

Küresel Tabanlı Kapların Şekillendirilmesinde Sacın Aktığı Yüzey Açısının Limit Çekme Oranı ve Et Kalınlığı Değişimi Üzerindeki Etkisi

Cebeli Özek¹, Engin ÜNAL²

^{1,2}Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
e-posta: Sorumlu yazar:cozek@firat.edu.tr; eunal@firat.edu.tr

Geliş Tarihi:23.03.2018

; Kabul Tarihi:19.12.2018

Anahtar kelimeler

Küresel kaplar;
Açılı derin çekme;
Baskı plaka açısı;
Limit çekme oranı.

Özet

Küre tabanlı kapların açılı çekme kalıplarında şekillendirilmesi için DKP37 malzemesi kullanılarak, sacın aktığı yüzey açısı (SAYA), baskı plaka kuvveti (BPK) ve matris farklı yarıçaplarında limit çekme oranı (β) ve kap et kalınlık değişimleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sacın aktığı yüzey eğimi $\theta=0^\circ$, $\theta=5^\circ$, $\theta=10^\circ$, $\theta=15^\circ$ açılarda, zımba ucu $R_z=25$ mm radyüs ile imal edilmiştir. Zımba çapı 47,8 mm, matris çapı 50 mm ve matris aralığı 0,9 mm dir. Bu çalışmada, sacın aktığı yüzey açısı (SAYA), $\theta=0^\circ$ 'de $\beta=1,87$ iken, $\theta=15^\circ$ de $\beta=2,42$ oranı yakalanmış, böylece kaptaki, en düşük kalınlık değişimi $\theta=0^\circ$, $\theta=5^\circ$, $\theta=10^\circ$, ve $\theta=15^\circ$ için sırasıyla 0,723; 0,765; 0,819 ve 0,868 mm olarak elde edilmiştir. Araştırma sonucunda değişik açılarda ve sabit zımba yarıçapında imal edilen yeni tip küresel derin çekme kalıbında, açısız kalıplara göre daha büyük çekme oranlarının (β) elde edildiği belirlenmiştir.

The Effect of Surface Angle of Flowing Sheet on The Limit Drawing Ratio and The Wall Thickness Change in Drawing of Spherical Bottom Cups

Abstract

In order to shape of spherical bottom cups in angular deep drawing die, the effect of surface flow angle of the sheet (SFAS), the blank holder force (BHF) and the limit drawing ratio (β) at different radii of the die and the thickness of the cup on the thickness changes were investigated by using DKP37 material. Surface slope where the sheet flows angles have $\theta=0^\circ$, $\theta=5^\circ$, $\theta=10^\circ$, $\theta=15^\circ$ and the punch were machined of $R_z=25$ mm radius. The punch diameter is 47,8 mm, the die diameter is 50 mm and the die-punch gap is 0,9 mm. In this study, when the surface flow angle of the sheet was $\theta=0^\circ$ and $\theta=15^\circ$, limit drawing ratio was obtained as $\beta=1,87$ and $\beta=2,42$. Thus, the lowest thickness change in the cups were obtained of 0,723; 0,765; 0,819 and 0,868 mm for $\theta=0^\circ$, $\theta=5^\circ$, $\theta=10^\circ$ and $\theta=15^\circ$, respectively. As a result of the research, it has been determined that larger limit drawing ratios (β) are obtained in the new spherical deep drawing die which is manufactured in different angles and unchanged punch radius.

Keywords

Spherical Cups;
Angular Deep Drawing;
Blank Holder Angle;
Limit Drawing Ratio.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Derin çekme işlemi, farklı düzlemsel geometriye sahip sacların sac metal kalıplarında şekillendirilerek, istenilen yükseklik ve şekillere sahip üç boyutlu kapların üretilmesi işlemidir. Bu işlemde, dairesel, kare veya karmaşık şekilli parçaların üretimi kolaylıkla yapılmaktadır. Özellikle otomotiv sektörü olmak üzere, dayanıklı ev gereçleri, mutfak eşyaları, radyatör ve iklimlendirme elemanları gibi pek çok ürünün üretiminde derin çekme işlemi yöntemi ağırlıklı olarak

kullanılmaktadır. Literatürde, küresel şekilli kapların derin çekilmesi işleminde kullanılan sac malzeme türü ve kalıp şekilleri ile limit çekme oranı (β) arasındaki ilişkileri belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Savaş ve Seçkin (2007) üst plaka ve matris yüzeylerine 0° , 2.5° , 5° , 10° ve 15° 'lik dört farklı açı vermek suretiyle, silindirik kapların çekme oranlarının artırılması, amacıyla derin çekmedeki işlem sayısının azaltmayı ve limit çekme oranını

artırmayı hedeflemişlerdir. Limit çekme oranı (β), $\theta=0^\circ$ 'de $\beta=1,75$ ve $\theta=15^\circ$ için $\beta=2,175$ 'e yükseltebilmişlerdir. Özek ve Bal (2009) dairesel kesitli kapların derin çekilmesinde, matris ve zımbaya farklı radyüsler, matris/baskı plakasına ise farklı açılar verilerek radyüs ve açının limit çekme oranı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada 1 mm kalınlığında DKP37 sac malzeme kullanılmış, artan matris/zimba radyüsü ve matris/baskı plakası açı değerlerine bağlı olarak limit çekme oranının artmış olduğunu tespit etmişlerdir. Özek ve Ünal (2011) geometrik şekli kare olan profillerin şekillendirilmesinde, kalıp açısı ve radyüsünün çekme oranına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, matris/baskı plakası yüzeylerine verilen açının artmasıyla, malzemenin kalıp içerisine akışını kolaylaştırarak çekme işlemini olumlu yönde etkilediği ve açının artmasıyla beraber limit çekme oranının da arttığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, artan açı değerlerinin radyal kuvvetleri azalttığı ve buna bağlı olarak çekme işlemi sırasında ölçülen en yüksek zimba kuvvetinin azaldığı gözlenmiştir. Lang vd. (2009) alüminyum alaşımının derin çekme işlemi esnasında ilkel parça geometrisini ve kalıplama basıncını iyileştirmek amacıyla deneysel bir çalışma yapmış ve sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçlar arasında önemli bir benzerlik olduğu sonucuna varmışlardır. Lin ve Kwan (2009) yaptıkları çalışmada eliptik bir şeklin kulaklanma olmadan derin çekilebilirliğini, deneysel ve sonlu elemanlar metodu ile araştırmışlardır. Teorik yöntemde, limit çekme oranı ve malzeme akış karakteristiklerini hesaba katmışlardır. Çalışmalar sonucunda deneysel ve teorik sonuçların birbirine yakın olduğunu belirlemişlerdir. Bastos ve Simões (2009) yüzeyi çinko, fosfat ve organik filmle kaplanmış galvanizli çelik levhalarda derin çekme işlemi sonucu oluşan korozyon davranışlarını incelemişlerdir. Kaplanmış ve kaplanmamış numuneler karşılaştırdığında, korozyon direncinin kaplı numunelerde daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ren vd. (2009) magnezyum alaşımının sıcak derin çekilebilirliğini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle teorik olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarını, 150°C–250 °C sıcaklık ve 6 mm/dak–120 mm/dak

zimba ilerleme hızlarında gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla dikdörtgen kesitli kapların çekilebilirliğinin kolaylaştığını ve limit çekme oranının arttığını belirlemişlerdir. Saxena ve Dixit (2009) kare ve silindirik şekilli parçaların derin şekillendirilmesinde zimba şekli ve kalıplama fonksiyonlarının buruşuklanmaya olan etkilerini incelemişlerdir. Kare kesitli kaplarda, buruşuklanma oluşumuna rastgele malzeme akışının sebep olduğunu göstermiştir. Lagrangian yaklaşımına göre bir sonlu elemanlar modeli ile analizler yapmışlardır. Modelde izotropik sertleşmenin meydana geldiği kabul edilerek Newton Raphson yönteminde bazı denklemler elde etmişlerdir. Yang [9] titanyum alaşımı levhaların kare kap biçiminde farklı sıcaklıklarda derin çekme işleminin simülasyonunu yapmak ve en uygun ilkel parça şeklini tasarlamak için yaptığı çalışmada sonlu elemanlar yazılımı olan DEFORM-3D paket programını kullanmıştır. Bu programda, çeşitli parametrelere bağlı olarak basınç dağılımı ve en büyük kuvvetleri tespit etmiştir. Tasarlanan modelde daha küçük çaplı ilkel parça boyutları için daha düşük zimba kuvveti ile kabul edilebilir çekme oranlarının elde edildiğini belirlemiştir. Zhang vd. (2008) hidro mekanik derin çekme yönteminde, sonlu elemanlarla elde edilen şekillendirme–limit çekme diyagramı ile tane kenarlarındaki çatlakların etkisini incelemiş ve tane sınırlarında çatlakların meydana geldiğini belirtmişlerdir. Demirci vd. (2008) AA5754-O alüminyum alaşımı malzemedeki kare kesitli kapların derin çekme ile şekillendirilmesi esnasında baskı plakası kuvvetinin etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalardan ve LS-DYNA yazılımından elde edilen sonuçları karşılaştırmış, %85 oranında sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir. Park ve Yarlagada (2008) farklı asimetrik şekilli ilkel parçaların kademeli olarak derin çekilebilirliğini araştırmışlardır. Eliptik parçalarda zimba ve kalıp profil radyüslerinin ve ilkel parça geometrisinin zimba kuvveti üzerinde etkili olduğunu ve dolayısıyla limit çekme oranı üzerinde zimba kuvvetinin etkili olduğunu belirlemişlerdir. Sattari vd. (2007) dikdörtgen kapların derin çekilmesinde simülasyon programları ile ürünün farklı kesitlerindeki kalınlık

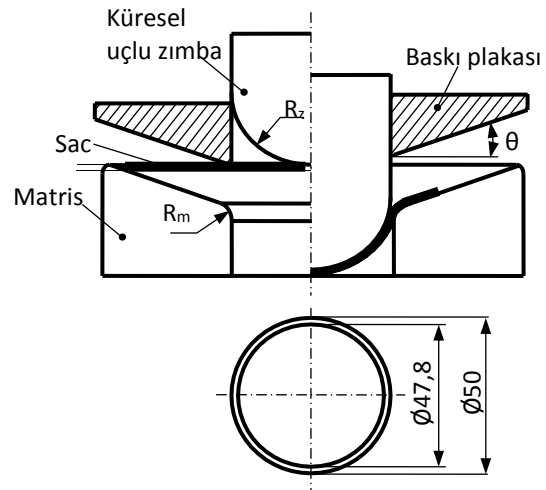
değişimlerini incelemişler ve incelmenin en çok sacın zımba radyüsü bölgesinde olduğunu belirlemişlerdir. Gavas ve İzciler (2006, 2007) ETIAL-8 alüminyum levhanın kare şekilli olarak derin çekilmesinde üst plaka toleransının 1,0–1,8 mm arasındaki değişimin yüzey kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Baskı plakası boşluğunun 1,3 mm' den büyük olması durumunda yüzey kalitesinin kötüleştiği sonucuna varmışlardır. Kare şekilli parçaların derin şekillendirilebilmesi için yeni çeşit bir üst plaka geliştirmişlerdir. Baskı plakası yüzeyine spiral kanallar açarak, yapılan deneyler ile kabın duvarlarında düzenli bir kalınlık değişiminin, daha iyi malzeme akışı ve yağlamanın etkisinin uzun süre devam etmesinin limit çekme oranını artırdığını tespit etmişlerdir. Wei vd. (2006) derin çekme işlemi sonucu elde edilen numunelerin kalınlıklarındaki değişimleri inceleyerek levha yüzeyindeki sürtünme dağılımlarının düzenli olup olmadığını araştırmışlar, zımbanın hareket mesafesi süresince baskı plakasına gelen kuvvetleri incelemişlerdir. Yeni tip kalıbın kabın incelmesini ve yüzeydeki sürtünmeyi azalttığını belirlemişlerdir. Yuqi vd. (2002) kare kapların derin çekilmesi işleminde kap kenarlarında kulaklanma oluşumunu sonlu elemanlar yöntemiyle analiz ederek, deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yönteminin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Karşılaştırılan sonuçların birbirine yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Menezes ve Teodosiu (2000) kare kapların kalıplarla şekillendirilmesinde gerilme ve burulmaları sayısal olarak hesaplamak için üç boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanmışlardır. Oluşturulan modelden ve yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların yüksek oranda uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Koga ve Paisarn (2003) AZ31 magnezyum alaşımlı sacların ısıtılmalı kalıp ile daire ve kare kesitli olmak üzere iki farklı geometride derin çekilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, zımba radyüsleri değiştirilerek 30 mm çapında yuvarlak ve 20x20 mm ölçülerinde kare kesitli kaplar çekilmiş ve en uygun çekmenin 247 oC sıcaklıkta kare kesitli kaplarda gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Gavas ve Küçükrendeci (2004) yaptıkları çalışmada, alüminyum malzemeden değişik şekillerdeki ilkel parçaları kare kap biçiminde derin çekerek incelemişlerdir. Çektikleri tüm parçalarda

herhangi bir yırtılma ve kopmanın meydana gelmediğini tespit etmişlerdir. En uygun taslak numunelerde herhangi bir hasarın meydana gelmediği, diğer durumlarda ise kulaklanma ve dalgalanma meydana geldiği ve buna bağlı olarak maliyetin arttığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, mevcut çalışmalardan farklı olarak zımba profili küresel olarak işlenmiş ve matris ve malzemenin aktığı yüzey açısı 0°, 5°, 10°, 15° olacak şekilde imal edilen kalıplar ile malzemenin kalıp boşluğu içerisine daha kolay akışı sağlanmıştır. Ayrıca malzeme akışı ve kalıp içerisindeki şekillendirme işleminin kontrolünü sağlamak için baskı plakasına 2450 N, 4900 N, 7350 N ve 9800 N'luk kuvvetler uygulanmış limit çekme oranının 1,86 dan 2,42'ye ve kabın et kalınlığının ise 0,721 mm den 0,863 mm'ye kadar artması sağlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Derin şekillendirme ile ilgili bütün çalışmaların ana amacı malzemenin şekillendirilebilirliğini yani kap yüksekliğini arttırabilmektir. Açısız şekillendirme yöntemlerinde, kalıp ve kalıp plakası yüzeylerine açı verilmemektedir. Çalışmada küresel uçlu zımba ile kabın şekillendirilmesinde sacın kalıp boşluğuna rahat ilerlemesi ve kap derinliğinin artırılması için matris ve baskı plakası yüzeylerine $\theta=0^\circ$, $\theta=5^\circ$, $\theta=10^\circ$ ve $\theta=15^\circ$ açılar verilmiş, matris kavis $R=2$, $R=6$ ve $R=10$ mm yarıçaplarda imal edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Matris ve zımba geometrisi. Matris, baskı plakası ve sac kalınlıkları, matris kavisleri ve baskı plakası eğilme açıları, kalınlığı 0.9 mm olan rahat şekillendirilebilen adi

karbonlu DKP37 malzemesiyle yapılmıştır. Çizelge 1'de DKP37 sac malzemenin element yüzde değerleri verilmiştir. DKP37 adi karbonlu çelik sacın mekanik özellikleri 50 ton'luk SHIMADZU çekme testi makinasında 5 mm/dak çekme hızında ve şekillendirme doğrultusu 0°, 45° ve 90° açı yapacak şekilde hazırlanan 9 adet numune aracılığıyla elde edilmiştir. Numunelerin malzemesinin mukavemet test ortalama sonuçları Çizelge 2'de görülmektedir. Kalıplar (Matris ve zımbalar) D3 soğuk iş takım çeliğinden, Fanuc0Mt tip numerik kontrollü CNC tezgâhlarında imal edilmiştir

Çizelge 1. DKP37 çelik sac malzemenin kimyasal analizi

C	Mn	P	S	Cr	Mo
0,0442	0,242	0,109	0,0086	0,0115	0,0114
Ni	Cu	Nb	Ti	Sn	Fe
0,0262	0,00451	0,00242	0,00026	0,0865	99,45

Çizelge 2. DKP37 çelik sacın mekanik özellikleri

Hadde yönü (°)	Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
0	180,53	315,83	36,99
45	208,34	328,79	33,08
90	194,46	309,53	35,22

Deney numuneleri, torna tezgâhında ilkel çapları 90 mm'den 130 mm'ye kadar 2,5 mm aralıklarla azaltılarak üretilmiştir. Kaymayı kolaylaştırmak için Shell Tellus 68 numara yağ kullanılmış ve bu yağın özgül ağırlığı 15°C de 885 gr/dm³dür. Numunelerin sertliği, TOGOSHI SEIKI Rockwell sertlik ölçüme cihazında 44.264 HB olarak ölçülmüştür.

Matris yüzey açıları (θ) ve baskı plakası açıları (θ) dışındaki değerler (zımba çapı, zımba radyüsü ve kalıp çapı v.b.) sabit tutulmuştur. Değişik matris açılarında kalıplanan her kap çekme işleminin doğruluğunu sağlamak için üç tekrarla elde edilmiştir. Baskı plakası kuvvet (BPK) değerlerinin limit çekme oranı üzerindeki değişimini görmek için baskı plakasını kontrol eden iki tane hidrolik silindir çalışma setine bağlanmıştır. BPK, deneylerde dört farklı değer olarak kullanılmıştır. Deneylerde zımba radyüsü (R_z), MBPA, BPK ve limit çekme oranı (β) gibi dört değişken kullanılmıştır.

Sisteme bir bilgisayar bağlantısı yapılarak BPK değerlerinin limit çekme oranına etkisini incelemek ve baskı kuvvetini tespit etmek için 20 ton'luk ve okuma aralığı ± 2 kg olan bir kuvvet ölçer bağlanmıştır. Baskı yükleri 10^{-1} saniye zaman dilimlerinde alınmıştır. Deneyler, markası HCP50 olan hidrolik bir preste, tezgâha hız ayarlayıcı bir sistem eklenmiş halde ve sabit 4 mm/s'lik zımba ilerleme hızında yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Deney düzeneği ve yapısı

MÜYA ve BPK değerlerinin şekillendirme sonrası kap kalınlığı üzerindeki etkilerini tespit etmek amacıyla bütün numuneler enine kesilmiş ve dilimlenmiştir. Kesme esnasında oluşan çapaklar alındıktan sonra her numuneden eşit mesafelerde farklı kısımlardan ve 0,001 mm hassasiyetindeki QLR-DIGIT marka bir dijital mikrometre ile numunenin et kalınlıkları ölçülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Kap et kalınlığının ölçülmesi

Limit çekme değeri (β), kapta hasar oluşmadan şekillendirme sırasında en yüksek derinlikte numunelerin üretildiği andaki değerdir. Küre şekilli kaplarda Limit çekme değeri (β), belirlenirken, parça en büyük çapının ($\phi_{D_{max}}$), zımba çapına ($\phi_{D_{zımba}}$) oranı ile elde edilmektedir.

$$\beta = \frac{D_{\max}}{d_{\text{zimba}}} \quad (1)$$

3. Bulgular ve Değerlendirme

3.1. Matris/Baskı plakası açısı ve radyüsünün çekme oranı üzerindeki etkisi

İlkel parça çapı arttıkça malzemede plastik şekil değişiminin meydana gelmesi için daha büyük baskı kuvveti gerekmektedir. Baskı kuvvetinin büyümesi şekillendirme sırasında meydana gelen hasarların artmasına neden olmaktadır. Sonuçta şekillendirme sırasında meydana gelen çok yüksek gerilmelere dirençli olmayan kaplarda çatlaklar oluşmakta ve derin çekme işleminde sağlıklı sonuçlar elde edilememektedir. BPK fazla olduğu hallerde, çatlaklar kap üzerinde çoğunlukla zımba ucuna yakın bölgelerde meydana gelmektedir. BPK'nin az olduğu hallerde ise kulaklanmaların artması yüzünden numunenin üst bölgelerinde fazla miktarda buruşmalara ve alt bölgelerde çatlaklar oluşmasına sebep olmaktadır.

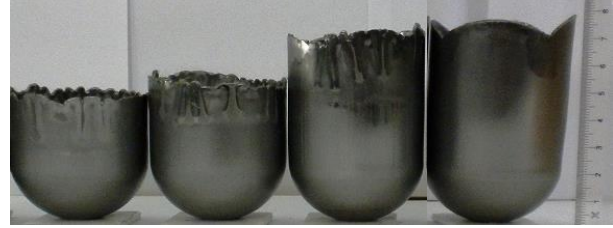
Şekil 4'de, çeşitli çaplarda şekillendirilen parçalarda meydana gelen farklı yırtılma ve hasarlar verilmiştir. Şekillendirilen numunelerin üst bölgelerinde buruşmalar ve gözle görülür ondülasyonlar, alt bölgelerde ise tabana paralel, uzunlamasına yırtılma ve çatlaklar oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4. Değişik yırtılma ve çatlak hasarı oluşan numuneler

Şekil 5'de BPK=2450 N değerinde θ ve çekme miktarlarına göre elde edilen numuneler ve limit çekme oranları verilmiştir. θ 'nın giderek artması β 'yıda sürekli olarak arttırmaktadır. Böylece, sacın arttığı yüzey açısının artması, kalıp boşluğuna

malzeme akışının daha kolay olmasını ve θ 'nın limit çekme oranı değerini artırdığını kanıtlamaktadır. Zımba ile matris arasında şekillenmeye zorlanan sacın plastik deformasyona karşı olan direnci, θ açısının artmasından dolayı düşmüştür.



$\theta=0^\circ$ $\theta=5^\circ$ $\theta=10^\circ$ $\theta=15^\circ$
 $\beta=1,8$ $\beta=2,1$ $\beta=2,1$ $\beta=2,3$

Şekil 5. Matris/Baskı Plakası Açısının'nın β üzerindeki etkisi (R=2 mm, BPK= 2450 N)

Şekil 6'da Matris açısının'nın sabit olmasında ($\theta=5^\circ$), matris radyüsüne göre elde edilen limit çekme değerleri ve kapları verilmiştir.



R=4 R=6 R=8
 $\beta=1,86$ $\beta=2,1$ $\beta=2,2$

Şekil 6. Matris radyüsünün β üzerindeki etkisi ($\theta=5^\circ$, BPK= 2450 N)

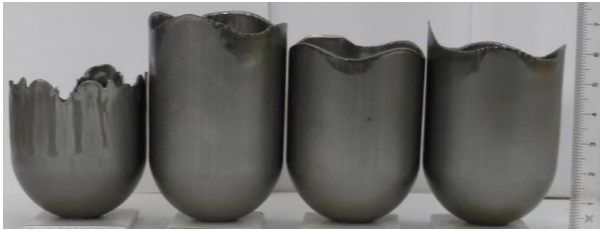
Matris radyüsünün büyümesi ile β 'nin büyüdüğü, görülmektedir. Plastik deformasyonda sacın biçimlendirilmesinin büyük yarıçaplarda daha az çekme-basma gerilmelerinin etkisinde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Matris radyüsünün artması, sacın şekillendirilmesi için gerekli olan zımba kuvvetinin düşmesine ve limit çekme değerinin büyümesine sebep olmaktadır. Sacın çapı arttıkça sacı şekillendirecek zımba kuvvetinin artması şekillendirme sırasında oluşan gerilmelerin artmasına sebep olmaktadır. Bu da, limit çekme oranını arttırmaktadır. Zımba ile matris arasında biçimlendirilmeye zorlanan sacın şekillenmeye dayanabildiği en büyük kuvvet, matris açısının

büyümesi ile düşmekte ve bu nedenle şekillendirme oranının en yüksek çıktığı tespit edilmiştir.

3.2. Baskı plakası kuvvetinin (BPK) çekme oranı (β) üzerindeki etkisi

Derin çekme esnasında, malzeme üzerine baskı plakası tarafından gerekli kuvvetin tatbik edilmesi ile kapta meydana gelebilecek buruşukluklar önlenerek, hasarsız bir kap elde edilebilmektedir.

Matris/baskı plakası açısı $\theta=0^\circ$ lik kalıpta, BPK=4900 N için limit çekme oranı $\beta=2,30$ ve en büyük zımba kuvveti 64451,7 N olarak ölçülmüştür (Şekil 7). Daha büyük baskı plakası kuvvetlerinde ise limit çekme oranının düştüğü kapta çeşitli kulaklanma ve buruşmaların meydana geldiği tespit edilmiştir.



BPK=2450 N BPK=4900 N BPK=7350 N BPK=9800 N
 $\beta=1,98$ $\beta=2,30$ $\beta=2,19$ $\beta=2,19$

Şekil 7. Baskı plakası kuvvetinin kap yüksekliğine etkisi ($\theta=0^\circ$)

Sacın aktığı yüzey açısı $\theta=5^\circ$ lik kalıpta, üst plaka kuvveti BPK=4900 N için limit çekme oranı $\beta=2,35$ ve en büyük zımba kuvveti 67237,74 N olarak elde edilmiştir (Şekil 8). Baskı plakası kuvveti arttıkça limit çekme oranının arttığı, kırışıklıkların ortadan kalktığı ve daha düzgün bir kap elde edilmiştir.



BPK=2450 N BPK=4900 N BPK=7350 N BPK=9800 N
 $\beta=2,09$ $\beta=2,35$ $\beta=2,30$ $\beta=2,23$

Şekil 8. Üst plaka kuvvetinin kap yüksekliğine etkisi ($\theta=5^\circ$)

63627,66 N olarak elde edilmiştir (Şekil 9). Açının artması ile çekme esnasında meydana gelen radyal kuvvetlerde belirgin bir şekilde azalma meydana gelmiştir. $\theta=10^\circ$ den sonra açının limit çekme oranı üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür.



BPK=9800 N BPK=7350 N BPK=4900 N BPK=2450 N
 $\beta=2,42$ $\beta=2,30$ $\beta=2,30$ $\beta=2,24$

Şekil 9. Üst plaka kuvvetinin kap yüksekliğine etkisi ($\theta=10^\circ$)

Matris/baskı plakası açısı $\theta=15^\circ$ lik kalıpta, üst plaka kuvveti BPK=9800 N için limit çekme oranı $\beta=2,13$ ve en büyük zımba kuvveti 64804,86 N; BPK=4900 N ve BPK=42400 N için limit çekme oranı $\beta=2,04$ ve en büyük zımba kuvveti 64098,54 N olarak elde edilmiştir (Şekil 10). En büyük limit çekme oranına, en düşük baskı plakası kuvveti olan 2450 N'da $\beta=2,13$ değerine ulaşıldığı görülmektedir.



BPK=9800 N BPK=7350 N BPK=4900 N BPK=2450 N
 $\beta=2,13$ $\beta=2,13$ $\beta=2,04$ $\beta=2,0$

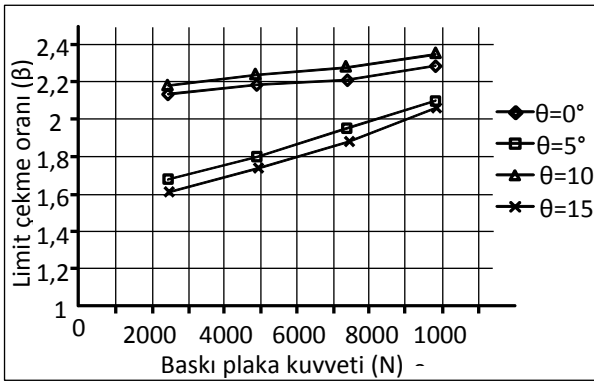
Şekil 10. Baskı plakası kuvvetinin kap yüksekliğine etkisi ($\theta=15^\circ$)

3.3. Sacın aktığı yüzey açısının cidar kalınlığı üzerindeki etkisi

Derin çekme ile şekillendirme esnasında numune parçasında farklı farklı hasarlar oluşmaktadır. Bu hasarların oluşmasından dolayı kapların cidar kalınlığı değişmektedir. Bu incelleme ve kalınlaşma hasarlarını gidermek için pratikte, kapların kalıpları ile şekillendirmelerinde kademeli çekme uygulanmakta ve kalınlık değişimi uygun bir aralıkta tutulabilmektedir. Ancak, kademeli kalıplama üretim maliyetini büyük oranda arttırmaktadır. Bu yüzden, derin çekme işlemlerinde matris ve üst plakalara çeşitli açılar verilerek kullanılan kalıplar ile hem tekrar sayısı düşürülmekte, aynı zamanda kap

cidar kalınlığı değişimlerinin olması gereken aralıkta kalması sağlanmış olmaktadır.

Şekil 11’de farklı matris/baskı plakası açılarında baskı plakası kuvvetinin β üzerindeki etkisinin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, θ açısı 0° ve 5° olduğunda ideal baskı plakası kuvveti 4900 N olarak belirlenmesine rağmen, artan θ değerleriyle ideal baskı plaka kuvveti 2450 N olarak belirlenmiştir.

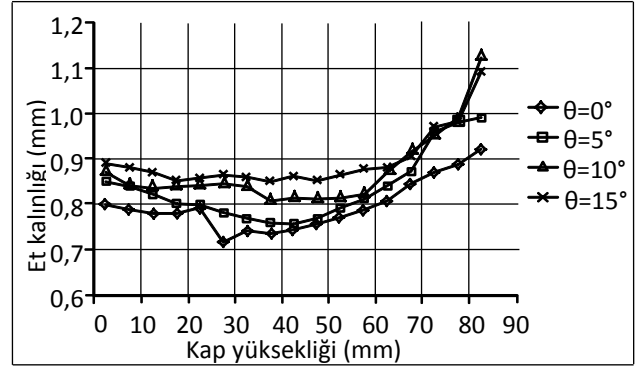


Şekil 11. Baskı plakası kuvvetinin limit çekme oranı (β) üzerindeki etkisi

Artan θ açısı malzemede gerilmelerin azalmasına ve malzemenin matris içerisine akışının kolaylaşmasına neden olmuştur. $\theta=0^\circ$ ’de $\beta=1,98$ ve en büyük zımba kuvveti 73418,04 N, $\theta=15^\circ$ ’de $\beta=2,42$ ve en büyük zımba kuvveti ise 64804,86 N olarak elde edilmiştir.

Şekil 12’de sabit R, β ve BPK için β ’ya bağlı olarak θ ’nın kap et kalınlığı üzerindeki değişimi görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, numunelerdeki kap derinliğinin 0–40 mm olması durumunda kap cidar değişimlerinin sürekli düştüğü ve 0,70–0,95 mm civarında olduğu, şekillendirilen malzeme kalınlığının ortalama % 21 dolayında değiştiği tespit edilmiştir.

40 mm’den sonra kabın üst kısmına doğru kap cidar kalınlığı aşamalı olarak azar azar büyümekte ve kap boyunun 70–85 mm’de olan bölgeden itibaren kalınlık değişiminin orijinal malzeme kalınlığına eşit bir değerde kaldığı görülmüştür. Kap kesitindeki bu değişim miktarı % 25 civarındadır.



Şekil 12. Baskı plakası açısının (θ) et kalınlığı üzerindeki etkisi ($\beta=2,27$, BPK=4900N)

Baskı plakası açısının her değeri için kap cidar kalınlığı kap derinliği boyunca aynı değerlerde değişim sağlamıştır. Ancak, Baskı plakası açısının artmasıyla incelmeye büyük oranda önlenebilmektedir. Bu da, matris/üst plaka açısının artmasının matris içerisine itilen sacın daha kolay kaymasını ve dolayısıyla yeterli itme kuvvetinin oluşmasından kaynaklı olduğu söylenebilmektedir. Zımba kuvvetinin düşmesi, sac üzerinde meydana gelen çekme gerilmelerinin düşmesine sebep olmakta ve bu nedenle kap cidar kalınlıklarını da arttırmaktadır.

Ayrıca, meydana gelen incelmelerin kap diplerinde fazla olduğu, tespit edilen en düşük cidar kalınlık değerinin, $\theta=0^\circ$ ’de 0,723 mm, $\theta=5^\circ$ ’de 0,765 mm, $\theta=10^\circ$ ’de 0,819 mm ve $\theta=15^\circ$ için ise 0,868 mm olup sürekli artan bir değer aldığı görülmüştür (Şekil 12).

Bu çalışmanın bir sonucu numunedeki et kalınlığı değişiminin, kabın kenar kısımlarında kalınlaşmalar ve alt kısımlarda ise incelmeler biçiminde ortaya çıktığı görülmüştür. BPA’nın büyümesi ile kap et kalınlığındaki değişimde olan sapmanın düştüğü ve bu yüzden BPA açısı, BPK ve limit çekme oranı gibi parametrelerin kap et kalınlığı değişimlerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma, küre tabanlı parçaların açılı derin çekme kalıplarında şekillendirilmesinde, BPA, BPK ve Matris radyüslerinin limit çekme oranı (β) ve malzeme cidar kalınlığı üzerindeki etkiler pratik şekilde

incelenmiştir. Elde edilen çalışma sonuçları maddeler halinde verilmiştir.

1. BPA değerlerinin büyümesi ile limit çekme oranı (β) büyümektedir. DKP37 adi karbonlu malzemede açısız imal edilen kalıpta açı yani $\theta=0^\circ$ de $\beta=1,87$ iken, açılı olarak imal edilen kalıplarda, yani $\theta=15^\circ$ de $\beta=2,42$ 'lik maksimum bir değer elde edilebilmiştir.
2. BPK'nin 2450 N ve 9800 N olmaları halinde, kap yüzeylerinde kulaklanmalar ve hızlı bir şekilde yırtılma hasarlarının meydana geldiği ve dolayısıyla limit çekme oranı (β) değerlerinin düştüğü görülmüştür. BPK'nin 4900 ve 7350 N olmasında ise β değerlerinin daha büyük olması sağlanmış ve ondülasyonların, buruşmaların olmadığı ve temiz yüzeyli kapların üretimi sağlanmıştır.
3. Kapların yan yüzeylerinde kap cidar kalınlığının giderek daha düzenli olduğu, üst kısımlarda kalınlaşmaların ve alt kısımlarda ise incelmelerin daha fazla olduğu, matris/üst plaka açısının büyümesi ile cidar kalınlığının stabil olduğu ve bu yüzden BPA, BPK ve limit çekme oranı gibi parametrelerin cidar kalınlığı değişimine etkisinin fazla olduğu görülmüştür. $\theta=0^\circ$ için en düşük et kalınlığı 0,723 mm, $\theta=5^\circ$, $\theta=10^\circ$ ve $\theta=15^\circ$ için ise en düşük kap cidar değişimleri 0,765; 0,819 ve 0,868 mm olarak ölçülmüştür. Kabın üst bölgesindeki et kalınlığındaki boyut değişiminin yaklaşık %18 olduğu tespit edilmiştir.
4. Matris ve baskı plakasına açılı verilen sac şekillendirme kalıplarında, matris/üst plaka ve matris yüzeylerine açının verilmesi limit çekme oranı ve kap cidar kalınlığı üzerinde önemli bir etki oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Bastos, A. C., Simões, A. M. P., 2009. Effect of Deep Drawing on The Performance of Coil-Coatings Assessed by Electrochemical Techniques. *Progress in Organic Coatings*, **65**, 295-303.
- Demirci, H. I., Esner, C. and Yasar, M., 2008. Effect of The Blank Holder Force on Drawing of Aluminum Alloy

Square Cup: Theoretical and Experimental Investigation. *Journal of Materials Processing Technology*, **206**, 152–160.

Gavas, M., Küçükrendeci, İ., 2004. Alüminyum Kare Kabın Derin Çekilmesinde Taslak Malzeme Şekillerinin Değerlendirilmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **4**, 185–200.

Gavas, M., Izciler, M., 2006. Design and Application of Blank Holder System with Spiral Spring in Deep Drawing of Square Cups, *Journal of Materials Processing Technology*, **171**, 274–282.

Gavas, M., Izciler, M., 2007. Effect of Blank Holder Gap on Deep Drawing of Square Cups, *Materials and Design*, **28**, 1641–1646.

Kuwabara, T., Si, W., 1997. PC-Based Blank Design System for Deep-Drawing Irregularly Shaped Prismatic Shells with Arbitrarily Shaped Flange, *Journal of Materials Processing Technology*, **63(1)**, 89–94.

Koga, N., Paisarn, R., 2003. Effects of Tool Radius on Formability During Deep Drawing of AZ31 Magnesium Alloy Sheets, *Journal of Japan Institute of Light Metals*, **53**, 152–156.

Lang, L., Li, T., An, D., Chi, C., Nielsen, K. B., Danckert, J., 2009. Investigation into Hydromechanical Deep Drawing of Aluminum Alloy—Complicated Components in Aircraft Manufacturing, *Materials Science and Engineering A*, **499**, 320–324.

Lin, C. T. and Kwan, C. T., 2009. Application of Abductive Network and FEM to Predict the Optimal Blank Contour of an Elliptical Cylindrical Cup from Deep Drawing, *Journal of Materials Processing Technology*, **209**, 1351–1361.

Menezes, L. F. and Teodosiu, C., 2000. Three-dimensional numerical simulation of the deep-drawing process using solid finite elements. *Journal of Materials Processing Technology*, **97** (1-3), 100-106.

Özek, C., Bl, M., 2009. The Effect of Die/Blank Holder and Punch Radii on Limit Drawing Ratio in Angular Deep-Drawing Dies, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, **40**, 1077–1083.

- Özek, C., Ünal, E., 2011. Optimization and Modeling of Angular Deep Drawing Process for Square Cups, *Materials and Manufacturing Processes*, **26:9**, 1117-1125.
- Park, D. H., Yarlagadda, P. K. D. V., 2008. Effects of Punch Load for Elliptical Deep Drawing Product of Automotive Parts, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **35**, 814–820.
- Ren, L. M., Zhang, S. H., Palumbo, G., Sorgente, D., Tricarico, L., 2009. Numerical Simulation on Warm Deep Drawing of Magnesium Alloy AZ31 Sheets. *Materials Science and Engineering A*, **499**, 40–44.
- Sattari, H., Sedaghati, R., Ganesan, R., 2007. Analysis and design optimization of deep drawing process Part II Optimization. *Journals of Materials Processing Technology*, **184**, 84-92.
- Savaş, V., Seçgin, Ö., 2007. A New Type of Deep Drawing Die Design and Experimental Results, *Materials and Design*, **28**, 1330–1333.
- Saxena, R. K., Dixit, P. M., 2009. Finite Element Simulation of Earing Defect in Deep Drawing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **45**, 219–233.
- Wei, Z., Zhang, Z. L., Dong, X. H., 2006. Deep Drawing of Rectangle Parts Using Variable Blank Holder Force, *Int J Adv Manuf Technol*, **29**, 885–889.
- Yuqi, L., Jincheng, W., Ping, H., 2002. A Finite Element Analysis of the Flange Earrings of Strong Anisotropic Sheet Metals in Deep Drawing Processes. *Acta Mechanica Sinica (English Series)*, **18**, 82–91.
- Zhang, Z., Zhao, S., Zhang, Y., 2008. A Novel Response Variable for Finite Element Simulation of Hydro-Mechanical Deep Drawing, *Journal of Materials Processing Technology*, **208**, 85–89.