

KARE GEOMETRİNİN HİDROMEKANİK DERİN ÇEKME YÖNTEMİ İLE ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

İbrahim KARAAĞAÇ, Ahmet ÖZDEMİR

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 06500 Teknikokullar/Ankara – TÜRKİYE
ibrahimkaraagac@gazi.edu.tr, ahmetoz@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 14.10.2011; Kabul/Accepted: 08.01.2013)

ÖZET

Hidromekanik derin çekme prosesi, sac metal malzemelerin şekillendirilmesinde giderek artan öneme sahip bir ileri şekillendirme teknolojisidir. Bu çalışmada; hidromekanik derin çekme yöntemiyle, Bakır (Cu) ve Erdemir 6112 (DC01) sac metallerin kare geometrili kap olarak şekillendirilebilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar; çalışmanın amacına yönelik tasarlanan ve imal edilen bir hidromekanik derin çekme deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Hidromekanik derin çekmede; kalıp içindeki hidrolik sıvı basıncının ($p_i = 10$ MPa, 20 MPa, 30 MPa), kalıp kavisinin ($r = 4$ mm, 6 mm, 8 mm), şekillendirme hızının ($v = 6$ mm/s, 12 mm/s, 18 mm/s), sac malzeme kalınlığının ($t_0 = 0,5$ mm, 0,8 mm, 1,0 mm) ve başlangıç sac çapının ($D = 120$ mm, 130 mm, 140 mm) şekillendirilebilirlik üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda; hidromekanik derin çekme yönteminin kullanılmasıyla, Bakır ve Erdemir 6112 sac malzeme için tek seferde 2,6 çekme oranına ulaşılabilmektedir. Şekillendirilen ürünlerin klasik derin çekme yöntemine göre daha homojen bir kalınlık dağılımı gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidromekanik derin çekme, kare geometri, hidrolik şekillendirme

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE FORMABILITY OF SQUARE-SHAPED CUPS BY HYDROMECHANICAL DEEP DRAWING PROCESS

ABSTRACT

Hydromechanical deep drawing (HDD), as an advanced forming technology, is gaining continuous interest in the sheet metal forming industry. Current research, investigates the formability of copper (Cu) and Erdemir 6112 (DC01) sheet blanks through hydromechanical deep drawing. Experiments have been carried out using custom designed and built hydromechanical forming test setup. The effects of process parameters such as chamber pressure ($p_i = 10$ MPa, 20 MPa, 30 MPa), die radius ($r = 4$ mm, 6 mm, 8 mm), punch velocity ($v = 6$ mm/s, 12 mm/s, 18 mm/s), sheet metal thickness ($t_0 = 0,5$ mm, 0,8 mm, 1,0 mm) and initial blank diameter ($D = 120$ mm, 130 mm, 140 mm) have been evaluated for the formability of square cup. In experimental studies; the limit drawing ratio of 2.6 was achieved in a single step operation for both material types. The results showed that smaller thickness variations for square-shaped cups were obtained in hydromechanical deep drawing process compared to the conventional deep drawing process.

Keywords: Hydromechanical deep drawing, square geometry, hydroforming

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sac metal parçalar, günlük hayatta birçok sektörde yaygın olarak kullanılmakta ve her biri çeşitli yöntemlerle şekillendirilerek üretilmektedir. Karmaşık geometriye sahip sac metal parçaların

şekillendirilmesi için çeşitli özel şekillendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Sıvı basıncı ile şekillendirme yöntemlerinden biri olan hidromekanik derin çekme, uygulama alanı hızla genişleyen güncel şekillendirme yöntemlerinden birisi olmuştur.

Hidromekanik derin çekme yöntemi, klasik ve sıvı basıncıyla şekillendirme işlemlerinin kombinasyonundan oluşan bir hidrolik şekillendirme yöntemidir. Hidromekanik derin çekme yöntemi ilk olarak 1890 yılında geliştirilmiş, yöntemdeki iyileştirmeler II. Dünya savaşıdan sonra ilk olarak Almanya ve Japonya'da başlamıştır [1]. Sıvı ile şekillendirme yöntemlerinin literatürde; su ile derin çekme (aquadraw deep drawing), karşı hidrolik basınç ile derin çekme (deep drawing with counter hydraulic pressure), hidrodinamik derin çekme (hydrodynamic deep drawing), hidrolik şekillendirme (hydro-form) ve vb. değişik isimlerle anıldığı görülmektedir [2,3].

Hidromekanik derin çekme, klasik kalıplama yöntemiyle çok sayıda operasyon gerektiren kare, konik, parabolik ve karmaşık geometri parçaların tek operasyon ile şekillendirilmesine imkan tanıdığı için endüstriyel uygulamalarda özellikle tercih edilmektedir. Yüksek çekme oranına ek olarak; şekillendirilen ürün üzerinde homojen et kalınlığı ve ölçü tamlığı sağlaması, dişi kalıp yerine akışkan sıvının kullanılması sonucu sadece zimba kullanımı, kalıp takım maliyetlerinin azaltılması ve parçada daha iyi yüzey kalitesinin elde edilmesi yöntemin diğer avantajları olmuştur [4-9].

Hidromekanik derin çekme ile farklı geometrideki (kare, daire, parabolik, vb.) parçalar üretilebilir. Kare geometrilerin deformasyon mekanizması, silindirik geometrilerden çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Kare geometrilerde, parçanın yan duvarlarında tek eksenli gerilme baskın olurken, kulaklarda iki eksenli baskı ve gerilme oluşmaktadır. Bu durum, kare parçaların şekillenen köşelerinde kritik bir hal almaktadır. Kalıp içerisine sac malzemenin farklı oranlarda akması ve teğetsel baskı nedenleriyle, sac malzeme köşelerde yığılma göstermektedir. Bu yığılma, köşelerde yırtılmaya yol açmaktadır. Kare geometrilerin klasik çekme ile şekillendirme işlemlerinde, tek aşamada en büyük çekme oranı 2,3 olurken hidromekanik derin çekme yönteminde bu oran daha yüksek değerlere çıkabilmektedir [10].

Hidromekanik derin çekme yönteminde; ilk aşamada, akışkan sıvı dişi kalıp içerisine doldurulmaktadır. Devamında; sıvı ile doldurulmuş hazne üzerine şekillendirilmemiş sac metal malzemenin yerleştirilmesi ile birlikte basınç plakası başlangıç sac numunesi üzerine kapanmaktadır. Sonraki adımda, şekillendirme zımbası sac malzemeye doğru hareket etmektedir. Bu esnada, başlangıç sac numunesi sıvı ile ön basınç verilerek şişirilmektedir. Zımbanın sac malzemeye teması ile birlikte, kalıp içerisindeki hidrolik sıvı basıncı artmaya başlamaktadır. Kalıp içerisinde oluşan hidrolik sıvı basıncı, hassas kontrol valfleri ile sabit değerlerde tutulmaktadır. Kalıp içindeki hidrolik sıvı basıncı, başlangıç sac numuneyi

zımbaya doğru preslemekte ve sac malzemenin şekil almasını kolaylaştırmaktadır [5, 11]. Kalıp içindeki hidrolik sıvı basıncının bir diğer fonksiyonu da; zimba ve sac malzeme arasında sürtünmeyi arttırması, kalıp ve sac malzeme arasında ise sürtünmeyi azaltması ve ürün üzerindeki gerilim dağılımını iyileştirmesidir [1, 4]. Bu durum, sac malzemenin yırtılmadan daha çok şekil almasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada, klasik kalıplama yöntemiyle çok sayıda kalıplama operasyonu ile şekillendirilmesi yapılan kare geometrilerin tek operasyonda hidromekanik derin çekme yöntemiyle şekillendirilebilirliğinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşabilmek için çalışma kapsamında; tasarımı, üretimi ve kalibrasyonu yapılan hidromekanik derin çekme deney düzeneği kurulmuş ve kare geometri kalıp ve zimbalar kullanılarak şekillendirme için etkili olabilecek parametrelere göre deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen deney malzemelerin endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılıyor olmasına dikkat edilmiştir. Erdemir 6112 sac malzeme; beyaz eşya ve mutfak endüstrilerinde ve derin çekme gerektiren kalıplama uygulamalarında tercih edilmektedir. Bakır sac; ticari ismi tavllanmış bakır sac malzeme olup, kimyasal spektrumu % 99,4 Cu, % 0,151 Sn, % 0,124 Sb, % 0,123 S, % 0,202 oranında diğer elementler şeklindedir. Savunma sanayi uygulamaları başta olmak üzere uzay ve havacılık sektörlerinde ve kalıplama sektöründe kullanılmaktadır. Diğer çalışmalardan farklı olarak, Erdemir 6112 ve bakır sac malzemelerin hidromekanik derin çekme yöntemiyle kare şekillendirilebilirliği ilk kez denenmiş ve şekillendirme esnasında etkili olan birden çok parametre ayrı ayrı denenerken en etkili olan parametreler ve sayısal değerleri belirlenmiştir. Kare geometrilerin şekillendirilmesi için en ideal parametrelerin önceden belirlenmesi, endüstriyel uygulamalarda deneme yanılma yoluyla oluşabilecek kayıpların önlenmesini sağlamaktadır.

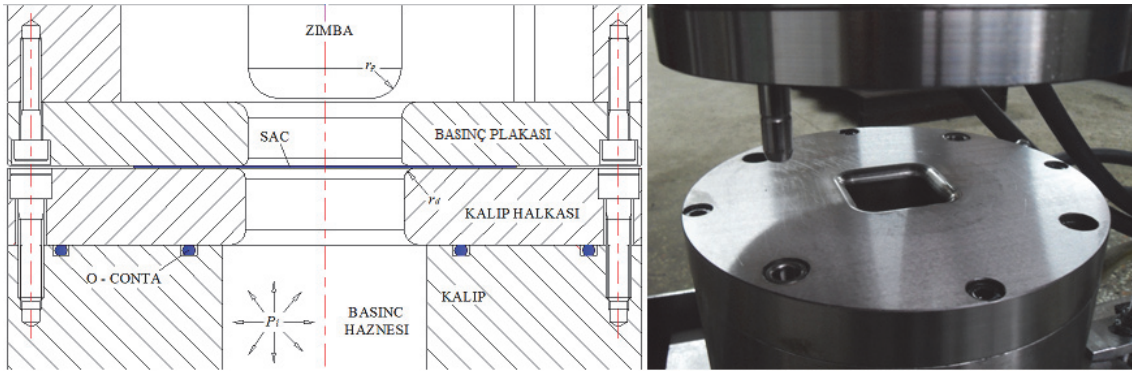
2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deneysel çalışmalar için; hidromekanik derin çekme deney düzeneği tasarlanarak, imalatı ve kalibrasyonu yapılmıştır. Deney düzeneği, elektronik kontrollü olarak bilgisayar yardımıyla kumanda edilmektedir. Kontrol ve veri okuma işlemi, hidromekanik derin çekme prosesine göre Labview editöründe özel olarak tasarlanan yazılım ile yapılmaktadır. Veri okuma işlemlerinde; kuvvet ölçümleri için yük ölçerler (kuvvet sensörleri), kalıp içindeki hidrolik sıvı basınç ölçümleri için de basınç ölçer (transducer) kullanılmıştır. Deney düzeneğinin genel bir görüntüsü Şekil 1'de [12, 15], zimba ve kalıp grubunun detay görüntüsü ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin genel görüntüsü [12, 15] (The overview of experimental setup)

1: Kontrol yazılımı, 2: Elektronik kontrol ve veri okuma panosu, 3: Elektrik panosu, 4: Hidrolik motor ve pompa grubu, 5: Hidrolik tank, 6: Hidrolik valf grubu, 7: Geri dönüş filtreleme grubu, 8: Basınç plakası silindirleri, 9:Şekillendirme silindiri, 10: Koordinat okuyucu cetvel, 11: Mekanik konstrüksiyon, 12: Basınç plakası grubu, 13: Kalıp grubu ve sıvı haznesi, 14: Şekillendirme zımbası



Şekil 2. Zimba ve kalıp grubunun kesit görüntüsü ve fotoğrafı (The cross-sectional view of experimental setup (left), actual photo of punch and die (right))

Deneysel çalışmalarda basınç plakası kuvveti sabit değerde alınmıştır. Basınç plakası için gereken basınç ve yastıklama kuvvetinin hesaplanmasında, Eş. 1 ve Eş. 2 kullanılmıştır [5]. Hesaplanan ve deneysel çalışmada kullanılan basınç plakası kuvvetleri de Çizelge 1’de verilmiştir.

$$p = 0,002[(\beta-1)^2 + D/200.t].R_m \quad (1)$$

Eş.1’de verilen, p basınç plakası basıncı (MPa), β çekme oranı, D başlangıç sac çapı (mm), t sac kalınlığı (mm), R_m maksimum çekme gerilmesi (MPa)’ni ifade etmektedir.

$$F_{BH} = A_{BH} \cdot p \quad (2)$$

Eş.2’de verilen F_{BH} basınç plakası kuvvetini (kN), A_{BH} basınç plakasının etkili olduğu alanı (mm²) ifade etmektedir.

Zimba çapı ve çekme halkası çapı arasındaki boşluğun yarısı (kalıp ve zimba arasındaki tek taraflı boşluk ölçüsü) çekme boşluğu olarak adlandırılmaktadır. Çekme boşluğunun hesaplanmasında Eş.3 dikkate alınmıştır [5].

$$\sqrt{tw} = t + k \quad (3)$$

Çizelge 1. Deneysel çalışmada uygulanan basınç plakası kuvvetleri [15] (The blank holder forces applied in experimental studies)

	Erdemir 6112 (DC01)			Bakır		
	Sac Kalınlıkları, <i>t</i>			Sac Kalınlıkları, <i>t</i>		
	0,5 mm	0,8 mm	1,0 mm	0,5 mm	0,8 mm	1,0 mm
Başlangıç sac çapı	Basınç Plakası Kuvveti (kN)			Basınç Plakası Kuvveti (kN)		
120 mm	19,47	16,70	15,78	17,25	14,79	13,97
130 mm	29,09	25,42	24,19	25,77	22,51	21,43
140 mm	41,85	37,12	35,54	37,07	32,88	31,48

Eş. 3’de verilen *w* çekme boşluğu değerini (mm), *t* sac kalınlığını (mm), *k* malzeme katsayısını (Çelik malzeme için $k = 0,07$ mm [5]) ifade etmektedir.

Deneysel çalışmalarda 50x50 mm ölçüsünde zımba kullanılmıştır. Her bir kalıp kavisi ($r=4$ mm, $r=6$ mm, $r=8$ mm) için ve her bir sac malzeme kalınlığına göre ($t=0,5$ mm, $t=0,8$ mm, $t=1,0$ mm) farklı çekme boşluğuna sahip kalıplar üretilmiştir. Sac malzeme kalınlığına göre hesaplanan ve deneysel çalışmada kullanılan çekme boşluğu değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çekme boşluğu değerleri (The clearance values)

Sac Kalınlığı, <i>t</i>	Çekme Boşluğu Ölçüsü, mm
0,5 mm	0,55
0,8 mm	0,86
1,0 mm	1,07

Sac malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için çekme numuneleri hazırlanmıştır. ASTM-E8-M standardı esas alınarak 0°, 45° ve 90° hadde yönlerine göre üçer adet olmak üzere çekme deneyleri yapılmış ve malzemelerin çekme dayanımları elde edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Deneysel çalışmalar; tasarımı, üretimi ve kalibrasyonu yapılan hidromekanik derin çekme deney düzeneğinde Çizelge 4’de verilen parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, 243 adet deney Erdemir 6112 sac malzeme için, 243 adet deney de bakır sac malzeme için olmak üzere toplamda 486 deney yapılmıştır. Çalışma öncesi ve sonrasında gerek kalibrasyon gerekse de diğer ön çalışmalarda çok sayıda tekrar yapılmış ve her bir deneyde deney cihazının stabilitesi kontrol edilmiştir. Her iki malzeme türü içinde başarılı şekillendirmenin yapılabildiği deneylerde deneyler üç defa tekrar edilmiş, ancak başarılı şekillendirmenin yapılamadığı bariz yırtılmaların

Çizelge 3. Erdemir 6112 ve Bakır sac malzemesi mekanik özellikleri [15] (The mechanical properties of Erdemir 6112 sheet and Copper sheet)

Malzeme	Çekme Dayanımı, MPa	Akma Dayanımı, MPa	Uzama, %	Elastisite Modülü, GPa	Poisson Oranı	Özgül Ağırlık, g/cm ³
Erdemir 6112 (DC01)	350,0	253,0	18,81	142,0	0,28	7,83
Bakır (Cu)	310,0	33,0	16,0	105,0	0,343	8,95

olduğu deneyler tekrarsız olarak tek sefer yapılmıştır. Deneysel çalışmada; Erdemir 6112 sac malzeme için 243 deneyin 155 adedinde başarılı şekillendirme işlemi yapılmış, 88 adedinde de deney başarısızlıkla sonuçlanmış sac malzemeler yırtılmıştır. Bakır sac malzeme için de, 243 deneyin 120 deneyinde başarılı bir şekilde şekillendirme işlemi yapılmış, 123 deneyinde başarısızlıkla sonuçlanıp sac malzemeler yırtılmıştır. Her bir tekrar işleminde elde edilen verilerin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. Deneysel çalışma parametreleri (The experimental study parameters)

Deney Parametreleri	Parametre Değerleri
Sac metal malzeme	Erdemir 6112 - Bakır
Sac kalınlığı, <i>t</i> , mm	0,5- 0,8-1,0
Kalıp kavisi, <i>r</i> , mm	4-6- 8
Kalıp içindeki hidrolik sıvı basıncı, <i>p</i> , MPa	10-20-30
Zımba hızı, <i>v</i> , mm/s	6-12-18
Başlangıç sac çapı, <i>D</i> , mm	120-130-140
Zımba şekli	50 x 50 mm kare

Hidromekanik derin çekme deneylerinde, şekillendirici akışkan olarak ISO 11158 standartlarına uygun, kinematik viskozitesi 40 °C’de 46 mm/s² olan hidrolik yağ (Hydro Oil Aw 46, Petrol Ofisi, Türkiye) kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

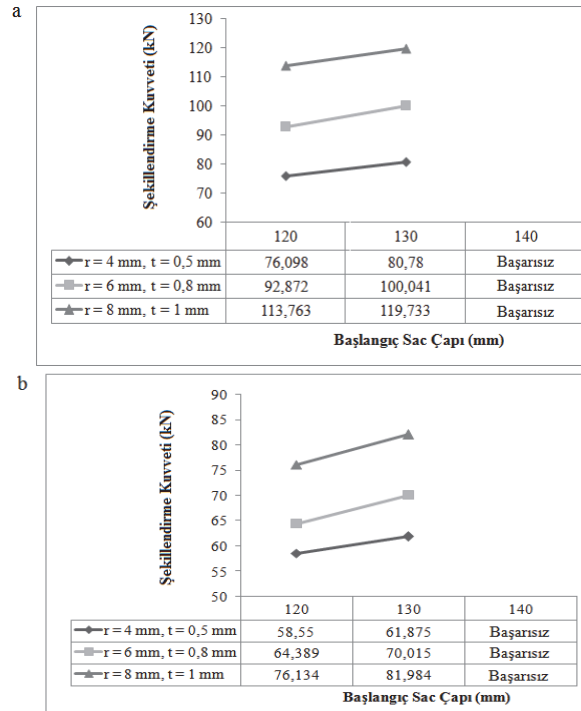
Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar; parametrelerin şekillendirme kuvveti, şekillendirilen ürünün çekme oranı ve kalınlık değişimine etkileri açısından değerlendirilmiştir.

Çekme oranı; başlangıç sac malzeme çapının zımba çapına oranı olarak tanımlanmıştır [13, 14]. Çekme oranı ifadesi Eş.4’de verilmiştir.

$$\beta = D/d \quad (4)$$

Eşitlik 4’de verilen, β çekme oranını, D başlangıç sac malzeme çapını (mm), d zımba çapını (mm) ifade etmektedir.

Başlangıç sac malzeme çapları olarak; 120 mm, 130 mm ve 140 mm ölçüleri dikkate alınarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Farklı malzeme kalınlıkları ve kalıp kavisi için elde edilen, başlangıç sac çapı ve şekillendirme kuvveti ilişkileri Şekil 3-a ve Şekil 3-b’de verilmiştir.

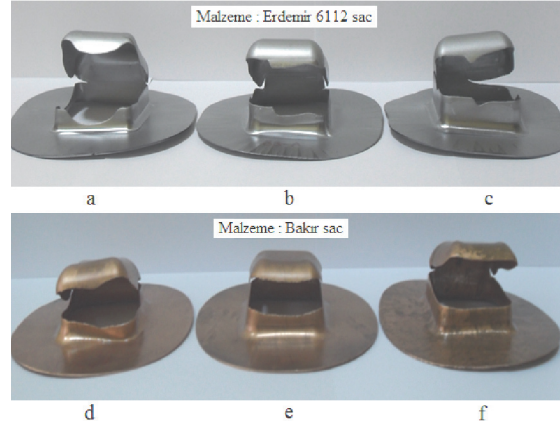


Şekil 3. Başlangıç sac çapı - çekme kuvveti ilişkisi a) Erdemir 612, b) Bakır sac (The relationship of between the initial blank diameter and the forming force)

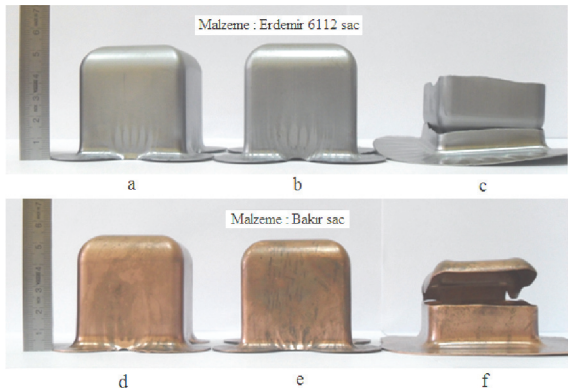
Başlangıç sac çaplarının artmasının; Erdemir 6112 ve Bakır sac malzeme için şekillendirme kuvvetini arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu durum, şekillendirilen alanın büyümesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, çekme oranı limitinin üstüne çıkılmasıyla sac malzemenin yırtıldığı gözlemlenmiştir. Farklı sac kalınlıklarında ve 140 mm başlangıç sac çapında başarısız olan denemeler Şekil 4’de verilmiştir.

Zımba hızının etkisi, deneysel çalışmalarda belirgin bir şekilde gözlemlenebilmiştir. Deneysel çalışmalarda 6 mm/s, 12 mm/s ve 18 mm/s olmak üzere üç değişik hız parametresi denenmiştir. 6 mm/s, 12 mm/s ve 18 mm/s zımba hızlarında elde edilen şekillendirme kuvvetleri incelendiğinde, zımba hızının artırılması durumunda şekillendirme kuvvetinin düştüğü görülmüştür. Hız parametresi şekillendirilebilirlik açısından değerlendirildiğinde zımba hızındaki artışın şekillendirilebilirliği olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Her iki sac malzeme türü için de, 4 mm kalıp kavisi değerinde; 6 mm/s ve 12 mm/s şekillendirme hızlarında en büyük 2,6 çekme

oranı yakalanabilirken, 18 mm/s zımba hızında tüm denemeler başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Başarısızlıkla sonuçlanan numuneler incelendiğinde; sac numunelerde oluşan yırtılmaların erken bir yırtılma olduğu, zımba kavisinin bitim yerinden itibaren sac malzemenin incelmeye başlayarak kopmaya kadar incelmeyi devam ettiği ve nihayetinde koptuğu görülmüştür. Farklı zımba hızlarında elde edilen şekillendirme görüntüleri Şekil 5’de verilmiştir.

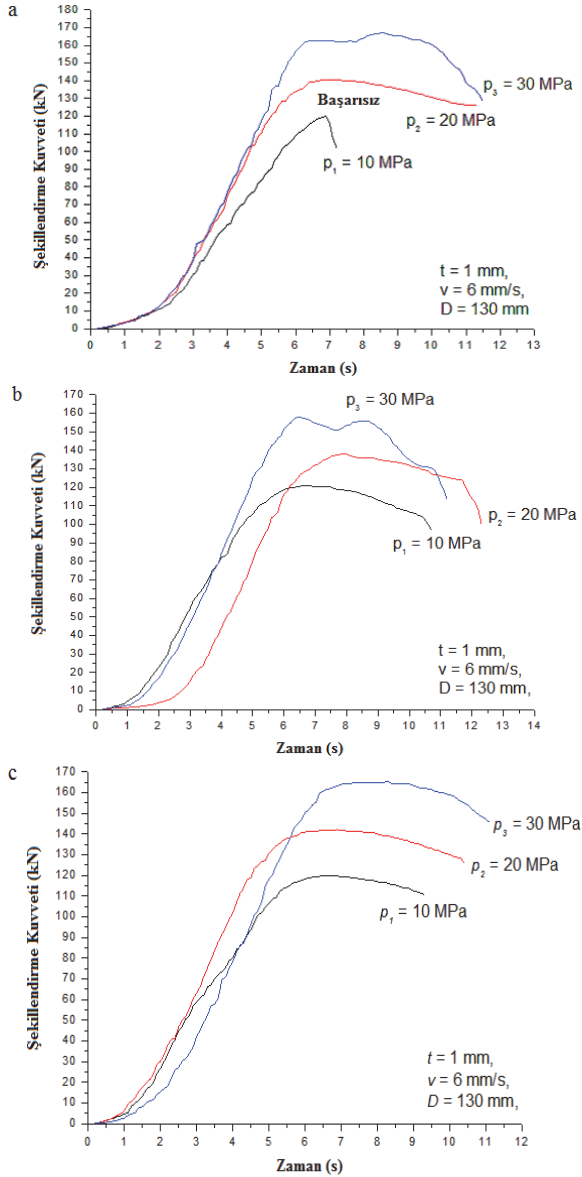


Şekil 4. 140 mm başlangıç sac çaplı deney numunelerinde oluşan yırtılmalar a ve d) $t = 0,5$ mm, b ve e) $t = 0,8$ mm, c ve f) $t = 1,0$ mm (Failed specimens with initial blank diameter of 140 mm)



Şekil 5. Farklı zımba hızlarında şekillendirilmiş kaplar $t = 0,5$ mm, $p = 10$ MPa a ve d) 6 mm/s, b ve e) 12 mm/s, c ve f) 18 mm/s zımba hızları (Cups formed with different punch velocities)

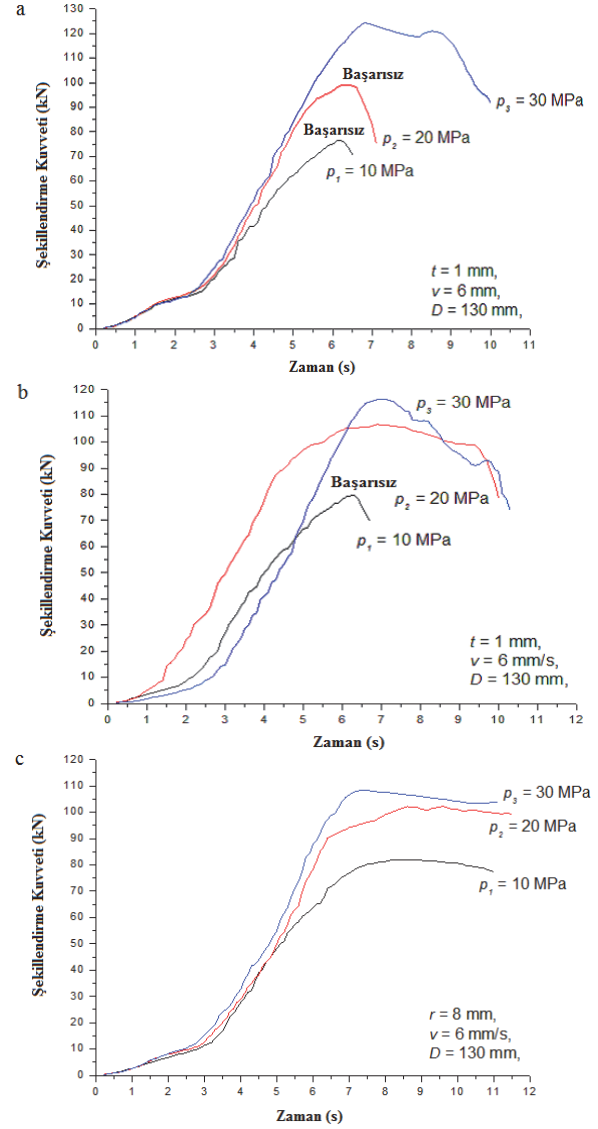
Kalıp kavisindeki artışın şekillendirilebilirliği arttırdığı ve şekillendirme kuvvetini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, sac malzemenin kalıp içerisine daha kolay akmasından ve daha kolay deformasyona uğramasından kaynaklanmaktadır. Her iki malzeme türünde de; 0,8 mm ve 1 mm sac kalınlıkları için 4 mm kalıp kavisi değerlerinde 2,4 çekme oranı elde edilebilirken; kalıp kavisi değerinin 6 mm ve 8 mm değerlerine artırılması ile 2,6 çekme oranı elde edilebilmiştir. 1 mm sac kalınlığı ve 4 mm ve 6 mm kalıp kavisi değerleri için şekillendirme kuvvetleri-zaman ilişkisi grafikleri Erdemir sac malzeme için Şekil 6’da, bakır sac malzeme için Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 6. Erdemir 6112 sac şekillendirme kuvveti – zaman ilişkisi a) $r = 4$ mm, b) $r = 6$ mm, c) $r = 8$ mm (The relationship of forming force and time for Erdemir 6112 sheet material)

Hidromekanik derin çekme işlemlerinde, kalıp içindeki hidrolik sıvının basınç artışının çekme oranını arttırdığı ve en önemli parametrelerden birisi olduğu bilinmektedir [12]. Zımbanın sac malzemeye temas etmesi ve kalıp içerisine girmesiyle, kalıp içerisinde oluşan hidrostatik basınç başlangıç sacın daha yüksek oranda deforme edilebilmesini sağlamaktadır. Zımbanın hidrolik sıvı dolu kalıp içerisine doğru ilerlemesiyle, kapalı alanda oluşmaya başlayan basıncın sac malzeme ile kalıp kavisi arasında basınçlı film tabakası oluşturarak sac malzeme ile kalıp arasındaki sürtünmeyi azalttığı, akmayı kolaylaştırdığı ve sac malzemede yırtılmayı engellediği tespit edilmiştir. Zımba ile kalıp arasında çekme boşluğu bulunmaktadır. Çekme boşluğunun olmaması durumunda sıvı basıncının etkisi gözlemlenemeyecek ve sac malzemenin kalıba

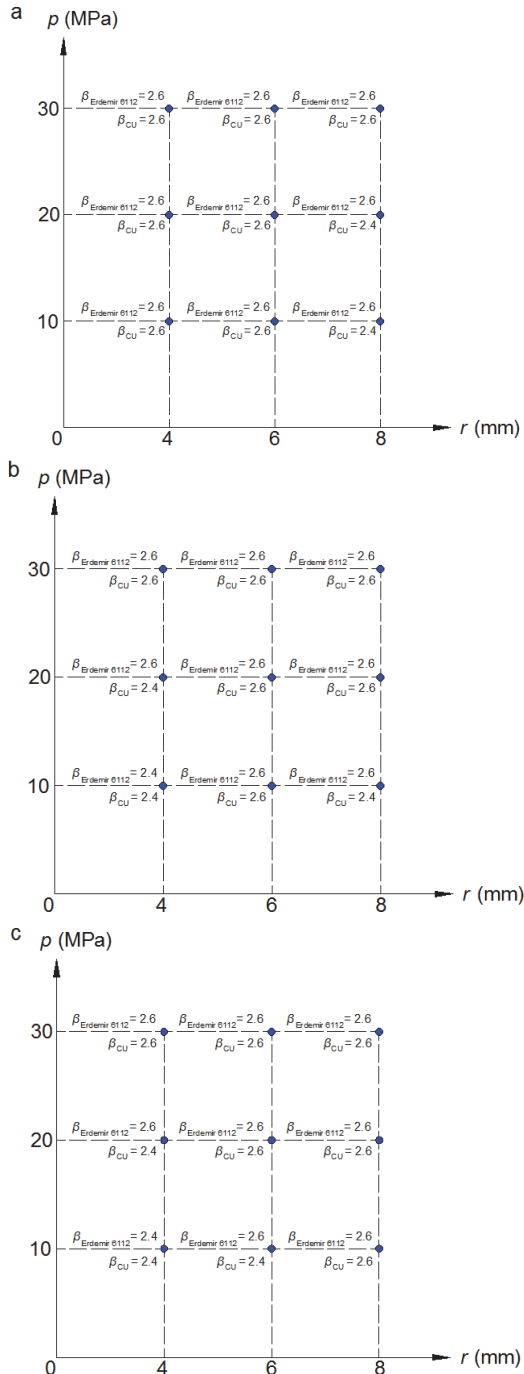
sürtünmesi gözlemlenecektir. Bu sürtünme, sac malzemede aşırı incele sonucu kopma veya malzeme yüzeyinde çizik oluşumuna sebep olmaktadır. Çekme boşluğunun ideal değerlerinden yüksek olması durumunda ise sac malzeme zımbaya tam olarak yapışmamakta bu nedenle üründe şekil ve ölçü bozukluğu oluşmaktadır.



Şekil 7. Bakır sac şekillendirme kuvveti-zaman ilişkisi a) $r = 4$ mm, b) $r = 6$ mm, c) $r = 8$ mm (The relationship of between forming force and time for copper sheet material)

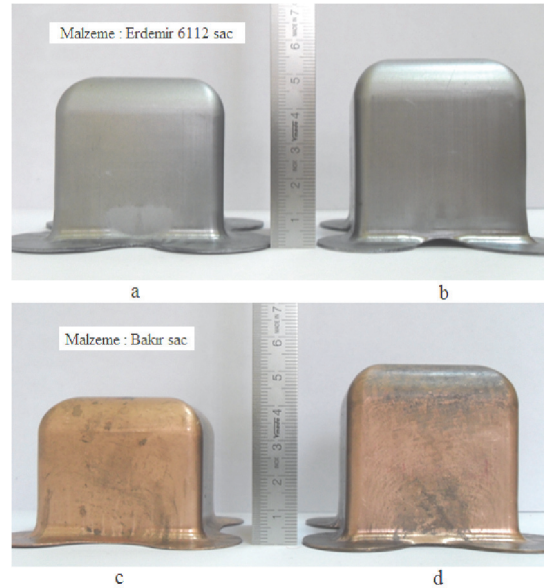
Geleneksel kare derin çekme yöntemiyle tek operasyonda nadiren en büyük 2,3 çekme oranı elde edilebilirken hidromekanik kare derin çekme işlemlerinde en büyük 3,44 çekme oranı elde edilebilmiştir [10]. Deneysel çalışmada ise en büyük 2,6 çekme oranı tek operasyonda elde edilebilmiştir. Kalıp içindeki hidrolik sıvı basıncının etkisi, kalıp kavisi değerinin en küçük olduğu 4 mm değerlerinde belirgin olarak gözlenmiştir. Erdemir 6112 ve bakır sac malzeme için 0,8 ve 1 mm sac kalınlıklarında 10 MPa kalıp içi hidrolik sıvı basınç değerinde en büyük

2,4 çekme oranı elde edilebilmiştir. Kalıp içi hidrolik sıvı basıncının, 20 MPa değerine artırılması ile Erdemir 6112 sac malzeme için tek operasyonda 2,6 çekme oranı elde edilebilirken, bakır sac malzeme 2,4 çekme oranında kalmıştır. Kalıp içindeki hidrolik sıvı basınç değerinin 30 MPa değerine artırılması durumunda ise bakır sac malzeme için de 2,6 çekme oranına tek seferde ulaşılabilmiştir (Şekil 6-7). Kalıp içindeki hidrolik sıvı basıncına ve kalıp kavisi değerlerine göre elde edilen en büyük çekme oranları sınırları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Deneylerde elde edilen çekme oranı sınırları (LDR) a) $t = 0,5$ mm b) $t = 0,8$ mm, c) $t = 1,0$ mm (Limit drawing ratios obtained in the experiments)

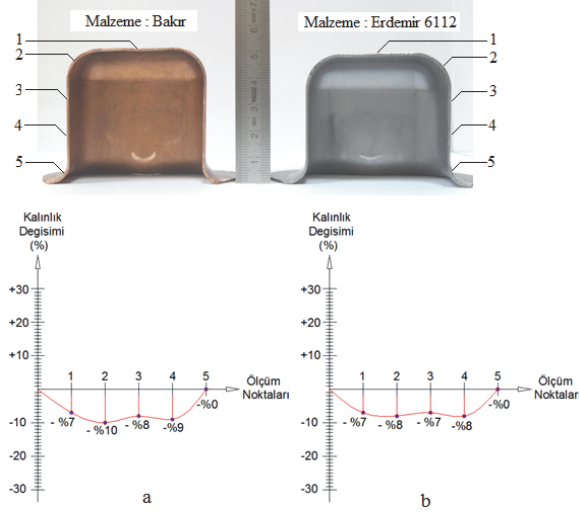
Sac malzeme kalınlığının artışı ile çekme oranının arttığı görülebilmektedir. Küçük sac malzeme kalınlığına sahip saclar için çekme oranı sac malzemenin şekillendirme esnasında kırışıklık oluşumuna meyilli olması nedeniyle azalmaktadır [10]. Hidromekanik derin çekme işlemlerinde, sac malzeme kalınlığının artışına bağlı olarak kalıp içi basıncının da artırılması gerekmektedir. Aksi takdirde, kalıp içerisinde oluşan hidrolik sıvı basıncı sac malzemenin zımba üzerine daha çok temas alanı oluşturmaya yeterli gelmeyecektir. Aynı zamanda, kalıp içerisinde oluşan hidrolik sıvı basıncı etkisiyle sac malzemenin kalıp kavisinde sürtünmesi azaltılamayacaktır. Bu durumda da hidromekanik şekillendirme yönteminin en etkili parametresi olan kalıp içi hidrolik sıvı basıncının etkisi azalacaktır. Deneysel çalışmada, bu durum açık bir şekilde gözlenmiştir. Erdemir 6112 ve Bakır sac malzeme için 4 mm kalıp kavisi ve 10 MPa kalıp içi basınç değerlerinde 0,5 mm kalınlıkta sac malzeme tek seferde en fazla 2,6 çekme oranında çekilebilirken 0,8 mm ve 1 mm kalınlıkta sac malzemeler en fazla 2,4 çekme oranında şekillendirilebilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Kare geometride şekillendirilmiş parçalar, $t = 0,8$ mm, $p = 10$ MPa a ve c) $\beta = 2,4$ çekme oranı, b ve d) $\beta = 2,6$ çekme oranı (The square geometry parts formed in a single operation by HDD process)

Sac metal malzemelerin şekillendirilmesinde, et kalınlığı değişiminin tespiti gerekmekte ve şekillendirilmiş parçadaki et kalınlığı değişimi, ürün kalitesini etkileyen önemli bir gösterge kabul edilmektedir. Et kalınlığı değişiminin en az olması, çıkan ürünün dayanımının yüksek ve kalite açısından kabul edilebilir bir parçayı temsil etmektedir. Hidromekanik derin çekme yönteminde; akışkan sıvı şekillendirilen parçaya her taraftan eşit temas ettiği için et kalınlığı değişimi klasik kalıpla şekillendirme işlemlerine göre daha homojen olmaktadır. Şekillendirilen kapların erozyon tezgahında kesilerek

et kalınlığı değişimi de incelenmiştir. Şekil 10'da verilen noktalardan mikrometre ile kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Kalınlık ölçümü yapılan ve kesilen numuneler ait görüntü ve belirlenen noktalarda yapılan et kalınlığı değişimi ölçümleri sonucu elde edilen değerler Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Kalınlık ölçüm noktaları ve en büyük yüzde kalınlık değişimleri a) Bakır sac b) Erdemir 6112 sac (The check points and maximum percent thickness variations of square cups)

Kalınlık ölçümü sonucunda, bakır sac malzeme türü için de en büyük kalınlık incelmesinin 2 nolu noktada olduğu, Erdemir 6112 sac malzeme türü için ise 2 ve 4 nolu noktalarda olduğu görülmüştür. Ancak, kalınlık incelmesinin her iki malzeme türü için de toplam kalınlığın en fazla % 10'unu aşmadığı tespit edilmiştir. Bu sonucun, sac malzemenin derin çekme esnasında her noktadan eşit basınca maruz kalmasıyla sağlandığı tespit edilmiştir.

4- SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSIONS)

Kare geometriye sahip sac metal parçalar günlük hayatta birçok sektörde kullanılmaktadır. Ancak kare geometrilerin klasik sac metal şekillendirme yöntemleri ile şekillendirilmesi çok sayıda kalıp ve operasyonlarla yapılabilmektedir. Bu durum, üretim zamanını ve maliyetini arttırmaktadır. Hidromekanik derin çekme yöntemi ise karmaşık geometrilerin şekillendirilmesinde proses açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle; çalışmada kare geometrilerin hidromekanik derin çekme yöntemi ile şekillendirilebilirliği ve şekillendirilebilirliğe etki eden parametreler deneysel olarak araştırılmıştır.

Kalıp içindeki hidrolik sıvı basıncın, hidromekanik derin çekme işlemlerinde en önemli parametre olduğu tespit edilmiştir. Kare geometrilerin klasik kalıplama yöntemiyle çekme şekillendirme işlemlerinde, tek aşamada en büyük 2,3 çekme oranı elde edilebilirken

[10]; çalışmada 2,6 çekme oranına kalıp içi basıncının etkisiyle tek seferde ulaşılabilmektedir. Deneysel çalışmada, 10 MPa kalıp içi hidrolik sıvı basıncı değerinde 4 mm kalıp kavisinde şekillendirme işleminde 2,4 çekme oranı elde edilebilirken kalıp içi hidrolik sıvı basıncının 20 MPa ve 30 MPa değerlerine çıkartılması ile 2,6 çekme oranı elde edilebilmiştir. Klasik çekme operasyonlarında çekme oranının azalmasının ana nedeni sac malzeme ile kalıp arasındaki sürtünmedir. Hidromekanik derin çekme işleminde kalıp içi hidrolik sıvı basıncının etkisiyle kalıp ve sac malzeme arasında sürtünme önemli miktarda azalmakta, kalıp içi basıncının zımba ile sac malzeme arasındaki sürtünmeyi artırması nedeniyle sac malzemenin zımba ile temas alanı artmakta ve sac malzemenin köşelerinden yırtılması engellenmektedir. Sonuçta başlangıç sacın düzensiz incelmesini engelleyerek şekillendirilebilirlik kabiliyetini arttırmaktadır. Ancak, hidromekanik derin çekme yönteminin daha da geliştirilmesiyle kare geometri şekillendirmede literatürde daha yüksek çekme oranları elde edilebilmiştir. Kare geometri şekillendirmede; sac malzeme üzerine eşit basınçlı hidromekanik derin çekme uygulamalarında, DC06 malzeme için 3,53 alüminyum malzeme (APP211) için 3,44 çekme oranı [2], konik kare aparatlı kalıp ile hidromekanik derin çekme işleminde alüminyum malzeme (A199.5w) için 2,74 pirinç malzeme (CuZn37) için 2,92 çekme oranı elde edilmiştir [10].

Kalıp kavis değeri, klasik kalıplama yöntemlerinde olduğu gibi hidromekanik derin çekme yöntemlerinde de önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Kalıp kavis değeri 4 mm olduğu uygulamalarda 10 MPa kalıp içi hidrolik sıvı basıncında başarılı bir şekillendirme işlemi yapılamazken aynı şartlarda 6 mm ve 8 mm kalıp kavislerinde başarılı şekillendirme işlemleri yapılabilmektedir. Sonucun, sac malzemenin kalıp kavisinin artması ile birlikte akmasının kolaylaşmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Hidromekanik derin çekme yönteminin en önemli olumsuzluğu şekillendirme hızının klasik kalıplama yöntemine göre daha yavaş olmasıdır. Şekillendirme hızının artışı ile birlikte 0,5 mm sac kalınlığında ve 10 MPa kalıp içi hidrolik sıvı basıncı değerinde şekillendirilebilirliğin azaldığı ve sac malzemenin yırtıldığı görülmüştür. Bu durum, deformasyon hızı ile şekillendirilebilirliğin ters orantılı olmasına atfedilmiştir. Hidromekanik derin çekme yöntemi ile şekillendirme işlemlerinde, düşük basınç ve küçük kalıp kavis değeri ideal deformasyon hızının her iki malzeme türü için de 6-12 mm/s aralığında olduğu deneysel çalışmalarda tespit edilmiştir.

Hidromekanik derin çekme yöntemlerinde, sac malzeme kalınlığının artışı ile birlikte kalıp içi hidrolik sıvı basıncının da artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Kalıp içerisinde oluşan hidrolik

sıvı basıncın sac malzemeyi zimbaya doğru itekleyebilecek güçte olması gerekmektedir. Aksi takdirde, hidromekanik derin çekme yöntemi için anahtar parametre olan kalıp içi basıncının etkisi tam olarak gözlenememekte ve sac malzeme yırtılabilmektedir. Her iki sac malzeme türü için de, 4 mm ve kalıp kavisi ve 10 MPa kalıp içi basınç değerlerinde 0,5 mm sac kalınlığı ideal kalınlık olurken, 0,8 mm ve 1 mm sac kalınlıkları için bu durum geçerli olmamaktadır. 0,8 mm ve 1 mm sac kalınlıkları için aynı sınır şartlarında ve 20 MPa değerinin, kalıp içi hidrolik sıvı basıncı için uygun bir değer olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma; Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) 07/2009-12 nolu proje kapsamında desteklenmiştir, desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Zhang, S.H., Danckert, J.; “Development of hydro-mechanical deep drawing”, **Journal of Materials Processing Technology**, 83, 14-25, 1998.
2. Lang, L., Danckert, J., Nielsen, K.B., Zhou, X.; “Investigation into the forming of a complex cup locally constrained by a round die based on an innovative hydromechanical deep drawing method”, **Journal of Materials Processing Technology**, 167, 191-200, 2005.
3. Lang, L.H., Danckert, J., Nielsen, K.B.; “Investigation into the effect of pre-bulging during hydromechanical deep drawing with uniform pressure onto the blank”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 44, 649-657, 2004.
4. Zhang, S.H., Nielsen, K. B., Danckert, J., Kang, D.C., Lang, L.H., “Finite element analysis of the hydromechanical deep-drawing process of tapered rectangular boxes”, **Journal of Materials Processing Technology**, 102, 1-8, 2000.
5. Tschaetsch H.; “**Metal Forming Practice**”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 172-184, 2006.
6. Dachang, K., Yu, C., Yongchao, X.; “Hydromechanical deep drawing of superalloy cups”, **Journal of Materials Processing Technology**, 166, 243-246, 2005.
7. Zhang, S.H., Lang, L.H., Kang, D.C., Danckert, J., Nielsen, K.B.; “Hydromechanical deep-drawing of aluminium parabolic workpieces-experiments and numerical simulation”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 40, 1479-1492, 2000.
8. Qin, Y., Balendra, R.; “Design considerations for hydromechanical deep drawing of sheet components with concave features”, **Journal of Materials Processing Technology**, 145, 163-170, 2004.
9. Zhang, S.H., Jensen, M.R., Nielsen, K.B., Danckert, J., Lang, L.H.; Kang, D.C., “Effect of anisotropy and prebulging on hydromechanical deep drawing of mild steel cups”, **Journal of Materials Processing Technology**, 142, 544-550, 2003.
10. Hezam, L.M.A., Hassan, M.A., Hassab-Allah, I.M., El-Sebaie, M.G., “Development of a new process for producing deep square cups through conical dies”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 49, 773-780, 2009.
11. Khandeparkar, T., Liewald, M.; “Hydromechanical deep drawing of cups with stepped geometries”, **Journal of Materials Processing Technology**, 202, 246-254, 2008.
12. Karaağaç, İ., Özdemir, A.; “The formability of Erdemir 6112 sheet metal by the hydromechanical deep drawing process”, **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 26:4, 841-850, 2011.
13. Bergkvist M.; “Fluid Cell Pressing in The Aerospace Industry”; **Hydroforming For Advanced Manufacturing**, Edited: Koç, M., Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, England, 315-334, 2008.
14. “**Metal Forming Handbook – Schuler GmbH**”, Edited: Altan T., Springer, Germany, 166-168, 1998.
15. Karaağaç, İ. Özdemir A.; “The Experimental investigation of sheet metal hydroforming process parameters”, Ph.D. Thesis Gazi University, Institute of Science and Technology, 2011.

