

KARE KAPLARIN DERİN ÇEKİLMESİNDE KALIP/BASKI PLAKASI AÇISININ LİMİT ÇEKME ORANI VE ET KALINLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Cebeli ÖZEK, Engin ÜNAL

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 23119 - Elazığ/Türkiye
cozek@firat.edu.tr, enginunal@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 14.06.2010; Kabul/Accepted: 07.05.2012)

ÖZET

Bu çalışma, kare kapların açılı derin çekme kalıplarında şekillendirilmesi için DIN EN10130-1999 çelik sac kullanılarak, kalıp/baskı plakası açısı (KBPA), baskı plakası kuvveti ve kalıp/zımba radyüs değişimlerinin limit çekme oranı (β) ve et kalınlığı üzerindeki etkisini belirlemek için yapılmıştır. Bunun için, kalıp/baskı plakasının yüzeylerine $\alpha=0^\circ$, $\alpha=5^\circ$, $\alpha=10^\circ$ ve $\alpha=15^\circ$ lik açılar, kalıp/zımba uç kenarlarına da $R=4$, $R=6$ ve $R=8$ mm'lik radyüsler verilmiştir. Zımba çapı 50 mm, matris çapı 47.6 mm ve kalıp boşluğu 1.20 mm dir. Kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltmak için Shell Tellus 68 yağ kullanılmıştır. Çalışmada, KBPA $\alpha=0^\circ$ 'de $\beta=1.86$ iken, $\alpha=15^\circ$ de $\beta=2.32$ 'ye kadar yükseltilmiş ve aynı zamanda et kalınlığı $\alpha=0^\circ$ iken minimum kalınlık 0.637mm, $\alpha=5^\circ$, $\alpha=10^\circ$ ve $\alpha=15^\circ$ olması durumunda minimum et kalınlıkları sırasıyla 0.664, 0.733 ve 0.742 mm olarak elde edilmiş. Sonuç olarak, farklı açı ve yarıçaplarda kullanılan yeni tip kare çekme kalıplarının, geleneksel kalıplara nazaran daha yüksek çekme oranı (β) sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kare kap, açılı derin çekme, limit çekme oranı.

THE EFFECT OF DIE/BLANK HOLDER ANGLES ON LIMIT DRAWING RATIO AND WALL THICKNESS IN DEEP DRAWING OF SQUARE CUPS

ABSTRACT

This study presents an attempt to determine the effect of various angles of die/blank holder, radiuses of die/punch and die/blank holder force on drawing ratio and the wall thickness to form square cups in angular deep drawing dies using DIN EN10130-1999 sheet material. For this purpose, the die/blank holder profile with angles of $\alpha=0^\circ$, $\alpha=5^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\alpha=15^\circ$ and die/punch profile with radiuses for $R=4$, $R=6$, $R=8$, mm. The punch has diameter of 50 mm and the die has a diameter of 47.6 mm, which gives 1.20 mm of clearance. Shell Tellus 68 oil was used between the die and the blank to reduce frictional resistance. The β value was enhanced from 1.86 ($\alpha=0$) to 2.32 ($\alpha=15^\circ$) additionally, the Wall thickness values were measured as 0.637, 0.664, 0.733 and 0.742 mm for $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ and 15° angle α values, respectively. As a consequence, it was observed that the new type's angular deep drawing dies gave better results with different angle and radiuses values than conventional dies with higher drawing ratio.

Key Words: Square cups, angular deep drawing, limit drawing ratio.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Derin çekme işlemi, iki boyutlu düzlemsel geometriye sahip sac malzemelerin çekme kalıpları yardımıyla preste kalıp boşluğuna çekilerek, belirli derinlik ve profillere sahip üç boyutlu parçalar elde edilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem, sac malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Yöntem dairesel, kare

veya karmaşık şekilli parçaların üretiminde birçok avantaj sağlamaktadır. Başta otomotiv sektörü olmak üzere, dayanıklı ev aletleri, mutfak eşyaları, radyatör ve iklimlendirme elemanları gibi pek çok üretim alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Limit çekme oranı (β), şekillendirilen parçanın kopmadan, yırtılmadan ve hasara uğramadan çekilebilen maksimum ilkel malzeme çapının zımba

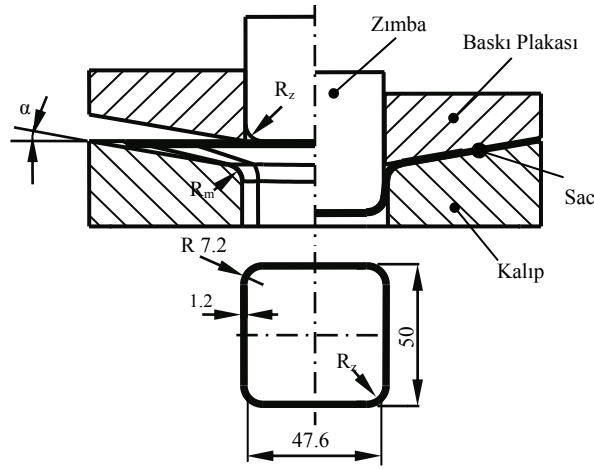
çapına oranı olarak ifade edilmektedir. Derin çekme yöntemiyle kare kap elde etmek silindirik parçalara nazaran daha zor bir işlemdir. Malzemenin çevreden merkeze doğru akışı esnasında köşelerdeki malzemenin şekil değiştirmeye karşı direnci daha fazla olmakta ve bunun sonucu olarak malzemenin buruşması ve kalıp boşluğunda kopma/yırtılma şeklinde hasarlar daha fazla meydana gelmektedir. Ayrıca, kalıbın biçimi ve geometrisi, malzemenin mekanik özellikleri, taslak malzemenin geometrisi ve büyüklüğü, kalıp-sac-baskı plakası arasındaki sürtünme ve yağlama şartları, baskı plakası kuvveti, baskı plakası boşluğu gibi faktörler işlemin verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Kare profile sahip parçaların derin çekilmesi işleminde, kullanılan sac malzeme çeşidi ve kalıp geometrileri ile limit çekme oranı (β) arasındaki ilişkiyi belirlemek için birçok çalışma yapılmıştır. Padmanabhan, R. ve diğ. [1], kare kapların derin çekme işleminde ilkel parça ölçülerinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, optimum ürün kalitesi için uygun ilkel parça ölçüleri tespit edilerek bilgisayar benzetim programları yardımı ile derin çekme yönteminde meydana gelebilecek hasarlar önceden belirlenmiştir. Saxena, R. K. ve Dixit, P. M. [2], kare ve silindirik kapların derin çekilmesinde zımba geometrisi ve kalıp parametrelerinin kulaklanmaya olan etkilerini araştırmışlardır. Kare kapların çekilmesinde, kulaklanma oluşumuna düzensiz malzeme akış oranının yol açtığını tespit etmişlerdir. Yang, T. S. [3], kare kapların derin çekilmesi işleminde ilkel parça geometrisinin etkilerini araştırmış ve çalışmasında titanyum levhaları farklı sıcaklıklarda derin çekme işlemine tabi tutarak silindirik geometriye sahip ilkel parça boyutlarının en uygun limit çekme oranı verdiğini tespit etmiştir. Demirci, H. İ. ve diğ. [4], kare profil kapların derin çekilmesinde AA5754-O alüminyum alaşımını kullanarak bu kapların şekillendirilmesinde baskı plakası kuvvetinin β üzerindeki etkisini incelemişlerdir. LS-DYNA yazılımı yardımı ile elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve %85 oranında gerçek değerlerle tutarlı olduğunu tespit etmişlerdir. Gavas, M. ve İzciler, M. [5], ETIAL-8 alüminyum alaşımının kare olarak derin çekilmesi işleminde baskı plakası boşluğunun kap yüzey kalitesi ve kulaklanma üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kap yüzeyi ve kulaklanma hasarlarının oluşmaması için baskı plakası boşluğunun 1.3mm ve 1.7mm olması gerektiği tespit edilmiştir. Gavas, M. ve İzciler, M. [6], kare kapların derin çekilebilmesi için yeni tip bir baskı plakası tasarlamışlardır. Çalışmada, baskı plakası yüzeyine spiral kanallar açılarak kabın duvarlarında kalınlık dağılımının daha düzenli olduğu ve malzeme akışı ile yağlama etkilerinin daha verimli olduğunu belirlemişlerdir. Menezes, L. F. ve Teodosiu, C. [7], kare kapların derin çekme işleminde, gerilme ve buruşma-büzülmeleri sayısal

olarak belirleyen bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin, deney sonuçlarıyla tutarlı olduğunu belirlemişlerdir. Marumo, Y. ve diğ. [8], alüminyum malzemenin kare olarak derin çekilmesi işleminde, zımba köşe radyüsünün gerilme sertleşmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Zımba radyüsünün küçük olması durumunda β 'nın azaldığı, büyük olması durumunda ise elde edilen kaplardaki hasarların büyük oranda azaldığı ve β 'nın da arttığını belirlemişlerdir. Marumo, Y. ve Saiki, H. [9], kare kapların derin çekilmesi işleminde kalıp parametrelerinin (zımba ve ilkel plaka şekli, baskı plakası malzemesi ve zımba yağlaması) kap üzerindeki etkilerini araştırmışlar, yırtılma kuvvetlerini tespit etmişlerdir. Özek, C, Bal, M [10], açılmalı derin çekme kalıplarında kalıp-baskı plakası açısı ve zımba radyüsünün limit çekme oranı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kalıp-baskı plakası açısı ve zımba radyüsünün artması ile limit çekme oranının arttığını tespit etmişlerdir. Gea, H. C. ve Ramamurthy, R. [11], çalışmalarında kare kesitli parçaların derin çekilmesi işleminde üç farklı geometride ilkel parça kullanmışlar ve optimum çekme işleminin daire kesitli ilkel parçada gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Mamalis, A. G. ve diğ. [12], çalışmalarında kaplanmış galvanizli çeliklerin kare derin çekilmesini deneysel olarak araştırmışlar. Kaplarda meydana gelen büzülme, yırtılma ve alt – üst çekme limitleri, gerilme dağılımları, deformasyon tipleri, zımba hareketine bağlı olarak kuvvetler tespit edilmiştir. Özek, C. ve Bal, M. [13], derin çekme kalıplarında matris-zımba radyüsü ve çekme oranının et kalınlığı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada limit çekme oranı (β), baskı plakası açısı (α) ve kalıp/zımba radyüsünün artmasıyla et kalınlığının azaldığını tespit etmişlerdir.

İlgili literatür değerlendirildiğinde, farklı malzemelerin derin çekme yöntemi ile kare profilde şekillendirilmesi durumunda, ilkel parça geometrisi, baskı plakası kuvvetleri ve zımba radyüsü gibi birçok derin çekme parametrelerinin β üzerindeki etkilerinin deneysel olarak araştırıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, mevcut literatürden farklı olarak matris ile baskı plakası yüzeylerine 0° , 5° , 10° ve 15° 'lik açılar verilerek DIN EN10130–1999 sac malzemesinin kare kesitli derin çekilmesinde, çekme parametrelerinin limit çekme oranı (β), zımba kuvveti ve et kalınlığı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Matris ile baskı plakası yüzeylerine verilen açılar yardımıyla, daha düşük çekme kuvvetleri ile daha yüksek kaplar elde edilebilmektedir. Ayrıca, çekme kalıbı sayısı ve maliyet önemli derecede azalmaktadır. Yapılan bu çalışmanın, akademik çalışmalara ve sanayideki birçok uygulamaya katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Derin çekme ile ilgili yapılan araştırmaların temel amacı sacın çekilebilirliğini yani çekme derinliğini arttırabilmektir. Geleneksel derin çekme metotlarında, kalıp yüzeylerine açı verilmemektedir. Bu çalışmada, 50x50 boyutlarında kare profile sahip kapların derin çekme kalıplarında çekilmesi sırasında kalıp boşluğu içine malzeme akışının kolaylaştırılması ve kap yüksekliğinin artırılması için kalıp/baskı plakası yüzeylerine $\alpha=0^\circ$, $\alpha=5^\circ$, $\alpha=10^\circ$ ve $\alpha=15^\circ$ lik açılar, matris ve zımbaya $R=4$, $R=6$ ve $R=8$ mm'lik radyüsler verilmiştir. Deneylerde kullanılan kalıbın geometrisi ve kesit resmi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan kalıp ve zımba geometrisi (Punch and die geometry used in the experiments)

Çekme boşluğu miktarı 1.2 mm dir. Deney malzemesi olarak 0.9 mm kalınlığındaki DIN EN10130–1999 sac kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal spektral analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Sac malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 5000 kN kapasiteli SHIMATZU marka çekme test cihazında 5 mm/dak çekme hızında hadde yönünde (0°), hadde yönüne 45° ve hadde yönüne 90° açılarda toplam 9 adet numune çekme testine tabi tutulmuştur. Numunelerin mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Kalıp malzemesi olarak D3 soğuk iş takım çeliği kullanılmış ve kalıplar, Fanuc OMT dik işlem merkezli CNC tezgâhında imal edilmiştir.

Tablo 1. DIN EN10130–1999 çelik sacının kimyasal analizi (The chemical composition of DIN EN10130–1999 steel sheet)

C	Mn	P	S	Cr	Mo
0,0440	0,241	0,108	0,0085	0,0116	0,0116
Ni	Cu	Nb	Ti	Sn	Fe
0,0261	0,00452	0,00241	0,00027	0,0864	99,46

Tablo 2. DIN EN10130–1999 çelik sacın mekanik özellikleri (Mechanical properties of DIN EN 10130–1999 steel sheet)

Hadde Yönü ($^\circ$)	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, 95 mm çaptan 135 mm çapa kadar 2,5 mm aralıklarla torna tezgâhında işlenerek elde edilmiştir. Yağlayıcı olarak yoğunluğu $15^\circ C$ de 883 kg/m^3 olan Shell Tellus 68 numara yağ kullanılmıştır. TOGOSHI SEIKI Rockwell sertlik ölçüm cihazıyla yapılan sertlik testi sonuçlarından malzeme sertliğinin 44,262 HB olduğu tespit edilmiştir. Kalıp/baskı plakası yüzeyine açı değerleri verilirken, zımba köşelerine de radyüsler verilmiştir.

Kalıbın temel ölçüleri belirlenirken Saniee, F. F. ve Montazeran, M. H.'nin [14] çalışması referans alınmıştır. Kalıp yüzey açıları ve zımba radyüsü haricindeki ölçüler (zımba çapı, kalıp çapı v.b.) sabit tutulmuştur. Her bir kalıp açısı ve zımba radyüsü için elde edilen deney numuneleri derin çekme işlemine tabii tutularak bu değerlerin güvenilir olduğunu kanıtlamak için de her bir deney üç defa tekrarlanmıştır. Baskı plakası kuvvet (BPK) değişiminin derin çekmeye etkisini araştırmak için deney setine baskı plakasını tahrik eden iki adet hidrolik silindir eklenmiştir. BPK her bir deney için sabit ve dört farklı değer olarak alınmıştır. Deneylerde zımba radyüsü, KBPA, BPK ve β gibi dört ana parametre kullanılmıştır.

BPK değişiminin derin çekmeye etkisini araştırmak ve zımba kuvvetini ölçmek için deney düzeneğine bir bilgisayar ile CAS marka 20 ton kapasiteli hassasiyeti $\pm 2 \text{ kg}$ olan bir Load Cell (yük hücresi) eklenmiştir. Zımba kuvvetleri 10^{-1} saniye aralıklarla ölçülmüştür. Deneyler, ŞAHİNLER HCP50 model hidrolik bir pres tezgâhında ve presin standart hızı oldukça yüksek olduğu için tezgâhın üzerine hız düşürücü bir düzenek eklenmiş ve deneyler 4 mm/sn'lik çekme hızında yapılmıştır (Şekil 2).

KBPA ve BPK değişiminin çekme sonrası iş parçası kalınlığı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bütün deney numuneleri belli aralıklarla kesilerek çeşitli parçalara bölünmüştür. Kesme sırasında oluşan çapaklar temizlendikten sonra her numunenin üzerinden eşit aralıklarda olan farklı bölgelerden kap duvarının yüzeyi $5 \times 5 \text{ mm}$ 'lik ızgaralara bölünmüş ve her bir kesişim noktasından, QLR DİGİT marka 0,001mm hassasiyetindeki dijital bir mikrometre kullanılarak et kalınlıkları ölçülmüştür (Şekil 3).



Şekil 2. Deney seti ve sistemi (Experimental set-up and system)



Şekil 3. Et kalınlığının ölçülmesi (The measurement of wall thickness)

Çekme deneylerinde kullanılan parametreler ve faktör seviyeleri Tablo 4’de verilmiştir. Zımba kurs mesafesine bağlı olarak radyüsler, açılar ve BPK değişimleri, Tablo 3’deki değerler kullanılarak tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemi ile toplam 48 deney hesaba katılarak incelenmiştir.

Tablo 3. Derin çekme parametreleri ve seviyeleri (Deep drawing parameters and their factor levels)

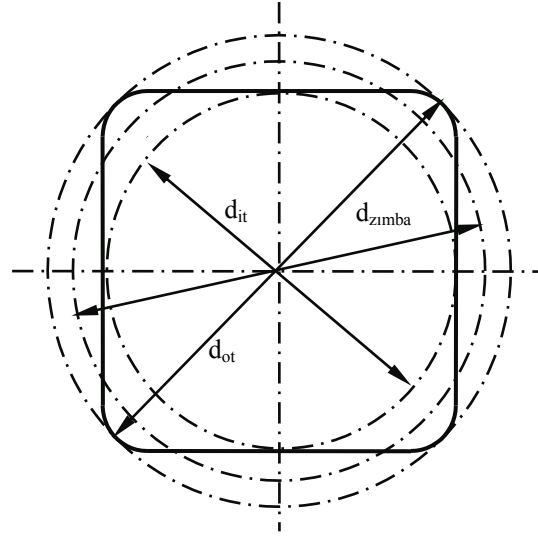
Çekme Parametreleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Kalıp/Baskı plakası açısı α (°)	0	5	10	15
Baskı plakası kuvveti (N)	2450	4900	7350	9800
Kalıp/zımba radyüsü (mm)	-	4	6	8

Kare kap için limit çekme oranı (β) belirlenirken zımba çapı, kare zımbanın iç teğet çapı ile dış köşegen çapının ortalaması alınarak hesaplanmıştır Şekil 4. Buna göre (β) değerleri, eşitlik 1 ve 2 kullanılarak belirlenmiştir.

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

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

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



Şekil 4. Kare kap için ortalama zımba çapının ($d_{\text{zımba}}$) belirlenmesi (Determination of average punch diameter (d_{punch}) for a square cup)

3. SONUÇLAR VE İRDELEME (RESULTS AND ANALYSIS)

3.1. Kalıp/Baskı Plakası Açısı ve Kalıp/Zımba Radyüsünün Çekme Oranı Üzerindeki Etkisi (The Effect Of Die/Blank Holder Angle And Die/Punch Radius On Drawing Ratio)

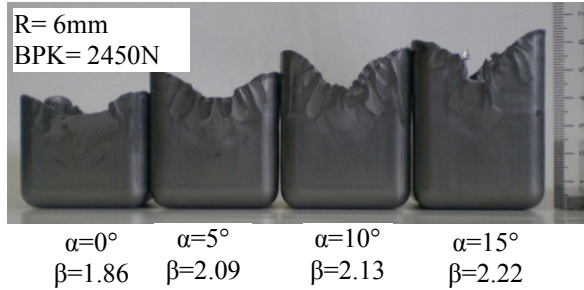
Şekil 5’de, farklı çaplarda çekilen numunelerde meydana gelen değişik yırtılma ve çatlak hasarları görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, çekilen kapların üst kısımlarında buruşma ve gözle görülür kulaklanma, taban kısımlarında ise tabana paralel ve derinlemesine yırtılmalar veya çatlak şeklinde hasarların meydana geldiği tespit edilmiştir. İlkel parça çapı büyüdükçe sacı plastik deformasyona uğratabilecek zımba kuvveti artmaktadır. Zımba kuvvetinin artması derin çekme esnasında oluşan gerilmelerin büyümesine yol açmaktadır. Bu nedenle derin çekme esnasında oluşan bu büyük gerilmelere mukavemet gösteremeyen iş parçasında yırtılmalar meydana gelmekte ve derin çekme işlemi başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. BPK yüksek olduğu durumlarda, yırtılmalar genellikle zımba radyüsünde oluşmaktadır [15]. BPK’nın düşük olduğu durumlarda ise ondülasyonların artmasından dolayı kabın üst kısımlarında aşırı buruşmalar meydana gelmekte, buda üst kısımda yırtılmaların oluşmasına neden olmaktadır.

Şekil 6’da KBPA’nın β üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, KBPA’nın artmasıyla β da sürekli artmaktadır. Bu durum, kalıp açısının artmasıyla, malzemenin kalıp içerisine akışının daha kolay olduğunu ve dolayısıyla

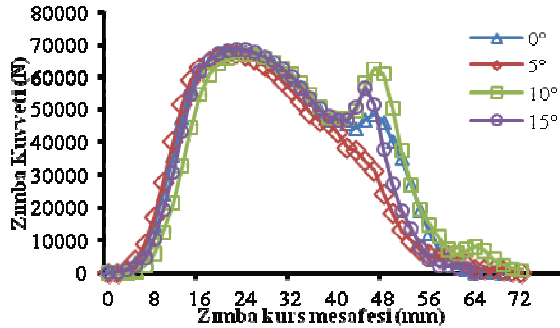
KBPA'nın çekme oranını artırdığını göstermektedir. Zımba ile kalıp arasında bükülmeye zorlanan malzemenin eğilme momentine karşı göstermiş olduğu direnç, kalıp açısının artması ile azalmaktadır. Eğilme momenti üzerindeki en önemli etkenlerden biride çekme anında zımbanın malzemeye uyguladığı kuvvetlerdir. Şekil 6'da $R=6$ mm, $BPK=2450$ N, KBPA ve çekme oranlarına bağlı olarak elde edilen numuneler, Şekil 7'de ise zımba kurs mesafesine bağlı olarak zımba kuvvetlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 5. Değişik yırtılma ve çatlak hasarlarının olduğu numuneler a-b kap üst kısmında, c-d zımba radyüsünde
(Different specimens with various tearing and cracking defects)



Şekil 6. KBPA'nın β üzerindeki etkisi (Effect of DBHA on the β)

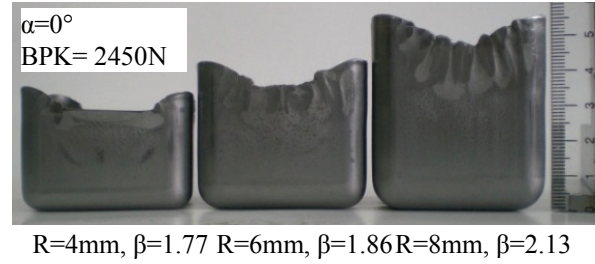


Şekil 7. Zımba kuvvetlerinin kurs mesafesi boyunca değişimi (Variation of punch forces through the feeding depth)

KBPA'nın her durumu için zımba kuvvetinin kurs mesafesi ile olan değişimi benzer bir eğilim

göstermektedir. Zımba kuvvetleri 20 mm kurs mesafesine kadar lineer bir şekilde artmaktadır. 20–34 mm kurs aralığında, zımba kuvvetleri belirgin bir şekilde azalmakta yaklaşık 44mm kurs boyunda ise hızlı bir artış göstermektedir. Bu artış, kurs boyunun artmasıyla birlikte kalıp içerisine çekilen malzeme miktarının da artmış olduğunu ve dolayısıyla limit çekme oranının bu noktada maksimum olduğunu göstermektedir. Malzeme miktarındaki artışlar, yığılmalara ve dolayısıyla daha fazla çekme kuvvetine ihtiyaç doğurmaktadır.

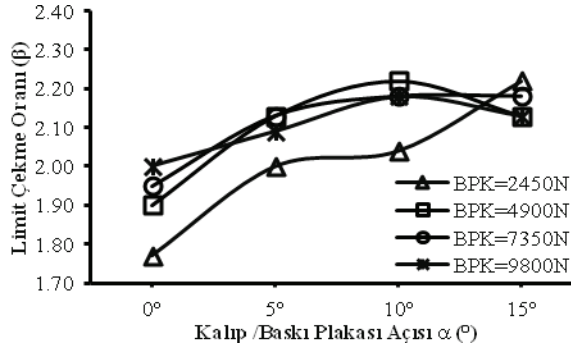
Şekil 8'de KBPA'nın sabit olduğu durumda ($\alpha=0^\circ$), kalıp/zımba radyüsüne bağlı olarak elde edilen çekme oranları ve numuneleri görülmektedir.



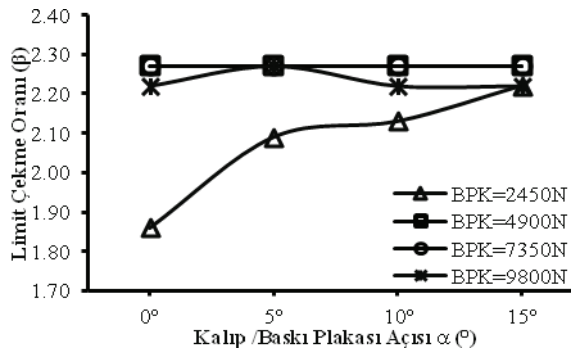
Şekil 8. Kalıp/Zımba radyüsünün β üzerindeki etkisi (Effect of die/punch radii on the β)

Zımba ve kalıp radyüsünün artması ile β 'nin da arttığı, bu durumun malzemenin eğilme ekseninin büyük yarıçap değerlerinde daha az basma-çekme gerilmelerine maruz kalmasıyla ilgili olduğu söylenebilir. Kalıp zımba radyüsünün artması, malzemenin plastik deformasyona uğraması için gerekli zımba kuvvetinin azalmasına ve çekme oranının artmasına neden olmaktadır.

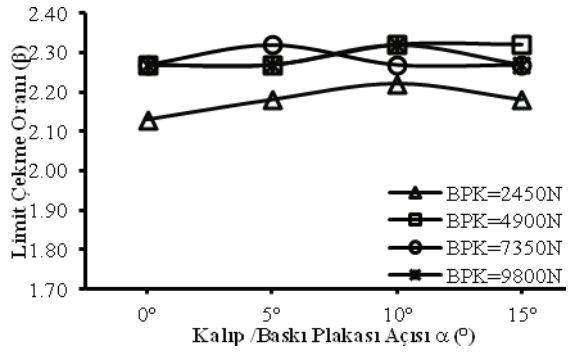
Şekil 9, 10 ve 11'de kalıp-zımba radyüsünün farklı değerleri için BPK'ne bağlı olarak KBPA'nın değişimine göre limit çekme oranlarının değişimi verilmiştir. Şekil 9'da BPK 2450N olduğunda, çekme oranı $\alpha=0^\circ$ için 1.77, $\alpha=5^\circ$ için 2.00, $\alpha=10^\circ$ için 2.04 ve $\alpha=15^\circ$ için 2.22, BPK 9800N olduğunda ise çekme oranı $\alpha=0^\circ$ için 2.18, $\alpha=5^\circ$ için 2.04, $\alpha=10^\circ$ için 2.18 ve $\alpha=15^\circ$ için 2.13 olarak elde edilmiştir. Şekil 10'da BPK 2450N olduğunda, çekme oranı $\alpha=0^\circ$ için 1.86, $\alpha=5^\circ$ için 2.09, $\alpha=10^\circ$ için 2.13 ve $\alpha=15^\circ$ için 2.22, BPK 9800N olduğunda ise çekme oranı $\alpha=0^\circ$ için 2.22, $\alpha=5^\circ$ için 2.27, $\alpha=10^\circ$ için 2.22 ve $\alpha=15^\circ$ için 2.22 olarak elde edilmiştir. Şekil 11'de BPK 2450N olduğunda, çekme oranı $\alpha=0^\circ$ için 2.13, $\alpha=5^\circ$ için 2.18, $\alpha=10^\circ$ için 2.22 ve $\alpha=15^\circ$ için 2.18, BPK 9800N olduğunda ise çekme oranı $\alpha=0^\circ$ için 2.27, $\alpha=5^\circ$ için 2.27, $\alpha=10^\circ$ için 2.32 ve $\alpha=15^\circ$ için 2.32 olarak elde edilmiştir. Buradan, BPK ve KBPA artıkça çekme oranının arttığı görülmektedir.



Şekil 9. R=4 mm için KBPA göre β 'nin değişimi (β connecting to DBHA for R=4mm)



Şekil 10. R=6 mm için KBPA göre β 'nin değişimi (β connecting to DBHA for R=6mm)



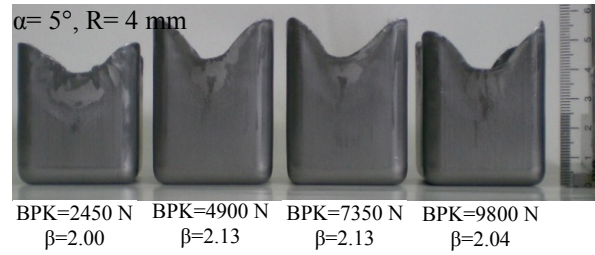
Şekil 11. R=8 mm için KBPA göre β 'nin değişimi (β connecting to DBHA for R=8mm)

Şekil 9-11 birlikte incelendiğinde, parça çapı büyüdükçe sacı plastik deformasyona uğrattıkça zımba kuvvetinin artması derin çekme esnasında oluşan gerilmelerin artmasına yol açmaktadır. Bu durumda, limit çekme oranı da artmaktadır. Limit çekme oranı yırtılma meydana gelmeden en büyük kap yüksekliğinin elde edildiği andaki orandır. Zımba ile kalıp arasında şekil değiştirmeye zorlanan malzemenin eğilme momentine karşı göstermiş olduğu direnç, kalıp açısının artması ile azalmakta ve dolayısıyla maksimum limit çekme oranı elde edilmektedir.

3.2. Baskı Plakası Kuvvetinin Çekme Oranı Üzerindeki Etkisi (The Effect of Blank Holder Force on Drawing Ratio)

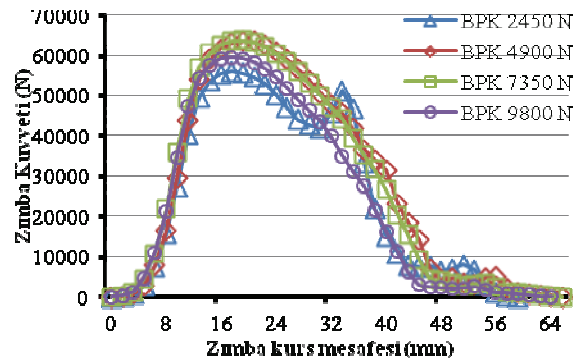
Çekme işlemi sırasında, numune üzerine baskı plakası tarafından belirli bir kuvvet uygulanarak, üründe oluşabilecek büzülme ve ondülasyonlar engellenir, çekme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi sağlanır. Baskı plakası kuvvetinin çekme oranı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, deneyler 4 farklı (2450, 4900, 7350 ve 9800 N) baskı plakası kuvvet değerinde yapılmıştır.

Şekil 13'de, $\alpha=5^\circ$ ve R=4 mm olduğu durumda BPK'ne bağlı olarak elde edilen numuneler görülmektedir. 2450 N'luk BPK'de, numune üzerinde aşırı ondülasyonların meydana geldiği ve dolayısıyla yüzey kalitesinin bozulduğu görülmektedir. BPK'nin 9800N olması durumunda ise zımba radyüsünde yırtılmaların erken başladığı ve bu yüzden β değerinin azaldığı tespit edilmiştir. BPK'nin 4900 ve 7350N değerlerinde ise β 'nin eşit ve diğer BPK'ne göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Maksimum β değerleri ve kap yüzeylerinin düzgün olması için uygun BPK'nin 4900N ve 7350N olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. BPK'nin β üzerindeki etkisi (Effect of BHF on the β)

Şekil 14'de $\alpha=5^\circ$ ve R=4 mm olduğu durumda, malzemenin derin çekilmesi sırasında oluşan zımba kuvvetlerinin zımba kurs mesafesine bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 14. Zımba kuvvetlerinin kurs mesafesi boyunca değişimi (Variation of punch forces through the feeding depth).

Şekil 13 ve 14 birlikte değerlendirildiğinde, BPK 2450 N değerinde iken, zımba kuvveti diğer BPK değerlerinde elde edilenlerden daha farklı elde edilmiştir. Kurs mesafesi yaklaşık 32 mm derinliğe ulaşıldığında, deformasyon sertleşmesine bağlı olarak zımba kuvvetleri tekrar artmaktadır. Bu artış 2450N'luk BPK'nin yetersiz ve et kalınlığındaki artışın kalıp boşluğundan fazla olmasından dolayı çekilen numunenin kenarlarında buruşmalara ve ondülasyonlara neden olmaktadır.

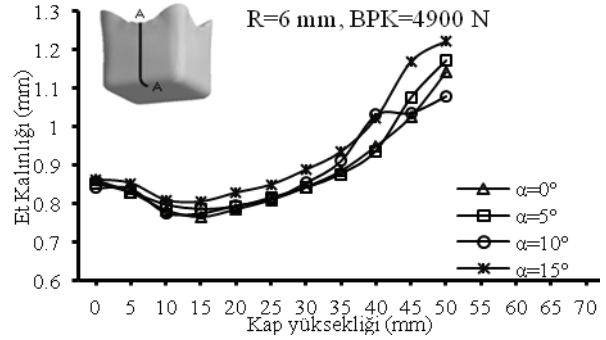
3.3. Kalıp/Baskı Plakası Açısının Et Kalınlığı Üzerindeki Etkisi (The Effect of Die/Blank Holder Angle on Wall Thickness)

Derin çekme ile imal edilmiş parçaların et kalınlıklarının eşit olması önemlidir. Derin çekme işlemleri sırasında iş parçası üzerinde çeşitli gerilmeler meydana gelmektedir. Bu gerilmelerin etkisi ile iş parçasının et kalınlığı değişmektedir. Bu inceleme ve kalınlaşmayı önlemek için bazı uygulamalarda, derin çekme işlemi tekrarlanmak suretiyle parça kalınlığı kademeli olarak azaltılmaktadır. Bu da imalat maliyetini önemli derecede arttırmaktadır. Bu nedenle, derin çekmede açılı kalıplar kullanılarak hem kademe sayısı azaltılmakta, hem de et kalınlığı değişiminin istenilen oranlarda tutulması sağlanabilmektedir.

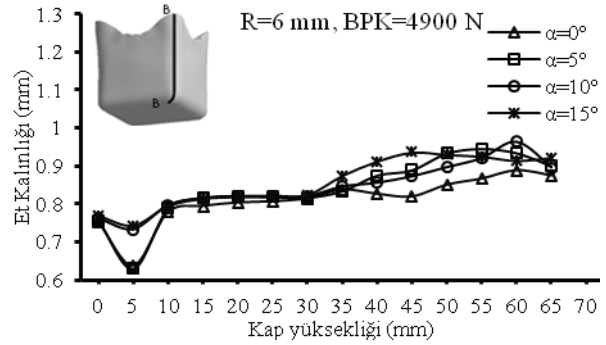
Şekil 15 ve 16'da sabit R, β ve BPK ($R=6$ mm, $\beta=2,27$ ve $BPK=4900N$) değerlerinde α 'nın kap orta yüzeyi (A – A doğrultusu) ve kritik kenar uzunluğu (B – B doğrultusu) boyunca et kalınlıkları üzerindeki etkisi sırasıyla verilmiştir. Şekil 15'de görüldüğü gibi, kap yüksekliğinin 0 – 15 mm olduğu aralıkta et kalınlığının azaldığı ve yaklaşık olarak 0,75 – 0,85 mm aralığında olduğu, çekilen sac kalınlığının ortalama % 11 oranında incelendiği belirlenmiştir. 15 mm mesafeden sonra üst bölgelere doğru kap kalınlığı kademeli olarak artmakta ve kap yüksekliğinin 35 – 40 mm olduğu noktalardan itibaren kalınlık değerlerinin sac kalınlığından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kalınlıktaki bu artış oranı yaklaşık olarak % 25'dir. α 'nın bütün değerleri için et kalınlığının kap yüksekliği boyunca değişimi benzer eğilim göstermektedir. Ancak, α 'nın artmasıyla incelleme azalmakta ve kalınlaşma da artmaktadır. Bu durum, kalıp içerisine itilen malzemenin daha kolay akmasına ve bu kolay akmadan dolayı gerekli çekme kuvvetinin azalmasına atfedilmiştir. Zımba kuvvetinin azalması, malzeme üzerinde meydana gelen çekme gerilmelerinin azalmasına yol açmakta ve dolayısıyla et kalınlıklarını arttırmaktadır.

Şekil 16 incelendiğinde, B – B doğrultusunda olan et kalınlıklarındaki değişim A – A doğrultusunda olandan farklı olarak, kritik kenar uzunluğu boyunca yaklaşık 45 – 50 mm'ye kadar azalmakta, 50 mm'den sonra ise artmaktadır. Kritik kenar boyunca meydana gelen incelmelerin orta yüzeyde meydana gelen incelmelere göre daha fazla olduğu, kaplarda ölçülen

en küçük kalınlık değerinin sırasıyla $\alpha=0^\circ$ 'de 0,637 mm, $\alpha=5^\circ$ için 0,630 mm, $\alpha=10^\circ$ için 0,733 mm ve $\alpha=15^\circ$ 'de ise 0,742 mm olduğu ve bu değerlerin giderek arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 15 A – A doğrultusu boyunca α 'nın et kalınlığı üzerindeki etkisi (The effect of α on the wall thickness through the A-A direction)



Şekil 16 B – B doğrultusu boyunca α 'nın et kalınlığı üzerindeki etkisi (The effect of α on the wall thickness through the B-B direction)

Bu sonuçlar, kap yüzeylerinde daha homojen bir et kalınlığı dağılımının, üst bölgelerde kalınlaşmaların ve alt bölgelerde ise incelmelerin meydana geldiğini göstermektedir. KBPA'nın artması ile et kalınlığının homojen olduğu ve dolayısıyla Kalıp açısı, BPK ve β gibi parametrelerin et kalınlığı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, kare kapların açılı derin çekilmesi işleminde, KBPA, BPK, kalıp ve zımba radyüsünün β ve et kalınlığı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmadan çıkarılan genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- α değerlerinin artması ile β artmaktadır. DIN EN10130-1999 derin çekme sacının hiçbir açı verilmeden çekilmesinde $\beta=1,86$ iken, bu çalışmada kalıp ve baskı plakasına açı vermek suretiyle, $\alpha=15^\circ$ de $\beta=2,32$ 'ye kadar yükseltilebilmektedir.

2. Kalıp iç boğaz kısmı ve zımba uç kenar radyüs (R) değerinin artması ile β 'nin de arttığı tespit edilmiştir. R=4, R=6 ve R=8mm için, β değerleri sırasıyla 1,77, 1,86 ve 2,13 olarak elde edilmiştir.
3. BPK'nin 2450N ve 9800N olmaları durumlarında, kap yüzeylerinde ondülasyonlar ve erken yırtılmaların meydana geldiği ve dolayısıyla β değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. BPK'nin 4900 ve 7350N olması durumlarında ise daha yüksek β değerleri elde edilmiş ve daha homojen kap yüzeylerinin elde edildiği görülmüştür.
4. Kap yan yüzeylerinde et kalınlığının daha homojen, üst bölgelerde kalınlaşmaların ve alt (radyüse yakın) bölgelerde ise incelemelerin meydana geldiği, kalıp/baskı plakası açısının artması ile et kalınlığının homojen olduğu ve dolayısıyla KBPA, BPK ve β gibi parametrelerin et kalınlığı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. $\alpha=0^\circ$ iken minimum kalınlık 0,637mm, $\alpha=5^\circ$, $\alpha=10^\circ$ ve $\alpha=15^\circ$ olması durumunda minimum et kalınlıkları sırasıyla 0,664, 0,733 ve 0,742mm olarak elde edilmiş, kabın üst bölgelerindeki kalınlık artışının bütün açı değerleri için yaklaşık olarak %22 kadar arttığı belirlenmiştir.
5. Maksimum çekme derinliklerinin elde edildiği numunelerde gözle görülür biçimde kulaklanma meydana gelmiştir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

α	: Kalıp/baskı plakası açısı ($^\circ$)
β	: Limit çekme oranı
KBPA	: Kalıp/baskı plakası açısı ($^\circ$)
BPK	: Baskı plakası kuvveti (N)
R	: Kalıp/zımba radyüsü (mm)
D_{max}	: Maksimum ilkel parça çapı (mm)
d_{it}	: Kare zımbanın iç teğet çapı (mm)
d_{ot}	: Kare zımbanın dış teğet çapı (mm)
d_{zimba}	: Kare zımbanın çapı (mm)

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmayı FUBAP—1867 nolu proje ile destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Padmanabhana, R., Oliveira, M. C., Baptista, A. J., Alves, J. L., Menezes, L. F., "Blank Design for Deep Drawn Parts Using Parametric NURBS Surfaces", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 209, 2402–2411 pp., 2009.
2. Saxena, R. K. and Dixit, P. M., "Finite Element Simulation of Earing Defect in Deep Drawing", **Int. J. Adv. Manuf. Technol.**, DOI 10.1007/s00170-009-1963-5., 2009.
3. Yang, T. S., "Finite Element Analysis of Square Cup Deep Drawing of Pure Titanium Metal Sheet

- at Elevated", **Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge**, Springer – Verlag London Limited 33–42, 2008.
4. Demirci, H. I., Esner, C., Yasar, M., "Effect of The Blank Holder Force on Drawing of Aluminum Alloy Square Cup: Theoretical and Experimental Investigation", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 206, 152–160, 2008.
5. Gavas, M. and Izciler, M., "Effect of Blank Holder Gap on Deep Drawing of Square Cups", **Materials and Design**, Vol. 28, 1641–1646, 2007.
6. Gavas, M. and Izciler, M., "Design and Application of Blank Holder System with Spiral Spring in Deep Drawing of Square Cups", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol.171, 274–282, 2006.
7. Menezes, L. F. and Teodosiu, C., "Three-Dimensional Numerical Simulation of The Deep-Drawing Process Using Solid Finite Elements", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 97, 100–106, 2000.
8. Marumo, Y., Saiki, H., Mori, T., "Combined Effects of Strain Hardening Characteristics and Tool Geometry on The Deep-Drawability of Square Aluminum Cups", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 89–90, 30–36, 1999.
9. Marumo, Y. and Saiki, H., "Evaluation of The Forming Limit of Aluminum Square Cups", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 80–81, 427–432, 1998.
10. Özek C, Bal M., "The Effect of Die/Blank Holder and Punch Radiuses on Limit Drawing Ratio in Angular Deep-Drawing Dies", **J. Adv. Manuf. Technol.**, Vol. 40, 1077-1083., 2009.
11. Gea, H. C. and Ramamurthy, R., "Blank Design Optimization on Deep Drawing of Square Shells", **IIE Transactions**, Vol. 30, 913–921, 1998.
12. Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Baldoukas, A. K., "Simulation of Sheet Metal Forming Using Explicit Finite Element Techniques: Effect of Material and Forming Characteristics Part 2. Deep-Drawing of Square Cups", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 72, 110–116, 1997.
13. Özek, C., Bal, M., "Derin Çekme Kalıplarında Matris-Zımba Radyüsü ve Çekme Oranının Et Kalınlığı Üzerindeki Etkisi", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 24, No 1, 33-41, 2009.
14. Saniee, F. F. and Montazeran, M. H., "A Comparative Estimation of The Forming Load in The Deep Drawing Process", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 140, No:1-3, 555-561, 2003.
15. Swift W, Chung S.Y., "Cup Drawing From a Flat Blank-Experimental Investigation", **Proc. Int. Mech. Eng.**, 199–211, 1951.