

## DP600 Sac Malzemenin Delik Flaşlama İşleminde Zımba Formunun Etkileri

İsmail Eryılmaz<sup>1</sup>, Hakan Gürün<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş tarihi: 23.06.2021;

Kabul tarihi:29.06.2021

**Özet:** Delik flaşlama, sac parçaların mukavemetinin artmasını sağlayan fonksiyonel bir işlemdir. Bu işlem aynı zamanda konumlandırma ve sabitleme uygulamaları için de kullanılır. Delik flaşlama işlemi, sac malzeme cinsi, kalınlığı, flaş profili, zımba formu ve ön delik çapı gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Yapılan bu çalışmada otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan DP600 sac malzemenin flaşlanması işleminde zımba formu ve zımba çapının flaş yüksekliği ve et kalınlığına etkisi analitik olarak incelenmiştir. Analiz çalışmalarında DEFORM 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Sac malzeme üzerinde yapılan kimyasal analiz ve çekme testi sonuçlarından elde edilen veriler analiz programına girdi teşkil etmiştir. Analizlerde küresel, konik ve köşe kavisli olmak üzere üç farklı zımba formu kullanılmıştır. Delik çapı 10 mm ve zımba çapları 12, 14 ve 16 mm olarak alınmıştır. Analizler sonucunda malzemenin şekillendirilmesinde zımba formu ve zımba çapının önemli etkiye sahip olduğu, maksimum inceltme ve flaş yüksekliğinin zımba formu ile doğrudan alakalı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çift Fazlı Çelik, Zımba Formu, Sac Metal Şekillendirme, Delik Flaşlama

### Effects of Punch Form in Hole Flanging of the DP600 Sheet Material<sup>2</sup>

**Abstract:** Hole flanging is a functional process provide increase of strength of the sheet metal parts. This process is also used for positioning and fixation applications. Hole flanging process is affected by many parameters such as sheet material type, thickness, flange profile, punch form and hole diameter. In this study, the effects of punch form and punch diameter on the flange height and wall thickness in the flanging process of DP600 sheet material, which is widely used in the automotive industry, were analyzed analytically. DEFORM 2D software was used in the analyzes. The data obtained from the chemical analysis and tensile test made on the sheet material constituted an input to the analysis software. Three different punch forms were used in the analyzes as spherical, conical and corner curved. Hole diameter was defined as 10 mm and the punch diameters were taken as 12, 14 and 16 mm. As a result of the analysis, it was seen that the punch form and punch diameter have important effects on the shaping of the material, and that the maximum thinning and flange height are directly related to the punch form.

**Keywords:** Dual Phase Steel, Punch Form, Sheet Metal Forming, Hole Flanging

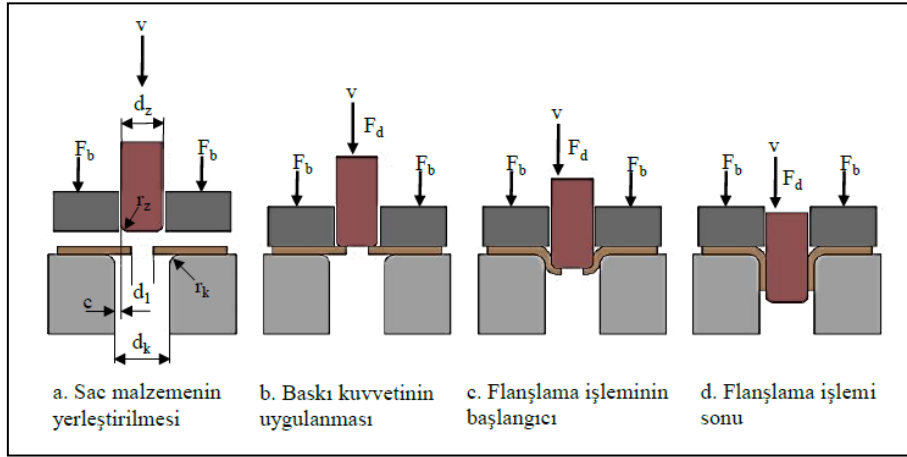
## 1. GİRİŞ

Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu kapsamda, var olan enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı her geçen gün daha fazla önem arz etmektedir. Özellikle otomotiv sektöründe, güvenlikten ödün vermeden araç ağırlıklarının azaltılması, yakıt ekonomisinin sağlanması ve çevreye daha az zararlı gaz salınımı konuları giderek önem kazanmaktadır. Araç ağırlıklarının azaltılması amacıyla Alüminyum, magnezyum, titanyum alaşımları ve yüksek mukavemetli çeliklerin, kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Çift fazlı (DP) çelikler; yüksek çekme mukavemeti, düşük akma mukavemeti, yüksek uzama özellikleri, plastik deformasyon ile pekleşme göstermesi ve kolay şekil alabilmeleri ile özellikle otomotiv sektörü başta olmak üzere birçok sektörde en çok tercih edilen çelik grubudur. Sahip oldukları yüksek dayanım ve yüksek form verilebilirlik, iyi kaynak edilebilirlik, piyasadan temin edilme kolaylığı ve maliyet avantajları sayesinde en çok kullanılan geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik (AHSS) sınıfı çeliktir. DP çeliklerin gerek form verilebilirliğinin iyi olması hem de yüksek dayanıma sahip olmasının sebebi mikro yapısından dolayıdır. Çift fazlı çelik, adını mikro yapısında bulunan iki fazdan almaktadır. Bunlar ferrit ve martenzittir. Ferrit,yapı, yapıya süneklik kazandırırken martenzit yapı ise mukavemet sağlamaktadır.

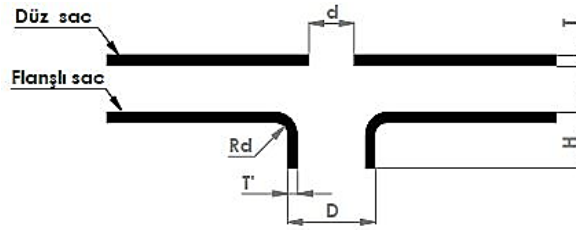
Delik flaşlama yöntemi ön delik açılmış düz levha halindeki sac malzemenin, erkek bir zımba vasıtasıyla dışı kalıp içerisine sıvanarak belirli derinlik ve kalınlık ölçüsüne sahip bir profil haline getirilmesi işlemidir. Delik flaşlama işlemi sac malzemeye uygulanan kuvvetin etkisiyle sac malzemedeki 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 (Şekil 1).



Şekil 1. Delik flaşlama süreci

Delik flaşlama işleminde sac malzeme ilk olarak “d” çapında delinir ve bu delik bir form zımbası vasıtasıyla “D” çapına büyütülür. Delik büyütme esnasında malzemede bir takım gerilimler meydana gelir. Bu gerilimlerin değeri “H” yüksekliğinin büyümesi ile artar. Gerilimlerin büyümesi malzemede çatlamalar ve yırtılmalar oluşturur. Oluşan bu gerilimleri en aza indirmek ve daha büyük (flaşlama oranı) HER değerleri sağlamak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Delik flaşlama işleminin şematik gösterimi

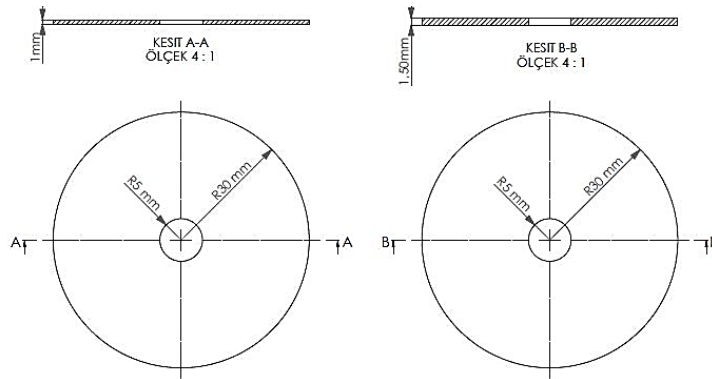
Xu ve diğerleri yaptıkları çalışmada flaşlama öncesi delinen ön delik yüzey kalitesinin HER değerine etkisini incelemişlerdir. Ön delik işlemini, dalma erozyon, zımba ve lazer ile 3 farklı şekilde oluşturarak flaşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ön delik çapı 12 mm ve sac malzeme kalınlıkları 1-1.4 mm aralığında alınmıştır. Sac malzeme olarak DP980 kullanılmıştır. Çalışma sonucunda flaşlama işleminde delik yüzey kalitesinin flaşlama oranına direkt olarak etki ettiği, EDM ile yapılan çalışmalarda en büyük HER değeri elde edilirken, en düşük HER değeri delme yöntemi ile elde edildiği görülmüştür [1]. You-min Huang ve Kou Hsiung Chien yaptıkları çalışmada zımba formunun ve ön delik çapının delik flaşlama sırasında şekillendirilebilirliğe etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çapı 30mm, köşe kavisli zımbada olduğunu gözlemlemişlerdir. Flaşlama işleminde duvar kalınlığının zımba köşe radiusu arttıkça azaldığı belirtilmiştir [2]. Ken-ichiro Mori, Yohei Abe ve Yoshio Suzui flaşlama işlemi için zımba ile delinen delikte kalıp boşluğunun flaşlamaya 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 çökeltilme 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 flaşlama işlemi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda kesilen ön deliğin kalitesinin flaşlama direkt olarak etki ettiği ve flaş çapında yırtılmalara neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Akma gerilmesi 440 MPA ile 980 MPA arasında olan yüksek mukavemetli çeliklere, flaşlama için zımba ile ön delik delinmesinde en uygun kesme boşluğu (c) değerinin kalınlığın %20 olması gerektiği belirtilmiştir [3]. Toshio 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 zimba 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]. W.frachz ve diğerleri zimba formunun flanş yüksekliğine etkisini analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında kalınlığı 1 mm olan extra derin çekme kalitesindeki çeliğe Ø10 mm çapında ön delik delmişler, zimba çapları (Dp) 30mm olan üç farklı; 60° konik, küresel ve köşe kavisi (RP) 4mm olan zimbalarla flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışma ile analitik çalışmayı karşılatırmışlar, flanş kalınlığı ve maksimum incelmeyen zimba formu ile alakalı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada maksimum incelmeyi köşe kavisli zimba formu ile elde edilirken, en düşük incelme ise konik zimba formu ile elde edilmiştir. Konik ve küresel zimba formları ile yaptıkları flanşlama işleminde geri esnemenin yüksek olduğu ve en büyük flanş yüksekliğinin köşe rkavisli zimba formu ile sağlandığını gözlemlemişlerdir[5]. Xiping Chen ve diğerleri yaptıkları çalışmada ultra yüksek mukavemetli çeliklerde malzeme karakterinin delik flanşlamaya etkisini incelemişlerdir. Kalınlık ölçüleri(0,7-2,6 mm aralıklarında ve akma gerilimi değerleri 189-1074 MPA arasında değişen sıcak ve soğuk haddeleme yöntemiyle üretilmiş 15 farklı çelik malzemeye delik genişletme işlemi uygulamışlar ve malzeme karakteristik özelliklerinin etkisini gözlemlemişlerdir. Numunelere zimba ile Ø10 mm ölçüsünde ön delik delip Ø50 mm ve 60° konik ölçüsüne sahip zimba ile çapak yönü dışarıda kalacak şekilde flanşlama işlemini 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]. D.I. Hyun D.I. Hyun ve diğerleri 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 oluşmasına çözüm olarak delik flanşlama işlemi için optimum kriterleri araştırmışlardır. Küresel bir zimba ile farklı ön delik çaplarına ve 1mm, 2mm, 3mm kalınlık ölçülerine sahip çeliklere flanşlama işlemi uygulamışlardır. Flanşlama öncesinde kalıp ve zimba 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. Deliğin 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 değerine 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. Flanşlama sırasında ütülemenin meydana gelip gelmediğini, ütülemenin flanş geometrisi ve zimba 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 zimba ile çapı 13,6mm ve 18 mm ölçülerinde değişen kalıp setinde flanşlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Analizler için ABAQUS programını kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda (Rc) kalıp boşluk değeri ne olursa olsun, maksimum incelmeyen genellikle flanşlama işlemi sırasında meydana geldiği belirlenmiştir. Maksimum incelme flanşın uç bölgelerinde gözlemlenirken, bu incelmelerin bölgede yırtılmalara neden olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, kalıp boşluğu (Rc) azaldıkça flanş boyunun yükseldiği ve daha düzgün bir kalınlık dağılımı elde edildiği görülmüştür. Ütüleme işleminin başladığı (Rc) kritik değerini (Rcc) belirlemek için flanş yüksekliği (h) ve flanş ucundaki kalınlık analizine odaklanmışlar ve ütülemenin flanş geometrisini önemli derecede etkilediğini belirlemişlerdir. Ütüleme olmadan flanşlama işlemi yapıldığında maksimum incelme değerinin flanş kalınlığının %35 i olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda delik flanşlama işlemini etkileyen parametrelerin birçok kez araştırılmış olduğu ancak DP600 malzemede zimba formunun ve zimba çapının delik flanşlama işlemine etkilerinin yeterli olarak araştırılmadığı gözlemlenmiştir[8].

İyi şekillendirilebilirlik ve yüksek mukavemet dayanımına sahip olmasının yanı sıra DP çeliklerin kalıplanmasında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Karşılaşılan ve en iyi bilinen zorluklardan ikisi, bükme işlemi sırasında yırtılmalar ve flaşlama esnasında oluşan kenar çatlaklarıdır. Yapılan bu çalışmada, DP600 çift fazlı çelik sac malzemelerin flaşlanması analitik olarak incelenmiştir. Numunelere farklı zimba formları ve farklı zimba çapları ile delik flaşlama işlemi uygulanmış, analiz sonuçlarından elde edilen veriler ile zimba formunun flaş yüksekliğine ve flaş kalınlığına etkisi incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada otomotiv endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip DP600 çift fazlı çelik numunelere flaşlama işlemi uygulanmıştır. 60 mm çapında ve 1mm-1,5mm kalınlık ölçülerine sahip 0° hadde yönünde üretilmiş çift fazlı DP600 sac numunelere Ø10 mm ölçüsünde ön delik delinmiş, 12, 14, 16 mm çap ölçülerine sahip olan köşe kavisli, küresel ve konik formu zimbalarla flaşlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numune ölçüleri Şekil 3'te, malzeme özellikleri de Tablo 1 ile gösterilmiştir.

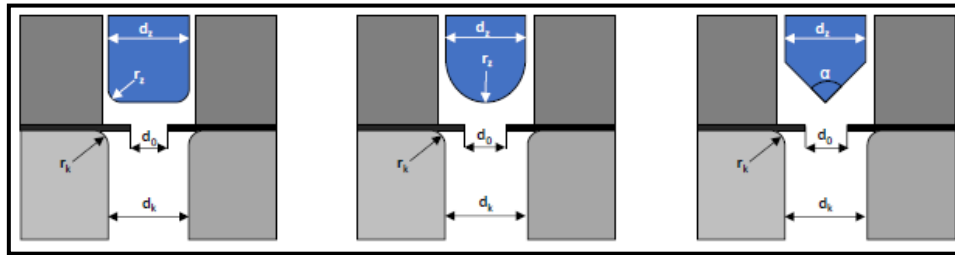


Şekil 3. Farklı kalınlık ölçüsüne sahip numuneler

Tablo 1. DP600 malzemelerin kimyasal analiz sonuçları

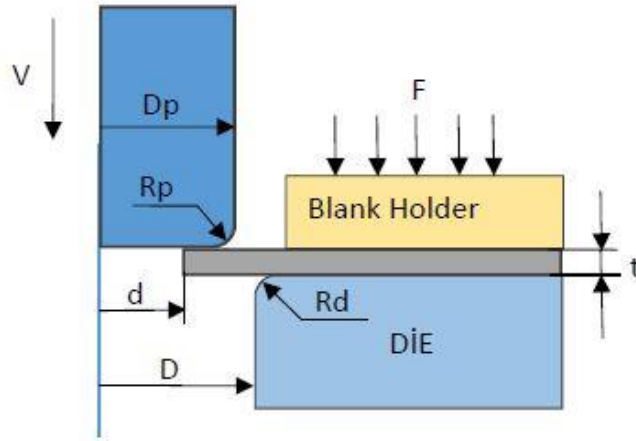
Element (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Nb+Ti (%)	Cr+Mo (%)	B (%)
DP600	0,17	0,80	2,30	0,080	0,020	0,010	0,10	1,0	0,005

Yapılan analitik çalışmada delik flaşlama işleminde zimba formunun etkisini incelemek için Ø12, Ø14, Ø16 mm ölçülerine sahip; köşe kavisli  $R_p:1$  mm, küresel ve 45° konik zimbalarla kullanılmıştır. Çalışmada zimba çapı ve formunun flaş yüksekliğine ve kalınlığına etkisi DEFORM 2D sonlu elemanlar yazılımı ile analiz edilmiştir. Şekil 4'de zimba formları gösterilmiştir.



Şekil 4. Zimba formları

Yapılan çalışmada Ø60 mm ölçüsündeki numunelere Ø10 mm ön delik delinmiştir. Sonlu elemanlar analizini gerçekleştirirken DEFORM yazılımı kullanılmıştır. Delik flaşlama işleminin analitik olarak incelenmesinde model aksel simetrik koşullara dayandırılmış ve deney numunesi, zimba ve kalıbın sağ tarafı modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizi için DP600 malzemenin young modülü  $E:203.0$  GPa belirlenmiş, Poisson oranı  $\nu:0,3$  olarak tanımlanmıştır. Analizlerde 3600 element (mesh) ile oluşturulmuş, kalıp köşe kavis  $R_d: 1$  mm olarak belirlenmiştir. Baskı plakası kuvvet değeri 50000 N, Sıcaklık(T) 20° ve zimba hızı 20 mm/sn kabul edilerek DEFORM 2D sonlu elemanlar yazılımında flaşlama işlemi analitik olarak incelenmiştir. Kalıp, zimba ve deney numunesi parametreleri Tablo 2'de, delik flaşlama işleminin görseli Şekil 5'te gösterilmiştir.

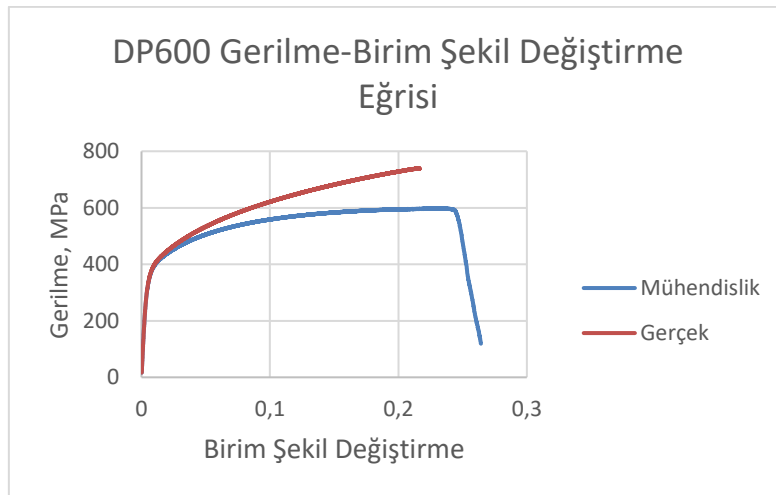


Şekil 5: Flaşlama işleminin gösterimi

Tablo 2. Analiz parametreleri

PARAMETRELER	NOT	DEĞER (Initial)
Ön delik çapı	d	10 mm
Kalıp çapı	D	20 mm
Zımba çapı	Dp	12 mm -14 mm – 16mm
Punch-Die Clearance	$C=(D-D_i)/2$	0,1-0.15 mm
Kalıp köşe kavisini	Rd	1 mm
Zımba kavisini	Rp	1 mm
Zımba formu	--	Köşe kavıslı – Konik - Küresel
Malzeme	DP600	T= 1-1,5 mm

Malzeme verilerinin Deform yazılımına aktarılması amacıyla, DP600 malzemenin çekme testleri yapılmıştır. Çekme testleri sonucunda elde edilen mühendislik eğrilerine bağlı olarak gerçek gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 6).

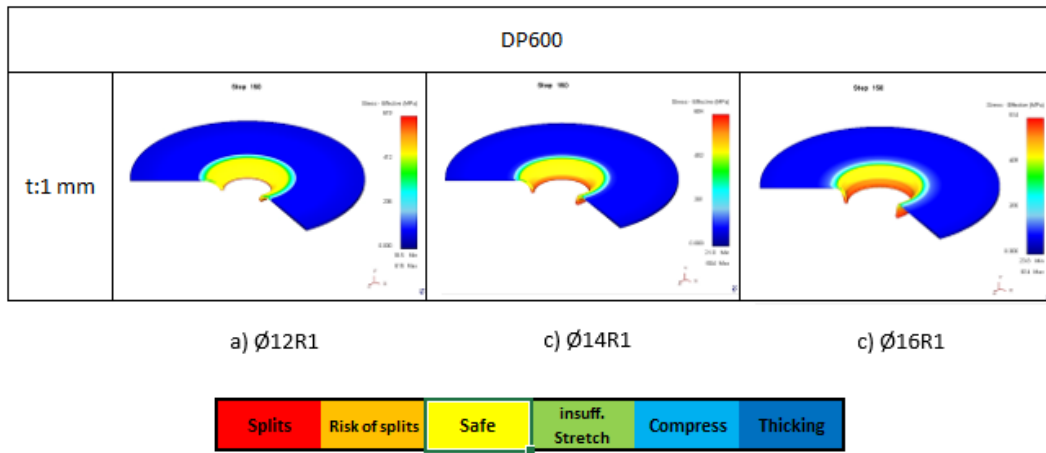


Şekil 6. DP600 gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

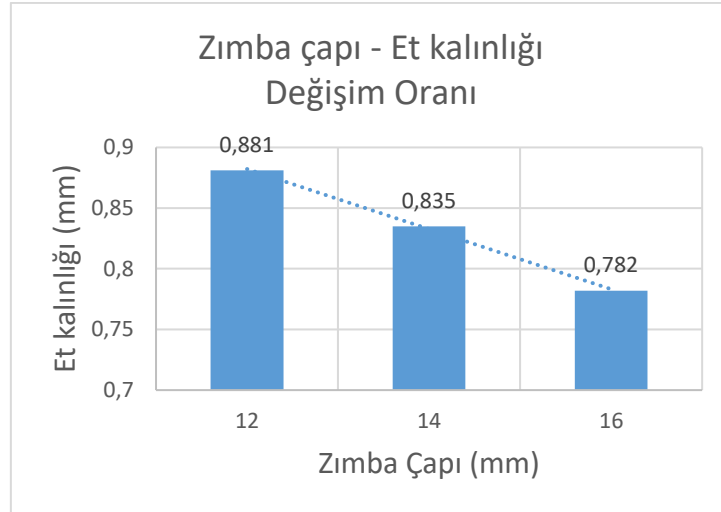
### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada zımba formu, zımba çapı ve malzeme kalınlığının flaş kalınlığı ve flaş yüksekliğine etkisi DEFORM-2D sonlu elemanlar yazılımında incelenmiştir. Kalınlığı 1 mm ve 1,5 mm olan sac malzemelere farklı çaplarda zımbalarla yapılan flaşlama analizleri sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 7'de gösterilmiştir.

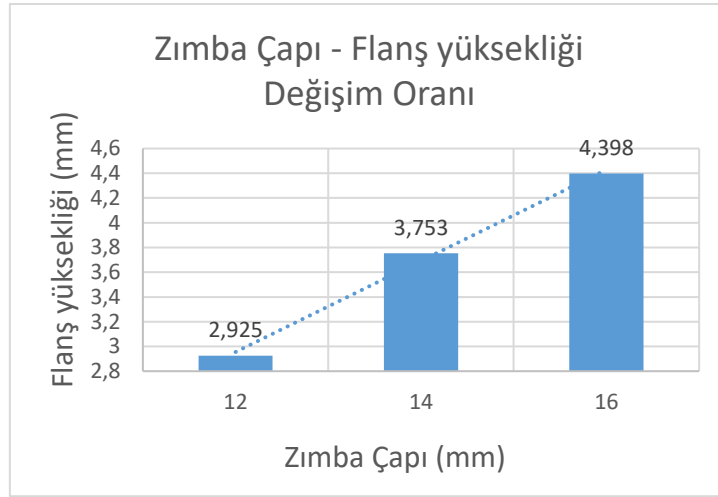
Farklı zımba çaplarında yapılan analiz çalışmaları sonucunda, zımba çapında meydana gelen değişimin elde edilen flaş yapısını direkt olarak etki ettiği tespit edilmiştir. Zımba çapı arttıkça sac malzeme, kalıp ile zımba arasına sıkışmış, artan sürtünme kuvveti ve gerilimler dolayısıyla malzemede meydana gelen gerilimin arttığı ve buna bağlı olarak malzemenin uç bölgelerinde çatlak ve yırtıkların oluşabileceği belirlenmiştir. Zımba çapının 12 mm den 16 mm'ye artırılması ile et kalınlığının yaklaşık olarak % 12 oranında azaldığı görülmüştür. Zımba çapındaki artışa bağlı olarak flaş yüksekliği de artmıştır (Şekil 9). Sac malzeme üzerinde flaşlama öncesi açılması gereken ön delik sabit tutulmuştur. Bu durumda artan zımba çaplarına bağlı olarak flaş yüksekliğinin artması da beklenen bir durumdur. Zımba 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 (Şekil 10). Zımba çapı arttıkça, şekillendirme sırasında sac malzemenin zımba ile kalıp arasında sıkıştığı ve daha fazla sürtünmeye maruz kaldığı görülmüştür. Artan zımba çapı ile birlikte oluşan sıkışma ve sürtünme kuvvetlerinin artması, beraberinde flaş yapısında incelme ve yırtılmaların oluşmasına neden olmuştur. Tüm bunlara ek olarak, zımba çapının şekillendirme kuvvetine etkilerini incelemek amacıyla oluşturulan grafikler incelendiğinde, malzemenin şekil almasının düzenli olduğu ve artan zımba çapı ile birlikte şekillendirme esnasında oluşan kuvvetin arttığı, elde edilen kuvvet-zaman grafiklerinin de uygun bir akış gösterdiği tespit edilmiştir.



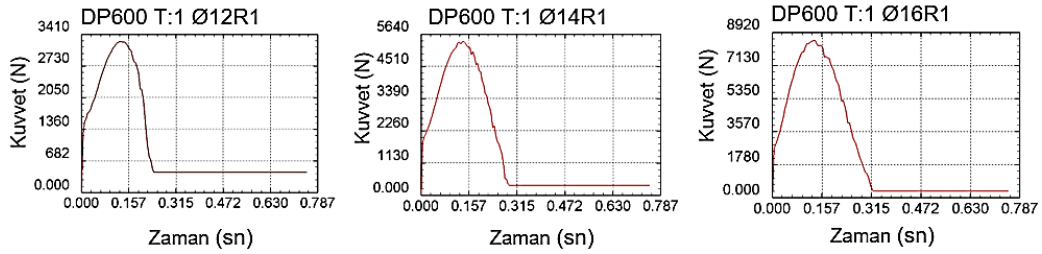
Şekil 7. DP600 malzemenin farklı zımba çapları ile yapılan analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar



Şekil 8. Zımba Çapı – Et kalınlığı oranı



Şekil 9. Zimba Çapı- Flaş yüksekliği oranı

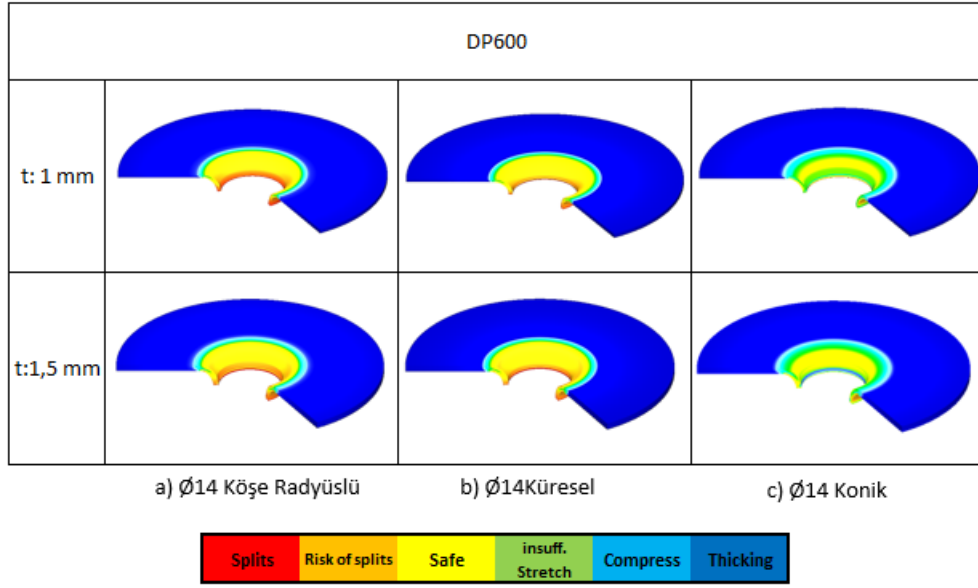


Şekil 10. DP600 malzemenin farklı zimba çaplarında flaşlanması sonucu elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

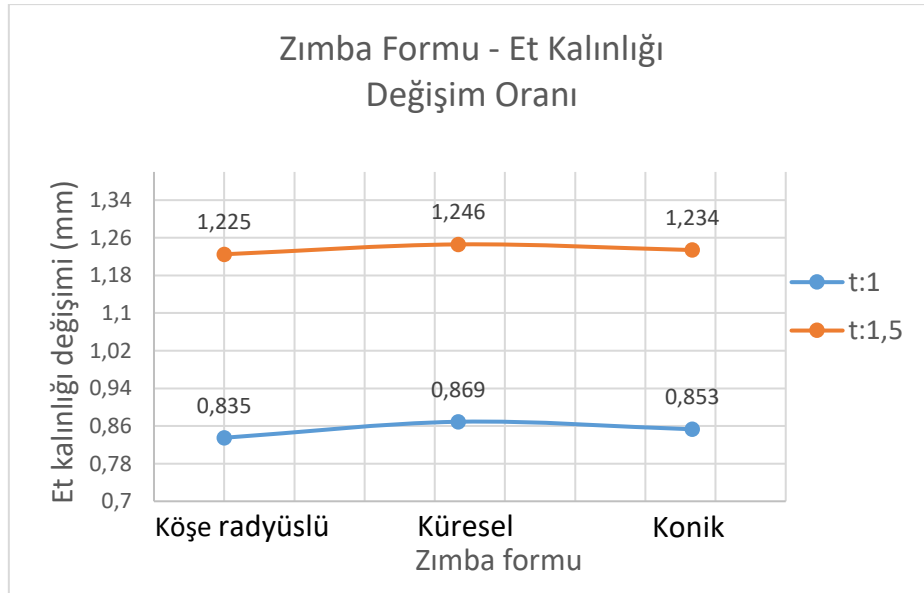
Farklı zimba formları ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen deneysel numuneler incelendiğinde; köşe radyüslü zimba ile elde edilen deney numunesindeki flaşın uç bölgelerinde artan gerilimler sonucu incelmelerin meydana geldiği ve flaş uç bölgelerinde yırtılma riskinin olduğu gözlemlenmiştir. Konik zimba ile yapılan çalışmalarda köşe radyüslü zimba formu ile elde edilen flaş yapısına çok benzeyen yapıda bir flaş yapısı elde edilmiş fakat, konik zimba ile şekillendirme sonucunda malzemenin kalıp içerisine kolay akışı sağlanamadığı için elde edilen flaşın 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 radyüsünün sac malzemenin kalıp içerisine daha kolay akışına izin vererek delik flaşlama işlemini olumlu yönde etkilediği, flaşlama işlemi sonucunda yırtılma ve çatlakların oluşmadığı, homojen et kalınlık dağılımına sahip bir flaş yapısı edilmesini sağladığı tespit edilmiştir (Şekil 11).

Küresel, konik ve düz (köşe kavisli) zimba formları ile yapılan çalışmalarda, en yüksek inceleme değerlerinin düz zimba formunda oluştuğu görülmüştür (Şekil 12). Et kalınlığı üzerinde en az değişim ise küresel formu zimba ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar, delik flaşlama işleminde küresel formu zimbaların kullanımının daha uygun olduğunu göstermektedir. Ancak, en büyük flaş yüksekliği değeri düz zimba formu ile elde edilmiştir. Bu durum düz zimba formunda temas yüzeyinin daha az olması ve malzeme akma oranının daha fazla gerçekleşmesi ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 13). Ayrıca, aynı parametre değerleri ile farklı kalınlıktaki sac malzemelere delik flaşlama işlemi uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sac malzeme kalınlığının delik flaşlama işlemini etkileyen bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Malzeme kalınlığının artan değerlerine bağlı olarak flaş yüksekliğinin de arttığı, buna karşılık et kalınlığının incelendiği görülmektedir (Şekil 12), (Şekil 13).

Farklı zimba formları ve farklı kalınlık değerleri ile yapılan analiz çalışmaları sonucu elde edilen grafikler incelendiğinde, en düşük şekillendirme kuvvetinin küresel zimba formu ile elde edilen flaşlama işleminde meydana geldiği, buna karşılık en büyük şekillendirme kuvvetinin ise konik zimba formu ile elde edilen flaşlama işleminde oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca, malzeme kalınlığı arttıkça şekillendirme kuvvetlerinin de eş zamanlı olarak arttığı ve aralarında doğru orantılı bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 14).

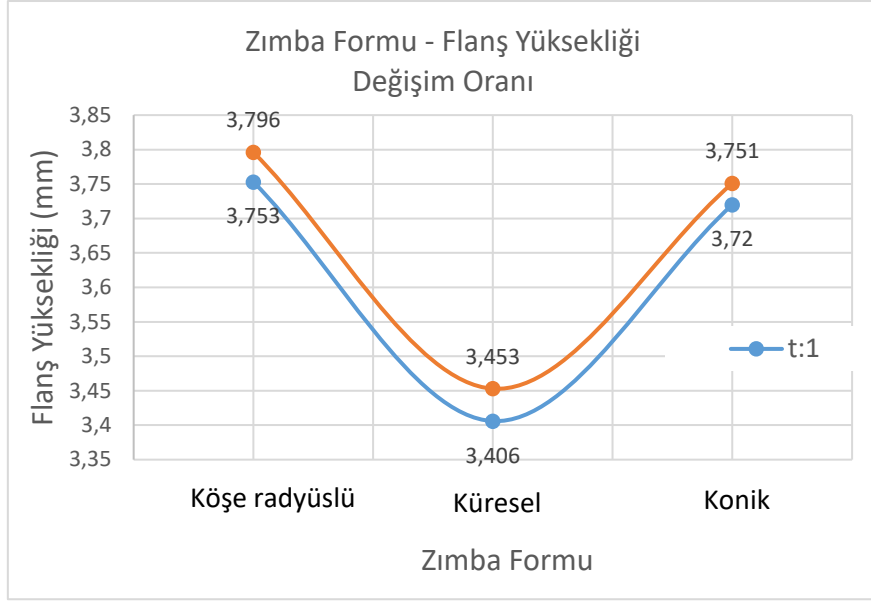


Şekil 11. DP600 malzemenin farklı zimba formları ile yapılan analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar

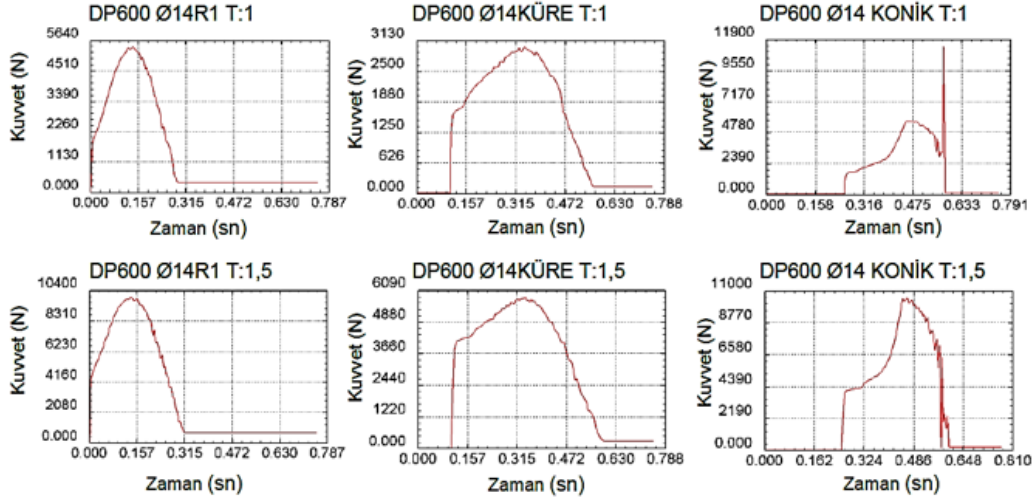


Şekil 12. Zimba formu - Et kalınlığı oranı





Şekil 13. Zimba formu – Flaş yüksekliği oranı



Şekil 14. DP600 malzemenin farklı zimba formları ile flaşlanması sonucu elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan analitik çalışmada ön delik delinmiş çift fazlı çelik saclara farklı çaplarda ve formlarda zimbaların delik flaşlama işlemine etkisi analiz edilmiştir. Sacmalzeme kalınlıkları 1 mm ve 1,5 mm olarak alınmıştır. Analiz çalışmaları sonucunda, değişen zimba formları ve çaplarına bağlı olarak flaş kalınlık değişimleri ve flaş yükseklikleri ölçülmüştür. Flaş yüksekliği ve kalınlığının, zimba formu ve zimba çapı ile ilişkili olduğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Analitik çalışma sonucunda zimba çapı artarken et kalınlığının azaldığı ve zimba çapı ile et kalınlığı arasında ters bir ilişki olduğu görülmüştür. Ayrıca en düzgün flaş formu 16 mm zimba ile elde edilmiştir.
2. Flaşlama işleminde et kalınlığının yalnızca zimba çapından etkilenmediği, zimba formunda et kalınlığına önemli ölçüde etki ettiği görülmüştür. Köşe kavisli ( $R_p=1$  mm), küresel ve konik olmak üzere 3 farklı forma sahip zimbalarla analizler gerçekleştirilmiş ve et kalınlıkları incelenmiştir. Analiz sonucunda maksimum incelenen en fazla köşe kavisli zimba formuyla elde edildiği, en düşük incelenen ise küresel zimba formuyla gerçekleştirilen flaşlama işleminde gerçekleştiği görülmüştür.
3. Flaşlama işleminde et kalınlığının yanı sıra flaş yüksekliğinin de önemi büyüktür. Yapılan analitik çalışmada flaş yüksekliğini incelemek için üç farklı zimba formu ve 3 farklı zimba çapı ile analizler

- gerçekleştirilmiştir. Flanşlama işleminde zımba çapı arttıkça flanşlama yüksekliğinin arttığı, dolayısıyla zımba çapı ile flanş yüksekliği arasında doğrusal ilişki olduğu görülmüştür.
4. Flanş yüksekliğinin zımba formundan da etkilendiği görülmüştür. Zımba formunun etkisi incelendiğinde en yüksek flanş yüksekliği köşe kavisli zımba formu ile elde edilirken, en düşük flanş yüksekliği küresel formu zımba ile elde edilmiştir.
  5. Analiz sonucunda flanş yüksekliği ve maksimum incelmeyen sac malzeme kalınlığıyla da ilişkili olduğu belirlenmiştir. Flanşlama işleminde malzeme kalınlığı arttıkça maksimum incelmeyen ve flanş yüksekliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

#### KAYNAKÇA

1. Sartkulvanich, P., Kroenauer, B., Golle, R., Konieczny, A., & Altan, T. (2010). Finite element analysis of the effect of blanked edge quality upon stretch flanging of AHSS. *CIRP annals*, 59(1), 279-282.
2. Huang, Y. M., & 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., & 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., & Meng, Y. (1999). Hole flanging with ironing of two-ply thick sheet metals. *Journal of Materials Processing Technology*, 89, 51-57.
5. Fraçz, W., Stachowicz, F., & 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., & 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., & 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., & Manach, P. Thinning And Ironing In Hole-Flanging Process.