : 93008
Anahtar Kelimeler : Sac şekillendirme, flanşlama, çift fazlı çelikler, sonlu elemanlar analizi
Sayfa Adedi : 89
Danışman : Doç. Dr. Hakan GÜRÜN

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS AFFECTING THE HOLE FLANGING
PROCESS OF THE SHEET METAL PARTS

(M. Sc. Thesis)

İsmail ERYILMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2021

ABSTRACT

Hole flanging process is a sheet metal forming method applied to joining of the parts by any method (riveting, welding, screwing), to determine as a reference plane, and to increase the strength of the hole circumference. In this method, it is aimed to obtain a flange structure with the desired height and wall thickness without cracking and tearing on the sheet material during the forming process. In this study, the effects of hole flanging process parameters on the flange structure were investigated experimentally and analytically. DP600 and DP800 dual-phase steel sheets which are widely used in the automotive industry due to their high strength values and easy forming properties were used with 1 mm and 1.5 mm thicknesses. At the beginning of the study, uniaxial tensile tests were applied to the sheet materials in 0°, 45°, 90° according to the rolling direction and the mechanical properties of the materials were determined. Chemical properties of the sheets used were determined by X-Ray Fluorescence (XRF) analysis. In the experiments, hole flanging operations were carried out by using three different punch forms as corner curved, spherical, and conical and the effects of punch form on flanging process were investigated. In addition, cracking, tearing, flange height and wall thickness changes in the specimens were investigated depending on the material thickness, material type, punch diameter and initial hole surface quality. It has been observed that the material and process parameters directly affect the flange structure obtained in the hole flanging process. The finite element analyses were carried out by using the same parameter values with the experiments. It has been determined that the experiments performed show great similarities with the analyses. The results obtained have been brought to the literature for practical use in industrial applications of hole flanging process.

Science Code : 93008

Key Words : Sheet metal forming, flanging, dual phase steels, finite element analysis

Page Number : 89

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hakan GÜRÜN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, katkılarıyla beni yönlendiren, desteğini ve zamanını esirgemedi yardımcı olan danışmanım Sayın Doç. Dr. Hakan GÜRÜN' e teşekkür ederim. Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde doğrudan veya dolaylı şekilde zamanlarını ve emeklerini harcayarak çalışmanın tamamlanmasına katkı sağlayan, tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Deney numunelerinin tedarik edilmesinde yardımlarını esirgemeyen ERDEMİR'e (Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Ticaret A.Ş) ve deney kalıplarının yapımında çeşitli imkan ve olanaklarını sunarak destekte bulunan Doğan AYDIN'a (Aytim plastik ve kalıp teknolojileri A.Ş) teşekkür ederim.

Yetişmemde sonsuz emeği geçen, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. KURAMSAL TEMELLER	9
3.1. Delik Flanşlama	9
3.1.1. Delik Flanşlama Kalıpları	9
3.2. Delik Flanşlama İşleminin Mekanîği	11
3.3. Vida Çekmek İçin Delik Flanşlama	14
3.4. Delik Flanşlama İşleminde Kullanılan Hesaplamalar.....	15
3.5. Delik Flanşlama İşlemine Etki Eden Parametreler	16
3.5.1. Malzeme özelliklerinin etkisi.....	16
3.5.2. İşlem değişkenlerinin etkisi	24
3.6. Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik Sac Malzemeler.....	31
3.6.1. TRIP çelikleri.....	32
3.6.2. DP (Çift) fazlı çelikler	33
3.6.3. Kompleks fazlı çelikler	35
3.6.4. Martenzitik Çelikler	36

	Sayfa
4. MATERYAL VE METOT	37
4.1. Sac Metal Malzeme.....	37
4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	38
4.3. Deney Düzeneği ve Pres Tezgahı	40
4.4. Deneysel Çalışmaların Yapılışı.....	43
4.5. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Gerçekleştirilen Analiz Çalışmaları	45
5. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI	51
5.1. Zimba Formu ve Sac Malzeme Kalınlığının Delik Flanşlama İşlemine Etkileri	51
5.2. Zimba Çapının Delik Flanşlama İşlemine Etkileri	62
5.3. Ön Delik Yüzey Kalitesinin Delik Flanşlama İşlemine Etkileri.....	66
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	71
KAYNAKLAR	75
EKLER.....	81
EK-1. Ø12 Zimbalar ile yapılan analiz çalışmalarının ölçüm sonuçları.....	82
EK-2. Ø14 Zimbalar ile yapılan analiz çalışmalarının ölçüm sonuçları.....	83
EK-3. Ø16 Zimbalar ile yapılan analiz çalışmalarının ölçüm sonuçları.....	84
EK-4. Flanşlama dişi çekirdeği teknik resmi	85
EK-5. Kesme kalıbı çekirdeği teknik resmi	86
EK-6. Flanşlama form zimbaları teknik resmi.....	87
ÖZGEÇMİŞ	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Delik flanşlama işleminde sac malzeme kalınlığı, flanşlama çapı ve H yüksekliği değerleri	13
Çizelge 3.2. Vida dış şekline göre sac malzeme kalınlıkları ve flanş çapı değerleri	14
Çizelge 3.3. Sac malzeme kalınlığına göre kalıp kavisi için önerilen değerler	26
Çizelge 3.4. Klasik kalıplama için önerilen şekillendirme hızı değerleri	29
Çizelge 4.1. DP600 ve DP800 çelik sac malzemelerin kimyasal analiz raporu	37
Çizelge 4.2. Pres tezgahına ait teknik özellikler	41
Çizelge 4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler	45
Çizelge 4.4. Analiz çalışmalarında kullanılan malzeme özellikleri	48

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Delik flanşlama kalıbı kesit görünümü.....	9
Şekil 3.2. Delik flanşlama işleminin şematik görüntüsü.....	10
Şekil 3.3. Flanşlama süreci	11
Şekil 3.4. H yüksekliği çok düşük olan parçaların flanşlanması işlemi.....	14
Şekil 3.5. Çekme deneyinin ve kuvvet-uzamaya göre çekme eğrisinin şematik görünümü.....	17
Şekil 3.6. Çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme gerinim eğrisi ve akma eğrisi.....	18
Şekil 3.7. Aynı kalınlıkta fakat farklı akma mukavemetine sahip düşük karbonlu çeliklere ait şekillendirme sınırı diyagramları	19
Şekil 3.8. Kopma uzaması gösterimi	20
Şekil 3.9. Pekleşme üstelinin elde edilmesi ve pekleşme üstelinin gerilme–birim şekil değiştirme grafiği üzerinde etkisi	21
Şekil 3.10. Haddeleme ile üretilmiş sac malzeme üzerinde anizotropi yönlerinin gösterimi	23
Şekil 3.11. Zimba kavis ve kalıp kavis	25
Şekil 3.12. Mekanik ve hidrolik preslerin kuvvet aktarımı	30
Şekil 3.13. Yüksek mukavemetli Sac Malzeme diyagramı	32
Şekil 3.14. TRIP çeliklerinin mikroyapısı	33
Şekil 3.15. Çift fazlı (DP) çelik mikro yapısının şematik gösterimi.....	34
Şekil 3.16. Çift fazlı çeliklerin araç gövdesinde kullanım yerleri; (a) enerji yutucular, (b) çatı rayları	34
Şekil 3.17. Kompleks fazlı çeliklerin mikro yapısı.....	35
Şekil 3.18. Kompleks fazlı çeliklerin B sütunu uygulaması.....	35
Şekil 3.19. Temperlenmiş martenzitik çeliğin mikro yapısı, 500x büyütme	36
Şekil 4.1. DP600 sac malzeme gerilme – gerinim eğrisi	38
Şekil 4.2. D800 sac malzeme gerilme – gerinim eğrisi	38

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Deney numunelerinin tek eksenli çekme deneyi için sac levha üzerinde yerleşimi ve deney numunesi teknik resmi.....	39
Şekil 4.4. Deney numunelerinin teknik resim görüntüleri	40
Şekil 4.5. Köşe kavisli zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin sonlu elemanlar yazılımına aktarılmış görseli	47
Şekil 4.6. Küresel zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin sonlu elemanlar yazılımına aktarılmış görseli	47
Şekil 4.7. Konik zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin sonlu elemanlar yazılımına aktarılmış görseli.....	48
Şekil 4.8. Kalıp, zımba ve baskı plakası arasındaki temas yüzeyleri ve özelliklerinin tanımlanması.....	49
Şekil 4.9. Ağ yapısı oluşturulan sac malzemenin görseli	50
Şekil 4.10. Malzeme cinsi ve özelliklerinin belirlenmesi	50
Şekil 5.1. Farklı zımba formları ile yapılan flanşlama işlemlerinin şematik gösterimi ..	52
Şekil 5.2. DP600 malzemenin farklı zımba formlarıyla flanşlanmasına yönelik analiz sonuçları; a) Köşe kavisli zımba, b) Küresel zımba, c) Konik zımba	54
Şekil 5.3. DP600 malzemenin zımba formu-flanş yüksekliği grafiği.....	54
Şekil 5.4. DP600 malzemenin zımba formu-et kalınlığı grafiği.....	55
Şekil 5.5. DP800 malzemenin farklı zımba formlarıyla flanşlanmasına yönelik analiz sonuçları; a) Köşe kavisli zımba, b) Küresel zımba, c) Konik zımba	57
Şekil 5.6. DP800 malzemenin zımba formu-flanş yüksekliği grafiği.....	57
Şekil 5.7. DP800 malzemenin zımba formu-et kalınlığı grafiği.....	58
Şekil 5.8. DP600 malzemenin farklı zımba formları ile yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri.....	60
Şekil 5.9. D800 malzemenin farklı zımba formları ile yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri.....	61
Şekil 5.10. DP600 malzemenin farklı zımba çapları ile yapılan analiz çalışmalarından elde edilen görüntüler	63
Şekil 5.11. Zımba çapı-Flanş yüksekliği değişim grafiği	64
Şekil 5.12. Zımba çapı-Et kalınlığı değişim grafiği.....	65

Şekil	Sayfa
Şekil 5.13. DP600 malzemenin farklı zımba çaplarında flanşlanması sonucu elde edilen kuvvet-zaman grafikleri.....	65
Şekil 5.14. Farklı ön delik yüzey kalitesindeki numunelerin flanşlama sonrası elde edilen et kalınlığı değişim grafiği.....	67



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği pres tezgahının görseli.....	40
Resim 4.2. a) Kalıp düzeneğinin kesit görünümü, b) Kalıp düzeneğinin pres üzerindeki görseli	41
Resim 4.3. Zimba formlarının görüntüsü.....	42
Resim 4.4. Deneyler için üretilen kalıp düzeneğinin görseli	43
Resim 4.5. Deney numunesinin merkezde kalmasını sağlayan pimlerin kalıp üzerindeki görüntüsü	43
Resim 4.6. Deney çalışmaları sırasında çekilen görüntüler; a) Kalıbın ayarlanması, b) Numunenin yerleştirilmesi, c) Flanşlama işlemi, d) Flanşlı parça.....	44
Resim 5.1. Farklı zimba formları ile flanşlama işlemi yapılan DP600 numunelerin optik mikroskop vasıtasıyla elde edilen görüntüleri.....	53
Resim 5.2. Farklı zimba formları ile flanşlama işlemi yapılan D800 numunelerin optik mikroskop vasıtasıyla elde edilen görüntüleri	56
Resim 5.3. DP600 malzemenin farklı zimba çapları ile yapılan deney çalışmalarından elde edilen görseller.....	63
Resim 5.4. Farklı ön delik yüzey kalitesindeki numunelerin flanşlama sonrası elde edilen görselleri	67
Resim 5.5. Farklı ön delik çaplarındaki numunelerin flanşlanması sonucu elde edilen görseller	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A_0	Malzemenin ilk kesit alanı
c	Kalıp boşluğu
C	Malzeme dayanım sabiti
D	Kalıp çapı
d_1	Ön delik çapı
d_2	Metrekare
D_m	Flanş ortalama çapı
DP	Çift fazlı çelik
D_p	Zımba çapı
E	Elastikiyet modülü
F	Baskı plakası kuvveti
F_a	Akma kuvveti
F_{max}	Malzemeye uygulanan maksimum kuvvet
H	Flanş yüksekliği
K	Flanşlama oranı
L_0	Numunenin deformasyon öncesi uzunluğu
L_k	Numunenin deformasyon sonrası uzunluğu
m	Deformasyon hızına duyarlılık üsteli
mm	Milimetre
n	Deformasyon sertleşmesi üsteli
P_k	Flanşlama kuvveti
r	Anizotropi
r_d	Kalıp köşe kavis
r_f	Flanş köşe kavis
r_p	Zımba köşe kavis
t	Şekillendirme öncesi sac malzeme kalınlığı
t'	Şekillendirme sonrası sac malzeme kalınlığı

Simgeler**Açıklamalar**

v	Şekillendirme hızı
δ	Kopma uzaması
ν	Poisson oranı
σ_a	Akma mukavemeti
σ_{ϵ}	Çekme mukavemeti
σ_g	Gerçek gerilme

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
EDM	Dalma Erozyon Tezgahı (Electrical discharge machining)
HER	Delik genişletme oranı (Hole expansion ratio)

1. GİRİŞ

Endüstriyel ürünler incelendiğinde günlük yaşantımızda kullanılan sac metal parçaların büyük bir çoğunluğunun sac metal kalıplama yöntemi ile üretildiği görülmektedir. Sac metal kalıplama yöntemi otomotiv sanayi başta olmak üzere, beyaz eşya, savunma sanayi ve daha sayamayacağımız diğer birçok endüstri kollarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde otomotiv ve beyaz eşya sektörünün gelişmesi, sac metal kalıpcılığının ivme kazanmasını ve süratle gelişmesini sağlamaktadır.

Sac metal kalıbı, istenilen ölçü toleransları içerisinde talaş kaldırmadan, minimum malzeme sarfiyatı ve minimum insan gücü ile özdeş parçalar üretilmesini sağlayan makine aparatıdır. Sac metal kalıpcılığı, sac malzemeye delme, kesme, bükme ve çekme vb. işlemler ile şekil verilerek istenilen ürünün elde edilmesi işlemidir. Delme ve kesme ile şekil verme yöntemleri sac malzemeye kopma dayanımı üzerinde bir kuvvet uygulayarak sacın arzu edilen profilde ayrılması ve istenilen ürünün elde edilmesi olarak tanımlanır. Çekme, bükme ile form verme işlemleri ise sac malzemeye çekme ve basma gerilmeleri oluşturulması ile malzemenin plastik şekillendirilmesi işlemidir. Sac malzemelerin kalınlıklarının ince olması sebebiyle bunların birbiriyle veya başka parçalarla vidalı olarak birleştirilmesinde problemler yaşanmaktadır. Sac parçaların vidalı olarak birleştirilmesinde, vidalı yüzey alanının artırılması amacıyla derin çekmeye benzeyen sac metal şekillendirme yöntemlerinden delik flanşlama işlemi uygulanmaktadır. Flanşlama işlemi ayrıca, delikli sac parçalarda delik çevresindeki mukavemetin artırılması veya sac parçanın bir yüzeye dayandırılarak referans belirlenmesi maksatlarıyla da kullanılmaktadır. Delik flanşlama işlemi sac malzemeye ilk olarak bir ön delik (d_1) delinmesi ve delinen bu ön deliğin bir form zımbası vasıtasıyla daha büyük bir çapa (D) büyütülmesi işlemidir. Flanşlama esnasında malzemede bir takım gerilimler meydana gelmekte ve meydana gelen gerilimlerin büyümesi malzemede çatlamlar ve yırtılmalar oluşturarak şekillendirmeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Gelişen teknolojinin de yardımıyla sac şekillendirme işleminde sac malzemeye istenilen şekli vermek için gerekli işlemler belirlenerek, uygun takım tasarımları ve analizler gerçekleştirilebilmektedir. Bu analizler sonucunda sac malzemede meydana gelen çatlamlar, yırtılmalar, incelmeler ve geri esnemeler tespit edilerek, tasarım doğrulama faaliyetleri yapılmakta ve bu sayede üretimdeki hata oranlarının azaltılması hedeflenmektedir.

Ülkemizde sac metal kalıplama yönteminin otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Otomotiv sektöründe yaşanan gelişmeler ve artan rekabet ortamı nedeniyle otomobil üreticileri sürekli olarak araştırmalar yapmaktadır. Güvenlikten ödün vermeden araç ağırlıklarının azaltılması, yakıt ekonomisinin sağlanması ve çevreye daha az zararlı gaz salınımı konuları giderek önem kazanmaktadır.

Bu kapsamda, otomotiv endüstrisinde araç ağırlıklarını hafifletilmesi, yakıttan tasarruf sağlanması, mevcut parçaların dayanım ve performansının artırılarak daha ince kesitli parçaların üretilmesi amacıyla Alüminyum, Magnezyum, Titanyum alaşımları ve yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Yüksek çekme mukavemeti, plastik deformasyon ile pekleşme göstermesi, kolay şekil alabilmeleri, sürekli akma göstermesi ve hafif olmaları nedeniyle çift fazlı (Dual Phase (DP)) çelikler otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan DP600 ve DP800 malzemelerin flanşlama ile şekillendirilmesi işleminde malzeme kalınlığı, zımba çapı, zımba formu ve ön delik yüzey kalitesinin flanşlama işlemine etkileri analitik ve deneysel olarak incelenmiştir. Analitik çalışmalar kapsamında malzemelere XRF ve çekme testleri uygulanmış, elde edilen veriler analizlerde kullanılan sonlu elemanlar yazılımına girdi teşkil edilmiştir. Çalışmalarda kalıp köşe kavisli 1 mm kabul edilmiştir. Analitik ve deneysel çalışmalarda sac malzeme kalınlıkları 1 mm ve 1,5 mm olarak alınmıştır. Delik yüzey kalitesinin flanş et kalınlığına ve flanş yüksekliğine etkisini gözlemlemek için sac numunelere su jeti, lazer ve zımba ile ön delikler açılmıştır. Çapları 12, 14, 16 olmak üzere üç farklı çapta form zımbası imal edilerek zımba çapının flanşlama üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Belirtilen çaplardaki zımbaların her birine konik, küresel ve köşe kavisli formlar verilerek zımba formunun şekillendirme üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda sac malzeme cinsi, kalınlığı, zımba formu ve form zımbası çapının flanş et kalınlığı ve yüksekliği üzerindeki etkileri belirlenerek literatüre katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Delik flanşlama işlemi sac metal parçaların şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu nedenle delik flanşlama işlemi hakkında bugüne kadar, analitik/matematiksel modelleme, sonlu elemanlarla analizi ve deneysel çalışmalar kullanılarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar incelendiğinde, çalışmaların, malzeme ve işlem değişkenlerinin flanşlama işlemine etkileri üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Ayrıca gelişen teknoloji sayesinde, yapılan çalışmaların sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan benzetim programlarıyla desteklendiği belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Xu ve diğerleri yaptıkları çalışmada flanşlama öncesi delinen ön delik yüzey kalitesinin delik genişletme oranı (Hole Expansion Ratio (HER)) değerine etkisini incelemişlerdir. Ön delik işlemini, dalma erozyon, zımba ve lazer ile 3 farklı şekilde oluşturarak flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ön delik çapı 12 mm ve sac malzeme kalınlıkları 1-1.4 mm aralığında alınmıştır. Sac malzeme olarak DP980 kullanılmıştır. Çalışma sonucunda flanşlama işleminde delik yüzey kalitesinin flanşlama oranına doğrudan etki ettiği, EDM ile yapılan çalışmalarda en büyük HER değeri elde edilirken, en düşük HER değerinin zımba ile delme yöntemiyle elde edildiği görülmüştür [1].

Huang ve Chien yaptıkları çalışmada zımba formunun ve ön delik çapının delik flanşlama sırasında şekillendirilebilirliğe etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çapı 30mm, köşe kavisli 3.0, 4.0, 8.0, 12.0 ve 30 mm (küresel) olan zımbalarla; kalınlığı 1,18 mm ve ön delik çapı 15mm olan düşük karbonlu (BA-CO2) çelik numuneye flanşlama işlemi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda zımba formunun flanşlama işlemine önemli derecede etki ettiğini, flanşlama sonrası en büyük geri esnemenin yarıçapı 30 mm olan küresel zımbada olduğu, en düşük geri esnemenin ise yarıçapı 3 mm olan köşe kavisli zımbada olduğunu gözlemlemişlerdir. Flanşlama işleminde sac et kalınlığının zımba köşe kavisli arttıkça azaldığı belirtilmiştir [2].

Mori, Abe ve Suzui flanşlama işlemi için zımba ile delinen delikte kalıp boşluğunun flanşlamaya etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında farklı akma gerilmelerine sahip, kalınlıkları 1,40 mm olan; JSC980Y, ultra yüksek mukavemetli çelik sac, JSC780Y ve

JSC980Y çift fazlı (DP) çelik sac ve JSC590R çökeltme ile sertleştirilmiş çelik malzemeleri kullanılmışlardır. Numunelere kesme boşluğu (c) %; 4, 8,12,16,20,25 olacak şekilde zımba çapını sabit tutup kalıp çapını değiştirerek 6 farklı şekilde ön delik demişlerdir. Delinen numunelerin yüzeyleri incelenmiş ve yüzeyde oluşan yuvarlanma, yırtılma, parlama ve çapaklanma bölgelerini mikroskop altında incelemişler numunelere konik bir zımba ile flanşlama işlemi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda kesilen ön deliğin kalitesinin flanşlama doğrudan etki ettiği ve flanş çapında yırtılmalara neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Akma gerilmesi 440 MPA ile 980 MPA arasında olan yüksek mukavemetli çeliklere, flanşlama için zımba ile ön delik delinmesinde en uygun kesme boşluğu (c) değerinin kalınlığın %20 olması gerektiği belirtilmiştir [3].

Kumagi ve diğerleri elektronik ekipman kimyasal aletler, iletişim ve benzeri alanlarda kullanılan iki farklı mekanik özelliğe sahip kaplamalı metal sacların flanşlanmasında ütülemenin etkisini deneysel ve analitik olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında deney numunesi olarak Bakır (Cu) kaplı bi-metalik malzeme Al-Cu kullanılmıştır. Kaplama kalınlığı 0.83 mm Cu (JIS-TCuP) bakır matrisi ve kalınlığı 2,20 mm olan Al matrisine (JIS-A1050) sahip numunelere Ø9, Ø10, Ø11, Ø12, Ø13, Ø14 mm ölçülerinde ön delikler delip, konik zımba ile delik flanşlama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kaplama iç çapta ve dış çapta kalacak şekilde iki farklı çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda flanşlama işlemi esnasında ütülemenin kaplama kalınlığını önemli ölçüde azalttığını, şekillendirmeye önemli ölçüde etki ettiğini ve flanşlama sonrası kaplamanın dış duvarda olduğu durumda kaplama kalınlığının ön delik çapı ile ters orantılı olduğunu belirtmişlerdir [4].

Frącz ve diğerleri zımba formunun flanş yüksekliğine etkisini analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında kalınlığı 1 mm olan ekstra derin çekme kalitesindeki çeliğe Ø10 mm çapında ön delik delmişler, zımba çapları (D_p) 30mm olan üç farklı; 60° konik, küresel ve köşe kavisli (R_p) 4mm olan zımbalarla flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışma ile analitik çalışmayı karşılatırmışlar, flanş kalınlığı ve maksimum incelmenin zımba formu ile alakalı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada maksimum incelmeyi köşe kavisli zımba formu ile elde edilirken, en düşük incelme ise konik zımba formu ile elde edilmiştir. Konik ve küresel zımba formları ile yaptıkları flanşlama işleminde geri esnemenin yüksek olduğu ve en büyük flanş yüksekliğinin köşe kavisli zımba formu ile sağlandığını gözlemlemişlerdir [5].

Chen ve diğerkleri yaptıkları çalışmada ultra yüksek mukavemetli çeliklerde malzeme karakterinin delik flanşlamaya etkisini incelemişlerdir. Kalınlık ölçüleri(0,7-2,6 mm aralıklarında ve akma gerilimi değerkleri 189-1074 MPA arasında değışen sıcak ve soğuk haddeleme yöntemiyle üretilmiş 15 farklı çelik malzemeye delik genişletme işlemleri uygulamışlar ve malzeme karakteristik özelliklerinin etkisini gözlemlemişlerdir. Numunelere zımba ile Ø10 mm ölçüsünde ön delik delip Ø50 mm ve 60° konik ölçüsüne sahip zımba ile çapak yönü dışarıda kalacak şekilde flanşlama işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda malzemenin çekme dayanımı ile delik genişleme oranı arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Çekme dayanımı değeri 590 MPA'nın altında iken, çekme dayanımı değeri arttıkça delik genişleme oranının buna ters orantılı olarak azaldığı, çekme dayanımı 780MPA'nın üzerindeyken, malzemenin çekme dayanımı arttıkça delik genişleme oranının sabit bir değere (yaklaşık% 30 ~ 40) eğilim gösterdiği görülmüştür. Yaptıkları ölçümlerde çelik içindeki martenzit fazın şekillendirme sırasında önemli etkiye sahip olduğu, DP780, DP980, MS1180 çelikler ile 780 MPA veya daha fazla gerilme mukavemetine sahip çeliklerin yapısında sert faz olarak bilinen martenzit fazının yüksek hacimde bulunduğu gözlemlenmiştir. Martenzit fazın şekillendirme sırasında belirli bir hacim oranına ulaştığında, sert ve yumuşak faz ara yüzündeki mikro hasarda, sınırlayıcı bir hasar enerjisine sahip olabileceğini belirtmişlerdir [6].

Hyun ve diğerkleri yüksek mukavemetli çelik plakaların delik flanşlama kabiliyetini incelemişlerdir. Çalışmalarında otomotiv endüstrisinde kullanılan TRIP ve çift fazlı F + B (ferrit-bainit duplex) çeliğinin şekillendirme esnasında yırtılma ve çatlaklar oluşturmaya çözüm olarak delik flanşlama işlemi için en uygun kriterleri araştırmışlardır. Küresel bir zımba ile farklı ön delik çaplarına ve 1mm, 2mm, 3mm kalınlık ölçülerine sahip çeliklere flanşlama işlemi uygulamışlardır. Flanşlama öncesinde kalıp ve zımba 60 HRC sertliğinde sertleştirilmiş ve ön delikler su jeti ile kesilmiştir. Çalışmada maksimum şekillendirme kuvvetlerinin, her iki malzeme için azalan delik çapları ile arttığı ve TRIP çeliğinin şekillendirme kuvvetinin F + B çeliğinden çok daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Delikli flanşlama işlemi sırasında yüksek mukavemetli çelik saclarda çatlaklar ve yırtıkların oluşma nedeninin, esas olarak çevresel gerilme ile bölgesel daraltmadan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Deliğın kenarında ilk çatlak oluştuğunda, TRIP çeliğinin çatlağının dal şeklinde ilerlediği mikro çatlakların oluşumunda ve yayılmasında baskılayıcı bir rol oynadığını gözlemlemişlerdir. TRIP çeliğinin daha büyük uzama değerkine sahip olmasına rağmen, F + B çeliğinin, minimum delik çapı açısından TRIP çeliğinden daha iyi

flanşlanabilirliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Flanş şekli ve flanş yüksekliği açısından TRIP çeliklerinin daha iyi şekillendirilebildiğini gözlemlemişlerdir [7].

Kacem ve diğerleri çalışmalarında, sonlu elemanlar (FE) simülasyonları ile ütülemenin geleneksel delik-flanş işlemi üzerinde etkisini incelenmiştir. Flaşlama sırasında ütülemenin meydana gelip gelmediğini, ütülemenin flanş geometrisi ve zımba yükü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında 2 mm kalınlığında Young modülü (E) ve Poisson oranı (ν) sırasıyla 70 GPa ve 0.3 olan alüminyum alaşım malzeme kullanmışlardır. Numunelere Ø6 mm ön delik delinmiş, Ø8mm ölçüsünde konik bir pilot zımba ile çapı 13,6mm ve 18 mm ölçülerinde değişen kalıp setinde flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Analizler için ABAQUS programını kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda (R_c) kalıp boşluk değeri ne olursa olsun, maksimum incelmenin genellikle flanşlama işlemi sırasında meydana geldiği belirlenmiştir. Maksimum incelme flanşın uç bölgelerinde gözlemlenirken, bu incelmelerin bölgede yırtılmalara neden olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, kalıp boşluğu (R_c) azaldıkça flanş boyunun yükseldiği ve daha düzgün bir kalınlık dağılımı elde edildiği görülmüştür. Ütüleme işleminin başladığı (R_c) kritik değerini (R_{cc}) belirlemek için flanş yüksekliği (h) ve flanş ucundaki kalınlık analizine odaklanmışlar ve ütülemenin flanş geometrisini önemli derecede etkilediğini belirlemişlerdir. Ütüleme olmadan flanşlama işlemi yapıldığında maximum incelme değerinin flanş kalınlığının %35 i olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda delik flanşlama işlemini etkileyen parametrelerin birçok kez araştırılmış olduğu ancak DP600 malzemede zımba formunun ve zımba çapının delik flanşlama işlemine etkilerinin yeterli olarak araştırılmadığı gözlemlenmiştir [8].

Hassan ve diğerleri, şekillendirme esnasında baskı plakasının sac malzeme üzerine uygulamış olduğu kuvvet sonucu oluşan sürtünme kuvvetini azaltmak amacıyla 4 ve 8 bölmeden oluşan iki farklı baskı plakası ile çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Baskı plakalarında oluşturulan bölmeler sonucunda baskı plakası ile kalıp arasında açılı bir yüzey oluşturularak, baskı plakasının kalıp hareketi ile aşağı yukarı hareket etmesi sağlanmış, sac malzeme ile baskı plakası arasındaki sürtünme kuvvetinin büyük ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir [9, 10].

Karthing ve diğerleri, yapmış oldukları çalışmalarında 409, 439 ve 18Cr-Cb olmak üzere üç farklı ferritik paslanmaz malzemelere farklı şartlarda şekillendirme deneyleri uygulamışlar.

Çalışmalarında sac malzeme kalınlığı, zımba hızı, yağlama ve baskı kuvveti etkilerini incelemişlerdir [11].

Mori ve Tjusi yaptıkları çalışmada, kalıp kavisi, deformasyon sıcaklığı, baskı plakası kuvveti ve yağlayıcının şekillendirme işlemi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında 4 farklı yağlayıcı, 2 farklı kalıp köşe kavisi ve farklı baskı plakası kuvvetleri ile şekillendirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Soğuk şekillendirme olarak yapılan deneysel çalışmalar, 400°-500° sıcaklık değerleri arasında tekrar edilerek, sıcaklığın şekillendirme işlemi üzerindeki etkileri de incelenmiştir [12].

Sartkulvanich ve diğerleri yüksek mukavemetli çelik sac malzemelerde kenar çatlaklarının şekillendirme limit eğrileri tarafından tahmin edilenden daha düşük gerilimlerde meydana geldiğini belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada kalınlığı 1,4 mm olan DP590 sac malzemeye 4 farklı kalıp boşluğu (c) değerlerinde ön delikler oluşturmuşlardır. Ardından oluşturulan 4 farklı numuneye küresel ve konik zımba formları ile çapaklar aşağıda ve yukarıda kalacak şekilde flanşlama işlemi uygulamışlardır. Çalışma kapsamında c boşluğu ile elde edilen delik yüzey kalitesi, zımba formu ve çapak yönünün delik flanşlama işlemine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı c boşlukları ile oluşturulan ön delik yüzeylerinde kalıp boşluğunda (c) meydana gelen artışlara bağlı olarak çapak oluşumunun da arttığını gözlemlemişlerdir. Konik zımbanın farklı çapak yönleriyle yapılan deneylerinin büyük benzerlik gösterdiği fakat c boşluğuna bağlı olarak artan çapak oluşumunun malzemenin daha düşük gerilimlerde kırılmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Küresel zımba ile yapılan deneylerde konik zımba formuna göre malzemenin daha kolay şekil aldığını ve çapak yönünün aşağıda kaldığı deneylerde yırtılmaların daha az meydana geldiğini belirlemişlerdir [13].

Li ve diğerleri yaptıkları çalışmada, kademeli flanşlama işleminin analiz edilebilmesi için güncellenmiş lagrange formülasyonuna, Prandtl-Reuss akış kuralına ve Hill'in akma kriterine dayanan bir metodoloji geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada ön delik çapı, zımba kavisi ve malzeme kalınlığının doğrudan flanşlama ile kademeli olarak flanşlama işlemi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, zımba kavisi ve ön delik çapının azalan değerlerinde şekillendirme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kademeli flanşlama işleminde elde edilen flanş yapısının doğrudan flanşlama işlemi ile elde edilen

flanş yapısına göre daha homojen et kalınlığı ve daha yüksek flanşlama oranlarının elde edilmesini sağladığını tespit etmişlerdir [14].

Literatür çalışmaları incelendiğinde çift fazlı çelik malzemelerin flanşlanması konusunda yeteri kadar çalışmanın gerçekleştirilmediği görülmüştür. Yapılan bu çalışmada, çift fazlı çeliklerin flanşlanmasına etki eden parametreler deneysel ve analitik olarak incelenmiş ve literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

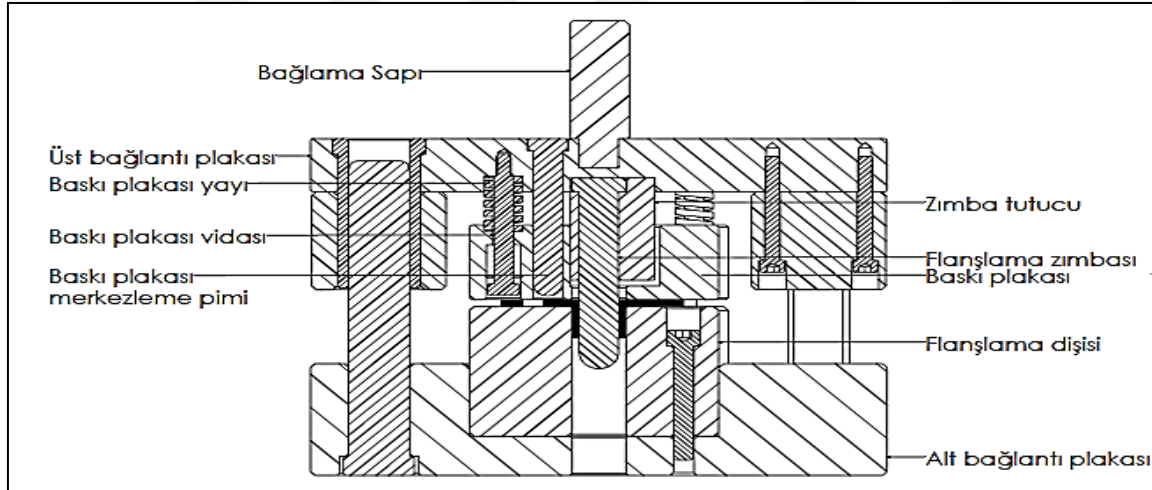


3. KURAMSAL TEMELLER

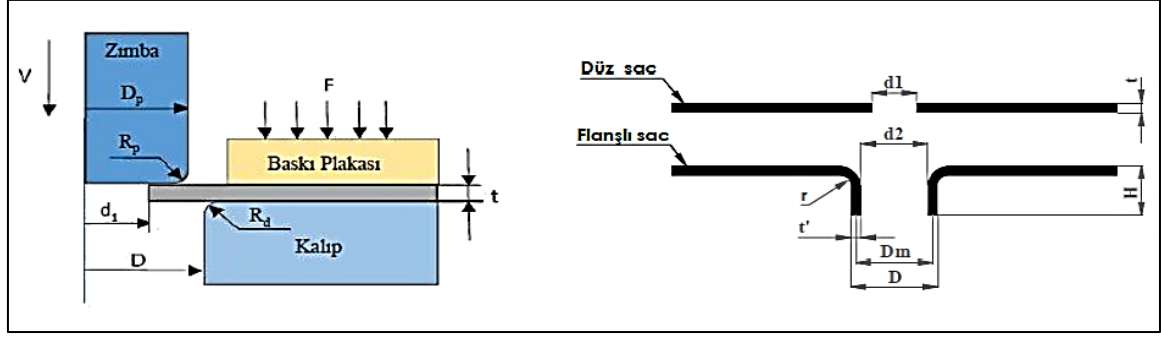
3.1. Delik Flanşlama

Delik flanşlama yöntemi ön delik açılmış düz levha halindeki sac malzemenin, erkek bir zımba vasıtasıyla dişi kalıp içerisine sıvanarak belirli derinlik ve kalınlık ölçüsüne sahip bir profil haline getirilmesi işlemidir. Delik flanşlama işlemi sac malzemeye uygulanan kuvvetin etkisiyle sac malzemede basma, eğme, bükme gibi farklı biçimlendirme işlemlerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntem sac parçaların birbirine veya başka parçalara herhangi bir yöntemle (perçinleme, kaynak, vidalama) bağlantılarının sağlanması, delik çevresinin mukavemetinin artırılması ve bir yüzeye dayandırılması maksadıyla referans belirlemek için uygulanır. Klasik bir delik flanşlama kalıbı kesit görüntüsü Şekil 3.1’de, delik flanşlama işleminin şematik görüntüsü ise Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

3.1.1. Delik Flanşlama Kalıpları



Şekil 3.1. Delik flanşlama kalıbı kesit görünümü



Şekil 3.2. Delik flanşlama işleminin şematik görüntüsü

D_p : Zımba Çapı	(mm)	t : Sac malzeme kalınlığı	(mm)
R_p : Zımba köşe kavisini	(mm)	F : Baskı plakası kuvveti	(kN)
d_1 : Ön delik çapı	(mm)	R_d : Kalıp köşe kavisini	(mm)
D : Kalıp çapı	(mm)	V : Şekillendirme hızı	(mm/sn)

Üst bağlantı plakası

Kalıp setinin pres üst tablasına uygun konum ve pozisyonda bağlanmasını sağlar.

Alt bağlantı plakası

Kalıp setinin pres alt tablasına uygun konumda ve pozisyonda bağlanmasını sağlar.

Baskı plakası

Baskı plakası, şekillendirme başlamadan önce dişi çekirdek ile sac malzemeyi sıkıştırarak sabit kalmasını sağlar. Pres hareketiyle birlikte şekillendirme başladığında sac malzemenin dişi kalıp içerisine uygun hızda ve homojen biçimde akmasına yardımcı olur.

Dişi çekirdek

Erkek zımba yardımıyla sac malzemenin dişi kalıp içerisine akmasını ve son şeklini almasını sağlar. Ayrıca şekillendirme başlamadan önce baskı plakası ile sac malzemeyi sıkıştırarak sac malzemenin şekil alması sırasında oluşabilecek kırışıklıkları önler.

Zimba tutucu

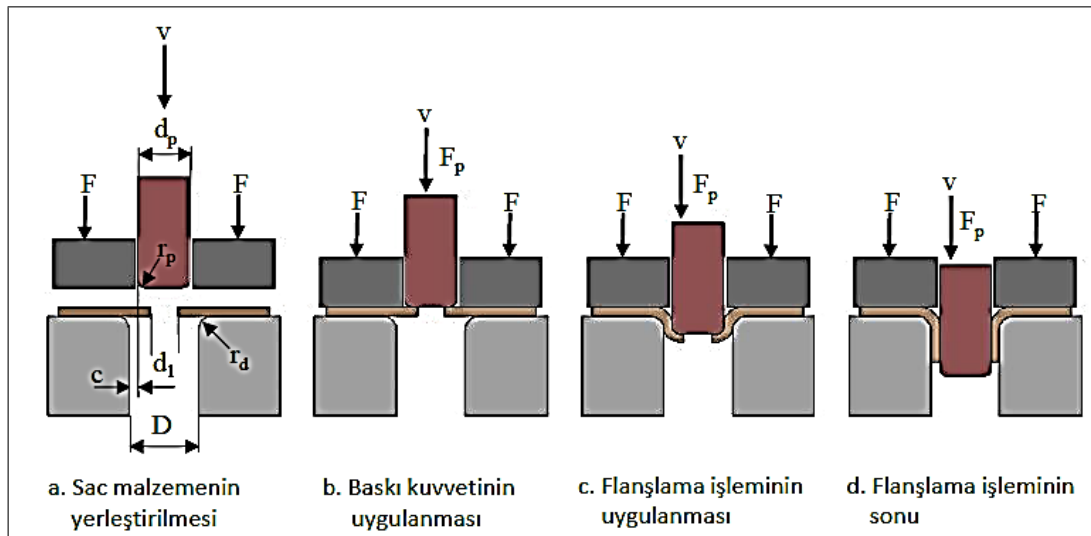
Şekillendirme zımbasının erkek kalıp setinde rijit biçimde sabit kalmasını sağlar.

Zimba

Pres hareketiyle sac malzemenin dişi kalıp içerisine akmasını sağlayarak sac malzemeye son şeklini verir.

3.2. Delik Flanşlama İşleminin Mekanikliği

Delik flanşlama işlemi kesme ve çekme işlemleriyle sac malzemeye plastik şekil verme yöntemidir. Şekil 2’de gösterildiği gibi delik flanşlama işleminde d_1 çapında ön delik delinmiş sac malzeme ilk olarak baskı plakası tarafından önceden hesaplanan bir baskı kuvvetiyle dişi kalıp yüzeyine kırışıklık olmayacak şekilde bastırılır. Ardından malzeme flanşlama zımbası yardımıyla belirlenen bir şekillendirme hızında dişi kalıp boşluğuna akmaya zorlanır. Dişi kalıp boşluğundan akmaya başlayan malzeme akma sırasında zımbaya sarılır, ardından kalıp boşluğunda nihai şeklini alır. Delik flanşlama işleminde en çok karşılaşılan problemler malzemenin uç kısımlarında yırtılma ve çatlamaların olmasıdır. Flanşlama işleminde daha sağlıklı bir flanş elde etmek için flanşlama işlemi delme yönünün tersinden yapılmalıdır. Standart bir flanşlama işlemi süreci şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Flanşlama süreci

- a. Ön deliği delinmiş olan sac malzeme kalıp setine uygun konum ve pozisyonda yerleştirilerek flanşlama işlemine hazırlanmaktadır.
- b. Flanşlama esnasında kırışıklık olmaması ve malzemenin düzgün bir şekilde kalıp boşluğuna akması için kalıp setine yerleştirilen sac malzemeye baskı plakası vasıtasıyla F baskı kuvveti uygulanmaktadır.
- c. Erkek kalıp setinin v hızında aşağı yönde ilerlemesiyle flanşlama zımbası sac malzemeye ilk baskıyı uygulamakta ve sac malzeme zımba formuna sarılarak zımba ile kalıp kavisi arasında bükülerek kalıp boşluğuna doğru akmaya başlamaktadır. Bu aşamada sac malzemede sürtünme ve basma kuvvetleri meydana gelmektedir. Kalıp içerisinde oluşan yüksek sürtünme kuvvetleri, çekme kuvvetlerinin artmasına ve dolayısıyla şekillendirilen malzemede çatlama ve kırılma gibi şekillendirme problemlerinin meydana gelmesine neden olabilmektedir. Sac malzemenin kalıp içindeki c boşluğundan kalıp boşluğuna hareket etmesi için kalıp boşluğu ile sac malzeme ve baskı plakası ile sac malzeme arasındaki sürtünme kuvvetlerinin yenilmesi gerekmektedir. İşlem sırasında oluşan sürtünme kuvvetlerini azaltmak, kalıp aşınmasını önlemek ve şekillendirme kuvvetlerinin azaltmak için yağlayıcı veya kaydırıcı maddelerin kullanılması tavsiye edilmektedir [15-17].
- d. Sac malzeme baskı plakası ile dişi çekirdek arasında sıkıştırılarak kalıp boşluğuna akmaktadır. Kalıp içerisinde zımba ile uygulanan kuvvet altında plastik deformasyona uğrayarak nihai şeklini almaktadır. Bu süreçte sac malzemenin kalıp boşluğuna düzgün bir şekilde akmasında ve başarılı bir şekillendirme işleminin gerçekleşmesinde baskı plakası kuvveti önemli rol oynamaktadır. Bu süreçte uygulanan baskı kuvvetinin düşük olması malzemede kırışıklıklar oluşmasına neden olmaktadır. Baskı kuvvetinin gereğinden fazla olması ise sac malzemenin akmasını zorlaştırarak şekillendirme sırasında malzemenin yırtılmasına neden olmaktadır [15-18].

Sac metal malzemenin şekillendirme sırasında kalıp boşluğuna kolay şekilde akması ve düşük flanşlama kuvvetlerinde şekillendirmenin gerçekleştirilebilmesi için kalıp girişine olabildiğince büyük kalıp köşe kavisi verilmelidir. Eğer gereğinde fazla kalıp köşe kavisi uygulanırsa baskı plakasının etkin yüzey alanı azalacağından flanşlanan malzemede kırışıklık oluşmasına neden olabilmektedir. Şekillendirme işleminde istenilen ölçü ve toleranslar içerisinde bir flanş elde edebilmek için kalıbın ve zımbanın yeterli miktarda köşe kavisi ölçüsüne sahip olması gerekmektedir. Kalıbın ve zımbanın yeterli miktarda köşe

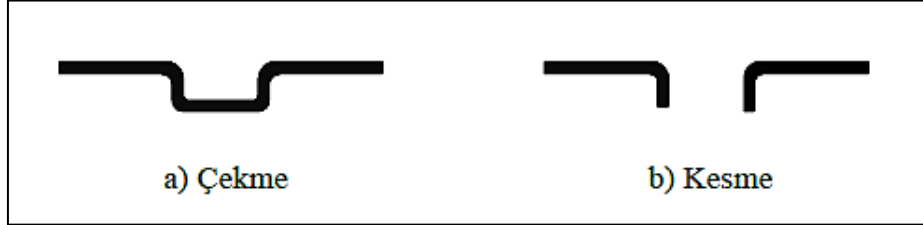
kavisine sahip olmadığı durumlarda başarılı bir şekillendirme işlemi elde edilememekte ve malzemenin yırtıldığı görülmektedir.

Delik flanşlama işleminde malzeme ilk önce d_1 çapında delinip d_2 çapına büyüyeceğinden malzemede bir takım gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmelerin büyüklüğü, H yüksekliği ile doğru orantılıdır. H yüksekliği arttıkça gerilmeler büyür ve malzeme çatlamar ve yırtılmalar meydana gelir. Bu nedenle delik flanşlama işlemi belirli sac kalınlıklarına göre belirli yüksekliklerde yapılmalıdır. Flanşlama işleminde önerilen ebatlar Çizelge 3.1’de gösterilmiştir [19].

Çizelge 3.1. Delik flanşlama işleminde sac malzeme kalınlığı, flanşlama çapı ve H yüksekliği değerleri [19]

Sac kalınlığı (T), mm		0,63	0,75	0,88	1	1,13	1,25	1,4	1,5	1,75	
d ₂ mm		FLANŞ YÜKSEKLİĞİ (H)									
5	+0,2	2		2,25		**		**		**	
8		2,2		2,5		3		**		**	
10		2,5		2,8		3,2		3,6		**	
12	+0,4	2,6	+0,2	3	+0,2	3,4	+0,3	3,8	+0,3	4,5	+0,4
15		3		3,3		3,7		4		4,8	
18		3,2		3,6		4		4,5		5,2	
20		3,4		3,8		4,3		4,6		5,4	
25		3,8		4,3		4,8		5,1		5,9	
28		4,2		4,6		5		5,5		6,3	
32	+0,6	4,5		5		5,4		5,8		6,6	
35		4,8		5,3		5,8		6,1		7	
40		5,4	+0,3	5,8	+0,3	6,3	+0,4	6,6	+0,4	7,4	+0,5
45		5,7		6,2		6,8		7		7,8	
50		6,4		6,8		7,3		7,6		8,4	
55		7		7,4		7,8		8,2		9	
64	+0,8	7,5		8,1		8,6		9		9,7	
70		8,4		8,8		9,3		9,7		10,5	
80		9,5	+0,4	9,8	+0,4	10,3	+0,5	10,8	+0,5	11,5	
90		10,5		10,8		11,3		11,7		12,5	+0,6
100		11,5		11,8		12,4		12,8		13,5	

Flans yüksekliği çok az olan sıg parçalarda yırtılma olmadan daha kolay çekme yapılabilirdiği için önce çekme sonra delme işlemi yapılarak flanşlama işlemi gerçekleştirilebilir [19].



Şekil 3.4. H yüksekliği çok düşük olan parçaların flanşlanması işlemi [19]

3.3. Vida Çekmek İçin Delik Flanşlama

Sac malzemelerin diğer parçalarla birleştirilmesi kaynak, perçin ve vida ile yapılmaktadır. Sac malzemelerin kalınlığının ince olmasından dolayı bu malzemelerin deliklerinde vida açmak ve taşıyıcı diş sayısını çoğaltmak için mutlaka flanşlama işlemi yapmak gerekmektedir. Flanşlama işlemi sonrası sac malzemede açılan dişler malzemenin et kalınlığının ve dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Diş açmadan dolayı malzemede meydana gelen zayıflama malzeme kalınlığının yarısı kadar olmalıdır. Çizelge 3.2’de vida şekline bağlı olarak önerilen sac malzeme kalınlıkları gösterilmiştir [19].

Çizelge 3.2. Vida diş şekline göre sac malzeme kalınlıkları ve flanş çapı değerleri [19]

VİDALAR		M2,2		M2,5		M3		M3,5		M4		M5		M6		M8		M10	
d ₂	M İnce diş için	1,8		2,1		2,55		2,95		3,35		4,35		5,1		6,85		8,6	
	M Normal diş için	1,7		2		2,35		2,7		3,1		3,96		4,8		6,4		8,1	
t		0,8	1,0	0,8	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5	3,0	3,0	4,0

3.4. Delik Flanşlama İşleminde Kullanılan Hesaplamalar

Delik flanşlamada işleminde flanş yüksekliği (H); Flanşlama ortalama çapı (D_m), ön delik çapı (d_1), Flanşlama kavisi (r) ve sac malzeme kalınlığı (t)'nin fonksiyonu olarak aşağıda gösterilen formül ile bulunabilmektedir [19].

$$H = \frac{D_m - d_1}{2} + 0,43.r + 0,72.t \quad (3.1)$$

Ön delik çapı (d_1); Flanş ortalama çapı (D_m), yükseklik (H), kavisi (r) ve sac malzeme kalınlığı (t) nin fonksiyonu olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir [19].

$$d_1 = D_m - 2.(H - 0,43.r - 0,72.t) \quad (3.2)$$

Sac malzeme kalınlığında (t') meydana gelen değişimi; sac malzeme kalınlığı (t) ve flanşlama oranı K'nın fonksiyonu olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir [19].

$$t' = t.\sqrt{K} \quad (3.3)$$

$$K = \frac{d_1}{D_m} \quad (3.4)$$

K= Flanşlama oranı

Flanşlama kuvveti sac malzeme cinsine, zımba formuna ve sac malzeme kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Flanşlama kuvveti malzeme cinsi ve sac malzeme kalınlığının fonksiyonu olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir [19].

$$P_k = 1,1.\pi.\sigma_{ak}.(D_m - d_1) \quad (3.5)$$

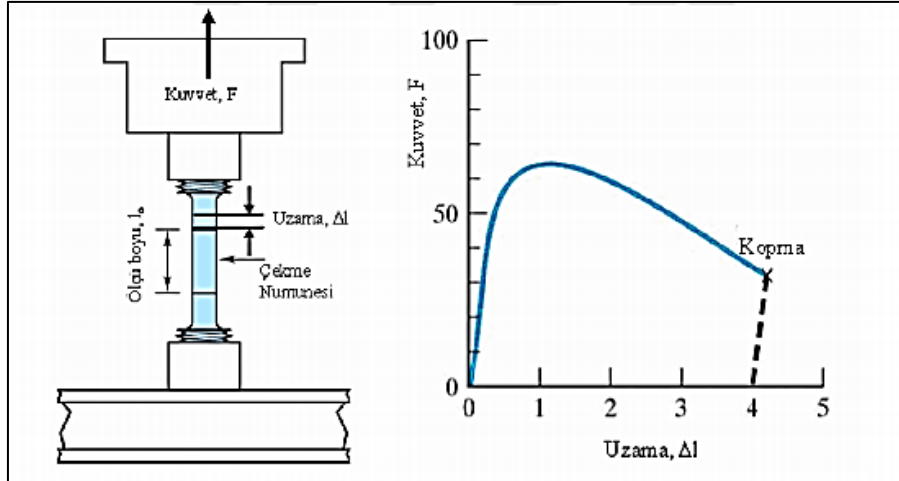
P_k =	Flanşlama kuvveti	(kg)
t=	Sac malzeme kalınlığı	(mm)
σ_{ak} =	Akma sınırı dayanımı	(kg/mm ²)
D_m =	Ortalama flanşlama çapı	(mm)
d_1 =	Ön delik çapı	(mm)

3.5. Delik Flanşlama İşlemine Etki Eden Parametreler

Delik flanşlama işlemi sac malzemeye ilk olarak d_1 çapında ön delik delip, ardından delinen deliğin erkek bir zımba vasıtasıyla sac malzemede basma ve çekme gerilmeleri meydana getirilerek D çapına büyütülmesidir. Büyüme esnasında malzemede bir takım gerilimler meydana gelir. Gerilimlerin büyümesi malzemede çatlamlar ve yırtılmalar oluşturur. Flanşlama işleminde aranan en önemli özelliklerden biri sac malzemede yırtılma ve çatlaklar oluşturmada istenilen ölçü sınırları içerisinde flanşlama işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu özelliği etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametreler malzeme özelliklerinin etkisi ve işlem değişkenlerinin etkisi olarak sınıflandırılır. Genel olarak, işlem değişkenleri sac üzerine gelen dış zorlamayı tanımlarken, malzeme değişkenleri ise sac malzemenin bu zorlamalara karşı sacın göstereceği direnci tanımlar. İşlem değişkenlerinin sabit kaldığı durumda, malzeme özelliklerindeki bir değişiklik sac üzerindeki şekil değiştirme durumunu değiştirecektir. Bu yüzden sacın zorlanma durumu tamamı ile işlem değişkenleri tarafından kontrol edilmemektedir [20].

3.5.1. Malzeme özelliklerinin etkisi

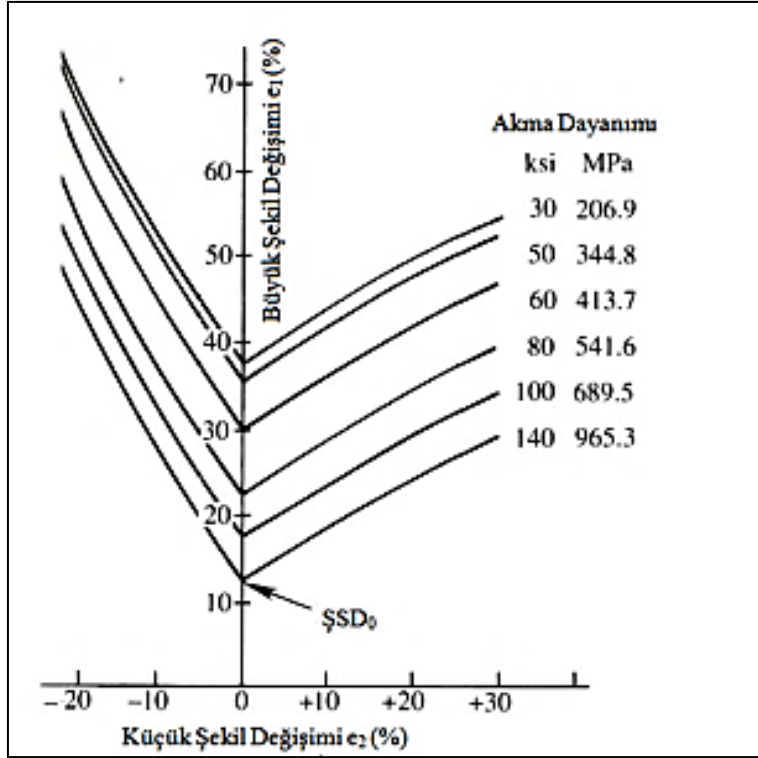
Şekillendirmeye etki eden en önemli faktörlerden birisi malzeme cinsi ve özellikleridir. Her malzemenin kendine has karakteristik özelliklere sahiptir. Malzeme özelliklerinin birçoğu çekme testi sonucu elde edilebilmektedir. Çekme deneyi, endüstride metalik malzemelerin akma mukavemeti “ σ_{ak} ”, çekme mukavemeti “ σ_c ”, tokluk, % uzama ve % kesit daralması, elastite modülü, gibi mekanik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan bir deneydir [21]. Çekme deneyinde standartlara göre hazırlanan çekme numunesine tek eksenle belirli bir çekme hızında ve sabit sıcaklıkta kopuncaya kadar çekme işlemi uygulanır. Deney sırasında uygulanan kuvvet ya da gerilme ile meydana gelen uzama değerleri kaydedilerek malzeme özellikleri belirlenir. Klasik bir çekme deneyi şekil 3.5’te gösterilmiştir [22].



Şekil 3.5. Çekme deneyinin ve kuvvet-uzamaya göre çekme eğrisinin şematik görünümü [22]

Akma ve Çekme mukavemeti

Akma dayanımı ' σ_{ak} ' sac malzemelerin karşılaştırılmasında kullanılabilecek en temel parametrelerin başında gelmektedir. Akma dayanımı; malzemenin kalıcı olarak (plastik) şekil değişimine maruz kalmaya başladığı gerilme değeridir. Bu değer altında uygulanan gerilme değerlerinde, malzemede kalıcı olmayan (elastik) deformasyon görülmekte ve yük kaldırıldığında malzemenin ilk konumuna geri dönerek, elastik toparlanma davranışı sergilediği gözlenmektedir. Akma dayanımı değeri, akma kuvvetinin (F_a) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle ($\sigma_{ak}=F_a/A_0$) bulunur. Gerçekte akma dayanımı noktasını tanımlamak zordur. Çekme deneyinde elde edilen gerilme – birim şekil değiştirme diyagramlarında malzemenin elastik deformasyon bölgesinden plastik deformasyon bölgesine geçtiği nokta akma noktasıdır. Bu noktaya karşılık gelen gerilme değeri malzemenin akma mukavemetini verir [23]. Akma noktası uzama göstermeyen çelikler malzemeler için, uzama ekseninin %0,2' sinden çıkılan paralel bir doğrunun çekme eğrisini kestiği noktadaki gerilme değeri ile ifade edilir. Akma sınırı belirgin olmayan malzemelerde akma mukavemeti yerine " ϵ_p " kadar kalıcı şekil değiştirme üreten gerilme değeri " R_p " alınıp kullanılır. Uygulamada genellikle %0,2 birim uzamaya karşılık gelen " $R_{p0,2}$ " değeri seçilir [24]. Şekil 3.6' da çekme deneyi sonucu oluşan gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.7. Aynı kalınlıkta fakat farklı akma mukavemetine sahip düşük karbonlu çeliklere ait şekillendirme sınırı diyagramları [30]

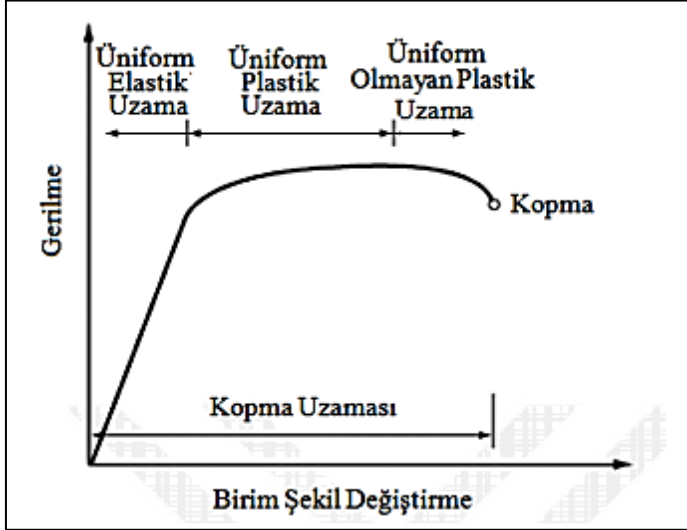
Çekme mukavemeti (σ_c) bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği maksimum çekme gerilmesi olarak adlandırılır. Bu gerilme çekme diyagramındaki en büyük gerilme olup, ($\sigma_c: F_{maks}/A_0$) formülü ile bulunur. Burada F_{maks} malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti A_0 ise malzemenin ilk kesit alanını gösterir [31].

Malzemenin sertliği veya akma mukavemeti flanşlama kabiliyeti açısından ölçü kabul edilemez. Çünkü alüminyum malzeme düşük karbonlu çeliğe oranla daha yumuşak olmasına rağmen, daha düşük flanşlama kabiliyetine sahiptir. Çekme dayanımı, flanşlama kuvvetinin hesaplanmasında; akma gerilmesi ise, pot çemberi kuvvetinin belirlenmesinde önemlidir [32].

Kopma uzaması

Çekme deneyinde, çekme numunesi kendisine uygulanan en yüksek yüke kadar tüm kesit boyunca uniform olarak şekil değiştirir. Çekme kuvveti en yüksek seviyeye ulaştığında maksimum kesit daralması (boyun verme) başladığında uzama işlemi uniform olmaktan

çıkar. Sac parçaların şekillendirilmesinde malzemenin uniform uzama yüzdesinin yüksek olması istenir. Kopma uzaması grafiği şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kopma uzaması gösterimi [33]

Kopma uzaması şekillendirme esnasında malzemenin boyunda meydana gelen uniform uzama ile boyun vermeden kopma noktasına kadar gerçekleşen plastik uzamanın toplamıdır. Malzemenin pekleşme üsteli n , uniform uzama bölgesinde etki gösterirken, deformasyon hızına duyarlılık üsteli m ise boyun verme ile kopma noktası arasındaki uzama bölgesinde etki etmektedir. Plastik şekil verilecek bir sac malzemenin pekleşme üstelinin yüksek olması faydalıdır. Yüksek m değeri kırılmadan önce meydana gelen büzülme uzamasının büyük olmasına yol açar. Dolayısıyla n ve m değerleri büyüdükçe toplam uzama da artar.

Kopma uzaması “% δ ” değeri, deney numunesinin başlangıçtaki boyu “ L_0 ” ile deney sonunda kopan iki parça yan yana getirilerek ölçülen kopma boyu “ L_k ” esas alınarak (3.6) ile hesaplanır.

$$\% \delta = \left[(L_k - L_0) / L_0 \right] \times 100 \quad [\%] \quad (3.6)$$

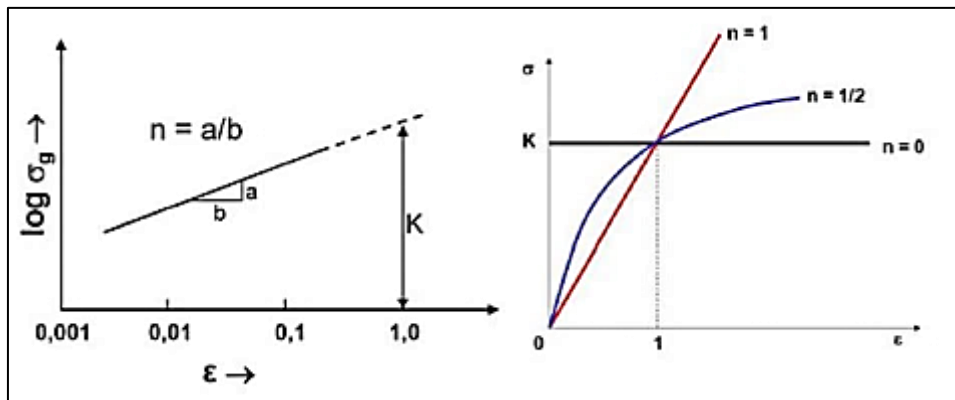
Kopma uzaması ve kopma büzülmesi değerleri malzemenin dayanım hesaplarında çok önemli değildir, ancak malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti hakkında önemli bilgiler içerir. Sac malzemelerin şekillendirilmesinde malzemenin uniform uzama yüzdesinin yüksek olması istenir.

Pekleşme üsteli (n)

Sac malzemelerin şekillendirilme kabiliyeti, malzemenin deformasyon sürecindeki sertleşebilme özelliğine bağlıdır [34]. Sac malzemelere uygulanan gerilmedeki artış ile plastik şekil değişimi ve sertleşme, soğuk şekillendirilebilirliği etkileyen en önemli malzeme özelliğidir.

Çok kristalleri malzemelerde şekillendirme sırasında dislokasyon hareketleri çeşitli engeller ile karşılaşmaktadır. Şekillendirme sırasında yer değiştirerek ilerleyen dislokasyonlar bu tür engellere geldiğinde durmak zorunda kalır ve ardından gelen dislokasyonlar bölgede birikerek dislokasyon yığılması oluşturur. Artan gerilim değerleri ile birlikte yeni dislokasyonlar meydana gelir. Sayıları giderek artan dislokasyonlar birbirlerini de engellemeye başlayarak, malzemenin plastik şekil değişimine karşı direnç oluştururlar. Malzemede kalıcı şekil değişimi için gereken gerilmenin sürekli artmasıyla birlikte kalıcı şekil değişimine karşı direnci de giderek artar. Bu olay pekleşme olarak adlandırılır [35].

Pekleşme üsteli çekme testi uygulanan malzemede plastik şekil değişiminin başladığı akma gerilmesi ile boğumlanmanın başladığı nokta arasında bulunan homojen şekil değiştirme bölgesindeki gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme parametrelerine göre çizilen “ $\log \sigma_g - \log \epsilon_g$ ” grafiğinin eğimine eşittir (Şekil 3.9). Malzeme mukavemet katsayısı ise, “ $\epsilon=1$ ” ($\log \epsilon=0$) olduğu noktadaki gerçek gerilme değeridir. Pekleşme üsteli, “ $n=0$ ” (ideal plastik malzeme) ile “ $n=1$ ” (elastik malzeme) değerleri arasında olabilir.



Şekil 3.9. Pekleşme üstelinin elde edilmesi ve pekleşme üstelinin gerilme–birim şekil değiştirme grafiği üzerinde etkisi [32, 36]

$$\sigma_g : K. \varepsilon^n \quad (\text{Hollman denklemi}) \quad (3.7)$$

K: Sabit

ε : Deformasyon

n: Pekleşme üsteli

Hollman denklemi düşük karbonlu çeliklerde plastik şekil değişiminin gerçekleştiği bölgede geçerli bir eşitliktir. Pekleşme üsteli değeri (n) şekillendirme işleminde çok önemli bir parametredir. Şekillendirme işleminde malzeme plastik şekil değişimi gerçekleştirdiği bölgede yüksek ‘n’ değerine sahip olup, büzülmeye karşı direnç göstermekte ve böylece uniform şekil değişimi gerçekleştirmektedir. [37]. Dolayısıyla ‘n’ değeri büyüdükçe toplam uzama artmaktadır. Mukavemet katsayısı şekillendirme ve kırılma sınırları üzerinde doğrudan etkiye sahip olmayıp, malzemenin dayanım seviyesini, şekillendirme için gerekli kuvvetin büyüklüğünü ifade eder.

Deformasyon hızına duyarlılık üsteli (m)

Sac malzemelerin plastik deformasyonunu etkileyen önemli faktörlerden biride şekillendirme sırasında malzemenin deformasyon hızına göstermiş olduğu duyarlılıktır. Sac malzemeye uygulanan şekil değiştirme hızı akma gerilmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, deformasyon hızında meydana gelen artışların, akma gerilmesini değerini arttırdığı görülmektedir. Akma gerilmesinde meydana gelen artış malzemenin plastik deformasyona uğramasını zorlaştırmakta ve gerçekleşen bu süreç deformasyon hızına karşı malzemenin göstermiş olduğu duyarlılık olarak tanımlanmaktadır.

Sabit sıcaklık ve birim şekil değişimi için deformasyon hızıyla akma gerilmesi arasındaki ilişki denklem 3.8’de ifade edilmektedir.

$$\sigma = C. (\dot{\varepsilon})^m \quad (3.8)$$

σ = gerilme

C= Malzeme dayanım sabiti

$\dot{\varepsilon}$ =Birim Şekil değiştirme hızı

m= deformasyon hızına duyarlılık üsteli

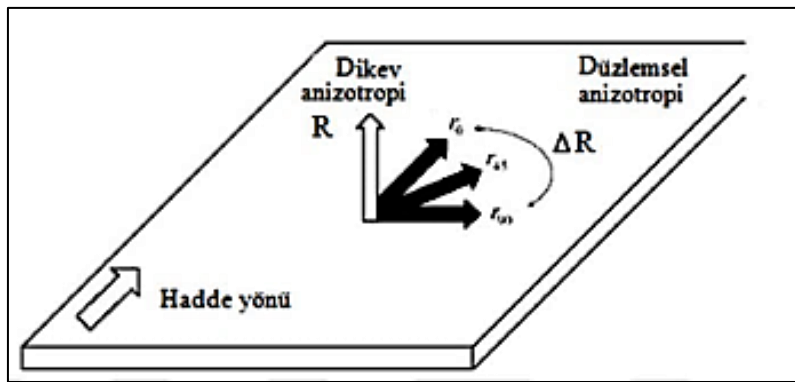
Delik flanşlama işleminin deformasyon hızından belirgin şekilde etkilenmediği söylenebilir. Deformasyon hızının etkisi, daha çok sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir [38].

Anizotropi (r)

Sac malzemelerin tümü haddeleme yöntemiyle üretilmekte ve içerisinde bir takım kusurlar bulundurmaktadır. Haddeleme sonucu taneler haddeleme yönü boyunca uzar, bunun sonucunda malzemenin farklı doğrultularında farklı mekanik özellikler meydana gelir. Bu şekilde yöne bağlı farklı mekanik özellikler sergileyen malzemelere anizotropik malzemeler denilmektedir. Bu durumun tam tersi, özelliklerin yöne bağlı olarak değişmediği malzemeler ise izotropik malzemeler olarak adlandırılmaktadır.

Metalik malzemelerde anizotropinin en önemli nedeni malzeme yapısındaki taneciklerin kristalografik düzensizliğidir. Şekillendirme sırasında bu taneler, farklı doğrultularda yönelmektedirler. Özellikle soğuk şekillendirme işlemi, metal malzemelerin içi yapısındaki tanelerin malzemenin akış yönünde olacak şekilde dönmesine neden olmaktadır [39].

Haddeleme ile üretilmiş sac malzemede yüzey boyunca R_0 (paralel), R_{45} (diyagonal) ve R_{90} (transvers) olmak üzere üç farklı anizotropi tanımlanmıştır. Sac yüzeyi için tanımlanan bu üç farklı anizotropi değeri tek eksenli çekme deneyi sonucunda elde edilmektedir. Şekil 3.10' da gösterildiği gibi sac malzeme üzerinden üç ayrı yönde çekme numuneleri kesilip, kalınlık ve genişlik yönündeki plastik uzama değerleri kolaylıkla bulunabilir.



Şekil 3.10. Haddeleme ile üretilmiş sac malzeme üzerinde anizotropi yönlerinin gösterimi [40]

Sac malzemelerde anizotropi, normal anizotropi ve düzlemsel anizotropi olmak üzere iki yapıdan oluşur. Normal anizotropi sac malzemenin kalınlığına göre değişiklik gösteren malzeme özelliklerinin değişimlerini ölçerken, düzlemsel anizotropi ise sac malzeme yüzeyinde farklı yönlerdeki malzeme özelliği farklılıklarını ölçer [40].

Sac malzemelerde normal anizotropi oranı R ile gösterilir ve sac malzemede genişlik yönündeki birim şekil değişiminin ε_w 'nin kalınlık yönündeki birim değişimi ε_t 'ye oranı R değeri olarak tanımlanır ve aşağıdaki bağlantı ile elde edilir.

$$R = \varepsilon_w / \varepsilon_t \quad (3.9)$$

ε_w : Genişlikteki birim şekil değiştirme

ε_t : Kalınlıktaki birim şekil değiştirme

Ortalama dikey anizotropi katsayısı “ R ” sac malzemelerde şekillendirilebilirliğin bir ölçüsüdür ve bu oranın, 1 ve 1'den büyük olması istenir [41].

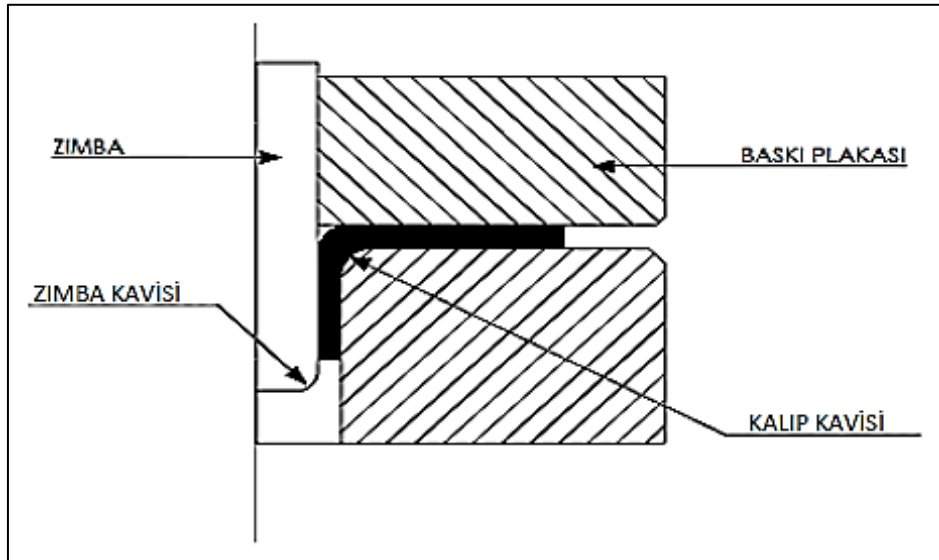
3.5.2. İşlem değişkenlerinin etkisi

Sac metal şekillendirme işleminde şekillendirme davranışının incelenmesinin istendiği durumlarda, sağlıklı çözümlerlerin yapılabilmesi için, malzeme değişkenlerinin yanı sıra, işlem değişkenlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. İşlem parametrelerinin şekillendirme süreci üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Genel olarak işlem değişkenleri sac malzeme üzerine gelen dış zorlamalar olarak tanımlanmakta ve şekillendirme sırasında malzemenin mekanik ve boyutsal özellikleri ile etkileşerek şekillendirme üzerinde önemli rol oynamaktadır. Kalıp köşe kavis, zımba formu, kalıp boşluğu, sac malzeme ve kalınlığı, şekillendirme hızı, baskı plakası kuvveti, sıcaklık vb. gibi değişkenler sac metal şekillendirme işlemini etkileyen işlem parametreleridir. İşlem değişkenlerinin etkisini malzeme özelliklerinin etkisinden ayıran en önemli kriter, işlem parametrelerinin şekillendirme sürecinde kişiler tarafından belirlenmesidir.

Kalıp ve zımba kavis

Sac malzemelerin bükülerek şekillendirilmesinde önemli parametrelerden biri de kalıp köşe kavisidir. Kalıp, malzeme özellikleri ile beraber pres tezgahından aldığı kuvvet yardımıyla sac malzemenin uygun bir şekilde zımba ile dişi çekirdek arasında akarak istenilen geometriyi almasının sağlamaktadır. Şekillendirme işlemi sırasında kalıp köşe kavisleri sacın dişi kalıp içerisine akışını önemli ölçüde etki etmektedir. Kalıbın tasarım aşamasında bu detayların belirlenmesi gerekmektedir. Delik flanşlama işleminde sac malzemenin kalıp içerisinde akışını kolaylaştırmak için zımba ve dişi kalıp kavislerinin mümkün olduğu kadar büyük tutulması gerekmektedir. Ancak gereğinden büyük kavislerin verildiği durumlarda baskı plakası etki yüzeyi azalacağından, şekillendirme sırasında sac malzeme rahat bir davranış sergileyerek parça üzerinde istenmeyen kırışıklıklar ve ölçüsel şekil bozuklukları oluşturmaktadır. Kavis miktarının az verildiği durumlarda ise sac malzemenin kalıp içerisinde akışı için gerekli temas alanı azalacağından malzemenin akışı ve kuvvetin yayılımı zorlaşmakta, bu da malzemede bölgesel incelmelere ve yırtılmalara neden olabilmektedir.

Zımba kavis ve kalıp kavis şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Zımba kavis ve kalıp kavis

Kalıp kavisinin belirlenmesi için çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir. Bu eşitlikler, Eş. 3.10 [42] ve Eş. 3.11’de [43] verilmiştir.

$$r = 0,035.[50 + (D - d)].\sqrt{t} \quad (3.10)$$

$$r = \sqrt{0.8(D-d)t} \quad (3.11)$$

r: Kalıp kavisi ,mm

D: İlkel parça çapı ,mm

d: Flanşlama çapı ,mm

t: Sac malzeme kalınlığı ,mm

Kalıp kavisinin belirlenmesi için literatürde farklı yöntemler yer almaktadır. Sac malzeme kalınlığına göre kalıp kavisi için önerilen değerler çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Sac malzeme kalınlığına göre kalıp kavisi için önerilen değerler [19, 44]

Sac kalınlığı, mm	Kalıp kavisi, mm
0,4	1,6
0,8	3,2
1,2	4,8
1,5	6
1,6	6,5
2	9,5
2,4	11
2,6	11,6
3,2	14
5	20

Zımba kavisi sac malzemelerin şekillendirilmesinde önemli parametrelerden biridir. Zımba kavisinin küçük olması daha çok keskin formlara sahip malzemelerin keskin hatlarının elde edilmesi için tercih edilmektedir. Fakat böyle kesin hatlar malzemenin şekillendirilmesi sırasında problemler meydana getirerek, sac malzemenin yırtılmasına veya çatlamasına neden olur.

Genelde zımba kavisleri için, $r_z = (3-10).t$ bağıntısı kullanılmaktadır. Şekillendirme işleminde küçük zımba kavisleri malzemenin et kalınlığında azalma etkisi göstermektedir. Malzemenin et kalınlığında meydana gelen bu azalma, şekillendirme esnasında parçanın

gerilmelere dayanamayarak yırtılmasına neden olmaktadır. Baskı plakalı flanşlama işlemlerinde, kalıp ve zımba kavisleri arasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmaktadır [44, 45].

$$\frac{t}{D}.100 > 0,6 \quad \text{ise} \quad r_z = r_k \quad (3.12)$$

$$\frac{t}{D}.100 = 0,6 - 0,3 \quad \text{ise} \quad r_z = 1.5r_k \quad (3.13)$$

$$\frac{t}{D}.100 < 0,3 \quad \text{ise} \quad r_z = 2r_k \quad (3.14)$$

Zımba kavisli uygulamalarda pratik olarak malzeme kalınlığının 3 ila 10 katı arasında, kalıp kavisli ise malzeme kalınlığının 10 katı veya üzerinde bir değerde seçilmektedir.

Kalınlık

Delik flanşlama işleminde malzeme kalınlığı sac malzemenin şekillenme davranışını etkileyen en belirgin parametrelerden biridir. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, kalınlığın delik flanşlama üzerinde etkisi açıkça görülebilmekte ve şekillendirme işleminde kalınlığın, kalıp köşe kavisine oranı (R/t) olarak ifade edilmektedir.

Delik flanşlama işleminde malzeme kalınlığının şekillendirme üzerindeki etkileri ile ilgili mevcut çalışmalar incelendiğinde, sac malzeme kalınlığının artmasıyla malzemenin şekillendirilebilirliğinin arttığı gözlemlenmektedir.

Kalıp boşluğu

Sac metal şekillendirme işleminde malzemenin kalıp ile zımba arasında uygun bir şekilde akarak şekil alabilmesi için dişi kalıp ile zımba arasında, sac malzeme kalınlığı da dikkate alınarak bir miktar boşluk bırakılmalıdır. Şekillendirme esnasında kalıp ile zımba arasında kalan boşluğa kalıp boşluğu denilmektedir. Kalıp boşluğunun gereğinden düşük olduğu durumlarda sac malzeme ile kalıp arasındaki sürtünme artmaktadır. Bu durum malzeme

kalınlığının azalmasına ve azalan parça kalınlığının şekillendirme kuvvetine dayanamayarak yırtılmasına neden olmaktadır. Kalıp boşluğunun gereğinden fazla bırakılması durumunda ise istenilen parça ölçülerini gerçekleştirmek zor olmakta ve parçada kırışıklıklar meydana gelmektedir [19].

Kalıp boşluğunun hesaplanması için kullanılan farklı matematiksel eşitlikler aşağıda verilmiştir [19, 43,44, 46].

$$c = t \sqrt{\frac{D}{d}} \quad (3.15)$$

$$\text{Çelik sac malzemeler için} \quad c = t + 0,07\sqrt{10t} \quad ,\text{mm} \quad (3.16)$$

$$\text{Alüminyum sac malzemeler için} \quad c = t + 0,02\sqrt{10t} \quad ,\text{mm} \quad (3.17)$$

$$\text{Demir olmayan metaller için} \quad c = t + 0,04\sqrt{10t} \quad ,\text{mm} \quad (3.18)$$

t: Deney malzemesinin kalınlığı,

c: Kalıp boşluğu (sac malzeme dahil)

Kalıp boşluğunun belirlenmesinde dikkate alınan sac malzeme kalınlığı malzemenin şekillendirilmesi üzerinde de önemli rol oynamaktadır. Malzeme kalınlığında meydana gelen artış malzemenin şekillenebilirliğini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra sac malzeme kalınlığı kalıp tasarımı ve kalıplama kuvvetine etki eden bir parametredir.

Şekillendirme hızı

Sac metal malzemenin şekillendirme esnasında dişi kalıp içerisine akış hızına şekillendirme hızı denilmektedir. Şekillendirme hızı malzemenin fiziksel özelliklerini ve şekil değişimini önemli ölçüde etkilemektedir [42]. Problemsiz bir şekillendirme işleminin gerçekleşmesi için uygun şekillendirme hızı kullanılmalıdır. Şekillendirme hızı değerleri genellikle deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmektedir.

Şekillendirme hızının yüksek olması, şekillendirme esnasında sac parça üzerine etkiyen kuvvetlerin dağılmasına izin vermeyerek malzemenin yırtılmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde şekillendirme hızında meydana gelen artışın sac malzemenin şekil alabilirliğini azalttığı görülmektedir.

Şekillendirme hızı aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir [47, 48].

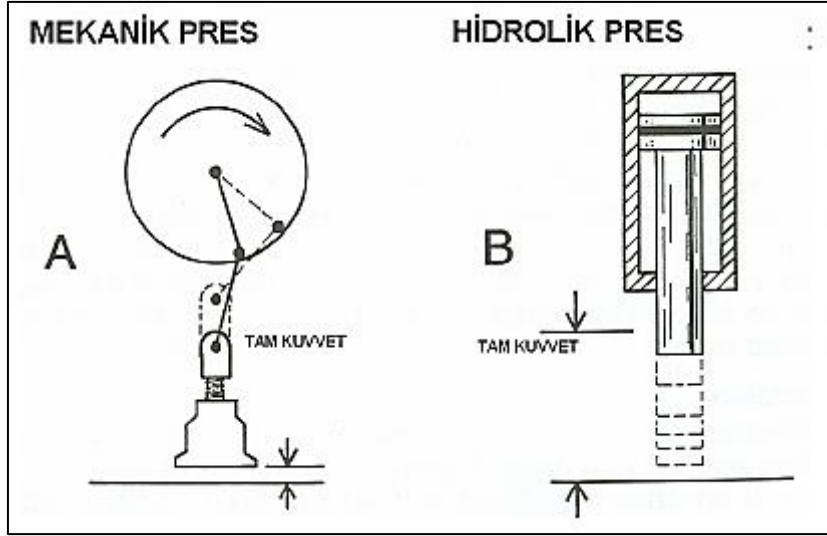
$$V : 33,3(1 + \frac{d}{D} \sqrt{D-d}) , \text{ mm/sn} \quad (3.19)$$

Klasik kalıplama işleminde şekillendirme hızları için kesin kurallar konulmamıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda klasik kalıplama işlemi için önerilen şekillendirme hızları çizelge 3.4'te verilmiştir [48].

Çizelge 3.4. Klasik kalıplama için önerilen şekillendirme hızı değerleri [47, 48]

Malzeme	Şekillendirme hızları, mm/s	
	Tek etkili presler	Çift etkili presler
Alüminyum	900	100
Al. Alaşımları	...	150-200
Pirinç	1000	500
Bakır	750	430
Çelik	300	180-250
Paslanmaz Çelik	...	100-150

Sac metal parçaların şekillendirilmesinde mekanik ve hidrolik olmak üzere iki tip pres kullanılmaktadır. Mekanik preslerde şekillendirme hızı koça bağlı olarak değişkenlik gösterirken, hidrolik preslerde şekillendirme hızı ve kuvveti kurs boyunca sabit tutulabildiği için işlem süresince sabit hız ve kuvvet uygulanabilmektedir. Mekanik ve hidrolik pres yapıları şekil 3.12'de gösterilmiştir [48].



Şekil 3.12. Mekanik ve hidrolik preslerin kuvvet aktarımı [47, 48]

Baskı plakası basıncı

Sac malzemelerin flanşlanması işleminde, malzemenin dışı kalıp içerisine akışını sağlamak ve malzemede meydana gelebilecek kırışıklıkları önlemek amacıyla baskı yapan düzeneğe baskı plakası adı verilmektedir. Delik flanşlama işleminin başlangıcında sac malzeme baskı plakası ile kalıp arasında belirli bir kuvvet ile sıkıştırılır. Burada sac malzemeyi tutma kuvveti, malzemenin kırışiksız çıkmasını sağlayacak seviyede olmalıdır. Baskı plakası basıncının gereğinden fazla uygulandığı durumlarda malzemenin kalıp içerisine akışı zorlanmakta, sac malzemede incelme ve yırtılmalar meydana gelmektedir. Baskı plakası basıncının gereğinden az olması durumunda ise şekillendirme sırasında kırışıklıklar oluşmakta, istenilen ürün geometrisi tam olarak elde edilememektedir [19, 44].

Sıcaklık

Sıcaklık, sac parçaların şekillendirilmesi esnasında malzemenin mekanik özelliklerini etkileyerek, deformasyon sırasında farklı davranış sergilemesine neden olmaktadır. Şekillendirme esnasında ortam sıcaklığı, işlem sonucunda elde edilecek ürün geometrisini etkileyeceği için önem taşımaktadır.

Sac parçaların şekillendirilmesi sırasında sıcaklığın yükselmesi, malzemenin sünekliğini ve tokluğunu arttırırken, çekme dayanımı, elastikiyet modülü ve akma sınırını ise

düşürmektedir. Ayrıca sıcaklığın yükselmesi pekleşme üstelinin düşmesine yol açmaktadır. Böylece malzemede oluşan pekleşme gerilmeleri azalmakta bu da kalıplama kuvvetinin azalmasını sağlamaktadır [42].

Yağlama

Yağlama, şekillendirme işlemi esnasında sac malzeme, zımba, kalıp arasında meydana gelen sürtünmeyi azaltarak, sac malzemenin kalıp içerisine daha rahat akmasını sağlamaktadır. Ayrıca şekillendirme sırasında temas yüzeylerinde meydana gelen sürtünme katsayısını azaltarak, şekillendirme kuvveti ve aşınma miktarlarını düşürerek, kalıp ömrünün uzamasını sağlamaktadır.

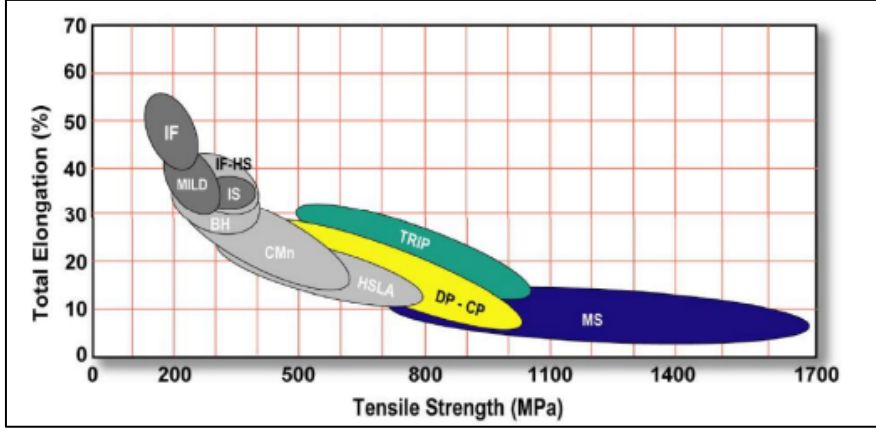
3.6. Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik Sac Malzemeler

Sürekli gelişen otomotiv endüstrisinde güvenlik, yakıt tasarrufu, çevrecilik ve hafiflik gibi parametreler doğrultusunda düşük kalınlıklarda yüksek dayanıma, iyi şekillendirilebilirliğe ve darbe sönümlene özelliğine sahip malzeme ihtiyacı, otomotiv endüstrisinde çelik kalitelerinin geliştirilmesine zemin hazırlayarak, malzeme seçimine yönelik çalışmaların başlamasına neden olmuştur. Bu doğrultuda yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler otomotiv üreticilerinin isteklerini yerine getirir de şekillendirilebilirlik özelliklerinin iyi olmaması nedeniyle geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin tercih edilmesine sebep olmuştur.

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler, düşük kalınlıklarda yüksek dayanıma, iyi şekillendirilebilirliğe ve darbe sönümlene özelliklerine sahip olmaları nedeniyle otomotiv sektöründe araç ağırlıklarının düşmesine, yakıt tüketiminde tasarrufa ve buna bağlı olarak çevreye salınan zararlı sera gazlarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır.

Otomotiv sektöründe güvenlik ve yakıt tasarrufu amacıyla üretilen geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler, otomobil gövde, panel ve kaporta parçalarında kullanılmaktadır.

Şekil 3.13'te açıkça görüldüğü üzere geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler, akma mukavemet değeri 550 MPa üzerinde olan çelikleri ifade etmektedir.



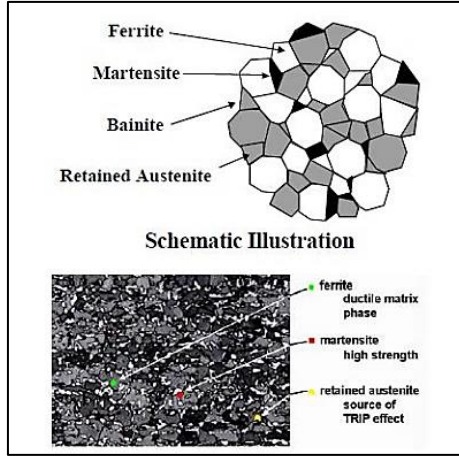
Şekil 3.13. Yüksek mukavemetli Sac Malzeme diyagramı [49]

AHSS çeliklerinin kaliteleri genel olarak dört grupta sınıflandırılabilir.

- Trip Çelikleri
- Dual (Çift) fazlı Çelikler
- Kompleks Fazlı Çelikler
- Martenzitik Çelikler

3.6.1. TRIP çelikleri

Dönüşüm etkili plastisite (TRİP) çelikleri, içyapısında sürekli olarak bulunan bir ferrit matrisinin içine dağılmış sert martenzit veya beynit yapısı içermektedir. İçeriğinde bulunan bu yapılara ek olarak içyapısında %5'ten fazla kalıntı östenit faz bulundurmaktadır. Şekil 3.14'te TRIP çeliklerinin mikro yapısı gösterilmiştir [50].



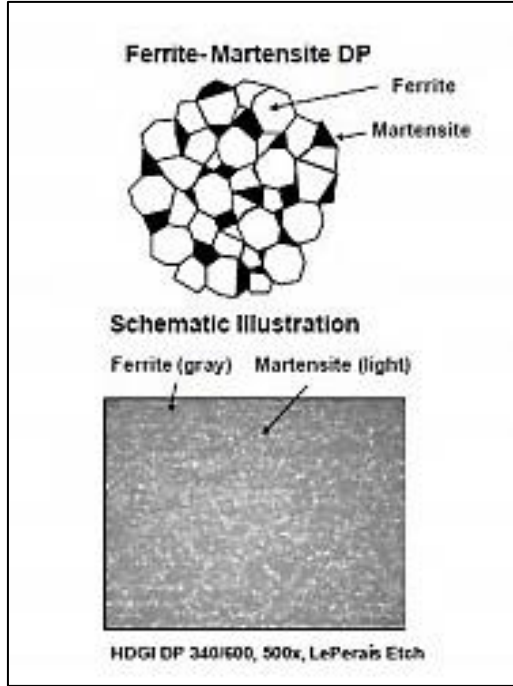
Şekil 3.14. TRIP çeliklerinin mikroyapısı [50]

TRIP çelikleri belirli kuvvet ile deforme edildiğinde, içyapısında bulunan kalıntı östenit fazı martenzit yapıya dönüşerek gerinimin yapı içerisinde dağılmasına ve böylece uzamanın artmasına neden olmaktadır. Diğer yüksek mukavemetli çeliklere istinaden daha az pahalı olan TRIP çelikleri, yapısında Ni ve Cr gibi alaşım elementleri bulundurmayıp, Mn ve Si elementleri ile geliştirilmekte ve şekillendirilebilirlik bakımından diğer yüksek mukavemetli çeliklerin yerlerini almaktadır[51]. Genel olarak TRIP çelikleri otomobil ön-arka raylarında ve ara bağlantı parçalarında kullanılmaktadır [52].

3.6.2. DP (Çift) fazlı çelikler

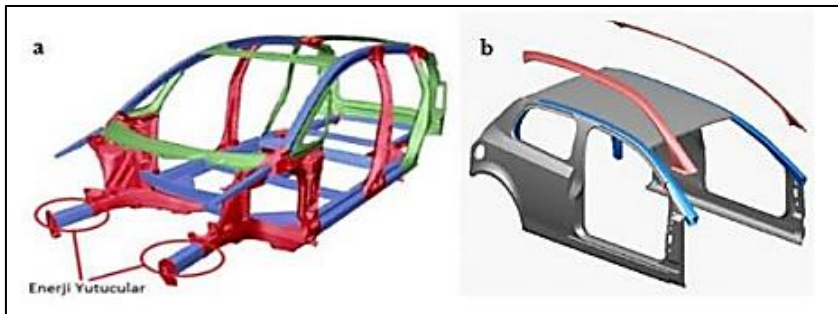
Çift fazlı çelikler yüksek dayanım ve şekillendirilebilme özelliklerine sahip olması nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik türüdür. Genellikle magnezyum ve silisyum gibi bazı alaşım elementleri içeren çift fazlı çelikler, yüksek çekme dayanımı, sürekli akma uzaması, süneklik ve deformasyon sertleşmesi (n değeri) gibi temel karakteristikleri nedeniyle özellikle otomobil dış gövde parçalarının yapımında kullanılmaktadır [53].

Çift fazlı çelikler mikroyapısında bulunan yumuşak ferrit matrisi içerisinde %10-40 arası oranda ikinci bir faz olarak yer alan sert martenzit yapıdan oluşmaktadır. Şekil 3.15'te görülen bu durum yarı kararlı östenit deformasyonu ile yapıda martenzit oluşturarak süneklik, mukavemet ve malzeme tokluğunun artmasını sağlamaktadır [54, 55].



Şekil 3.15. Çift fazlı (DP) çelik mikro yapısının şematik gösterimi [50]

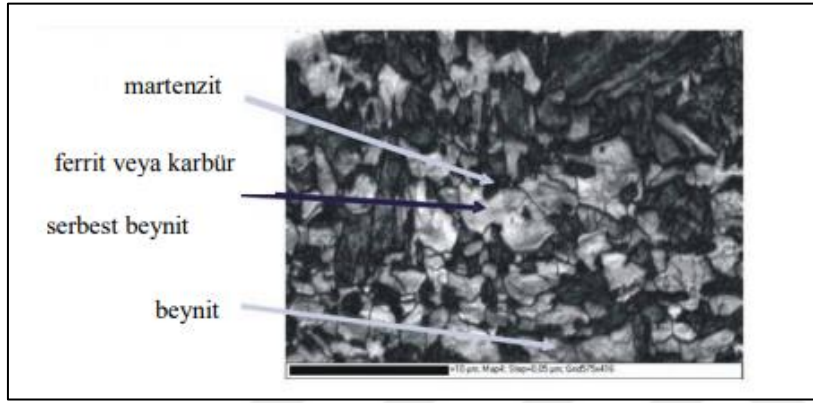
Çift (DP) fazlı çeliklerin yapısında bulunan ferrit faz malzemeye süneklik sağlarken, yapıda ikici faz olarak yer alan martenzit fazın hacim oranı ise malzemenin mukavemetini belirlemektedir. Deformasyon sırasında meydana gelen gerilmeler martenzit yapıyı çevreleyen düşük mukavemetli ferrit fazda oluşmaktadır. Bu da malzemenin sertleşebilme oranını belirlemektedir. Çift fazlı çelikler yüksek sertleşebilme oranı ve uzama özelliği ile benzer akma mukavemetine sahip diğer çeliklere göre daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Şekil 3.16'da gösterildiği gibi çift fazlı çelikler genellikle otomobil gövdelerinde, enerji yutucu ve çatı rayları olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.16. Çift fazlı çeliklerin araç gövdesinde kullanım yerleri; (a) enerji yutucular, (b) çatı rayları [50, 56]

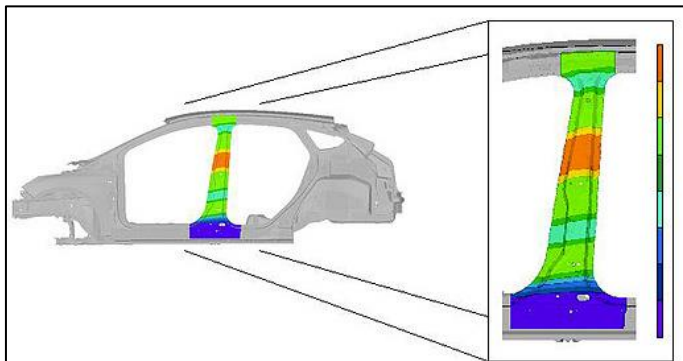
3.6.3. Kompleks fazlı çelikler

Kompleks fazlı (CP) çelikler, yüksek çekme dayanımlarına sahip çelik türüdür. Kompleks fazlı çelikler TRIP çelik mikroyapısına benzer özellikte olup, sadece kalıntı östenit içermez. Şekil 3.17’de görüldüğü gibi çok ince mikroyapıdaki martenzit, beynit ve çökeltme sertleşmesi ile elde edilen sert fazlar sayesinde bu çeliklerin mukavemet değeri yaklaşık 800 ile 1000 MPa arasında değişmektedir.



Şekil 3.17. Kompleks fazlı çeliklerin mikro yapısı [57]

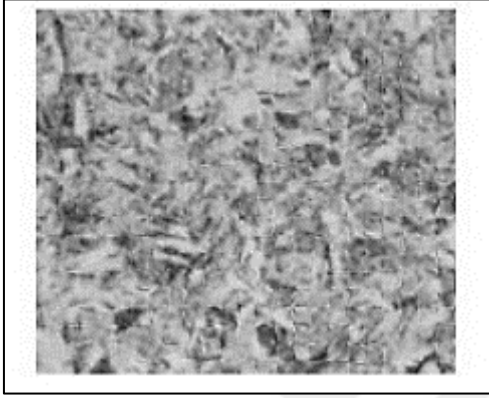
Kompleks fazlı çelikler şekillendirilebilirlik özelliği, çift fazlı çeliklere oranla daha iyidir. Mikro yapısına eklenen Titanyum, Vanadyum ve Niobyum elementleri ile tane küçültme işlemi gerçekleştirilebilen bu çelikler, çinko kaplama ve nokta kaynağı için elverişlidir [51,59]. Tüm bunlarla birlikte, enerji absorpsiyonu, yüksek şekil değiştirebilme ve kalıntı deformasyon kapasiteleri sayesinde otomotiv endüstrisinde tampon ve B sütunu gibi yüksek enerji absorblama kapasitesi gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Kompleks fazlı çeliklerin kullanım uygulamasına örnek görsel şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Kompleks fazlı çeliklerin B sütunu uygulaması [50, 58]

3.6.4. Martenzitik Çelikler

Martenzitik çelikler (MS), yapısında yüksek oranda martenzit ve az miktarda ferrit ve beynit faz içeren çelik türüdür. Bu çelikler, sıcak haddeleme veya tavlama sırasında yapısında oluşan östenit fazın, östenit sıcaklığından iğnemesi martenzitik yapıya soğutulması ile elde edilir. Şekil 3.19’da temperlenmiş martenzitik çeliğin mikroyapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Temperlenmiş martenzitik çeliğin mikroyapısı, 500x büyütme [60]

Martenzitik çelikler en yüksek mukavemet ve en düşük uzama değerine sahip çeliklerdir. Çekme mukavemet değeri 900-1700 MPa arasında değişen bu çelikler, yapısında genellikle %0,09 Karbon ile %0,5 değerinde Mangan içermektedir. Mukavemet değerini daha da artırmak için yapıdaki karbon oranı arttırılabilir. Fakat bu durum sünekliği düşük olan bu çeliğin sünekliğinin daha da düşmesine neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı martenzitik çelikler bazı durumlarda önce şekillendirilir ve ardından soğuk kalıpta su verme işlemi uygulanarak martenzitik yapısı elde edilir. Bu tekniğe “die quenching” denilmektedir. Bu yöntem sayesinde hafif ve yüksek mukavemetli martenzitik çelikler otomotiv sektöründe kullanıma uygun hale getirilir. Martenzitik çelikler otomotiv endüstrisinde daha çok deformasyonun sınırlı olacağı otomobil gövde parçalarında, araç tamponlarında ve kapı bağlantılarında kullanılırlar [60].

4. MATERYAL VE METOT

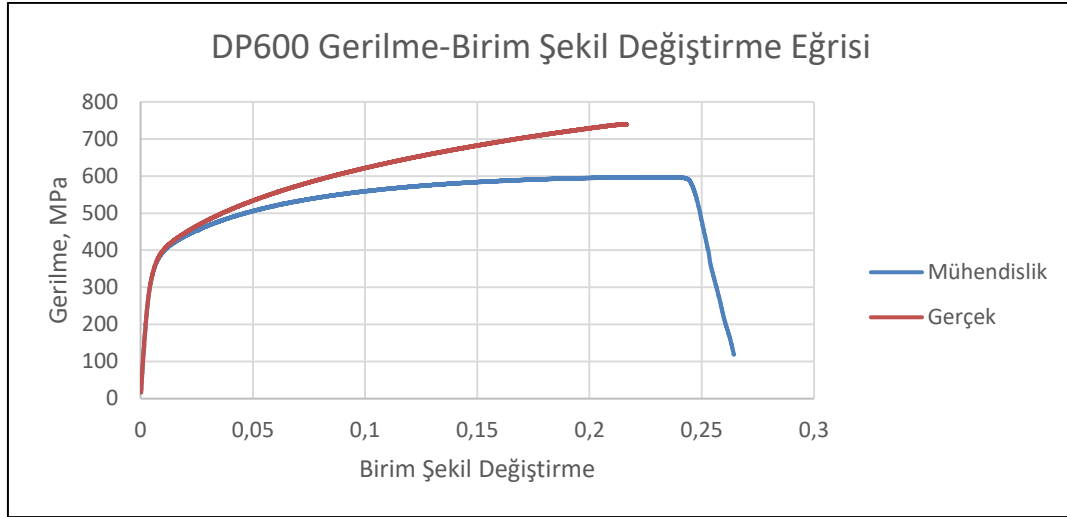
Yapılan bu çalışmada, delik flanşlama işlemine etki eden parametreler ve etki düzeylerinin belirlenmesi amacıyla deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda, farklı kalınlık ölçülerine sahip DP600 ve DP800 sac malzemelere belirlenen parametre değerleri ile delik flanşlama işlemi uygulanmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar destekli sac şekillendirme benzetim programına aktararak şekillendirme analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.1. Sac Metal Malzeme

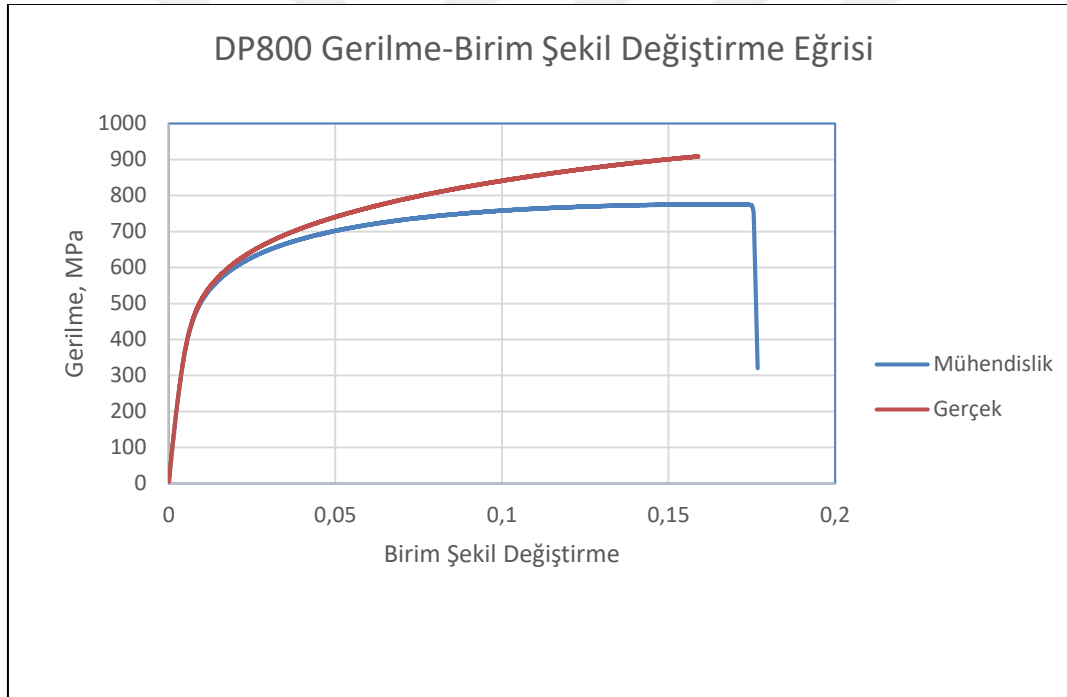
Sac malzemeler şekillendirme esnasında, değişen deformasyon şartlarına göre değişik davranışlar sergilemektedir. Bu kapsamda farklı işlem parametrelerinde malzemelerin şekillenme davranışını inceleyebilmek için, iki farklı sac malzeme tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalarda; yüksek mukavemet, şekillendirilebilirlik ve yüksek enerji absorpsiyonu özelliklerine sahip olması nedeniyle, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan DP600 ve DP800 sac malzemeler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan sac malzemeler 1 mm ve 1,5 mm kalınlığa sahip levhalar olarak endüstriden hazır olarak tedarik edilmiştir. Sac malzemelere ait kimyasal analiz raporları Çizelge 4.1 de verilmiştir. DP600 sac malzemenin gerilme-gerinim eğrisi Şekil 4.1’de, DP800 sac malzemenin gerilme-gerinim eğrisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. DP600 ve DP800 çelik sac malzemelerin kimyasal analiz raporu

Çelik Türü	Çelik Saclarda Bulunan Alaşım Elementleri % Oranları										
	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Mg	Cr	Ti	V
DP600	0,095	0,337	1,933	0,023	0,001	0,024	0,005	0,0004	0,23	0,002	0,005
DP800	0,152	0,283	2,068	0,025	0,003	0,027	0,005	0,0005	0,26	0,003	0,005



Şekil 4.1. DP600 sac malzeme gerilme – gerinim eğrisi

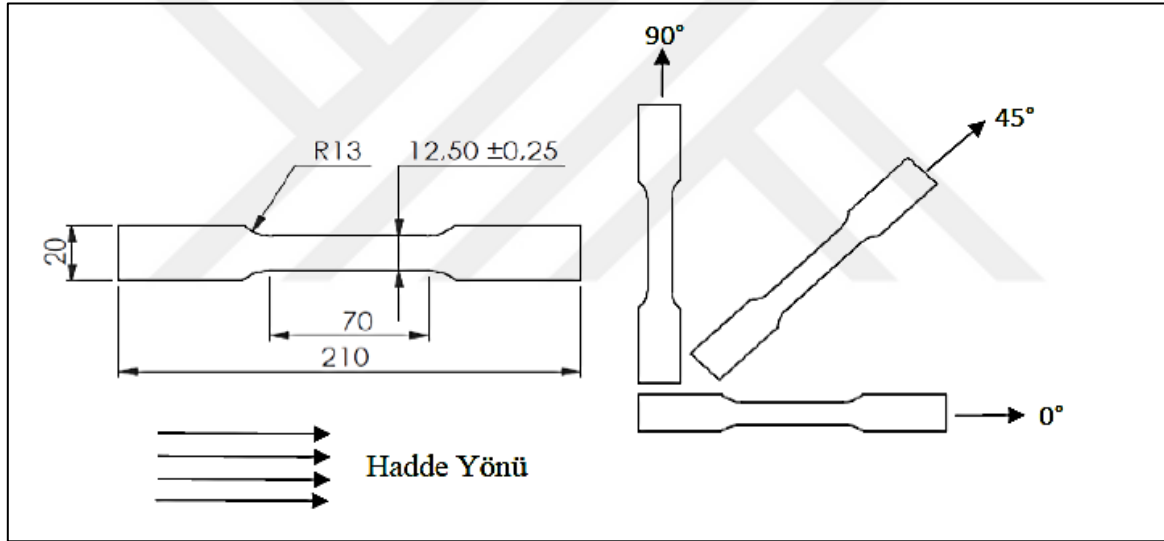


Şekil 4.2. D800 sac malzeme gerilme – gerinim eğrisi

4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

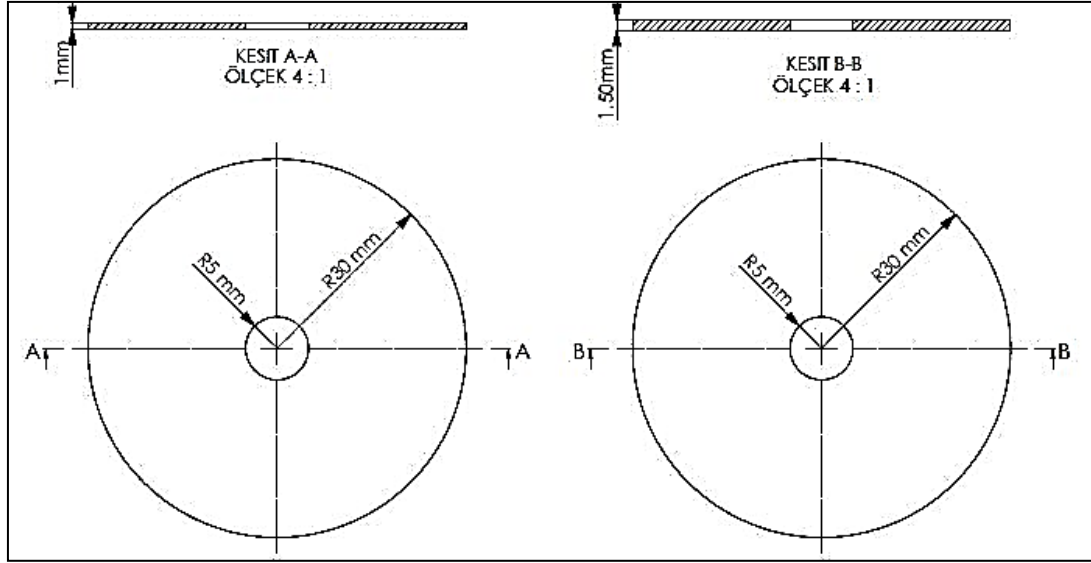
Deneysel ve analitik çalışmalarda kullanılan sac malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için malzemeye uygulanan çekme deneyi, yapılan deneysel çalışmalardan ve şekillendirme benzetim programlarında gerçekleştirilen analiz sonuçlarından doğru ve sağlıklı verilerin elde edilmesi için gerekli işlemdir. Bu kapsamda deneylerde ve analizlerde

kullanılacak sac metal malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla tek eksenli çekme testleri uygulanmıştır. Endüstriden temin edilen sac metal levhalar tek eksenli çekme testinde kullanılmak üzere ASTM-E8 standardına uygun bir şekilde, hadde yönüne göre 0° , 45° ve 90° açılarda hazırlanmış ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme testi için hazırlanan numunelerin kesim işlemi lazer tezgahında gerçekleştirilmiş ve numune yan yüzeylerinin kalitesi, çekme testi esnasında çentik etkisi göstermemesi için temizlenmiştir. Ayrıca, tek eksenli çekme testi için hazırlanan deney numunelerin kesilmeden önce sac metal malzeme üzerindeki yerleşim planı Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Çekme testi sonucunda belirlenen mekanik özelliklerin yanı sıra; elde edilen çekme ve akma dayanımı değerleri sayesinde, delik flanşlama işleminin teorik hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Çekme testinden elde edilen veriler analitik ve deneysel çalışmalarda girdi olarak teşkil edilmiştir.



Şekil 4.3. Deney numunelerinin tek eksenli çekme deneyi için sac levha üzerinde yerleşimi ve deney numunesi teknik resmi

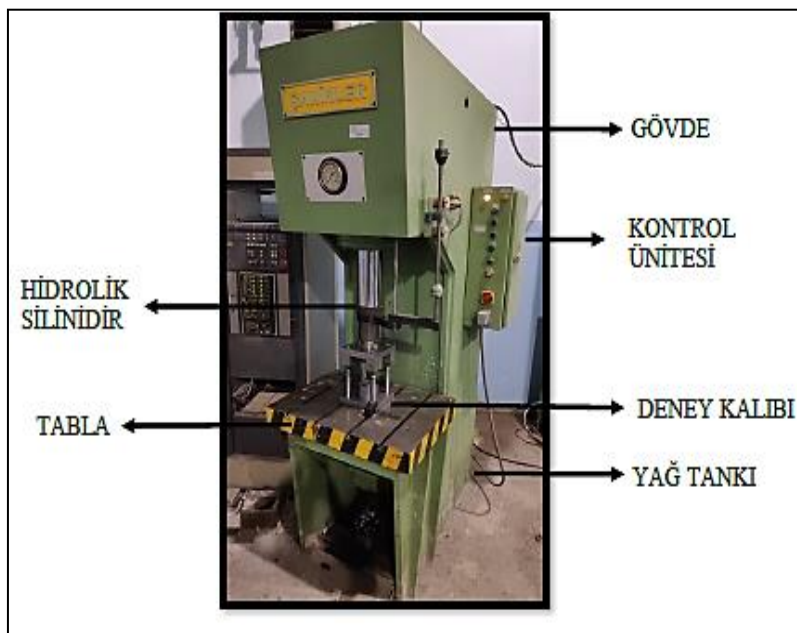
Literatürde yapılan çalışmalarda, delik flanşlama işleminde ön delik yüzey kalitesinin delik flanşlama işlemine önemli derece etki ettiği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, delik flanşlama işleminde ön delik yüzey kalitesinin flanşlama üzerinde etkilerinin belirlenmesi amacıyla, kalınlıkları 1 mm ve 1,5 mm olan deney numunelerinde; Su Jeti, Lazer ve zımba ile delme yöntemleri kullanılarak ön delikler oluşturulmuştur. Hazırlanan deney numunesinin teknik resmi Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Deney numunelerinin teknik resim görüntüleri

4.3. Deney Düzeneği ve Pres Tezgahı

Deneyisel çalışmalar, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda bulunan, 600 kN basma kapasiteli, C tipi Şahinler marka hidrolik pres tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deneyisel çalışmaların gerçekleştirildiği Pres tezgahı ve kalıp düzeneğinin pres tezgahı üzerindeki görseli Resim 4.1'de gösterilmiştir. Pres tezgahına ait teknik özellikler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

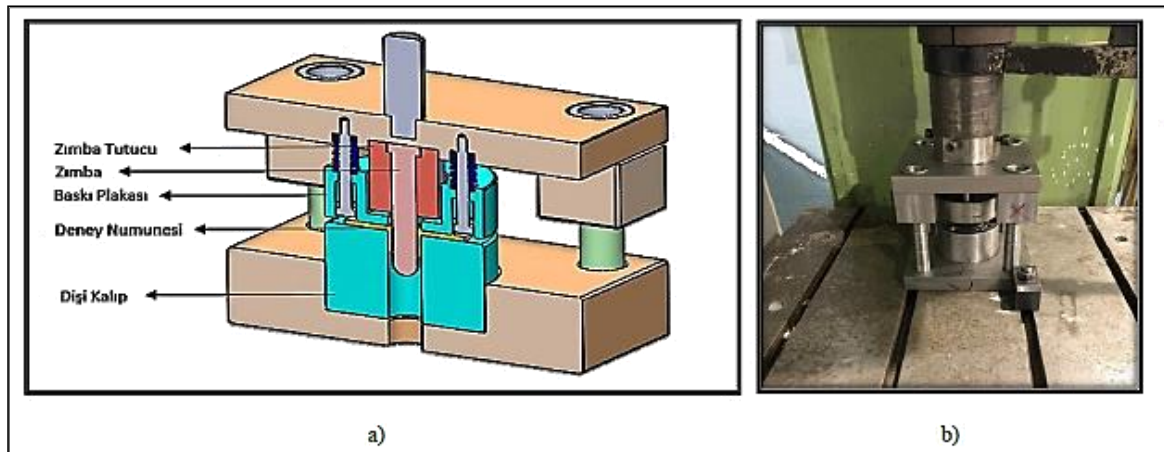


Resim 4.1. Deneyisel çalışmaların gerçekleştirildiği pres tezgahının görseli

Çizelge 4.2. Pres tezgahına ait teknik özellikler

Presleme kuvveti	600 kN
Motor Gücü	4 KW
Kalıp Bağlama Alanı	500 x 500 mm
Presleme Hızı	37,5 mm/s
Geri Dönüş Hızı	50 mm/s
Piston Hareketi	500 mm
Maksimum Açıklık	650 mm

DeneySEL çalışmaların gerçekleştirildiği kalıp düzeneği; delik flaşlama işlemi esnasında, zımba çapı, zımba formu ve kesme zımbasının etkilerinin incelenebilmesi için, flaşlama zımbaları ve kesme zımbasının değiştirilebilir olmasını sağlayan modüler bir tasarıma sahiptir. Literatürde yapılan delik flaşlama çalışmalarındaki deney düzeneklerinden de faydalanarak hazırlanan kalıp düzeneği, SOLIDWORKS 2020, CAD yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Sanal ortamda montaj ve çalışma simülasyonları yapılarak, kalıp düzeneğinin problemsiz bir şekilde çalıştığı doğrulanmıştır. CAD ortamında tasarımı gerçekleştirilen kalıp düzeneğinin tasarım kesit görseli ve kalıp düzeneğinin pres tezgahı üzerindeki görseli Resim 4.2’de, üretimi tamamlanan kalıp düzeneğinin görüntüsü Resim 4.3’te verilmiştir.

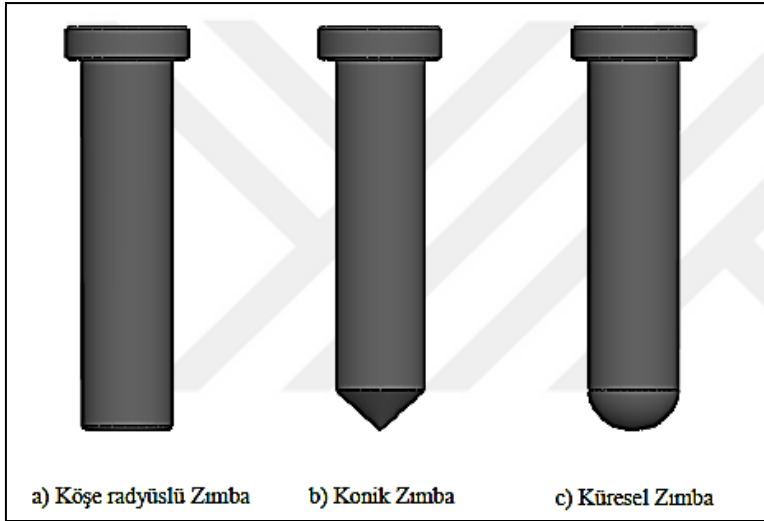


Resim 4.2. a) Kalıp düzeneğinin kesit görünümü, b) Kalıp düzeneğinin pres üzerindeki görseli

Kalıp düzeneğinin imalatında, kalıp seti olarak 1.1050 çelik malzeme kullanılmıştır. Flaşlama işleminin gerçekleştiği flaşlama dişi çekirdeği ve zımba ile ön delik delme

işleminde kullanılan kesme dişi çekirdekleri 1.2379 çelik malzemeden üretilmiş olup, 52-54 HRC sertlik alacak şekilde ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalar incelenerek, flanşlama dişi çekirdek kavisli 1 mm olarak kabul edilmiştir.

Kalıp düzeneğinin üretimine eş zamanlı olarak, deneysel çalışmalarda, delik flanşlama işlemine etki eden, zımba çapı ve zımba formunun etki düzeylerinin belirlenmesi amacıyla her birinin çapları Ø12, Ø14 ve Ø16 olan, köşe kavisli, konik ve küresel formlara sahip 9 adet zımba imal edilmiştir. Köşe kavisli zımbanın kavis değeri 1 mm sabit alınmıştır. Tasarlanan ve üretimi gerçekleştirilen zımbalar Resim 4.3'te gösterilmiştir.

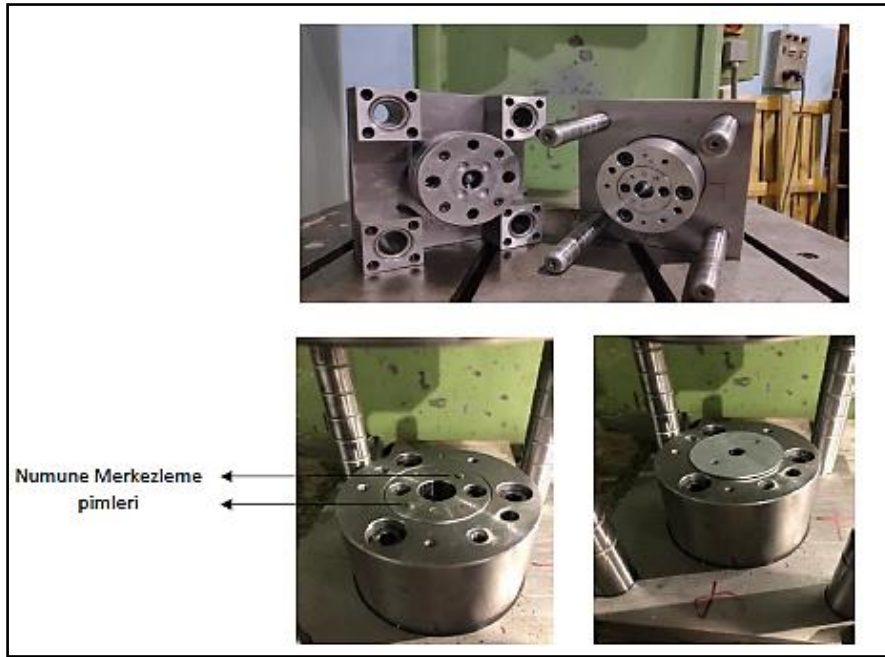


Resim 4.3. Zımba formlarının görüntüsü

Delik flanşlama işleminde, flanşlama işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi için, deney numunelerinin kalıp merkezine tam olarak ortali olması gerekmektedir. Numunelerin kalıp merkezinde olmadığı durumlarda sac metal malzeme, şekillendirme esnasında kalıp içerisinde eşit akma davranışı sergilemeyerek şekillendirme kuvvetinin hızla artmasına ve sac metal malzemenin yırtılarak, şekillendirme işleminin başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olmaktadır. Şekillendirme esnasında yaşanan bu problemlerin önüne geçebilmek ve başarılı bir proses gerçekleştirmek için, kalıp tasarımında deney numunelerinin kalıp merkezinde kalmasını sağlayan pimler yerleştirilmiştir. Böylece işlem sırasında yaşanması muhtemel sorunların önüne geçilerek, zaman ve enerji tasarrufu sağlanmıştır. Tasarlanan ve üretilen kalıp düzeneği Resim 4.4'te ve kalıp üzerindeki deney numunesini merkezleyen pimlerinin görüntüleri Resim 4.5'te gösterilmiştir.



Resim 4.4. Deneyler için üretilen kalıp düzeneğinin görseli

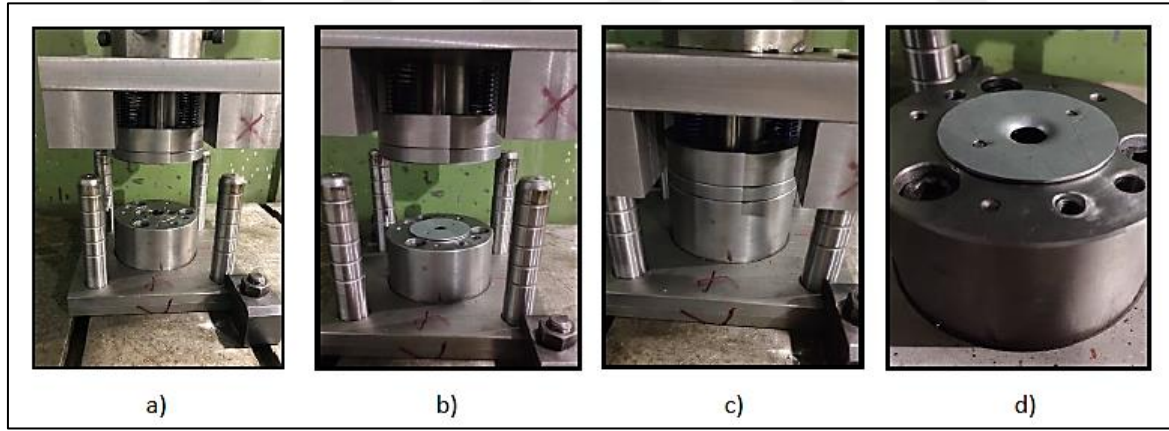


Resim 4.5. Deney numunesinin merkezde kalmasını sağlayan pimlerin kalıp üzerindeki görüntüsü

4.4. Deneysel Çalışmaların Yapılışı

Değişen parametrelerin delik flanşlama işlemine etkilerinin incelendiği bu çalışmada, tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen modüler yapıya sahip kalıp düzeneği kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen parametreler; sac malzeme kalınlığı, malzeme cinsi, zımba formu, zımba çapı, ön delik yüzey kalitesidir. Literatürde yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda; dışı kalıp kavisi (r_d), 1 mm, ön delik çapı (d_1), 10mm, dışı kalıp çapı (D), 20 mm ve deneylerde kullanılan deformasyon hızı (V), 10mm/sn sabit tutulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmada; DP600 ve DP800 çift fazlı çelik sac malzemelere delik flanşlama işlemi uygulanmıştır. Her malzeme için iki farklı kalınlık (t , mm) değeri alınmıştır. Delik flanşlama işleminde, ön delik yüzey kalitesinin flanşlama işlemine etkisini gözlemleyebilmek için numunelerde, Su jeti, Lazer ve Zimba ile delme yöntemleri kullanılarak üç farklı şekilde ön delikler oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalarda her bir malzeme için zimba çapı ve formu tutulmak suretiyle, üç farklı ön delik yüzeyine sahip numunelere flanşlama işlemi uygulanmıştır. Malzeme kalınlıkları değiştirilerek iki farklı malzeme kalınlığı üzerinde deneyler tekrar edilmiştir. Yapılan bu tekrarların ardından zimba çapı sabit tutulup, zimba formları değiştirilerek, 3 farklı zimba formu için aynı tekrarlar uygulanmıştır. Tüm bu işlemler üç farklı zimba çapı için uygulanarak tekrar edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile delik flanşlama işleminde ön delik yüzey kalitesi, malzeme cinsi, kalınlık, zimba formu ve zimba çapı parametrelerinin delik flanşlama işlemine etkileri gözlemlenmiştir. Deneyler sırasında çekilen görüntüler Resim 4.6' da ve deneyler kapsamında kullanılan delik flanşlama parametreleri ve bu parametrelere ait değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Resim 4.6. Deney çalışmaları sırasında çekilen görüntüler; a) Kalıbın ayarlanması, b) Numunenin yerleştirilmesi, c) Flanşlama işlemi, d) Flanşlı parça

Çizelge 4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler

Deney Parametreleri	Köşe Kavisli Zımba, ($r_p:1$)	Konik Zımba, (45°)	Küresel Zımba
Malzeme Cinsi	DP600 – DP800	DP600 – DP800	DP600 – DP800
Malzeme Kalınlığı (mm)	1- 1,5	1 - 1,5	1 - 1,5
Zımba Çapı (mm)	12 - 14 - 16	12 - 14 - 16	12 - 14 - 16
Ön Delik Çapı (mm)	10	10	10
Kalıp Çapı (mm)	20	20	20
Ön Delik Yüzeyi	Su Jeti, Lazer, Zımba	Su Jeti, Lazer, Zımba	Su Jeti, Lazer, Zımba
Kalıp Kavisi (mm)	1	1	1
Şekillendirme Hızı	10 mm/sn	10 mm/sn	10 mm/sn

Deneysel çalışmalar esnasında kalıp, malzeme ve zımba arasındaki sürtünme kuvvetinin azaltılarak, malzemenin kalıp içerisine daha rahat akmasını sağlamak amacıyla yağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yağlayıcı olarak derin çekme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan DRAWTEX HD derin çekme yağı kullanılmıştır. Yapılan her bir deney, deney verilerinin güvenliğini artırmak amacıyla 3'er kez tekrar edilmiştir.

4.5. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Gerçekleştirilen Analiz Çalışmaları

Delik flanşlama işlemi esnasında malzemede meydana gelen deformasyonların analizleri sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan sonlu elemanlar yazılımı sac metal malzemelerin şekillendirilmesi esnasında oluşan deformasyon analizlerinin incelenmesinde kullanılan, dünya genelinde kabul görmüş, yüksek doğruluk ve güvenilirliğe sahip bir paket program olarak tanınmaktadır.

Delik flanşlama işleminin analiz çalışmaları; sac malzeme ve kalıp elemanlarının modellenmesi, modellenen sac malzeme ve kalıp elemanlarının analizin gerçekleştirileceği paket programa uygun formda kaydedilip aktarılması, mesh yapılarının oluşturulması,

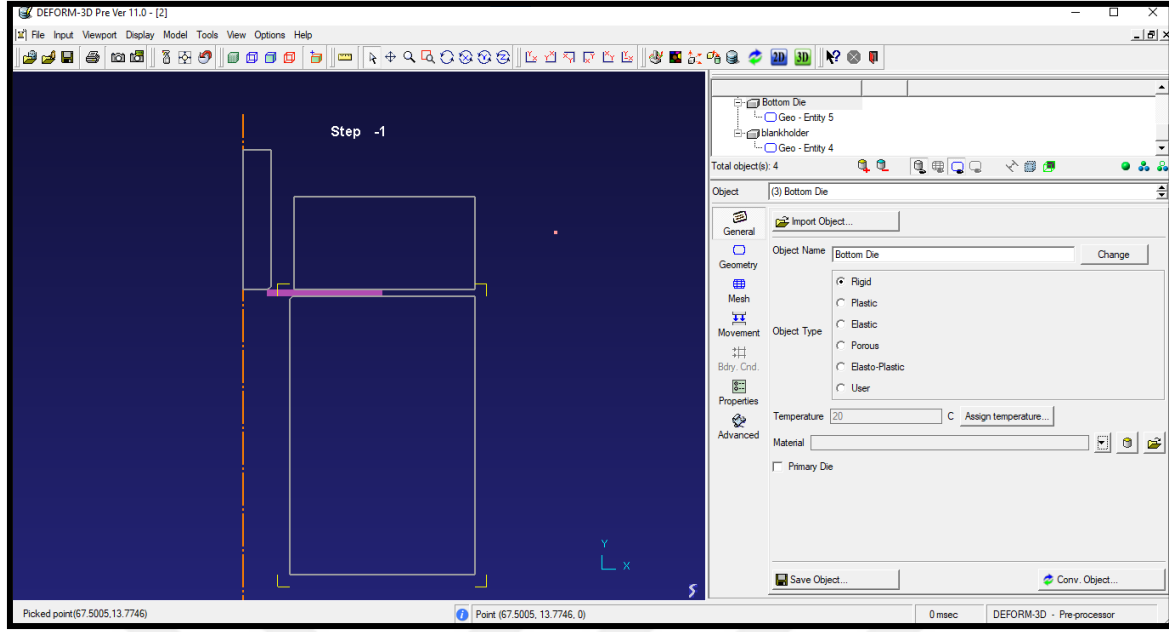
malzeme ve parametrelerin atanması işlemleri adım adım gerçekleştirilerek analiz çalışmaları tamamlanmıştır.

Analiz çalışmalarında kullanılan sac malzeme ve kalıp elemanlarının modellenmesi, SOLIDWORKS (Bilgisayar destekli tasarım) programında gerçekleştirilmiştir. Tasarım sırasında katı model olarak modellenen veriler, analiz programına uygun format olan IGES formatına dönüştürülerek kaydedilmiş ve analiz programında açılması sağlanmıştır.

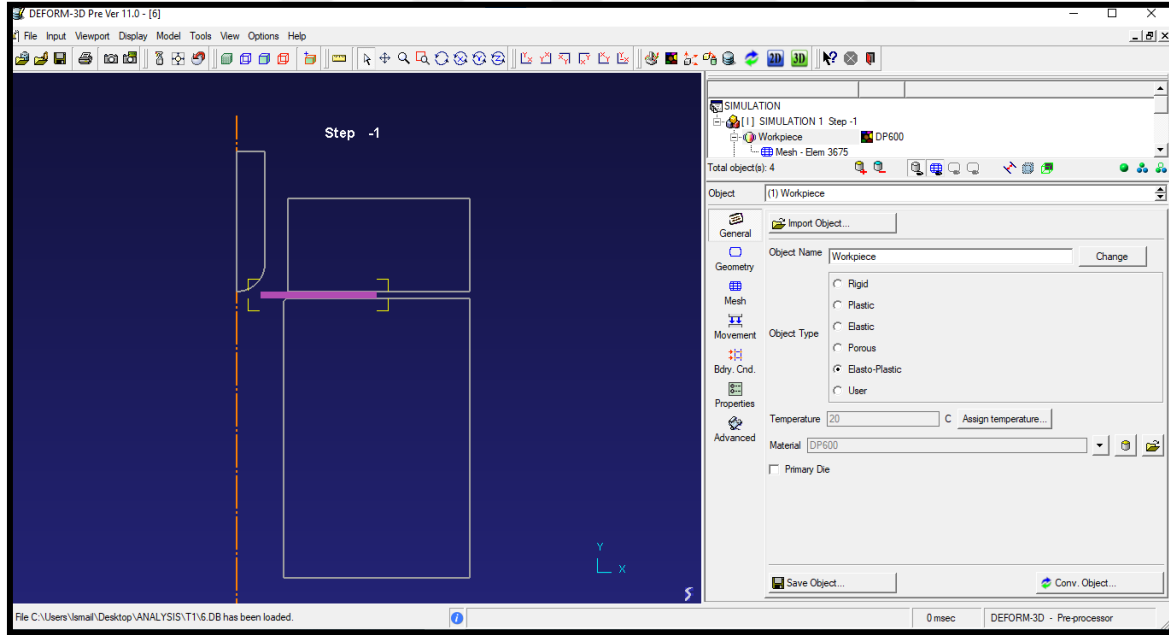
Analiz çalışmalarının gerçekleştirileceği sac parçanın modellenmesinde, deneysel çalışmalar esnasında kullanılan kalıba ait bütün parametreler (kalıp kavisli, zımba kavisli, kalıp ebatları, baskı plakası vb.) göz önünde bulundurularak modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Modellemesi tamamlanan kalıp elemanlarının ardından, sac malzemelerin modellenmesi tamamlanarak, çözümlemelerde kullanılmak üzere iges formatında kaydedilmiştir. Analiz çalışmalarında kullanılan bütün sac malzemeler için lineer elastik malzeme modelleri kullanılmıştır. Elastisite modülleri (E) ve Poisson oranları (ν) gibi gerekli parametreler belirlenmiştir.

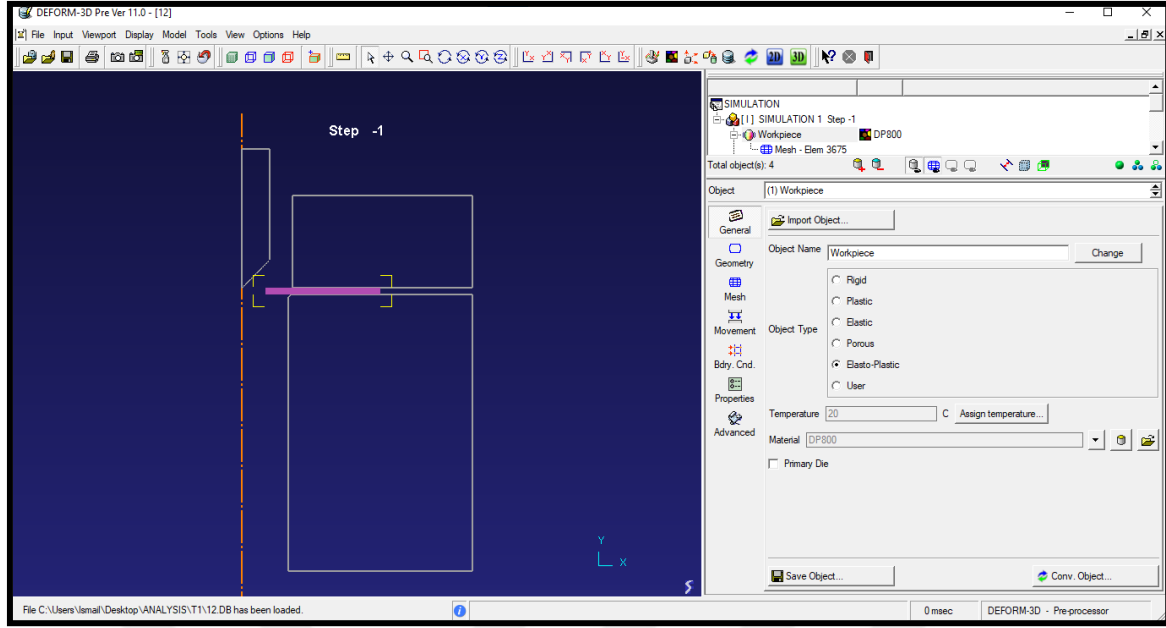
Modelleme işlemi tamamlanan kalıp düzeneği ve sac malzeme, sonlu elemanlar yazılımında açılmış, analiz çalışmalarına uygun şekilde konumlandırılmıştır. Bu bölümde analiz çalışmaları için gerekli ön hazırlıklar tamamlanıp, tüm analiz girdi ve çıktıları tanımlanmaktadır. Analiz çalışmalarında kullanılacak model eksenel simetrik koşullara dayandırılmış ve deney numunesi, zımba ve kalıbın sağ tarafı modellenmiştir. Her bir zımba formu ve zımba çapı için modellemeler oluşturularak analiz programına aktarılmış ve her biri üzerinde analiz çalışmaları tekrarlanmıştır. Köşe kavisli zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin analiz programı içerisine aktarılmış görseli Şekil 4.5’de, küresel zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin analiz programı içerisine aktarılmış görseli Şekil 4.6’da ve konik zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin analiz programı içerisine aktarılmış görseli Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Malzeme modülleri için belirlenen parametreler Çizelge 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.5. Köşe kavisli zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin sonlu elemanlar yazılımına aktarılmış görseli



Şekil 4.6. Küresel zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin sonlu elemanlar yazılımına aktarılmış görseli

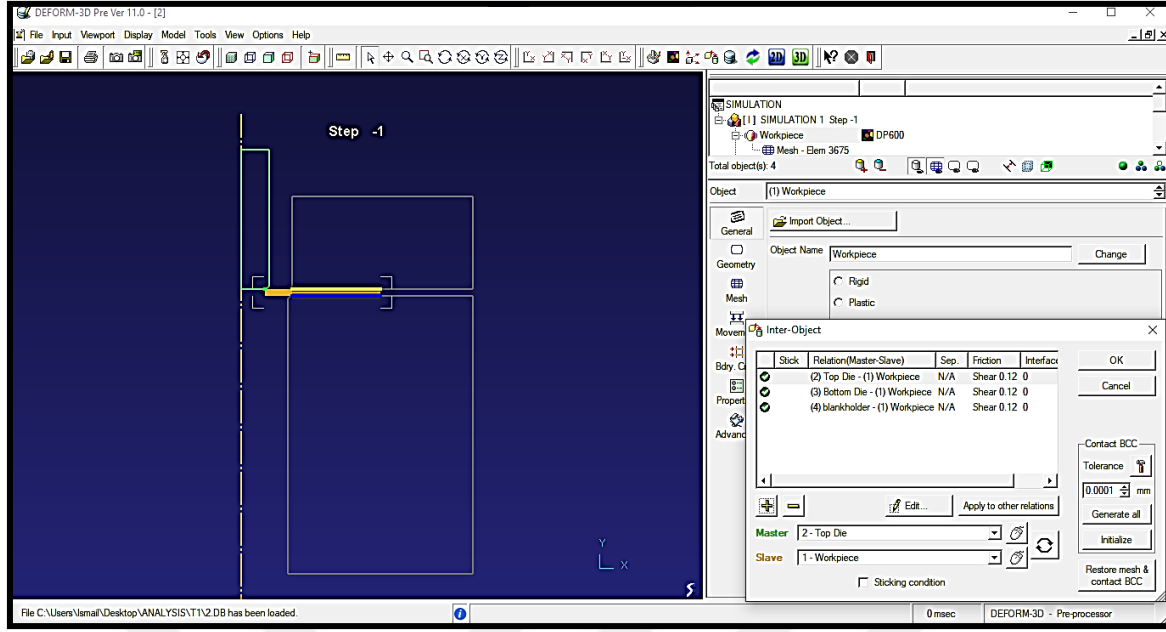


Şekil 4.7. Konik zımba formu için oluşturulan kalıp düzeneği ve sac malzemenin sonlu elemanlar yazılımına aktarılmış görseli

Çizelge 4.4. Analiz çalışmalarında kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme	E (GPa)	ν
DP600	203000	0,3
DP800	206000	0,3

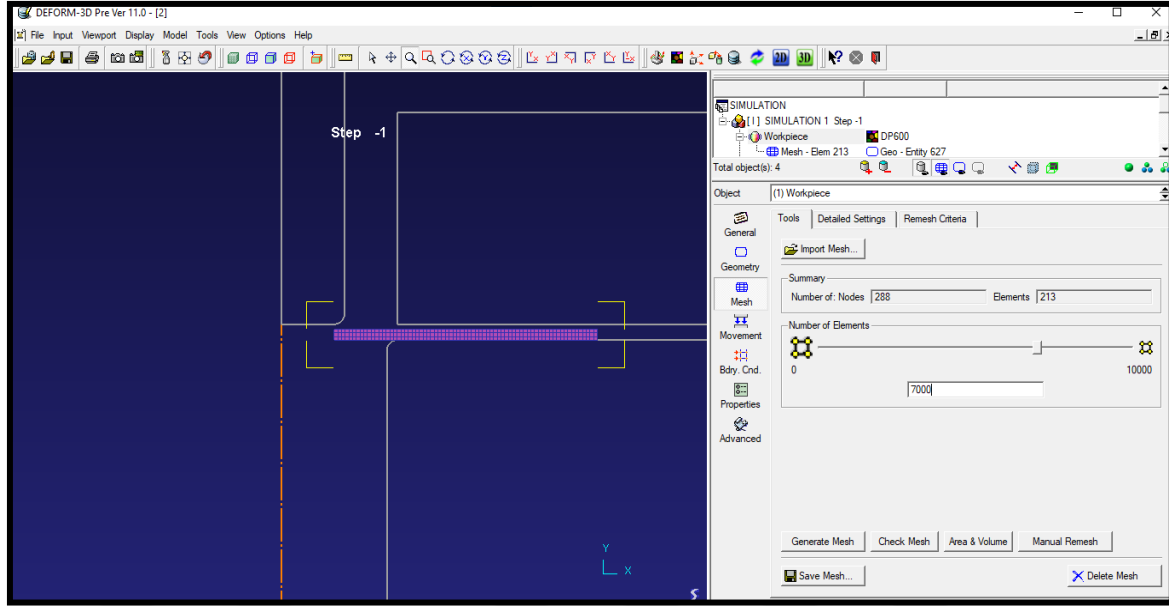
Analiz işlemi öncesinde modelleme işlemi tamamlanan ve sonlu elemanlar yazılımında açılan kalıp, sac malzeme, zımba ve baskı plakası arasındaki temas yüzeyleri, tipi ve özellikleri tanımlanmıştır. Çalışma sırasında birbirleri ile temas eden veya edebilecek olan yüzeyler belirlenmiş ve uygun sürtünme katsayıları ile doğru bir şekilde tanımlanmıştır. Kalıp, zımba ve baskı plakası arasındaki temas yüzeyleri ve özelliklerinin tanımlandığı görsel Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



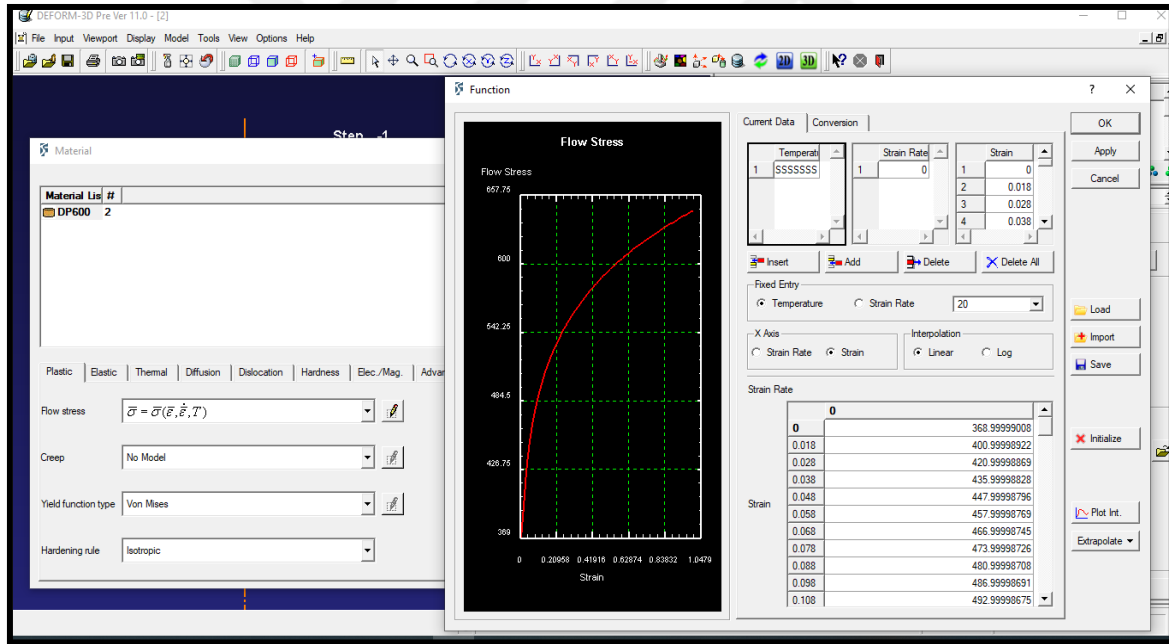
Şekil 4.8. Kalıp, zımba ve baskı plakası arasındaki temas yüzeyleri ve özelliklerinin tanımlanması

Program içerine aktarılan ve konumlandırma işlemleri tamamlanan kalıp, zımba, baskı plakası ve sac malzemenin ağ yapıları oluşturularak uygun bir şekilde örülmesi bu tür analizlerde çok önemlidir. Eleman, düğüm sayısı ve mesh miktarı, analiz çalışmalarının süresi ve doğruluğu açısından dikkat edilmesi gereken bir diğer konudur.

Analiz çalışmaları öncesinde yapılan birkaç örnek çalışmada; baskı plakası, kalıp düzeneği ve zımbalarda oluşturulan mesh yapılarının analiz sonuçlarında etkili olmadığı ve buna karşılık, analiz sürelerini önemli derecede etkilediği gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında esas hedefin sac malzemede meydana gelen deformasyon işleminin incelenmesi olması ve zaman kaybını önlemek amacıyla, kalıp düzeneği, baskı plakası ve zımbalara kaba bir mesh yapısı oluşturulmuş, sadece sac malzeme mesh yapısı hassas bir şekilde ayarlanmıştır. Bir sonraki adımda, sac malzeme cinsi ve özellikleri belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda sonlu elemanlar yazılımı veri tabanı içerisine deneylerde kullanılan sac malzemelere ait verilerin aktarılması malzemelerin programa tanıtılması sağlanmıştır. Analiz çalışmalarında malzeme atamak için, tanıtılan malzeme kodunu seçilerek, sac malzeme cinsi ve özellikleri belirlenmiştir. Ağ yapısı oluşturulan sac malzeme Şekil 4.9’da ve malzeme özelliklerinin belirlendiği görseli Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Ağ yapısı oluşturulan sac malzemenin görseli



Şekil 4.10. Malzeme cinsi ve özelliklerinin belirlenmesi

Analiz çalışmalarında, malzemede meydana gelen deformasyonları incelemek amacıyla, sac malzemede 5000 element (mesh) oluşturulmuştur. Baskı plakası kuvvet değeri 50000 N, Sıcaklık(T) 20°ve zımba hızı 10 mm/sn kabul edilerek sonlu elemanlar yazılımında flanşlama işlemi analitik olarak incelenmiştir.

5. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI

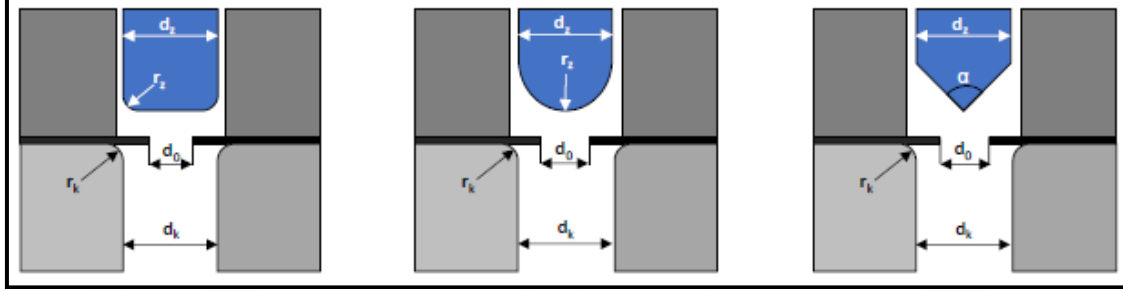
Yapılan bu çalışmada, delik flanşlama işlemine etki eden parametreler ve etki düzeylerinin belirlenmesi amacıyla deneysel ve analitik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kalınlıkları 1 mm ve 1,5 mm olan DP600 ve DP800 çift fazlı çeliklerin delik flanşlaması işleminde değişen malzeme kalınlığı, malzeme cinsi, zımba formları ve çaplarının delik flanşlama işlemine etkileri gözlemlenmiştir. Konik, küresel ve köşe kavisli forma sahip Ø12, Ø14 ve Ø16 mm çap ölçülerine sahip zımbalarla, delik flanşlama işleminde zımba formu ve zımba çapının etkileri analitik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında zımba, su jeti ve lazer ile kesilerek oluşturulan üç farklı ön delik yüzey kalitesi ile ön delik yüzey kalitesinin flanşlama işleminde etkileri incelenmiştir. Deneysel ve analitik çalışmalarda ön delik çapı ve kalıp çapı sabit tutulmuştur. Çalışmalar sonucunda deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılmış, flanş et kalınlığında ve flanş yüksekliklerinde meydana gelen değişimler ölçülerek, en uygun flanş kalınlığı ve yüksekliği elde edilmeye çalışılmıştır.

Flanşlama çalışmaları öncesinde, delik yüzey kalitesinin flanşlamaya etkilerini incelemek maksadıyla zımba, su jeti ve lazer ile üç farklı yüzey kalitesine sahip ön delikler oluşturulmuştur. Zımba ile ön delik oluşturmak için modüler bir delme kalıbı tasarlanıp, üretilerek zımba ile kesme sonucu oluşan yüzey kalitesinin etkileri incelenmiştir. Ön delik çapının etkilerini gözlemlemek ve en uygun delik çapını belirleyebilmek amacıyla farklı ön delik çaplarındaki numunelere flanşlama işlemi uygulanmıştır. Ön delik çapının gereğinden küçük olması durumunda, malzemede yırtılmalar oluşmuş ve delik flanşlama işlemi olumsuz sonuçlanmıştır. Ön delik çapının gereğinden büyük olması ise flanş yüksekliğinde azalmalara neden olmuş ve arzu edilen flanş ölçülerinin elde edilmesinde sorunlar meydana getirmiştir. Bu kapsamda, literatürde yapılan araştırmalar ve farklı ön delik çaplarına sahip numunelerle yapılan çalışmalar sonucunda ön delik çapı 10 mm olarak belirlenmiştir.

5.1. Zımba Formu ve Sac Malzeme Kalınlığının Delik Flanşlama İşlemine Etkileri

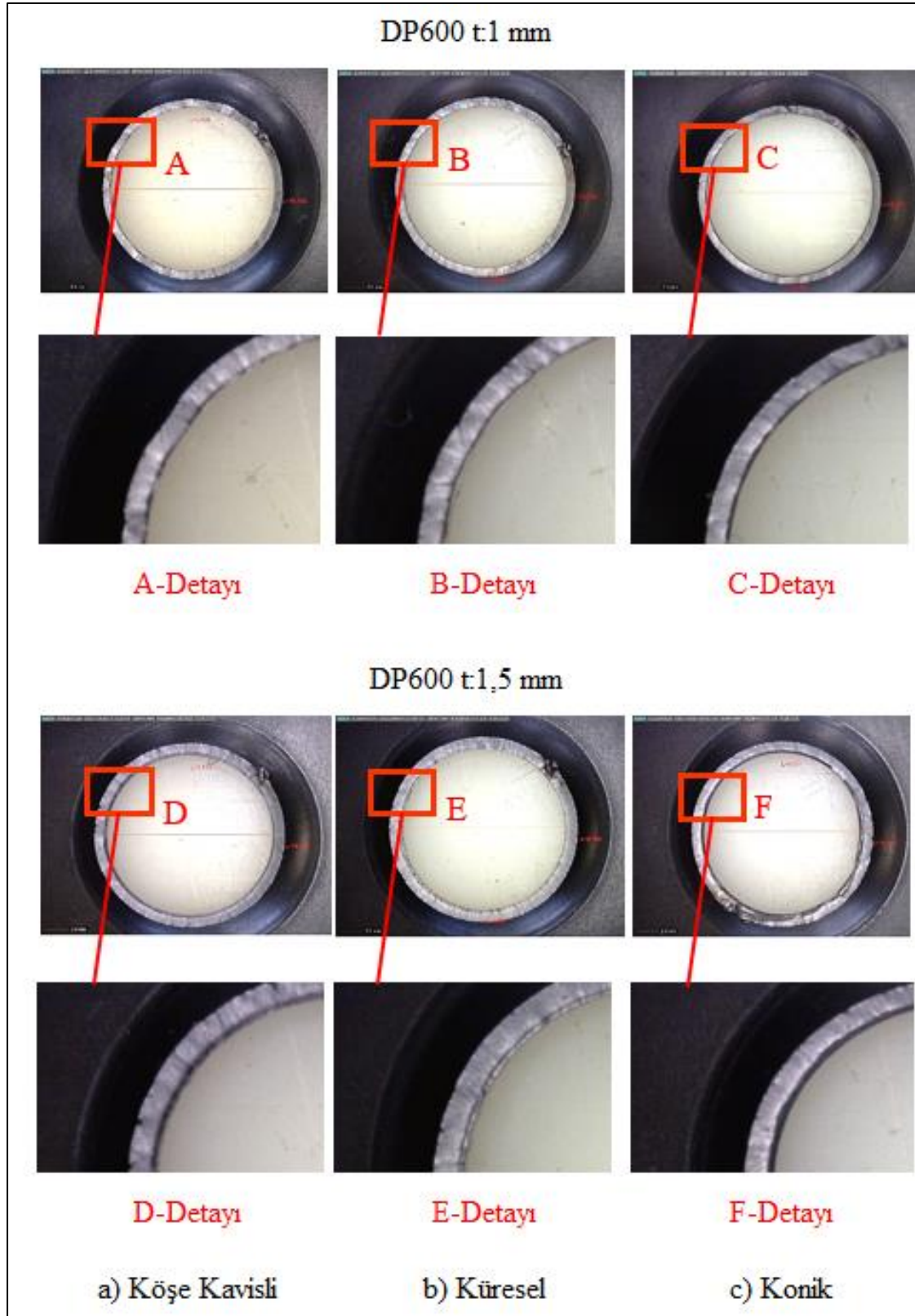
Deneysel çalışmalar için belirlenen, köşe kavisli, küresel ve konik formlara sahip zımbalarla yapılan delik flanşlama deneyleri sonucunda, değişen zımba formunun delik flanşlama işlemine etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel ve analitik çalışmalarda, zımba formunun etkilerinin tam olarak tespit edilebilmesi maksadıyla her bir malzeme için

flanşlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı zımba formları ile yapılan flanşlama işleminin şematik görünümü Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Belirlenen zımba formları ile gerçekleştirilen çalışmalarda malzeme kalınlıkları değiştirilerek, malzeme kalınlığındaki değişimin delik flanşlama işlemine etkileri incelenmiştir.

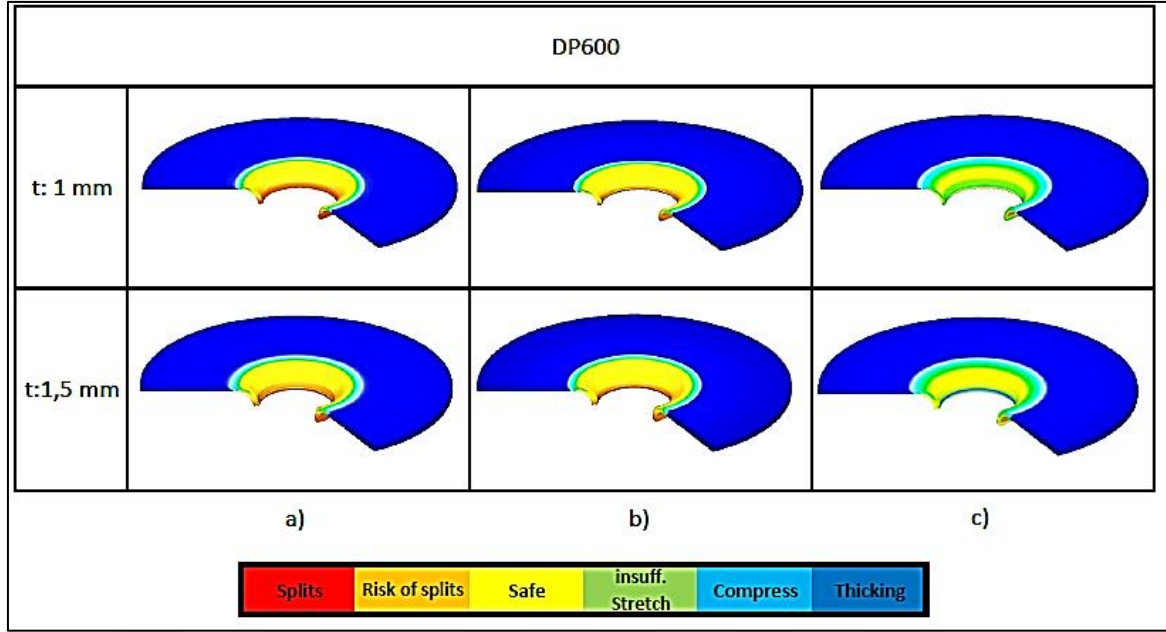


Şekil 5.1. Farklı zımba formları ile yapılan flanşlama işlemlerinin şematik gösterimi

Deneysel ve analitik çalışmalarda lazer ile ön delik oluşturulmuş numunelere, Ø14 mm çap ölçüsünde farklı formlara sahip zımbalarla delik flanşlama işlemi uygulanmıştır. Çalışmalar kapsamında DP600 ve DP800 sac malzemeler kullanılmıştır. Kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan DP600 malzemelere farklı formlara sahip Ø14 mm zımbalar ile flanşlama işlemi uygulanması sonucu elde edilen numunelerin optik büyüteç vasıtasıyla elde edilen görüntüleri Resim 5.1 de ve aynı flanşlama parametreleri ile gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçların kesit görünümü Şekil 5.2’de verilmiştir.

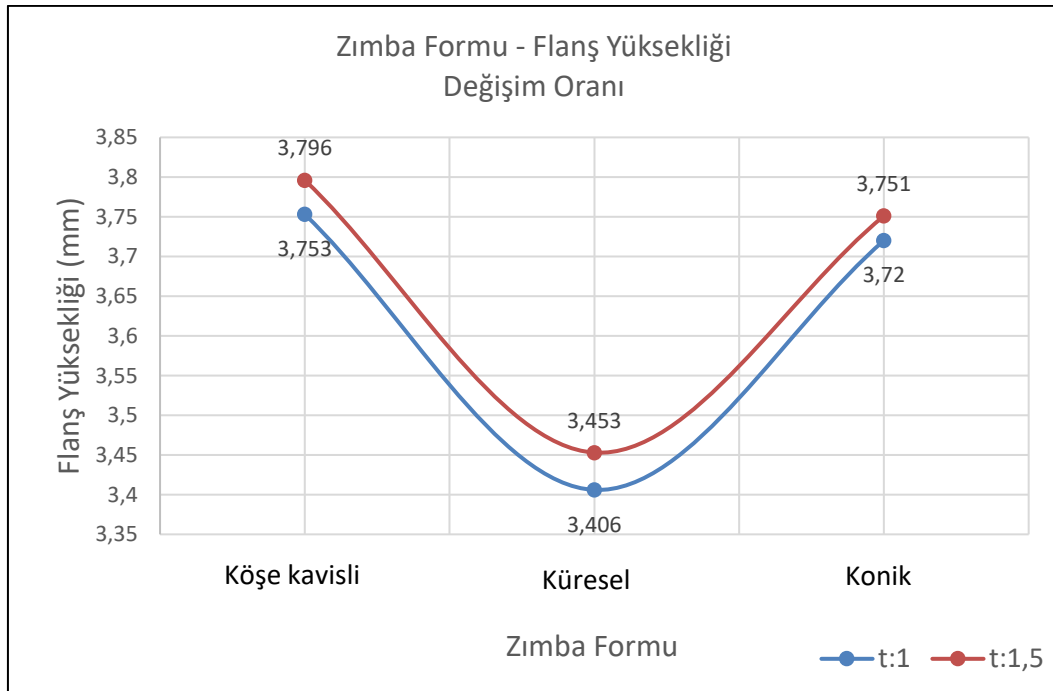


Resim 5.1. Farklı zımba formları ile flanşlama işlemi yapılan DP600 numunelerin optik mikroskop vasıtasıyla elde edilen görüntüleri

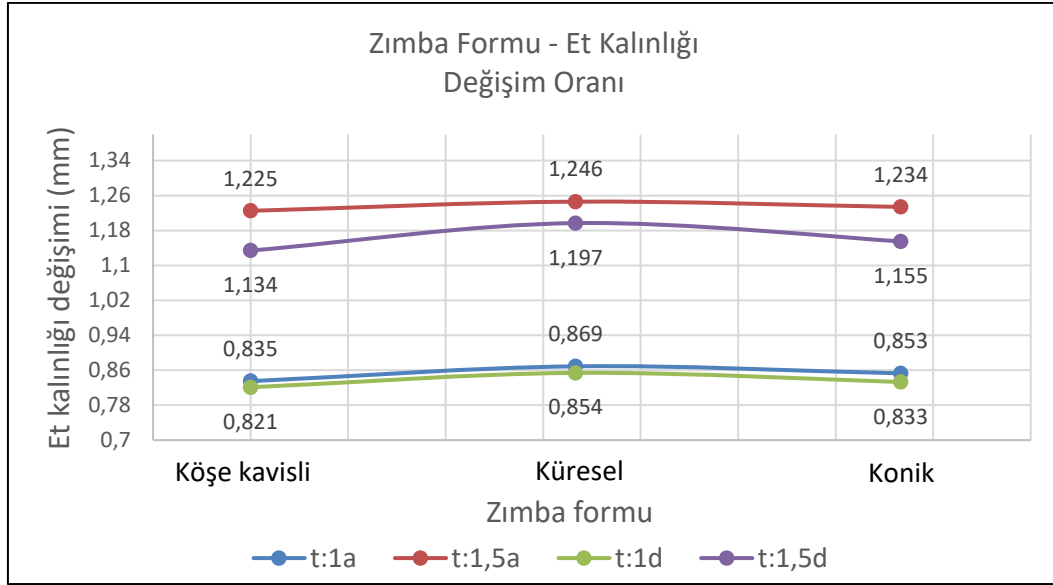


Şekil 5.2. DP600 malzemenin farklı zımba formlarıyla flanşlanmasına yönelik analiz sonuçları; a) Köşe kavisli zımba, b) Küresel zımba, c) Konik zımba

Farklı formlara sahip Ø14 mm zımba ile kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan DP600 malzemenin delik flanşlama işlemi sonucunda, flanş yüksekliğinde meydana gelen değişimleri gösteren zımba formu – flanş yüksekliği grafiği Şekil 5.3'te, et kalınlığında meydana gelen zımba formu – et kalınlığı grafiği Şekil 5.4'te verilmiştir.

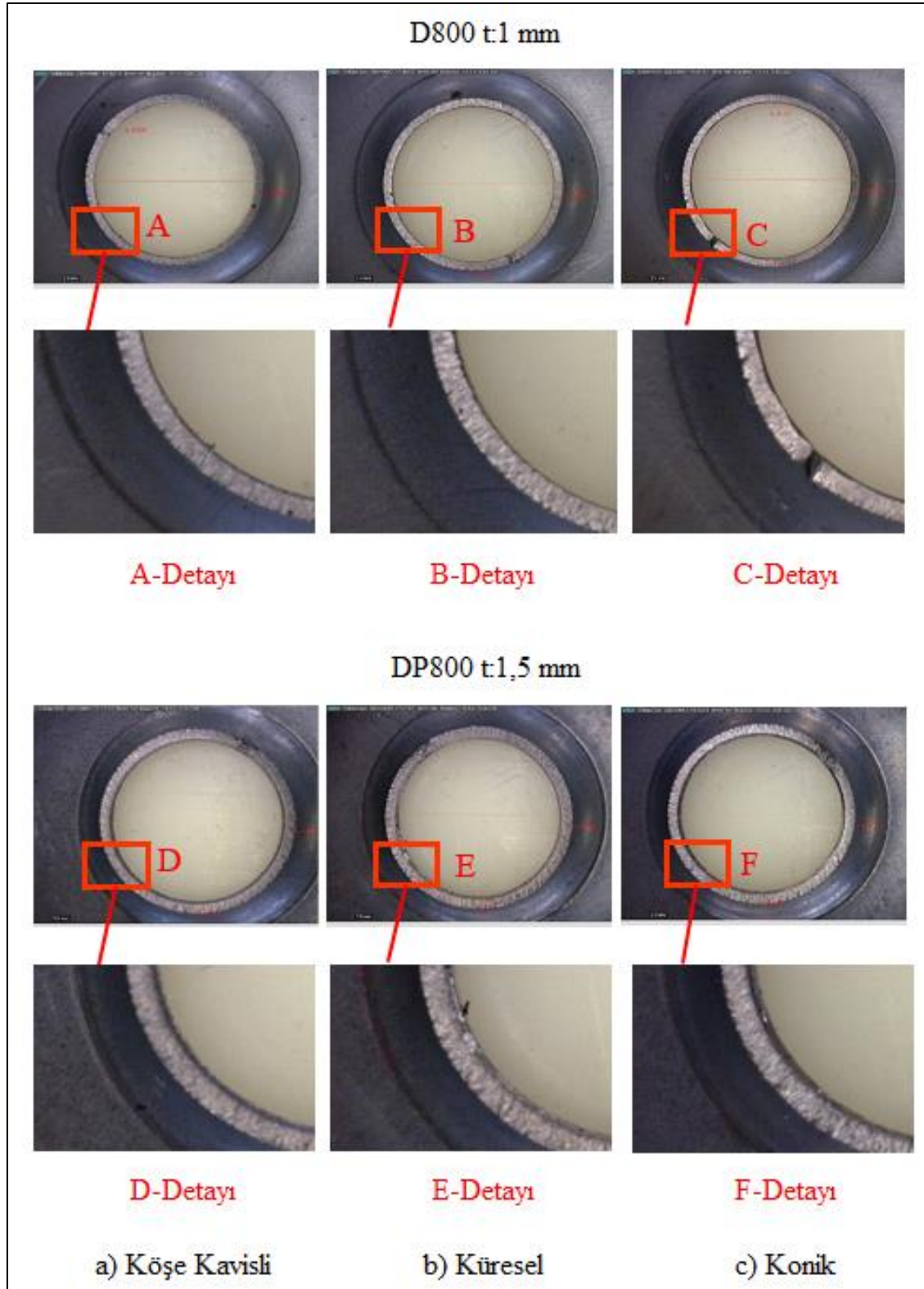


Şekil 5.3. DP600 malzemenin zımba formu-flanş yüksekliği grafiği

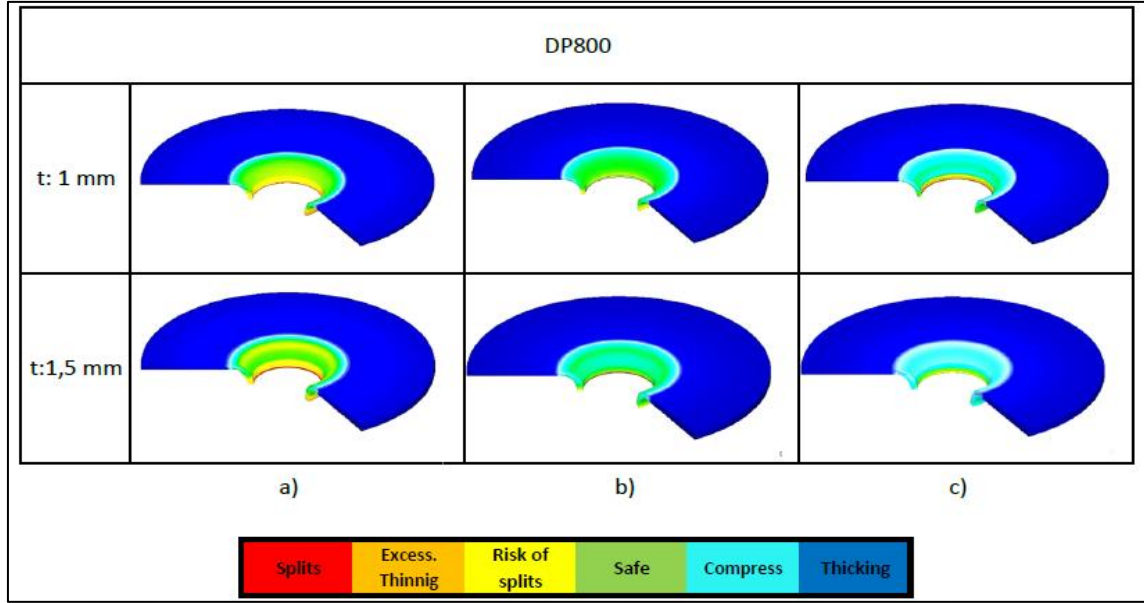


Şekil 5.4. DP600 malzemenin zimba formu-et kalınlığı grafiği

Kalınlığı 1mm ve 1,5 mm olan DP800 malzemeler için farklı formlara sahip Ø14 mm zimba ile yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen flanşlı deney numunelerinin optik mikroskop vasıtasıyla elde edilen görüntüleri Resim 5.2’ de ve analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar Şekil 5.5’te gösterilmiştir.

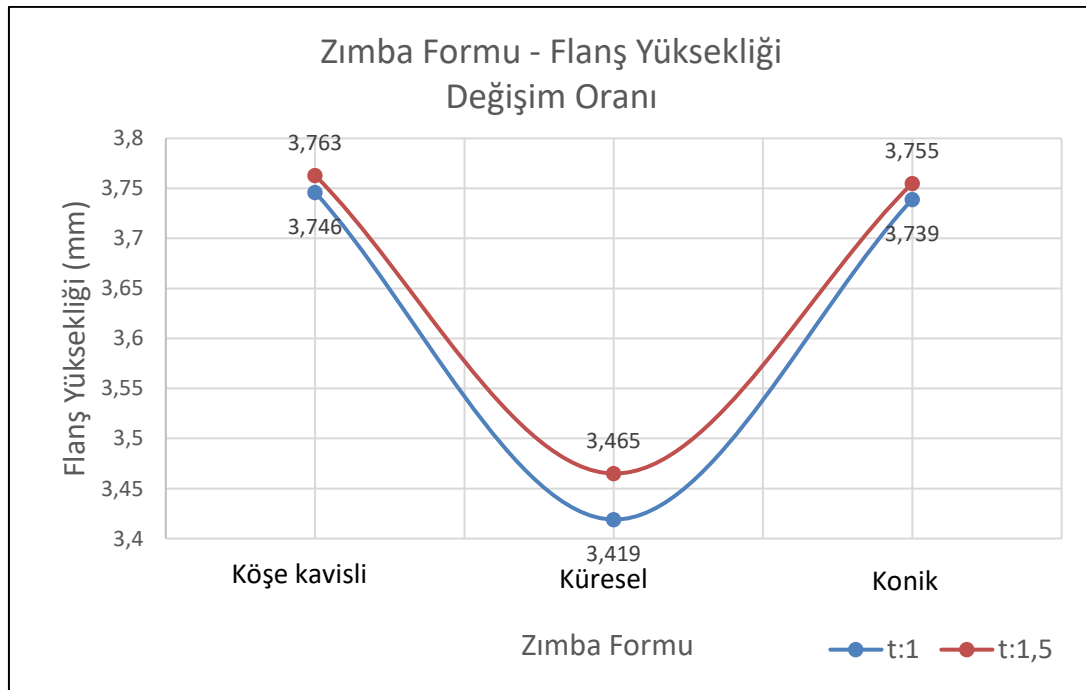


Resim 5.2. Farklı zımba formları ile flanşlama işlemi yapılan D800 numunelerin optik mikroskop vasıtasıyla elde edilen görüntüleri

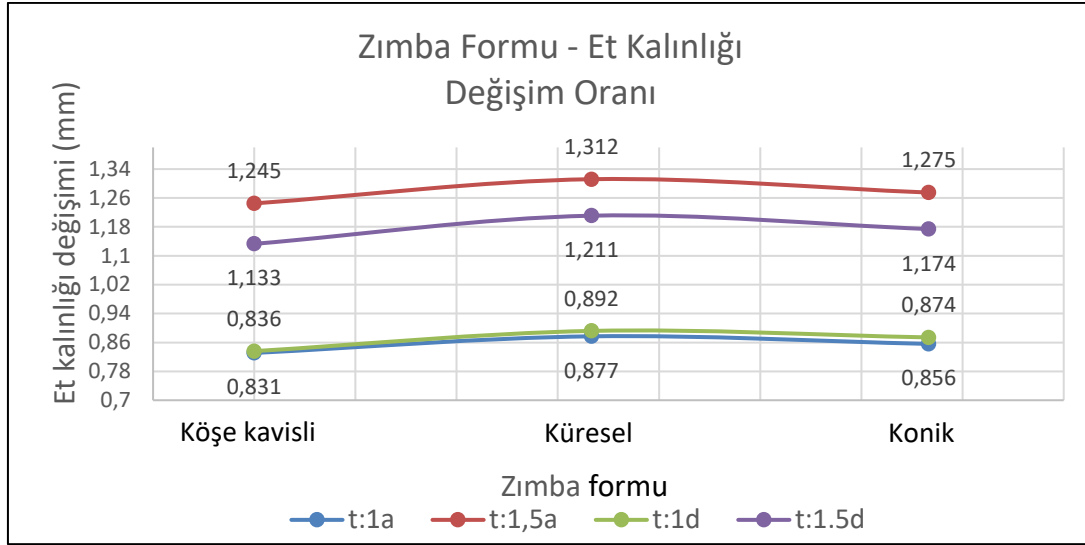


Şekil 5.5. DP800 malzemenin farklı zımba formlarıyla flanşlanmasına yönelik analiz sonuçları; a) Köşe kavisli zımba, b) Küresel zımba, c) Konik zımba

Farklı formlara sahip Ø14 mm zımba ile kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan DP600 malzemenin delik flanşlama işlemi sonucunda, flanş yüksekliğinde meydana gelen değişimleri gösteren zımba formu – flanş yüksekliği grafiği Şekil 5.6’da, et kalınlığında meydana gelen zımba formu – et kalınlığı grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.6. DP800 malzemenin zımba formu-flanş yüksekliği grafiği



Şekil 5.7. DP800 malzemenin zimba formu-et kalınlığı grafiği

Yapılan analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, flanş yüksekliklerinin, flanş kalınlıklarının ve flanş yapısında meydana gelen çatlama, yırtılma noktalarının büyük benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Farklı zimba formları ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen deneysel numuneler incelendiğinde; köşe kavisli zimba ile elde edilen deney numunesindeki flanşın uç bölgelerinde artan gerilimler sonucu incelmelerin meydana geldiği ve flanş uç bölgelerinde yırtılma riskinin olduğu gözlemlenmiştir. Konik zimba ile yapılan çalışmalarda köşe kavisli zimba formu ile elde edilen flanş yapısına çok benzeyen yapıda bir flanş yapısı elde edilmiş fakat, konik zimba ile şekillendirme sonucunda malzemenin kalıp içerisine kolay akışı sağlanamadığı için elde edilen flanşın uç bölgelerinde artan gerilimler sonucu lokal çatlak oluştuğu ve böylece yırtılma riskinin en fazla olduğu tespit edilmiştir. Küresel zimba ile yapılan deneysel çalışma sonucunda ise, artan zimba kavisinin sac malzemenin kalıp içerisine daha kolay akışına izin vererek delik flanşlama işlemini olumlu yönde etkilediği, flanşlama işlemi sonucunda yırtılma ve çatlakların oluşmadığı, homojen et kalınlık dağılımına sahip bir flanş yapısı edilmesini sağladığı tespit edilmiştir.

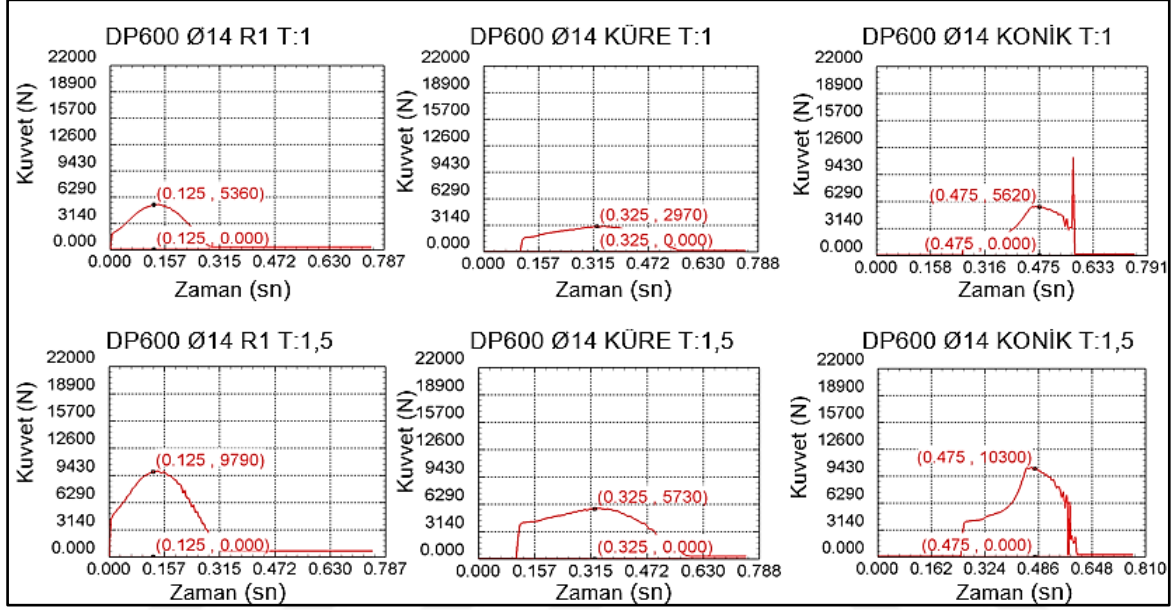
Aynı çap ölçüsünde farklı formlara sahip zimbalarla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen numunelerden faydalanarak, her deney numunesi için et kalınlığında meydana gelen maksimum inceme ve flanş yükseklik değişimleri ayrı ayrı ölçülerek belirlenmiştir. Zimba formunun flanş yükseliğine etkisini incelemek amacıyla yapılan ölçümler sonucunda

oluşturulan grafikler incelendiğinde, en büyük flanş yüksekliği köşe kavisli zımba formu ile elde edilirken, en düşük flanş yüksekliğinin ise küresel zımba formu ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Konik zımba formu ile elde edilen flanş yüksekliği ise köşe kavisli zımba formu ile elde edilen flanş yüksekliğine çok yakın bir yükseklik değerine sahip olmakta fakat uç bölgelerinde çatlaklar ve kısmi yırtılmalar barındırmaktadır. Yapılan çalışmalarda sonuçların güvenilirliği ve verilerin desteklenmesi amacıyla, zımba formunun flanş yüksekliği üzerindeki etkileri iki farklı malzeme üzerinde deneysel ve analitik olarak çalışılmış, elde edilen sonuçların büyük benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Flanş et kalınlıklarında meydana gelen değişimlerin zımba formuna bağlı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen numuneler üzerinde yapılan ölçüm değerleri ve analiz sonuçları göz önüne alındığında, en düşük et kalınlığına sahip flanş yapısının köşe kavisli zımba formu ile elde edilen flanş yapısında olduğu, buna karşılık en büyük et kalınlığına sahip flanş yapısının ise küresel zımba formu ile elde edilen flanş yapısında meydana geldiği belirlenmiştir. Konik zımba formu ile elde edilen flanş yapısının et kalınlığı değişimi ise, köşe kavisli zımba ile elde edilen et kalınlığına çok yakın değerde olmakta fakat yapısında arzu edilmeyen çatlama ve yırtılmalar meydana gelmektedir. Tüm bunlara ek olarak, flanş et kalınlığında meydana gelen değişimlerin, flanş yüksekliğinin artması ile doğru orantılı olduğu ve böylece, flanş yüksekliği arttıkça, et kalınlığında meydana gelen incelmeye de arttığı görülmüştür.

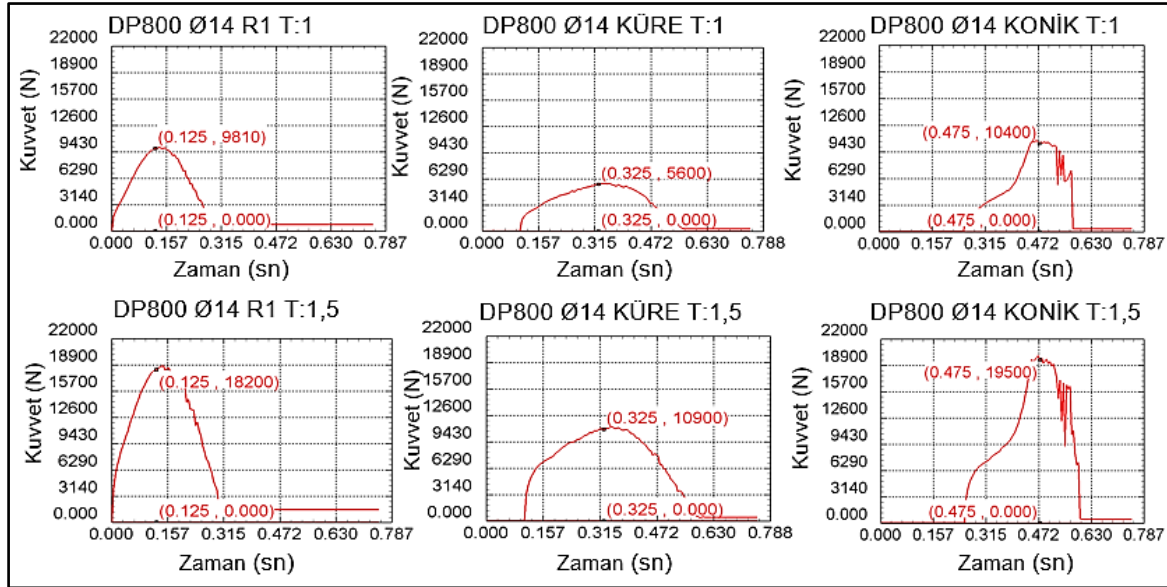
Sac malzeme kalınlıklarının delik flanşlama işlemi üzerindeki etkileri, iki farklı malzeme kalınlığı kullanılarak incelenmiştir. Kalınlıkları 1mm ve 1,5 mm olan DP600 ve DP800 sac malzemelere, deneysel çalışmalarda kullanılan bütün parametre değerleri tekrarlanarak uygulanmış ve flanş yüksekliği ile flanş et kalınlığında meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Aynı parametre değerleri ile farklı kalınlıktaki sac malzemelere delik flanşlama işlemi uygulanması sonucu elde edilen numuneler incelendiğinde, sac malzeme kalınlığının delik flanşlama işlemini etkileyen bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Deneysel ve analitik çalışmalardan elde edilen veriler sonucunda oluşturulan şekil 5.3 ve şekil 5.6'daki grafikler incelendiğinde, malzeme kalınlığı ile flanş yüksekliğinin doğru orantılı olduğu ve böylece malzeme kalınlığının artması ile birlikte flanş yüksekliğinin de arttığı görülmektedir. Ayrıca, sac malzeme kalınlığı ile flanş et kalınlığı arasında ters orantılı bir ilişki olduğu ve böylece sac malzeme kalınlığı arttıkça flanş et kalınlığının da azaldığı görülmüştür.

DP600 ve DP800 çift fazlı çelik sac malzemelerin flanşlanmasında oluşan kuvvetlerin tespiti ve kullanılan parametre değerlerinin kuvvet oluşumuna etkisini tespit etmek amacıyla, analiz çalışmalarından elde edilen kuvvet-zaman grafikleri karşılaştırılmıştır. DP600 malzemenin farklı zımba formları ile yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. DP600 malzemenin farklı zımba formları ile yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

DP800 malzemenin farklı zımba formları ile yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. D800 malzemenin farklı zımba formları ile yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

Yapılan analiz çalışmaları sonucunda elde edilen kuvvet-zaman grafikleri göz önüne alındığında, değişen zımba formlarının delik flanşlama işlemi sırasında oluşan şekillendirme kuvvetini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Farklı zımba formları ve farklı kalınlık değerleri ile yapılan analiz çalışmaları sonucu elde edilen grafikler incelendiğinde, en düşük şekillendirme kuvvetinin küresel zımba formu ile elde edilen flanşlama işleminde meydana geldiği, buna karşılık en büyük şekillendirme kuvvetinin ise konik zımba formu ile elde edilen flanşlama işleminde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, malzeme kalınlığı arttıkça şekillendirme kuvvetlerinin de eş zamanlı olarak arttığı ve aralarında doğru orantılı bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

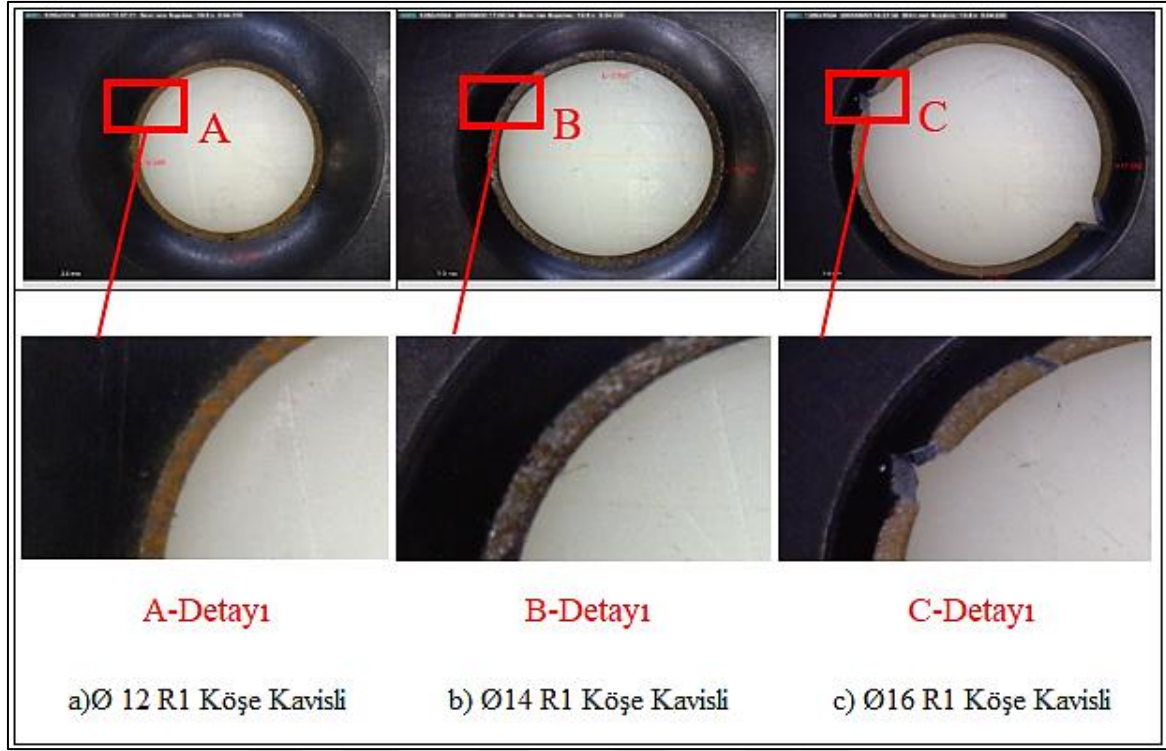
DeneySEL ve analitik çalışma sonuçları incelendiğinde, elde edilen verilerin malzeme cinsine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Zımba formunun delik flanşlama işlemine etkilerinin incelendiği Şekil 5.3 ve Şekil 5.6'daki grafikler göz önüne alındığında, aynı işlem parametrelerinde gerçekleştirilen deneylerde DP600 malzemenin DP800 malzemeye göre daha düşük mukavemet değerine sahip olması nedeniyle daha kolay şekillendiği ve daha büyük ölçülerde flanş yükseklik değeri sağladığı tespit edilmiştir. Şekil 5.4 ve Şekil 5.7'deki grafikler incelendiğinde, flanşlama işlemi sonrası elde edilen flanş et kalınlıklarının da malzeme cinsine göre farklılıklar gösterdiği görülmekte ve flanş yüksekliği ile et kalınlığı arasındaki doğru orantı nedeniyle DP600 malzemenin et kalınlığının daha fazla incelendiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'deki grafiklerde de görüldüğü üzere DP600

malzemenin delik flanşlama işlemini daha düşük kuvvetlerde gerçekleşmesini sağladığı ve DP800 malzemeye göre şekillendirilebilirliğinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum malzeme yapısındaki martenzit faz oranının artışı ile ilişkilendirilmiştir. Artan martenzit oranı malzeme dayanımını artırmasına karşın şekillendirilebilirliği düşürmektedir.

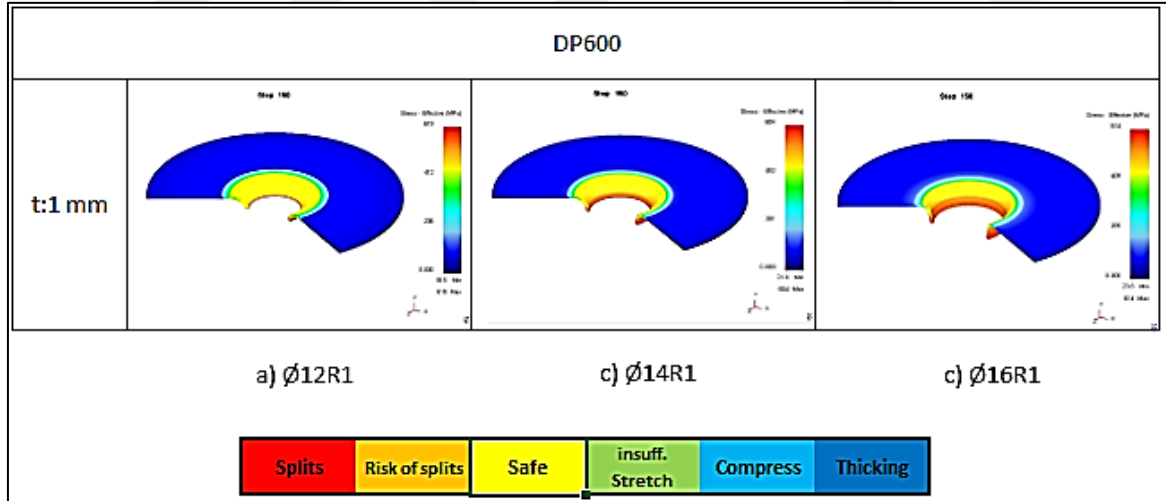
5.2. Zimba Çapının Delik Flanşlama İşlemine Etkileri

Yapılan deneysel çalışmada, zimba çapının delik flanşlama işlemi üzerindeki etkileri, farklı çaplarda zımbaların imal edilmesi ve imal edilen zımbalarla deneysel çalışmaların gerçekleştirilerek elde edilen flanş yapılarının ölçülmesi ile incelenmiştir.

Çapları 12, 14 ve 16 mm olan köşe kavisli zımbalarla yapılan deneysel çalışmalarda, zimba çapında meydana gelen değişimin elde edilen flanş yapısını etkilediği gözlemlenmiştir. Zimba çapının gerekenden küçük olduğu durumlarda, sac malzeme ile kalıp arasında sürtünme yüzeylerinin azalması ve sac malzemenin kalıp içerisine düzgün bir şekilde akışının sağlanamamasından dolayı arzu edilen yükseklikte ve et kalınlığında flanş yapısı elde edilememiştir. Zimba çapının gereğinden büyük olduğu durumlarda ise, şekillendirme oranındaki artışa ve kalıp ile zimba arasındaki kalıp boşluğunun azalmasına bağlı olarak sürtünme alanı ve sürtünme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Bundan dolayı, artan zimba çapına bağlı olarak et kalınlığındaki incelme oranları da artmış ve sac malzeme üzerinde çatlama ve yırtılma kusurları görülmüştür. DP600 sac malzemenin farklı zimba çaplarında flanşlanmasına ilişkin deneysel çalışma görselleri Resim 5.3’de ve aynı parametreler ile analiz çalışmalarından elde edilen görseller Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Resim 5.3. DP600 malzemenin farklı zımba çapları ile yapılan deney çalışmalarından elde edilen görseller

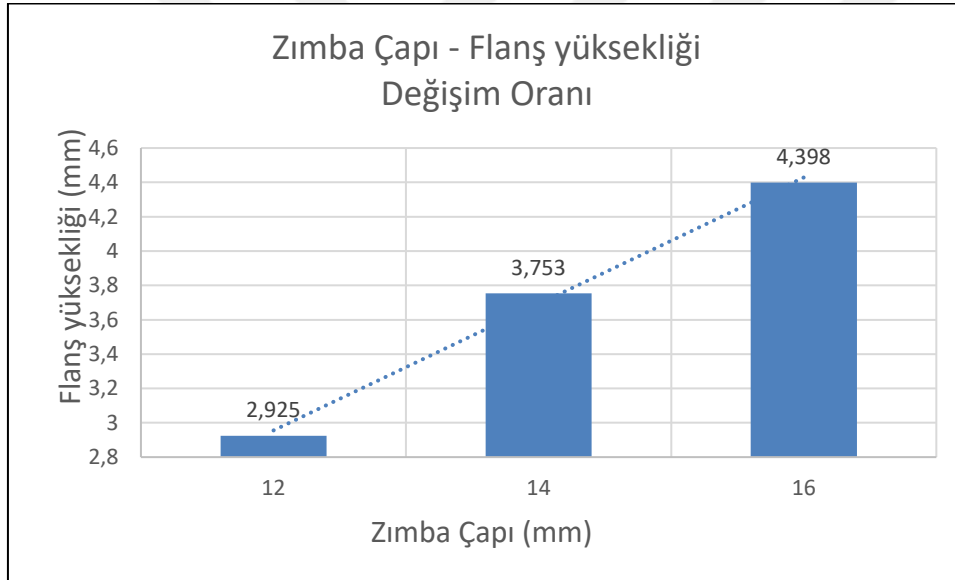


Şekil 5.10. DP600 malzemenin farklı zımba çapları ile yapılan analiz çalışmalarından elde edilen görüntüler

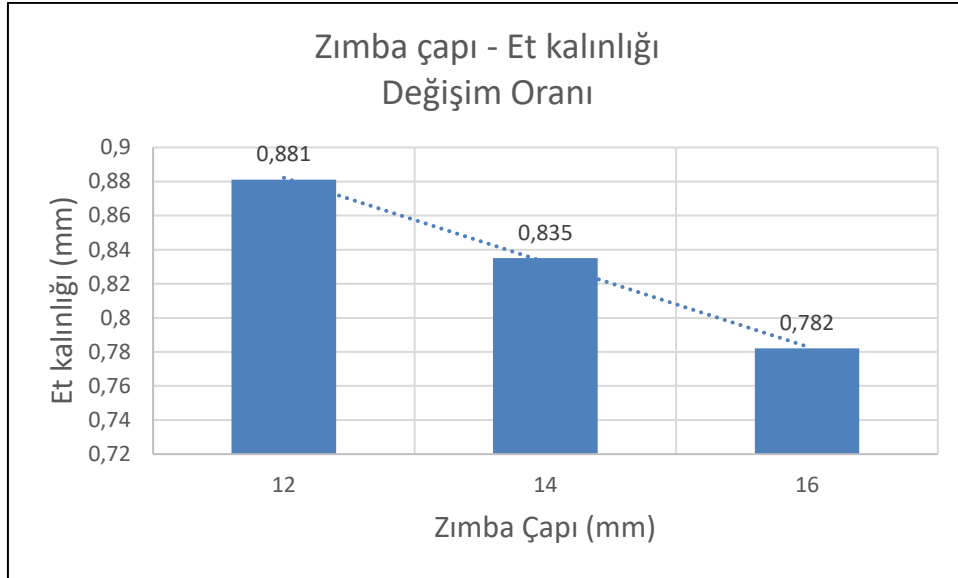
Zımba çapının değiştirilmesinin elde edilen flanş yapısına doğrudan etki ettiği tespit edilmiştir. Zımba çapı arttıkça, sac malzeme şekillendirme alanı ve buna bağlı olarak sürtünme kuvvetleri de artmakta, tek taraflı kalıp boşluğu ise azalmaktadır. Bu durum, sac malzemede meydana gelen gerilimin artmasına ve flanşınuç bölgelerinde çatlak ve yırtıklara

sebebi olmuştur. Analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, flanş yüksekliklerinin, et kalınlıklarının ve yırtılma noktalarının büyük benzerlik gösterdiği ve analiz programından elde edilen verilerin DP600 malzemenin delik flanşlama işleminde pratik olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak, her deney şartı için et kalınlığındaki incelme ve flanş yükseklik ölçüsü ayrı ayrı ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu zımba çapının flanş yüksekliğine etkisini incelemek amacıyla oluşturulan zımba çapı- flanş yüksekliği grafiği Şekil 5.11’de ve zımba çapının et kalınlığına etkisini incelemek amacıyla oluşturulan zımba çapı-et kalınlığı grafiği Şekil 5.12’de verilmiştir. Yapılan çalışmaların her biri verilerin güvenliğini sağlamak amacıyla 3’er kez tekrar edilmiştir.

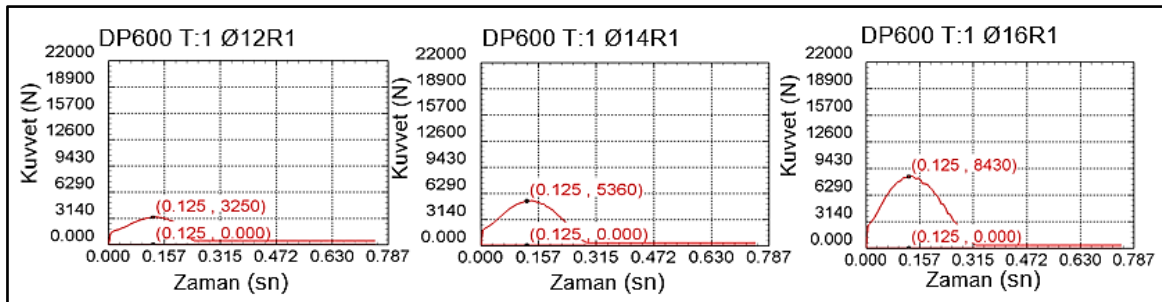


Şekil 5.11. Zımba çapı-Flanş yüksekliği değişim grafiği



Şekil 5.12. Zimba çapı-Et kalınlığı değişim grafiği

Zimba çapına bağlı olarak değişen flanş yüksekliği ve et kalınlığı grafikleri incelendiğinde, zimba çapı arttıkça elde edilen flanş yüksekliğinin de buna bağlı olarak arttığı gözlemlenmiş ve aralarında doğru orantılı bir ilişki olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca zimba çapının büyümesiyle birlikte flanş et kalınlığının da giderek incelendiği, delik flanşlama işleminde gereğinden büyük çapta zimbalar kullanıldığında uç bölgelerde yırtılmaların oluştuğu ve arzu edilen ölçülerde flanş yapısının elde edilemediği tespit edilmiştir. Tüm bunlara ek olarak değişen zimba çapının şekillendirme esnasında oluşan şekillendirme kuvvetine etkisini incelemek amacıyla oluşturulan şekillendirme kuvveti-zaman grafikleri Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. DP600 malzemenin farklı zimba çaplarında flanşlanması sonucu elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

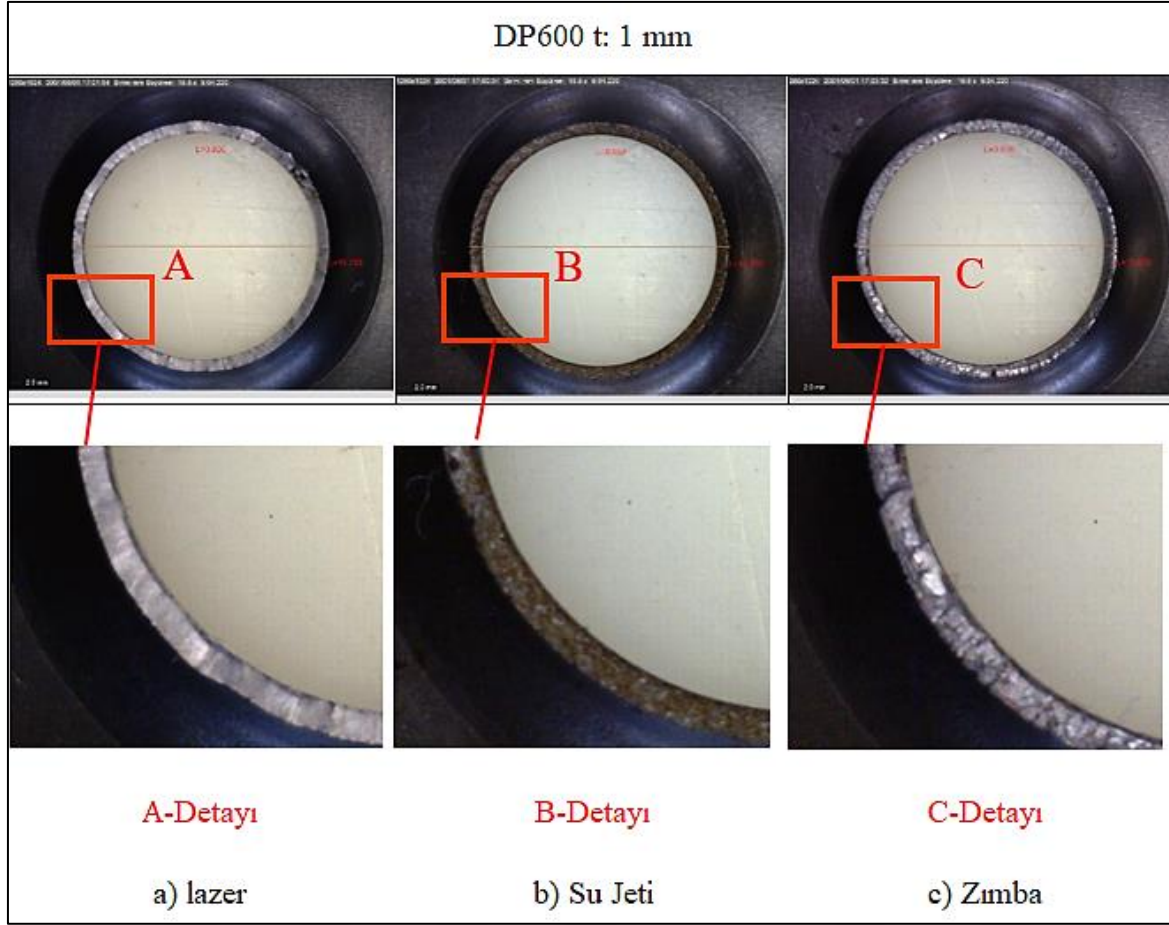
DP600 malzeme üzerinde farklı çaplardaki zimbalarla yapılan analiz sonuçlarından elde edilen verilerle, zimba çapının şekillendirme kuvvetine etkilerini incelemek amacıyla oluşturulan grafikler incelendiğinde, malzemenin şekil almasının düzenli olduğu ve büyüyen

zımba çapı ile birlikte şekillendirme esnasında oluşan kuvvetin arttığı, elde edilen kuvvet-zaman grafiklerinin de uygun bir akış gösterdiği tespit edilmiştir. Zımba çapı büyüdükçe, şekillendirme sırasında sac malzemenin zımba ile temas alanının arttığı ve daha fazla sürtünmeye maruz kaldığı görülmüştür.

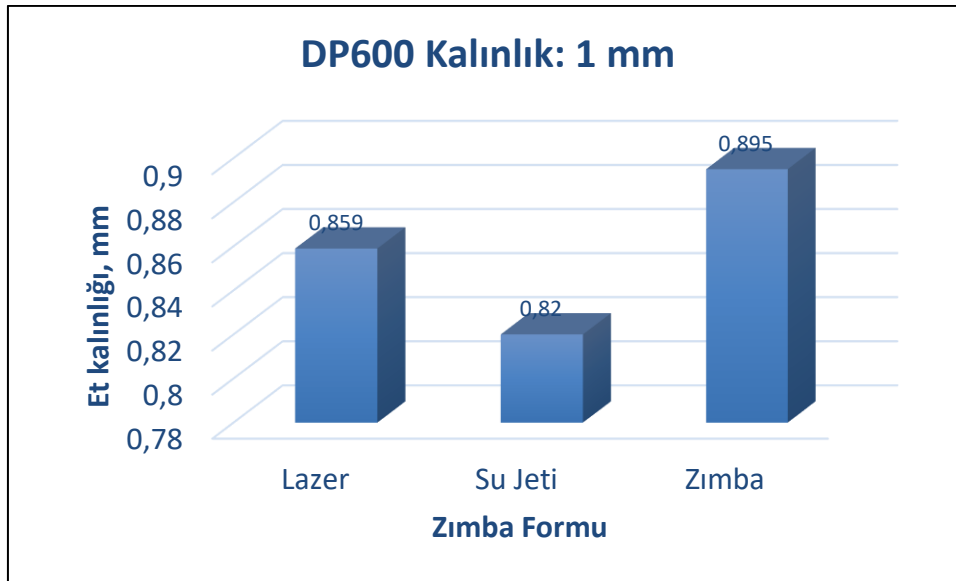
5.3. Ön Delik Yüzey Kalitesinin Delik Flanşlama İşlemine Etkileri

Sac parçaların flanşlanmasında dikkat edilmesi gereken önemli bir konu, ön delik yüzey kalitesidir. Yırtılma ve çatlakların önüne geçerek, arzu edilen ölçülerde başarılı bir flanşlama işleminin gerçekleştirilebilmesinde ön delik yüzey kalitesi etkisi son derece önemlidir. Delik yüzeyinde bulunan mikro ve makro düzeydeki çatlaklar ve çizikler, sac malzemenin arzu edilen flanş yüksekliğine ulaşmadan yırtılmasına sebep olmaktadır.

Yapılan çalışmada ön delik yüzey kalitesinin delik flanşlama işlemine etkilerini incelemek amacıyla kalınlığı 1 mm olan DP600 sac malzemelere Lazer, Su jeti ve Zımba ile ön delikler oluşturulmuştur. Farklı ön delik yüzey kalitelerine sahip olan her bir numuneye numuneye Ø14 köşe kavisli (r:1) zımba ile flanşlama işlemi uygulanmıştır. Deneysel çalışma sonrasında elde edilen numuneler optik mikroskop altında incelenerek, ön delik yüzey kalitesinin flanşlama işlemine etkileri gözlemlenmiştir. Flanşlama sonrasında elde edilen her bir numunenin et kalınlığı değişimi optik mikroskop yardımıyla ölçülmüştür. Farklı ön delik yüzey kalitesine sahip numunelerin flanşlaması sonucu elde edilen görselleri Resim 5.4'te gösterilmiştir. Flanşlama sonrası malzemelerin et kalınlığı değişim grafikleri Şekil 5.14'te verilmiştir.



Resim 5.4. Farklı ön delik yüzey kalitesindeki numunelerin flanşlama sonrası elde edilen görselleri



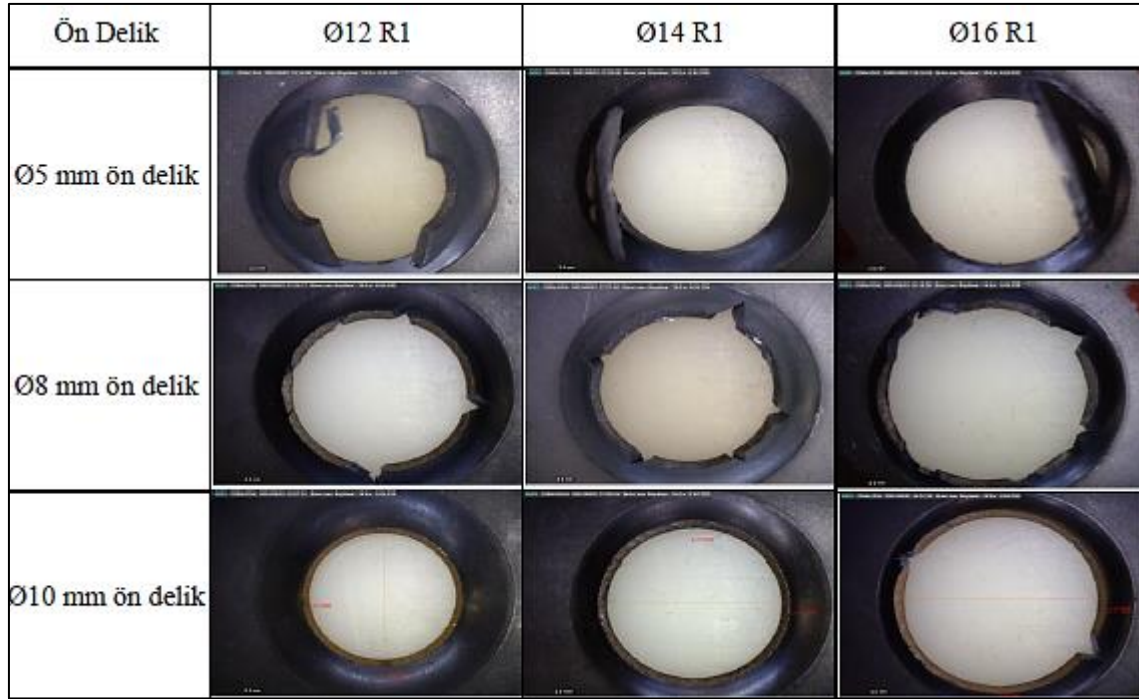
Şekil 5.14. Farklı ön delik yüzey kalitesindeki numunelerin flanşlama sonrası elde edilen et kalınlığı değişim grafiği

Yukarıdaki görseller ve grafikler incelendiğinde, değişen ön delik yüzey kalitesinin elde edilen flanş yapısını ve flanş ölçülerini doğrudan etkilediği görülmüştür. Ayrıca ön delik yüzey kalitesinin elde edilen flanş yapılarının uç bölgelerinde oluşan yırtılma ve çatlakların oluşumunda önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Zımba ile delme işleminde oluşturulan ön deliğin yüzey kalitesinin diğer ön delik kalitelerine göre düşük olduğu ve yapısında kılcal çatlaklar barındırdığı belirlenmiştir. Zımba ile ön delik oluşturulan numuneye flanşlama işlemi uygulandığında, flanş yapısının uç bölgelerinde yırtılma ve çatlamlar meydana gelmiş, arzu edilen ölçülerde bir flanş yapısı elde edilememiştir.

Lazer ile oluşturulan ön delik incelendiğinde, elde edilen ön delik yüzey kalitesinin zımba ile oluşturulan ön delik yüzey kalitesine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Uygulanan flanşlama işlemi sonucunda ise elden edilen flanşın uç bölgelerinde kılcal çatlakların olduğu gözlemlenmiştir. Lazer ile ön delik oluşturulduğunda, arzu edilen ölçülere yakın değerlerde flanş yapısının elde edilebileceği fakat lazerin kesim işlemi sırasında giriş ve çıkış noktalarında oluşturduğu çapaklı yapının flanşlama sırasında yırtılma riskini artırabileceği düşünülmektedir.

Su jeti ile oluşturulan ön delik yüzey kalitesi incelendiğinde, en başarılı ve en düzgün yüzey kalitesinin su jeti ile elde edildiği görülmüştür. Ön delik oluşturulan numunelere uygulanan flanşlama işlemleri sonucunda elde edilen flanş yapısında yırtılma ve çatlamların oluşmadığı, arzu edilen flanş yapısına çok yakın yapıda bir flanş elde edildiği belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle oluşturulan ön deliklere uygulanan deneysel çalışma sonucunda, ön delik yüzey kalitesinin elde edilen flanş yapısını doğrudan etkilediği görülmüştür. Çalışmalar sonucunda en başarılı flanş yapısının su jeti ile ön delik oluşturulan numunede elde edildiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalara ek olarak ön delik çapının flanşlama işlemine etkisinin gözlemek amacıyla çapları 5 mm ve 8 mm olan numunelere delik flanşlama işlemi uygulanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda ön delik çapın ile zımba çapı arasında bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Ön delik çapı ile zımba çapı arasındaki boyut farkı arttıkça, elde edilen flanş yapısında yırtılmaların olduğu ve işlemin flanşlama işleminden çıkarak patlatma veya bir delme operasyonuna dönüştüğü tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında farklı ön delik çaplarındaki malzemelere uygulanan flanşlama işlemi sonucunda elde edilen görseller Resim 5.5'te gösterilmiştir.



Resim 5.5. Farklı ön delik çaplarındaki numunelerin flanşlanması sonucu elde edilen görseller



6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, farklı parametre değerlerinin sac metal şekillendirme yöntemlerinden birisi olan delik flanşlama işlemine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Belirlenen parametre değerlerinin, delik flanşlama işlemine etkileri, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan çift fazlı DP600 ve DP800 çelik sac malzemeler kullanılmıştır. Yapılan delik flanşlama deneylerinden elde edilen sonuçlar ile analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, farklı parametre değerlerinin delik flanşlama işlemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Farklı zımba formları kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, zımba formunda meydana gelen değişimin, elde edilen flanş yapısı üzerinde oluşan yırtılma ve çatlakları önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca zımba formunun et kalınlığı ve flanş yükseklik ölçülerinin belirlenmesinde etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında aynı malzeme ve deney şartlarında Köşe kavisli ($r:1$), Küresel ve Konik zımba formlarıyla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, küresel forma sahip zımbanın, sac malzemenin kalıp içerisine daha kolay akmasına izin vererek, düşük şekillendirme kuvvetlerinde yırtılma ve çatlama olmadan en sağlıklı flanş yapısının oluşmasını sağladığı belirlenmiştir. Buna karşılık, köşe kavisli zımba ile yapılan deneysel çalışmalarda ise, küresel zımba ile elde edilen flanş yapısına benzer yapıda fakat yapısında çok küçük kılcal çatlakların bulunduğu en büyük flanş yüksekliğine sahip flanş yapısının elde edildiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, zımba kavis değeriindeki artışın şekillendirme esnasına malzemenin daha düşük şekillendirme kuvvetleriyle, daha kolay flanşlanabilmesini sağladığı, zımba kavisinin düşen değerlerinin ise şekillendirme kuvvetini ve şekillendirme esnasında oluşan gerilimleri artırarak malzemede yırtılma ve çatlama oluşmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Aynı parametreler ile farklı kalınlık ölçülerindeki sac malzemelere delik flanşlama işlemi uygulanması sonucunda, sac malzeme kalınlığına bağlı olarak flanş yüksekliği ve et kalınlığı değişimi incelendiğinde, sac malzeme kalınlığının delik flanşlama işleminde flanş yüksekliği ve et kalınlığını etkileyen önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Sac malzeme kalınlığının artan değerlerinde, elde edilen flanş yüksekliğinin de doğru orantılı

olarak arttığı, et kalınlığının ise sac malzeme kalınlığı ile ters orantılı olduğu ve sac malzeme kalınlığı arttıkça et kalınlığının giderek azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, sac malzeme kalınlığında meydana gelen artışların şekillendirme esnasında gerekli olan şekillendirme kuvvetinin artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Delik flanşlama işleminde zımba çapının etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda, elde edilen flanş yapısının, zımba çapı ile doğrudan ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Zımba çapının gerekenden küçük olduğu durumlarda, sac malzeme ile kalıp arasında sürtünme yüzeylerinin azalması nedeniyle sac malzemenin kalıp içerisine düzgün bir şekilde akışı sağlanamamakta ve bundan dolayı arzu edilen yükseklikte ve et kalınlığında flanş yapısının elde edilemediği tespit edilmiştir. Zımba çapının gereğinden büyük olduğu durumlarda ise tek taraflı kalıp boşluğunun azalmasına ve zımba ile sac malzeme arasındaki temas alanının artmasına bağlı olarak et kalınlığının azaldığı, çizilme ve çatlamların meydana geldiği ve artan sürtünme kuvvetleri nedeniyle yırtılmaların daha çabuk oluşabildiği görülmüştür. Ayrıca zımba çapının artması ile birlikte şekillendirme kuvvetinin de doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir.

Ön delik yüzey kalitesinin delik flanşlama işlemine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda, ön delik yüzey kalitesine paralel olarak elde edilen flanş kalitesinin de arttığı gözlemlenmiştir. Zımba ve lazer ile oluşturulan ön deliklerde bulunan kılcal çatlakların flanşlama esnasında malzemede çatlakların oluşmasına neden olduğu ve malzemede yırtılma riskini artırdığı belirlenmiştir. Su jeti ile oluşturulan ön delik kalitesinin diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu, şekillendirme esnasında malzemede yırtılma ve çatlaklar oluşmadan başarılı bir flanş elde edilmesini sağladığı tespit edilmiştir.

Aynı parametre değerlerinde, malzeme cinsinin etkisinin incelenmesi amacıyla aynı yapılan çalışmalar sonucunda, delik flanşlama işleminde malzeme cinsinin, şekillendirme kuvveti, flanş yüksekliği ve et kalınlığını doğrudan etkilediği görülmüştür. DP600 malzemenin DP800 malzemeye göre daha düşük mukavemet değerine sahip olması nedeniyle, daha düşük şekillendirme kuvvetinde ve daha büyük flanş yükseklik değerine sahip, homojen yapıda bir flanş elde edilmesini sağladığı tespit edilmiştir.

Farklı ön delik çaplarının delik flaşlama işlemine etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, ön delik çapının küçük olan değerlerinde, sac malzemenin kalıp içerisine

sağlıklı bir şekilde akmadığı, artan temas alanı ve sürtünme kuvvetlerinin de etkisiyle daha çabuk yırtıldığı ve işlemin flanşlama işleminden ziyade derin çekme ve delme operasyonlarına benzer bir yapıya dönüştüğü tespit edilmiştir. Ön delik çapının gereğinden büyük olması durumunda ise arzu edilen flanş ölçülerinin elde edilemediği belirlenmiştir.

Çalışmalar kapsamında kullanılan bütün delik flanşlama parametrelerinin, sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak yapılan analiz çalışmaları sonucunda, delik flanşlama deneyleri ile elde edilen flanş yapılarının, analiz çalışmaları sonucunda elde edilen flanş yapısı ile çok benzer olduğu belirlenmiştir. Yapılan analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, şekillendirme esnasında sac malzeme üzerinde oluşan deformasyonlara bağlı olarak malzemede meydana gelen et kalınlığı değişimleri ve sac malzeme özelliklerinin, analiz programının çözümleme hassasiyetini etkilediği tespit edilmiştir. Analiz çalışmalarının gerçekleştirildiği sonlu elemanlar yazılımının, pratik uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür.

Delik flanşlama işlemini etkileyen parametrelerin deneysel olarak araştırıldığı bu çalışma konusu ile ilgili olarak bundan sonra yapılacak çalışmalara yol göstermesi açısından aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

1. Daha farklı zımba profilleri kullanılarak, zımba profilinin ve sac malzeme hadde yönünün delik flanşlama işlemi üzerindeki etkileri araştırılabilir.
2. Dişi çekirdek çapı ve köşe kavisi değerlerinin delik flanşlama işlemi üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılabilir.
3. Daha farklı yöntemlerle ön delik oluşturarak, ön delik kalitesinin ve ön delik çapının etkileri incelenerek çalışma daha kapsamlı hale getirilebilir.
4. Kalıp veya zımba yüzey pürüzlülüğü değerinin delik flanşlama işlemine etkileri deneysel olarak incelenebilir.
5. Baskı plakası kuvveti ve zımba hızının delik flanşlama işlemi üzerindeki etkileri araştırılabilir.
6. Şekillendirme esnasında kullanılan yağlayıcı türünün değiştirilerek, sürtünme etkisini azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

1. Xu, L., Barlat, F., Lee, M. G., Choi, K. S., and Sun, X. (2012). Hole expansion of dual phase steels. *High Performance Structer Material VI*, 124, 75-83.
2. Huang, Y. M., and Chien, K. H. (2001). Influence of the punch profile on the limitation of formability in the hole-flanging process. *Journal of Materials Processing Technology*, 113(1-3), 720-724.
3. Mori, K. I., Abe, Y., and Suzui, Y. (2010). Improvement of stretch flangeability of ultra high strength steel sheet by smoothing of sheared edge. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(4), 653-659.
4. Kumagai, T., Saiki, H., and Meng, Y. (1999). Hole flanging with ironing of two-ply thick sheet metals. *Journal of Materials Processing Technology*, 89, 51-57.
5. Frącz, W., Stachowicz, F., and Trzepieciński, T. (2012). Investigations of thickness distribution in hole expanding of thin steel sheets. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12, 279-283.
6. Chen, X., Jiang, H., Cui, Z., Lian, C., and Lu, C. (2014). Hole expansion characteristics of ultra high strength steels. *Procedia Engineering*, 81, 718-723.
7. Hyun, D. I., Oak, S. M., Kang, S. S., and Moon, Y. H. (2002). Estimation of hole flangeability for high strength steel plates. *Journal of Materials Processing Technology*, 130, 9-13.
8. Kacem, A., Jmal, M., Krichen, A., and Manach, P. (2010). Thinning and ironing in hole-flanging process. *5th International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Mechanics ICAMEM*, 18-20 December, Hammamet, Tunisia.
9. Hassan, M. A., Suenega, R., Takakura, N., and Yamaguchi, K., (2005). A novel process on friction aided deep drawing using tapered blank holder divided into four segments. *Journal of Material Processing Technology*, 159, 418-425.
10. Hassan, M. A., Takakura, N., and Yamaguchi, K., (2003). Friction aided deep drawing using newly developed blank-holder divided into eight segments. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43, 637-646.
11. Karthing, V., Comstork Jr, R. J., Hersberger, D. R., and Wogoner, R. H., (2002). Variability of sheet formability and formability testing. *Journal of Materials Processing Technology*, 121, 350-362.
12. Mori, K., and Tjusi, H., (2007). Cold deep drawing of commercial magnesium alloy sheets. *Annals of the CIRP*, 56, 285-288.
13. Sartkulvanich, P. (2007). *Determination of material properties for use in FEM simulations of machining and roller burnishing*, Doctoral Dissertation, The Ohio State University, Ohio, 1-6.

14. Li, C. L., Huang, Y. M., and Tsai, Y. W. (2008). The analysis of forming limit in re-penetration process of the hole-flanging of sheet metal. *Journal of Materials Processing Technology*, 201(1-3), 256-260.
15. Groover, M. P. (2012). Metal forming and sheet metalworking, in fundamental of modern manufacturing material, processes, and system. Fifth Edit. USA, 493–503.
16. Şen, N., Kurgan, N., Karaağaç, İ., ve Uluer, O. (2016). Ilık derin çekme prosesinde yağlayıcı etkisinin şekillendirilebilirlik açısından deneysel araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 19(2), 185–193.
17. Kakandikar, G. M., and Nandedkar, V. M. (2017). Sheet metal forming optimization: Bioinspired approaches. First Edit. USA: CRC Press, 2-58.
18. Karaağaç, İ. (2011). Sıvı basıncıyla sac metal şekillendirme (Hydroforming) işlem parametrelerinin deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37-69.
19. İnternet: Ataşimşek, S. (1977). *Sac kalıpları*, URL: <https://vdocuments.mx/sac-kaliplari-sami-ata-simsek.html>, 401- 570. Son Erişim Tarihi: 18.06.2021.
20. Dieter, G. E. (1984). *Workability testing techniques*. Ohio: ASM Yayını, 149-154.
21. Sabri, E., Kayalı, C. ve Ensari, F., (1983). *Metallik malzemelerin mekanik deneyleri*. İstanbul: Nadir Kitap, 10-16.
22. Ergun, C. (2014). *Malzeme bilimi ders notu*. Bölüm 4. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 40-41.
23. Galanulis, K. (2005). Optical measuring technologies in sheet metal processing. In *Advanced Materials Research*, 6, 19-34, Trans Tech Publications Ltd.
24. Anket, O. (2011). *DC04 otomotiv sacının hidromekanik yöntem ile şekillendirilebilirliğinin sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel olarak incelenmesi*, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 36-48.
25. Erişir, E. (2013) *Plastik şekillendirme yöntemleri ders notu*. Bölüm 2. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Metalürji ve Malzeme mühendisliği Bölümü, 33-35.
26. Forcellese, A., Fratini, L., Gabrielli, F., and Micari, F., (1998). The evaluation of springback in 3D stamping and coining processes. *Journal of Material Processing Technology*, 80, 108-112.
27. Tekiner, Z. (2004). An experimental study on the examination of springback of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 109-117.
28. Chen, P., and Koç, M., (2007). Simulation of springback variation in forming of advanced high strength steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 190, 189-198.

29. Gau, J. T., (1999). *A study of the influence of the baushinger effect on springback in two-dimensional sheet metal forming*, Doctoral Thesis, The Ohio State University, Columbus, OHIO.
30. Mielnik, E. M. (1991). *Metalworking science and engineering*. New York: McGraw – Hill Book Company, 256-400.
31. İnternet: Çekme deneyi. URL: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_14_00_77c0a.pdf. Son Erişim Tarihi: 18.06.2021.
32. Kayalı, S., ve Ensari, C. (1986). *Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Yayınları, 30-50.
33. Baydoğan, M. ve Kayalı, E. S. (2012). *Malzemenin mekanik özellikleri ders notu*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 12-20.
34. TUBİTAK, (2008). *Otomotiv endüstrisi ve çelik: Yeni nesil çelikler*. Kocaeli: MAM, 90-92.
35. Aran, A., (2008). *Malzeme bilgisi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, 28-34.
36. Aslantas K. (2007). *Üretim yöntemleri I ders notları*. Plastik şekil verme-I. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8-15.
37. Meriç, C., Köksal, N. S., and Karlık, B. (1997). An investigation of deep drawing of low carbon steel sheets and applications in artificial neural networks. *Mathematical and Computational Applications*, 2(3), 119-125.
38. Livatyalı, H., Müderrisoğlu, A., Akgerman, N., and Altan, T. (1997). Bending, flanging and hemming of aluminum and steel sheets progress report II. *Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing, ABC/ERC/NSM-97-R-017*, Columbus, OH: The Ohio State University.
39. Demirkol, M. (2007). *Malzemelerin mekanik davranışı*. Ders notları. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, 20-23.
40. Altan, T. and Tekkaya, A. E. (2012). *Sheet metal forming fundamentals*. Ohio: ASM International, Materials Park, 58-60.
41. Aydın H. (2006). *Çelik saçların çift faz ısıtıl işlemi sonrası mekanik ve mikro yapı özelliklerinin değişimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 42-95.
42. Gürün, H. (2008). *Derin çekme kalıplarındaki parametrelerin deneysel olarak incelenmesi ve bulanık mantık ile tahmini*, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20-45.
43. Suchy, I. (2006). *Handbook of die design*. New York: McGraw-Hill, 367-461.

44. Güneş, A. T. (2002). *Pres işleri tekniği cilt 2*. Ankara: Makine Mühendisleri Odası, 1-159.
45. Erişkin, Y. (1986). *Uygulamalı sac metal kalıp konstrüksiyonu*. Ankara: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, 77-80.
46. Tschaetsch, H. (2006). *Metal forming practise*. Berlin: Springer-Verlag, 172-184.
47. Simith, A. D. (1990). Die design handbook. *Society of Manufacturing Engineers*, 10, 1-43.
48. Simith, A. D. (1994). Fundamentals of press working. *Society of Manufacturing Engineers*, 75-142.
49. Zeytin H. K., Aydın H., ve Kubilay C. (2007). *Otomotiv endüstrisi ve çelik ileri teknoloji ürünü yüksek mukavemetli çelikler*. TMMOB Makina Mühendisleri Odası X. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Bursa.
50. Advanced Vehicle Concepts (ULSAB – AVC), (2002). International Iron and Steel Institute. *Ultra Light Steel Auto Body - Overview Report*.
51. Zhuang, L., and Wu, D., (2006). Effects of hot deformation and subsequent austempering on the mechanical properties of Si-Mn TRIP steels. *ISIJ International*, 46(1), 121-128.
52. İnternet: URL-1: <http://nsmwww.eng.ohio-state.edu/664-1.pdf>. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021.
53. Waterschoot, T., Verbeken, K., and De Cooman, B. C., (2006). Tempering kinetics of the martensitic phase in DP steels. *ISIJ International*, 46(1), 138-146.
54. Kuziak, R., Kawalla, R., and Waengler, S., (2008). Advanced high strength steels for automotive industry. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 8(2), 103-117.
55. Keeler, S., and Kimchi, M. (2009). Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines. *AHSS-World Auto Steel, versão*, 4, 287-289.
56. Demirci, E., Yıldız, A. R., ve Semerci, F., (2014). *Taşıtlarda önden çarpışma performansını etkileyen enerji yutucuların optimum tasarımı*. OTEKON 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa.
57. İnternet: RWTH Aachen University. URL-3: <http://www.iehk.rwth-aachen.de/index.php?id=182&L=2>. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021.
58. İnternet: Dly Magazine Images. URL-4: http://www.sae.org/dlymagazineimages/web/516/7695_8230.JPG. Son Erişim Tarihi: 01.05.2021.
59. Xiaodong, Z., Zhaohui, M., and Li., W. (2002). *Current status of advanced high strength steel for automaking and its development in Baosteel*. Baosteel Research Institute, Shanghai, 201900, 1-8.

60. Horvath, C. D. (2010). Advanced steels for lightweight automotive structures. In P. K. Mallick (Eds.), *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles*. USA: University of Michigan-Dearborn, 35-78.







EK-1. Ø12 Zımbalar ile yapılan analiz çalışmalarının ölçüm sonuçları

Ölçüm Sonuçları			
Zımbalar	Maksimum İncelme	Flanş Yüksekliği	Malzeme
Ø12 R1	0,881	2,925	DP600 1 mm
Ø12 Küresel	0,877	2,754	
Ø12 Konik	0,853	2,905	
Ø12 R1	1,274	2,997	DP600 1,5 mm
Ø12 Küresel	1,315	2,845	
Ø12 Konik	1,242	2,972	
Ø12 R1	0,865	2,911	DP800 1 mm
Ø12 Küresel	0,882	2,761	
Ø12 Konik	0,875	2,902	
Ø12 R1	1,235	3,006	DP800 1,5 mm
Ø12 Küresel	1,332	2,864	
Ø12 Konik	1,235	2,987	

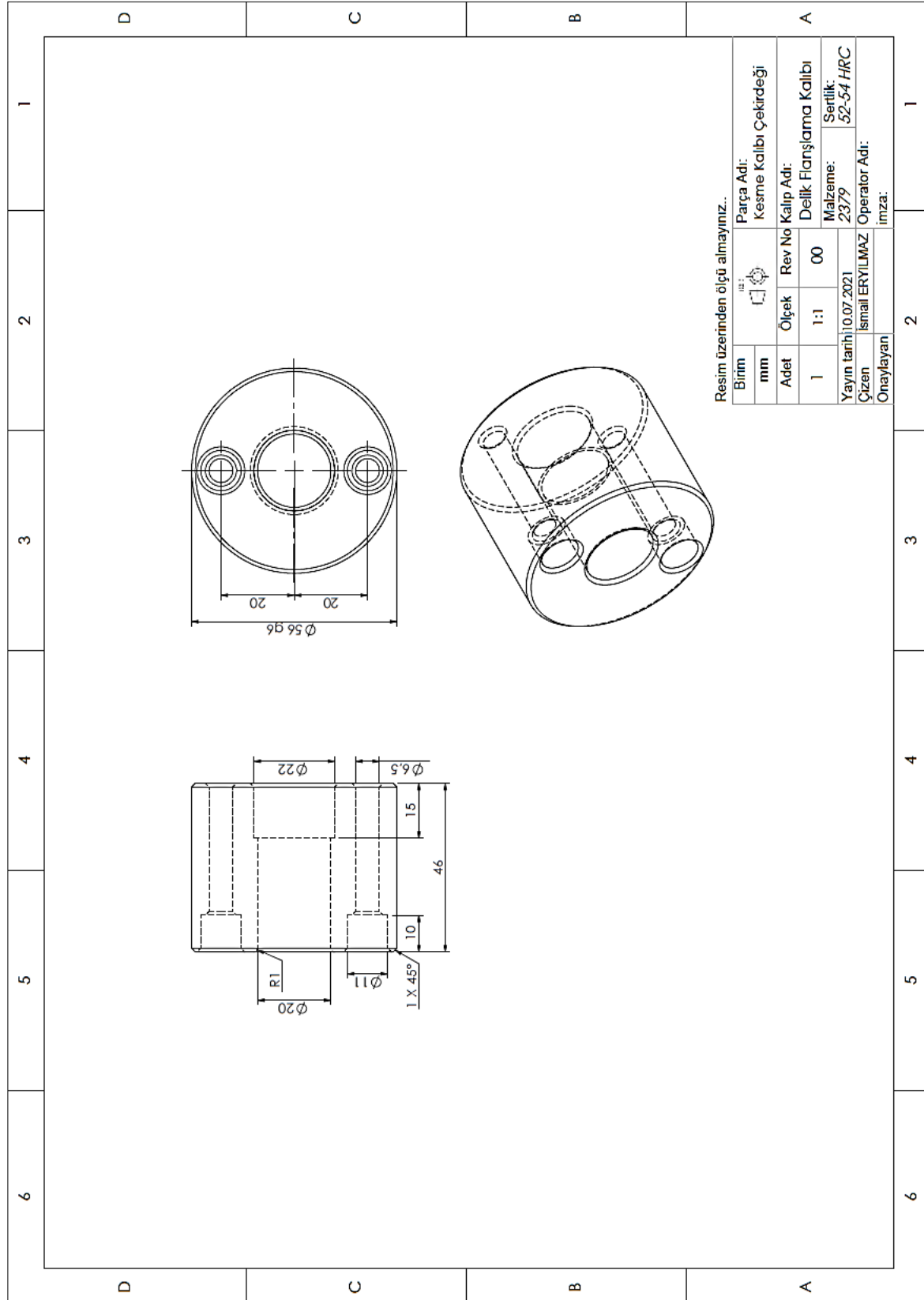
EK-2. Ø14 Zımbalar ile yapılan analiz çalışmalarının ölçüm sonuçları

Ölçüm Sonuçları			
Zımbalar	Maksimum İncelme	Flanş Yüksekliği	Malzeme
Ø14 R1	0,835	3,753	DP600 1 mm
Ø14 Küresel	0,869	3,406	
Ø14 Konik	0,853	3,72	
Ø14 R1	1,234	3,796	DP600 1,5 mm
Ø14 Küresel	1,246	3,453	
Ø14 Konik	1,225	3,751	
Ø14 R1	0,819	3,763	DP800 1 mm
Ø14 Küresel	0,852	3,435	
Ø14 Konik	0,835	3,739	
Ø14 R1	1,234	3,778	DP800 1,5 mm
Ø14 Küresel	1,243	3,509	
Ø14 Konik	1,24	3,733	

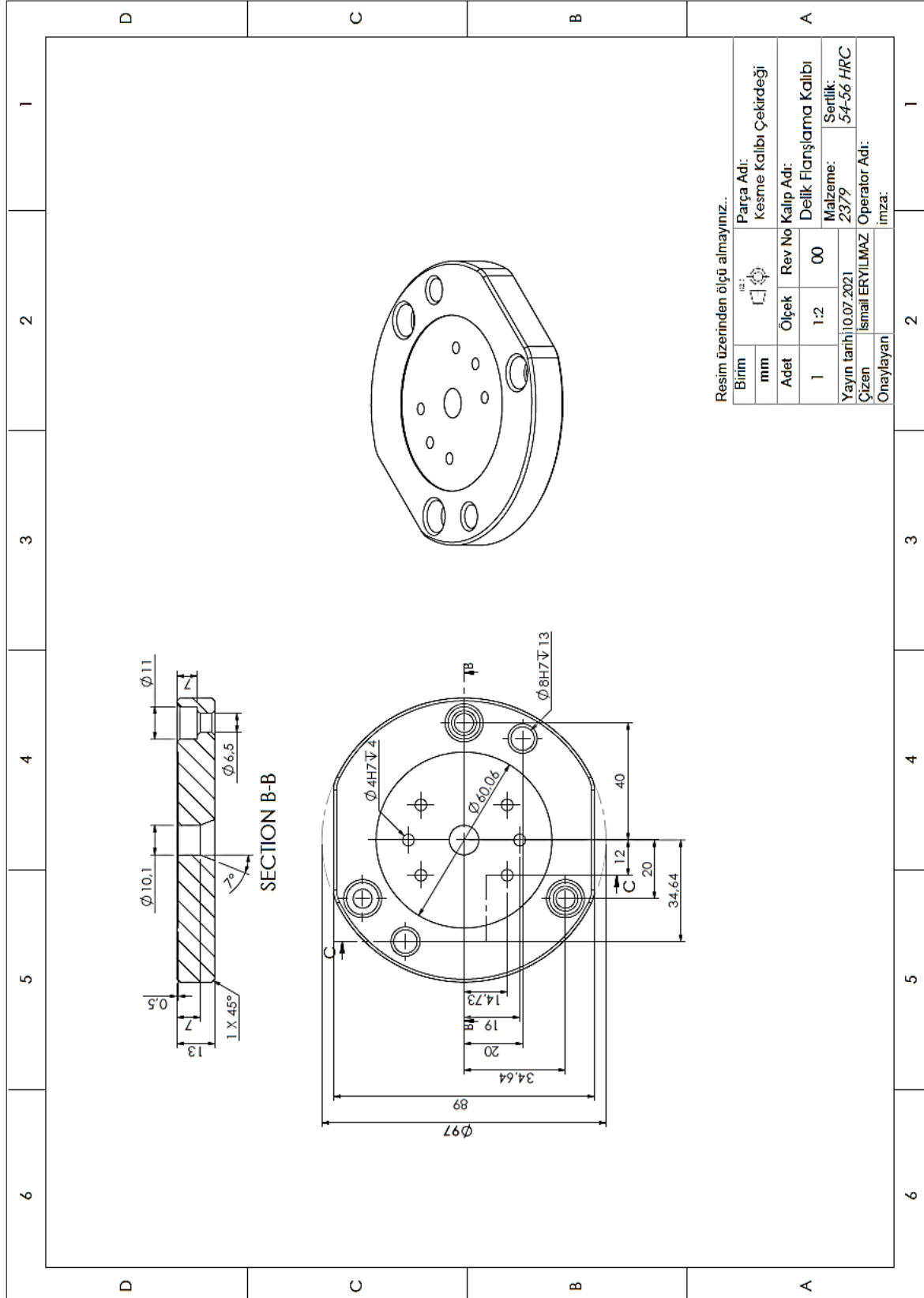
EK-3. Ø16 Zımbalar ile yapılan analiz çalışmalarının ölçüm sonuçları

Ölçüm Sonuçları			
Zımbalar	Maksimum İncelme	Flanş Yüksekliği	Malzeme
Ø16 R1	0,782	4,398	DP600 1 mm
Ø16 Küresel	0,806	4,027	
Ø16 Konik	0,799	4,389	
Ø16 R1	1,233	4,428	DP600 1,5 mm
Ø16 Küresel	1,192	3,943	
Ø16 Konik	1,215	4,227	
Ø16 R1	0,779	4,411	DP800 1 mm
Ø16 Küresel	0,818	4,061	
Ø16 Konik	0,798	4,377	
Ø16 R1	1,152	4,449	DP800 1,5 mm
Ø16 Küresel	1,17	4,092	
Ø16 Konik	1,18	4,21	

EK-4. Flanşlama dişi çekirdeği teknik resmi



EK-5. Kesme kalıbı çekirdeği teknik resmi





GAZİ GELECEKTİR..