

DERİN ÇEKME KALIPLARINDA MATRİS-ZIMBA RADYÜSÜ VE ÇEKME ORANININ ET KALINLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Cebeli ÖZEK ve Muhammet BAL

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ
cozek@firat.edu.tr, mbal@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 02.01.2008 ; Kabul/Accepted: 03.12.2008)

ÖZET

Derin çekme, sac metal şekillendirmede kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntemde optimum parça üretimi, kalıp ve zımba profil radyüsü, parça şekli ve malzemenin şekillendirilebilirliği gibi işlem parametrelerine bağlıdır. Özellikle parça şekli, şekillendirilebilirliği doğrudan etkilediği için çok önemlidir. Bu çalışma, DKP 37 sacı kullanılarak kalıp ve zımbanın radyüs değişimlerinin, limit çekme oranının, baskı plakası ve kalıp açılarının et kalınlığı üzerindeki etkisini belirlemek için yapılmıştır. Baskı plakası yüzeylerine $\alpha=2.5^\circ$, $\alpha=7.5^\circ$, $\alpha=12.5^\circ$, $\alpha=15^\circ$ açılar, kalıp ve zımba köşelerine R=10, R=8, R=6, R=4 mm radyüsler verilmiştir. Zımba çapı 30, matris çapı 32.3 ve kalıp boşluğu 1.15 mm dir. Kalıp ve parça arasındaki sürtünmeyi azaltmak için Shell Tellus 68 yağ kullanılmıştır. Et kalınlığının ölçümü kap üzerinde altı farklı bölgeden yapılmıştır. Çalışmada limit çekme oranı (β), baskı plakası açısı (α), kalıp ve zımba radyüsünün artmasıyla et kalınlığının azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Derin çekme, limit çekme oranı, baskı plakası kuvveti, et kalınlığı.

THE EFFECT OF DIE/PUNCH RADIUS AND DRAWING RATIO ON THE WALL THICKNESS IN DEEP DRAWING DIES

ABSTRACT

Deep drawing is one of the most important methods used to form sheet materials. The production of optimal products in this process is dependent on the process variables such as blank shapes, profile radius of punch and die, and formability of materials. A specially, the blank shape is very important since it controls the formability directly. This study presents an attempt to determine the effect of various radiuses of die and punch, limit drawing ratio and die/blank holder angles on the wall thickness using DIN EN10130-91 sheet material. The die/blank holder profile with angles of $\alpha=2.5^\circ$, $\alpha=7.5^\circ$, $\alpha=12.5^\circ$, $\alpha=15^\circ$ and die/punch profile with radiuses for R=10, R=8, R=6, R=4 mm. The punch have diameter of 30 mm and the die have a diameter of 32.3 mm, which gives 1.15 mm of clearance. Shell Tellus 68 oil was used between the die and the blank to reduce frictional resistance. The wall thickness was measured on six different zones of the cup. The experiments show that the wall thickness decreased with increasing limit drawing ratio (β), die/blank holder angles (α) and die-punch radius (R).

Keywords: Deep drawing, limit drawing ratio, blank holder force, wall thickness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sac metal şekillendirme tekniğinde parçalar ya doğrudan ya da biçimlendirilip kesilmektedir. Derin çekme ile şekillendirilen parçaların kalitesi, kalıp boşluğu içine çekilen metalin miktarı ile ölçülmektedir.

Gotoh ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, 0.2~1 mm kalınlığındaki alüminyum, bakır, pirinç,

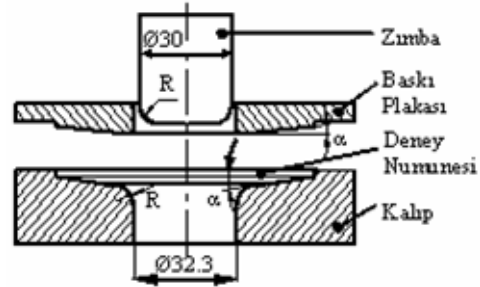
yumuşak çelik, paslanmaz çelik gibi çeşitli sacların derin çekilmesinde kalıp radyüsünün etkisini araştırmışlardır. Matris radyüsü küçüldükçe çekme derinliğinin arttığını tespit etmişlerdir [1]. Colgan, ve Monaghan, zımba ve kalıp radyüsü, zımba hızı, baskı plakası kuvveti ve çekilen malzemenin sürtünme katsayısı gibi çeşitli parametrelerin derin çekmeye etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada derin çekmede zımba ve kalıp radyüsünün baskı plakası kuvvetinden daha etkili olduğu, kalıp radyüsü

küçüldükçe sacı deformasyona uğratmak için gerekli olan zimba kuvvetinin de azaldığını tespit etmişlerdir [2]. Dejmal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, derin çekme oranını artırabilmek için en düşük çekme kuvvetini gerektiren optimum bir kalıp radyüsü araştırmışlardır [3]. Park ve arkadaşları, ilk sac şeklinin derin çekmeye etkisini ve derin çekme esnasında zimba kuvveti değişimini araştırmışlardır. Çekme derinliğinin %80'ine ulaşıldığında zimba kuvvetinin maksimum olduğu tespit edilmiştir [4]. Kampus ve Balic, lazer ve MIG kaynaklı sacların baskı plakası kullanılmadan derin çekilebilirliğini araştırmışlardır [5]. Marumo ve arkadaşları, alaşımlı alüminyumdan yapılmış ara malzemelerin paslanmaz çeliklerin derin çekilebilirliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu ara malzemelerin çekme oranını artırdığını tespit etmişlerdir [6]. Sato ve arkadaşları, eksenel simetrik olmayan parçaların çekilmesinde çok eksenli yüklemenin çekme oranı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çok eksenli yükleme ile çekme oranının %55 arttığını tespit etmişlerdir [7]. Zhang ve arkadaşları, yumuşak çeliklerin hidromekanik derin çekilmesini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlar, kapların şekil ve kalınlık değişimleri belirlenip anizotropinin etkisini incelemişlerdir. Hidrolik basınç kullanılarak yumuşak çeliklerin çekme oranı 2.5'e kadar çıkarılmıştır [8]. Zhang ve Li, derin çekme işleminde matris radyüsü ve sac kalınlığının kulaklanma oluşumu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kulaklanmanın, matris radyüsü ile sac kalınlığı arasındaki orana bağlı olduğu, bu oran arttıkça kulaklanmanın da arttığı tespit edilmiştir [9]. Mellor ve Sebai, derin çekme işlemlerinde zimba kuvvetinden dolayı yüksek sürtünme artışının birim radyal kuvveti artırdığını araştırmışlardır [10]. Wilson ve arkadaşları, alüminyum sacların derin çekilmesinde çekilen parça çevresinde kulaklanma özellikleri ile ilgili teorik ve deneysel araştırmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda yağlamanın derin çekme işlemi üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir [11,12]. Woo tarafından yapılan çalışmada, baskı plakası kuvveti dağılımının normal çekme işleminde gerilme yığılmasına neden olduğu, bundan dolayı baskı plakası kuvveti ve sürtünmenin zimba kuvveti üzerinde etkisinin az olduğunu göstermiştir [13, 14]. Savaş ve Seçgin yapmış oldukları çalışmada, matris ve baskı plakası açısının çekme oranı üzerindeki etkilerini araştırmışlar, matris ve baskı plakası açısı arttıkça çekme oranının da arttığını göstermişlerdir [15]. Gavas ve İzçiler yapmış oldukları çalışmada, kare kesitli kapların derin çekilmesinde kalıp ve zimba arasındaki boşluğun çekme oranı üzerinde etkili olduğunu, zimba hızı ve

kullanılan akışkanın çekme oranı üzerinde pozitif etki yaptığını göstermişlerdir [16].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Derin çekme ile ilgili yapılan araştırmaların temel amacı sacın çekilebilirliğini yani çekme derinliğini arttırabilmektir. Geleneksel derin çekme metodlarında, kalıp yüzeylerine aç verililmemektedir. Bu çalışmada, derin çekme kalıplarında kalıp boşluğu içine malzeme akışının kolaylaştırılması için kalıp yüzeylerine $\alpha=2.5^\circ$, $\alpha=7.5^\circ$, $\alpha=12.5^\circ$, $\alpha=15^\circ$ açılar, matris ve zimba köşelerine de R4, R6, R8, R10 mm radyüsler verilmiştir. Kalıp, Ç1040 kalıp çeliği kullanılarak Fanuc OMt CNC tezgâhında işlenerek imal edildi. Deneylerde kullanılan kalıbın geometrisi ve kesit resmi Şekil 1'de verilmiştir. Çekme boşluğu miktarı 1.15 mm'dir. Deney malzemesi olarak 1.00 mm kalınlığındaki DKP 37 sacı kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal spektral analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.



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

Deney numuneleri önce 55x55mm, 58x58mm, 64x64mm, 67x67mm, 70x70mm ve 72x72 mm ölçülerinde kare şeklinde gelişigüzel kesilmiş, daha sonra tornalanarak 54mm, 57mm, 63mm, 66mm, 69mm ve 70.5mm çaplarında hassas ölçüsüne getirilmiştir. Bu ölçülerdeki numuneler çekme işlemine tabi tutulmuşlardır. Yağlayıcı olarak yoğunluğu 15 °C de 883 kg/m³ olan Shell Tellus 68numara yağ kullanılmıştır. Maksimum çekme derinliklerinin elde edildiği numunelerde azda olsa kulaklanma meydana gelmiştir. Deney numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla MOHR-FEDERHAFF-LOSENHAUSEN çekme test cihazında, 20 tonluk çekme yükü kullanılarak 2 mm/sn hızla çekme testi uygulanmıştır. Çekme test sonuçlarından sacın akma gerilmesinin 276.5 MPa, çekme gerilmesinin de 365.7 MPa olduğu, TOGOSHI SEIKI Rockwell sertlik ölçüm cihazıyla yapılan

Tablo 1. Deney malzemesinin kimyasal analizi (Chemical composition of material)

C	Mn	P	Cr	S	Ni
0.0962	0.414	0.0174	0.00751	0.0187	0.00916
Al	Nb	Ti	Sn	Sn	Fe
0.0148	0.00204	0.00028	0.00251	0.00251	99.42

sertlik testi sonuçlarından malzeme sertliğinin de 42.375 HB olduğu tespit edilmiştir. DKP 37 sacının limit çekme oranını açısız ve açılı olarak belirlemek için çekme oranları, $\beta=1.8$, $\beta=1.9$, $\beta=2.1$, $\beta=2.2$, $\beta=2.3$, $\beta=2.35$ alınarak derin çekme deneyleri yapılmıştır. Kalıp yüzeyine radyüs ve açı değerleri verilirken, zimba köşelerine de sadece radyüsler verilmiştir. Kalıp açısı değerleri, radyüs değerleri ve BPK değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Kalıbın temel ölçüleri belirlenirken Saniee, F. F. ve Montazeran, M. H.’nin [17] çalışması referans alınmıştır.

Tablo 2. Kalıp açısı, radyüs ve baskı plakası kuvvet değerleri (The values of die/blank holder angle, radiuses and blank holder force)

α (°)	2.5	7.5	12.5	15
R (mm)	4	6	8	10
BPK (N)	1036.2	3108.6	4144.8	10362

Kalıp yüzey açıları ve zimba radyüsü haricindeki ölçüler (zimba çapı, kalıp çapı v.b.) sabit tutulmuştur. Her bir kalıp açısı ve zimba radyüsün de 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 üç adet hidrolik silindir eklenmiştir. BPK her bir deney için sabit ve dört farklı değer olarak alınmıştır.

Deneylerde kalıp ve zimba radyüsü, kalıp açısı, BPK ve β gibi dört ana parametre kullanılmıştır. BPK değişiminin derin çekmeye etkisini araştırmak için deney setine bir bilgisayar ile CAS marka 20 ton kapasiteli bir



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



Şekil 3. Et kalınlığının ölçülmesi ve ölçüm yapılan bölgeler (Wall thickness was measured and measurement zones)

Load Cell (yük hücresi) eklenmiştir. Deneyler, ŞAHİNLER HCP50 model hidrolik bir pres tezgâhında, presin standart hızı oldukça yüksek olduğu için tezgâhın üzerine hız düşürücü bir düzenek eklenmiş ve 4 mm/sn’lik çekme hızında yapılmıştır (Şekil 2).

Kalıp açısı ve BPK değişiminin çekme sonrası iş parçası kalınlığı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla bütün deney numuneleri ortadan kesilerek iki eşit parçaya bölünmüştür. Kesme sırasında oluşan çapaklar temizlendikten sonra her numunenin altı farklı bölgesinden, QLR DİĞİT marka 0.0001mm hassasiyetindeki dijital bir mikrometre kullanılarak et kalınlıkları ölçülmüştür. 1. bölge sac tabanının merkezi, 2. bölge sac tabanı ile parça radyüsünün kesişim noktası, 3. bölge parça radyüsünün orta noktası, 4. bölge parça duvarı ile parça radyüsünün kesişim noktası, 5. bölge parça duvarının ortası ve 6. bölge parçanın tepe noktasıdır (Şekil 3).

3. KALIP/ZIMBA RADYÜSÜ VE KALIP/ BASKI PLAKASI AÇISININ ÇEKME ORANI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ (THE EFFECT OF DIE/PUNCH RADIUS AND DIE/BLANK HOLDER ANGLE ON DRAWING RATIO)

Derin çekme deneylerinde ilkel pul çapı (D_i); zimba çapı(d_z), kullanılan sacın kalınlığı (t_s) ve çekilen iş parçasının boyu (h_k)’ya bağlı olarak;

$$D_i = \sqrt{d_z \cdot (4h_k - 4t_s + d_z)} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Limit çekme oranı (L. Ç. O.), yırtılma meydana gelmeden en ideal şekilde çekilebilen en büyük sac çapının zimba çapına oranıdır ve limit çekme oranı;

$$L.Ç.O = \frac{D_{max}}{d_z} \quad (2)$$

olarak ifade edilir.

Sacın ilk çapı ile zimba çapı arasındaki oran büyüdükçe sacı plastik deformasyona uğratabilecek zimba kuvveti büyümektedir. Zimba kuvvetinin artması derin çekme

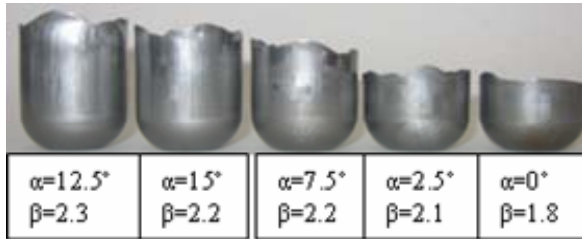
esnasında oluşan gerilmelerin büyümesine yol açmaktadır. Bu nedenle derin çekme esnasında oluşan bu büyük gerilmelere mukavemet gösteremeyen iş parçasında yırtılmalar meydana gelmekte ve derin çekme işlemi başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. BPK fazla olduğu durumlarda parçada daha değişik kopma ve yırtılmalar meydana gelir (Şekil 4).

Kalıp ve zimba radyüsü $R=10$ mm için kalıp açısı 2.5° , limit çekme oranı 2.1, BPK 3108.6 N, zimba kuvveti 35767.26 N, kalıp açısı 7.5° , limit çekme oranı 2.2, BPK 3108.6 N zimba kuvveti 37280 N, kalıp açısı 12.5° , limit çekme oranı 2.3, BPK 3108.6 N ve zimba kuvveti 41850 N olarak belirlenmiştir. Kalıp açısı 15° verildiğinde ise limit çekme oranı $2.2'$ ye düşmüş, BPK 3108.6 N ve zimba kuvveti de 37280 N olarak elde edilmiştir. Şekil 5'de $R=10$ mm için elde edilen deney numuneleri görülmektedir.

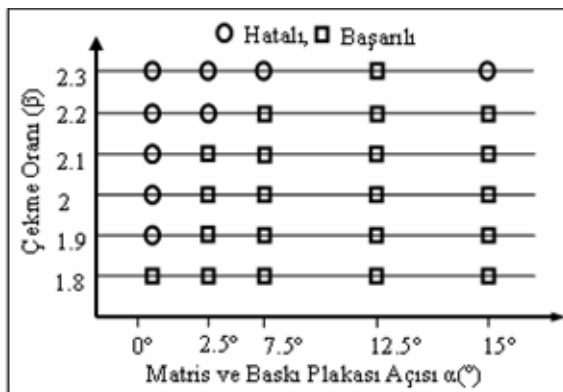
$R=10$ mm için $\alpha=12.5^\circ$ de $\beta=2.3$ olarak elde edilmiş, bu da en yüksek çekme oranının $\alpha=12.5^\circ$ de elde edildiğini göstermektedir. Şekil 6'da $R=10$ mm için yapılan deneylerin başarılı ve hatalı sonuçlarını gösteren grafik verilmiştir. Kalıp ve zimba radyüsü



Şekil 4. Değişik yırtılma ve çatlakların olduğu numuneler (Various tearing and crackings which was occurred in specimens)



Şekil 5. $R=10$ mm için kalıp açısı değişimine bağlı numuneler (Specimens connecting to α for $R=10$ mm)



Şekil 6. $R=10$ mm için α ile β arasındaki ilişkide hata dağılımı (The failure distribution in relationship between α and β for $R=10$ mm)

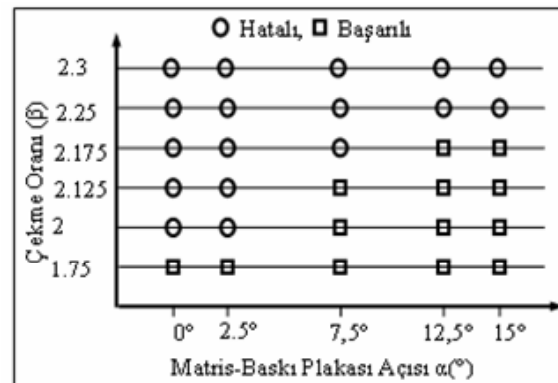
$R=8$ mm için $\alpha=0^\circ$ de baskı plakası kullanılmadan DKP 37 sacının çekme oranı 1.75, zimba kuvveti 23260 N, BPK 10362 N, kalıp açısı 2.5° de limit çekme oranı değişmemiş (1.75), BPK 3108.6 N, zimba kuvveti 32680 N., $\alpha=7.5^\circ$ de çekme oranı $2.125'$ e yükselmiş, BPK 2072.4 N, zimba kuvveti 36120 N olmuştur. Kalıp açısı 12.5° için çekme oranı gene artmış 2.175, BPK 4144.8 N ve zimba kuvveti de 36890 N olmuştur. Kalıp açısı 15° de çekme oranı değişmemiş 2.175, gerekli olan BPK 3108.6 N ve zimba kuvveti de 36920 N olarak tespit edilmiştir. $\alpha=12.5^\circ$ de optimum BPK 4144.8 N iken 15° lik kalıpta optimum BPK 3108.6 N'a düşmüştür. 15° lik kalıp açısının da çekme oranı $2.25'$ e çıkarıldığında ise iş parçasında ondülasyonlar ve yırtılmalar meydana gelmiştir (Şekil 4).

Şekil 7'de $R=8$ mm için elde edilen deney numuneleri görülmektedir. $R=8$ mm için optimum çekme oranı, $\alpha=12.5^\circ$ de $\beta=2.175$ olarak elde edilmiştir. Kalıp açısı arttıkça çekme oranının arttığı görülmüştür. Şekil 8'de $R=8$ mm için yapılan deneylerin başarılı ve hatalı sonuçlarını gösteren grafik verilmiştir.

Kalıp ve zimba radyüsü $R=6$ mm için $\alpha=0^\circ$ de baskı plakası kullanılmadan çekme oranı 1.8, zimba kuvveti 24950 N., kalıp açısı 2.5° de limit çekme oranı artarak 1.9, zimba kuvveti 31352 N, BPK 3108.6 N., kalıp açısı 7.5° verildiğinde limit çekme oranı $2.1'$ e yükselmiş, zimba kuvveti 35590 N, BPK 3108.6 N olmuş, kalıp açısı 12.5° de elde edilen çekme oranı değişmemiş 2.1 olarak tespit edilmiş, zimba kuvveti 35610 N ve BPK 2072.4 N' düşmüştür. Kalıp açısı 15° için elde edilen çekme oranı gene değişmemiş,



Şekil 7. $R=8$ mm için kalıp açısı değişimine bağlı numuneler (Specimens connecting to α for $R=8$ mm)



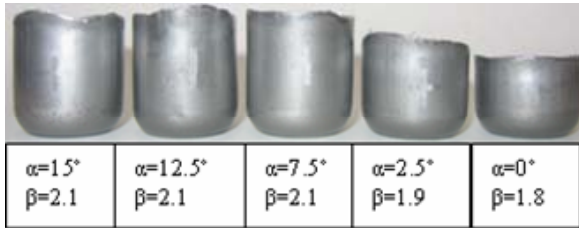
Şekil 8. $R=8$ mm için α ile β arasındaki ilişkide hata dağılımı (The failure distribution in relationship between α and β for $R=8$ mm)

zımba kuvveti 35610 N ve BPK de 2072.4 N olarak tespit edilmiştir.

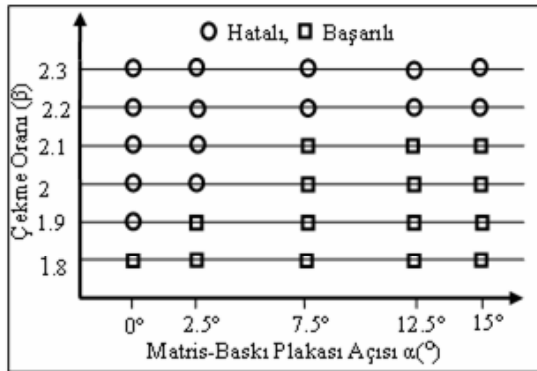
Şekil 9'da $R=6$ mm için kalıp açısı değişimine bağlı olarak elde edilen deney numuneleri verilmiştir. Kalıp açısı $\alpha=7.5^\circ$ 'ye kadar artırıldığında çekme oranı artmakta ve $\alpha=7.5^\circ$ 'den sonra sabit kalmaktadır. Bu da $R=6$ mm olan kalıpta en büyük çekme oranının $\alpha=7.5^\circ$ 'de 2.1 olduğunu göstermektedir. Şekil 10'da $R=6$ mm için yapılan deneylerin başarılı ve hatalı sonuçlarını gösteren grafik verilmiştir.

Kalıp ve zımba radyüsü $R=4$ mm için $\alpha=0^\circ$ 'de çekme oranı 1.8, zımba kuvveti 21582 N., $\alpha=2.5^\circ$ verildiğinde çekme oranı değişmemiş 1.8, zımba kuvveti 30410 N ve BPK 3108,6 N olmuştur. Kalıp açısı 7.5° de limit çekme oranı 1.9'a yükselmiş, zımba kuvveti 35610 N ve BPK 3108,6 N olmuştur. Kalıp açısı 12.5° de çekme oranı gene değişmemiş 1.9, zımba kuvveti 35610 N ve BPK 2072.4 N olmuştur. Kalıp açısı 15° 'de çekme oranı gene değişmemiş (1.9), zımba kuvveti 35610 N ve BPK 2072.4 N olarak tespit edilmiştir. Bu da $\alpha=12.5^\circ$ lik kalıpta daha az bir BPK gerektiğini ortaya koymuştur. Şekil 11'de $R=4$ mm için, kalıp açısı değişimine bağlı olarak elde edilen deney numuneleri verilmiştir.

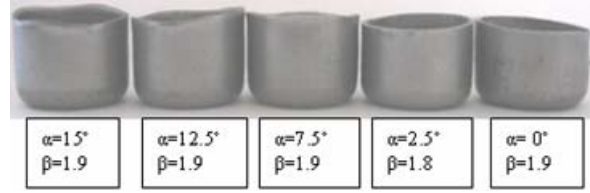
Kalıp açısı $\alpha=0^\circ-2.5^\circ$ arasında iken çekme oranı sabit, 7.5° 'ye kadar artırıldığında ise 1.9 olarak elde edilmiştir. $\alpha=7.5^\circ$ 'deki BPK 3108,6 N'dan 2072.4 N'a düşmüş ve $\alpha=7.5^\circ$ 'den sonra çekme oranında bir düşme meydana gelmiştir. $R=4$ mm için kalıp açısı değişimine bağlı olarak en ideal çekme oranı $\alpha=7.5^\circ$ 'de 1.9 olarak elde edilmiştir. Şekil 12'de $R=4$



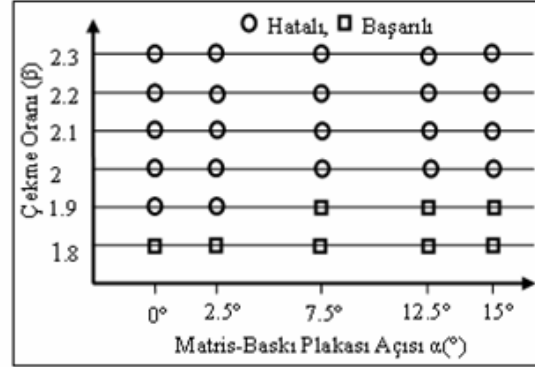
Şekil 9. $R=6$ mm için kalıp açısı değişimine bağlı numuneler (Specimens connecting to α for $R=6$ mm)



Şekil 10. $R=6$ mm için α ile β arasındaki ilişkide hata dağılımı (The failure distribution in relationship between α and β for $R=6$ mm)



Şekil 11. $R=4$ mm için kalıp açısı değişimine bağlı numuneler (Specimens connecting to α for $R=4$ mm)

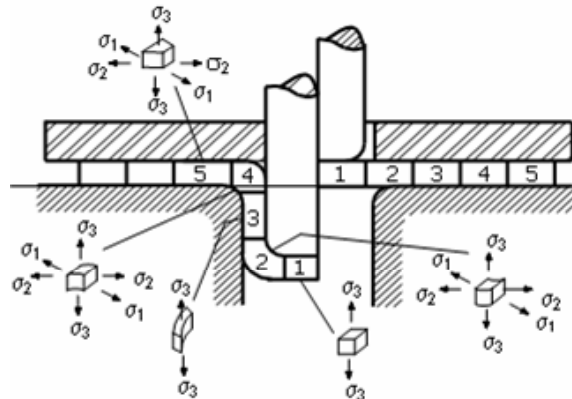


Şekil 12. $R=4$ mm için α ile β arasındaki ilişkide hata dağılımı (The failure distribution in relationship between α and β for $R=10$ mm)

mm için yapılan deneylerin başarılı ve hatalı sonuçlarını gösteren grafik verilmiştir.

4. DERİN ÇEKME PARAMETRELERİNİN ET KALINLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ (THE EFFECT OF DEEP DRAWING PARAMETERS ON WALL THICKNESS)

Derin çekme işlemleri sırasında iş parçası üzerinde çeşitli gerilmeler meydana gelmektedir (Şekil 13). Bu gerilmelerin etkisi ile iş parçasının et kalınlığı değişmektedir. Kalıp açısı, BPK ve β gibi parametrelerin et kalınlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. İş parçasının taban kısmında et kalınlığı değişmemekte, zımba radyüsü ve bu bölgeye yakın kısımlarda incelme olmakta, iş parçası duvarının üst kısmında ise kalınlaşma meydana gelmektedir. Derin çekme ile imal edilmiş parçaların et kalınlıklarının eşit olması önemlidir. Et kalınlıklarının eşit olmasını



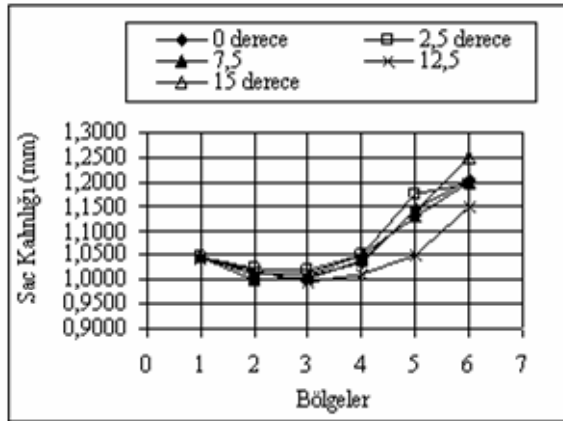
Şekil 13. Derin çekme esnasında meydana gelen gerilmeler [18] (The stresses which was occurred during deep drawing process)

sağlamak için derin çekme ile üretilen parçalara incelterek çekme işlemi yapılmaktadır. Bu da ayrı bir imalat maliyetine neden olmaktadır. Bu nedenle, et kalınlığı değişiminin belli bir oranda tutulması gerekir.

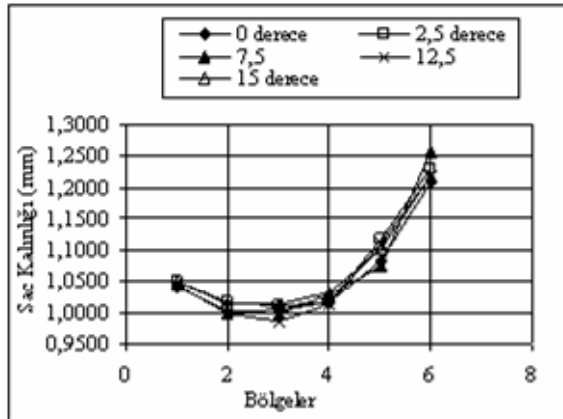
Şekil 14'de 1036.2 N, Şekil 15'de 3108.6 N, Şekil 16'da 4144.8 N ve Şekil 17'de 10362 N'luk BPK uygulandığında kalıp açısı değişimine göre et kalınlıklarının değişimi verilmiştir.

1036.2 N ve 3108 N BPK de, 1. bölgede et kalınlıkları aynı, 2. ve 3. bölgede kalıp açısındaki artışla birlikte et kalınlığında incelenin artışı görülmüştür. 4. bölgede 12.5° lik kalıp açısı hariç diğer kalıp açılarında et kalınlığı sacın ilk kalınlığına yakın değerdedir. 5. ve 6. bölgelerde ise yığılan malzemenin etkisiyle et kalınlığı artmıştır. 4144.8 N'luk BPK' de 1., 2., 3. ve 4. bölgelerde et kalınlıkları birbirlerine yakın, 5. ve 6. bölgelerde et kalınlıklarının ise arttığı görülmüştür.

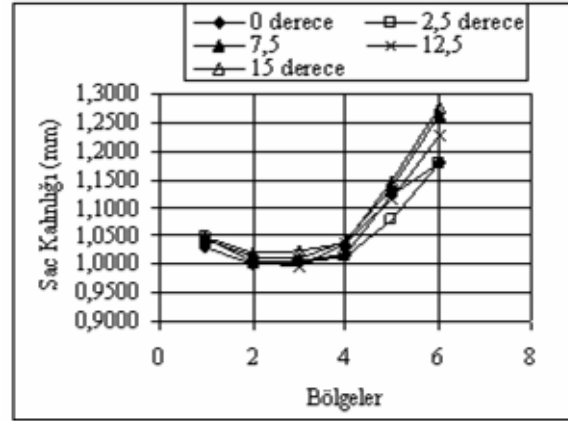
10362 N'luk BPK uygulandığında kalıp açısı değişimi ile et kalınlığı değişim oranları oldukça farklıdır. BPK



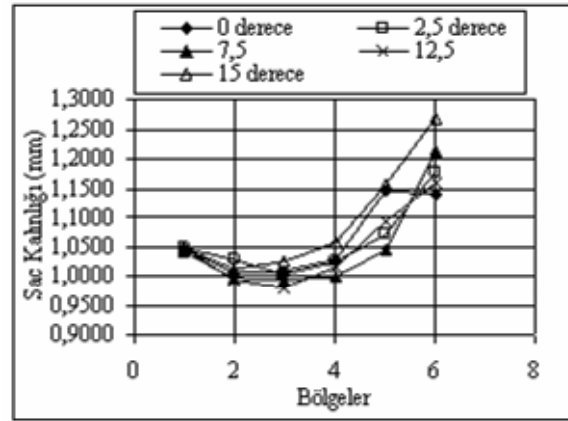
Şekil 14. F=1036.2 N'luk BPK uygulandığında et kalınlığı değişimleri (Wall thickness connecting to zones for F=1036.2 N)



Şekil 15. F=3108.6 N'luk BPK uygulandığında et kalınlığı değişimleri (Wall thickness connecting to zones for F=3108.6 N)



Şekil 16. F=4144.8 N'luk BPK uygulandığında et kalınlığı ile değişimleri (Wall thickness connecting to zones for F=4144.8 N)

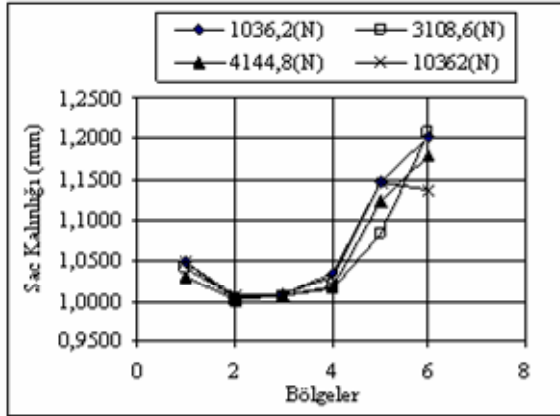


Şekil 17. F=10362 N'luk BPK uygulandığında et kalınlığı değişimleri (Wall thickness connecting to zones for F=10362 N)

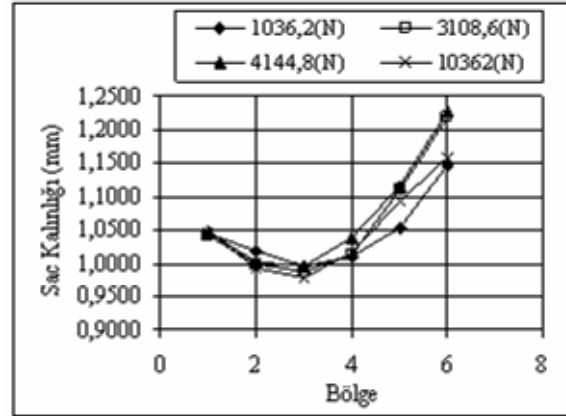
büyük olması et kalınlığı değişiminde büyük farklılıkların meydana gelmesine neden olmuştur. Bütün numuneler incelendiğinde, en ince et kalınlığının $\alpha=12.5^\circ$ de 10362 N'luk BPK uygulandığında olduğu görülmüştür. Bütün kalıp açısı değerleri için kalınlık değişimi birbirine yakındır.

Şekil 18'de $\alpha=0^\circ$, Şekil 19'da $\alpha=2.5^\circ$, Şekil 20'de, $\alpha=7.5^\circ$, Şekil 21'de, $\alpha=12.5^\circ$ ve Şekil 22'de $\alpha=15^\circ$ için et kalınlığı değişimleri verilmiştir. $\alpha=0^\circ$ için 1. bölgede et kalınlığının çok fazla değişmediği görülmüştür. 2. bölgede et kalınlığı azalmış, 3. ve 4. bölgelerde 2. bölgeye göre kalınlık artmıştır. BPK değerleri için ilk dört bölgede kalınlık değişimi birbirlerine yakındır. 5. ve 6. bölgelerde ise 10362 N'luk BPK değerinde et kalınlığının fazla değişmediği görülmüştür. $\alpha=2.5^\circ$ için 1. bölgede et kalınlığı fazla değişmemiş, 2. bölgede incelenmiştir. 3. bölgede 2. bölgeden daha fazla bir incelenme meydana gelmiş, 4. bölgede bu incelenme devam etmiş fakat 2. ve 3. bölgelerdekiler kadar değildir. 5. ve 6. bölgelerde ise kalınlaşma meydana gelmiştir.

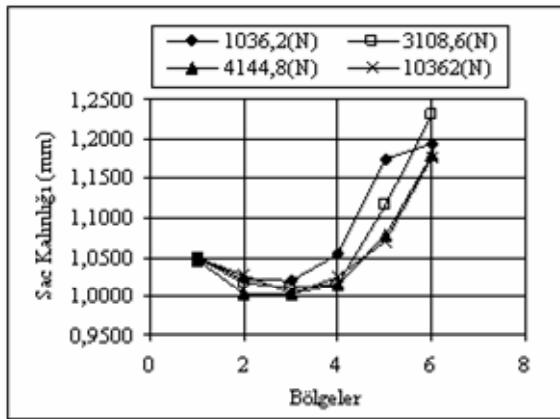
$\alpha=7.5^\circ$ için 1. bölgede et kalınlığı fazla değişmemiş, 2. ve 3. bölgelerde incelenmiştir, 4. 5. ve 6. bölgelerde yığılmadan dolayı et kalınlığı artmıştır.



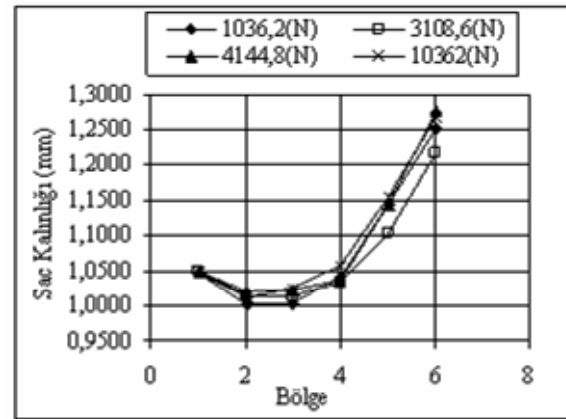
Şekil 18. $\alpha = 0^\circ$ için BPK değişiminin et kalınlığı değişimleri (Wall thickness connecting to zones for $\alpha = 0^\circ$)



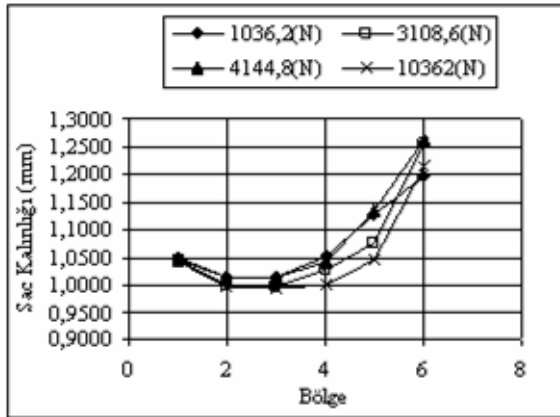
Şekil 21. $\alpha = 12.5^\circ$ için BPK değişiminin et kalınlığı değişimleri (Wall thickness connecting to zones for $\alpha = 12.5^\circ$)



Şekil 19. $\alpha = 2.5^\circ$ için BPK değişiminin et kalınlığı değişimleri (Wall thickness connecting to zones for $\alpha = 2.5^\circ$)



Şekil 22. $\alpha = 15^\circ$ için BPK değişiminin et kalınlığı değişimleri (Wall thickness connecting to zones for $\alpha = 15^\circ$)



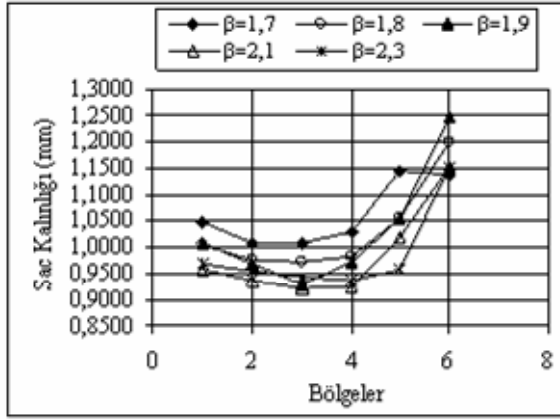
Şekil 20. $\alpha = 7.5^\circ$ için BPK değişiminin et kalınlığı değişimleri (Wall thickness connecting to zones for $\alpha = 7.5^\circ$)

10362 N'luk BPK uygulandığında 5. bölgede incelme meydana gelmiş ve bu incelme 0.0076 mm olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi bu değer ihmal edilebilecek kadar küçüktür. $\alpha = 12.5^\circ$ ve $\alpha = 15^\circ$ de 1., 2., 3. ve 4. bölgelerdeki et kalınlıkları birbirlerine yakın, 5. ve 6. bölgelerde et kalınlığı artmıştır.

Bütün grafikler karşılaştırıldığında, iş parçası tabanında, özelliklede merkezde (1. bölge ve 2.

bölgeye yakın) fazla bir değişimin olmadığı görülmüştür. 2. ve 3. bölgede parça incelmiş, 3. bölgedeki et kalınlıkları 4. bölgedekine oldukça yakındır. 4. bölgede et kalınlığı 3. bölgeye göre fazla olmakla birlikte et kalınlığı, ilk kalınlığa göre azalmıştır. 5. ve 6. bölgelerde ise yığılmadan dolayı et kalınlıkları artmıştır. $\alpha = 12.5^\circ$ 'de 10362 N'luk BPK uygulandığında maksimum incelme meydana gelmiştir. İş parçası 0,0786 mm incelenerek 4. bölgedeki et kalınlığı 0,9214 mm'ye düşmüştür.

Şekil 23'de optimum çekme oranlarındaki et kalınlığı değişimleri verilmiştir. Çekme oranı arttıkça et kalınlığındaki incelme miktarı artmıştır. Bunun nedeni, çekme oranının artmasıyla sacı deformasyona uğratabilecek zımba kuvvetinin de artmış olmasıdır. Zımba kuvvetinin artmasıyla iş parçasında daha büyük gerilmeler oluşmaktadır. Bu da iş parçası et kalınlığının büyük oranda incelmeye yol açmıştır. $\alpha = 12.5^\circ$, $\beta = 2.1^\circ$ 'de 4144.8 N'luk BPK uygulandığında iş parçası maksimum 0.11291 mm incelenerek et kalınlığı 0,8709 mm'ye düşmüştür. $\beta = 2.1^\circ$ ve $\beta = 2.3^\circ$ 'de 1. bölgede et kalınlığı 0.8767 mm'ye düşmüştür. $\beta = 2.3^\circ$ 'de ise et kalınlığı 0.8744 mm olarak elde edilmiştir. 2., 3. ve 4. bölgelerde 1. bölgeye göre et kalınlığının daha da azaldığı, 5. bölgede sacın ilk



Şekil 23. Derin çekme kalıplarında, optimum çekme oranlarında et kalınlığı değişimi (Wall thickness connecting to zones for optimal DDR in deep drawing dies)

kalınlığına yakın bir değerde incelendiği, 6. bölgede de gene et kalınlığının arttığı tespit edilmiştir.

Açılı kalıplarda çekme oranı sabit tutulduğunda üretilen parçaların et kalınlıklarının çok fazla değişmediği, ancak BPK'nin artması ile et kalınlığında incelenin meydana geldiği tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Yapılan bu çalışmada, açılı kalıplama metoduyla DKP 37 sacının çekme oranı 1.8'den 2.3'e çıkarılmıştır. Sacın ilkel çapı ile zimba çapı arasındaki oran büyüdükçe derin çekme sırasında oluşan gerilmeler de büyümektedir. Bu nedenle kalıp açısı ve BPK bağlı olarak et kalınlığı değişiminin arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Kalıp ve zimba radyüsü ile kalıp açısı arttıkça çekme oranı artmaktadır. DKP 37 sacının derin çekilmesinde klasik yöntemle ($\alpha=0^\circ$, $R=0$) elde edilmiş numunelerin çekme oranı 1.8 iken, bu çalışmada matris ve zimbaya radyüs verilerek çekme oranı 2.3'e kadar çıkartılmıştır.
2. $R=10$ mm için en yüksek çekme oranı $\beta=2.3$, $R=8$ mm için bu oran $\beta=2.175$ 'e düşmüştür. $R=6$ mm için $\beta=2.1$ ve $R=4$ mm için de $\beta=1.9$ olarak elde edilmiştir.
3. Çekme oranı sabit tutulduğunda açılı kalıplarda üretilen parçaların et kalınlıklarının çok fazla değişmediği, birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.
4. Baskı plakası kuvveti sabit tutulduğunda kalıp açısı'na bağlı olarak en ince et kalınlığı $\alpha=12.5^\circ$ de 10362 N'luk BPK'de elde edilmiştir. Kalıp açısı arttıkça et kalınlığı azalmıştır.
5. Kalıp ve zimba radyüsü arttıkça çekme oranı artmış, buna bağlı olarak et kalınlığı azalmıştır. Bu nedenle kalıp ve zimba radyüsü arttıkça et kalınlığının azaldığı görülmüştür.
6. BPK'ne bağlı olarak et kalınlığının büyük oranda α , β ve R 'nin artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir.

SEMBOLLER LİSTESİ (NOMENCLATURE)

β	: Çekme oranı
α	: Matris-baskı plakası yüzey açısı, ($^\circ$)
R	: Matris-baskı plakası ve Zimba köşe radyüsü, (mm)
D_i	: İlkel pul çapı, (mm)
d_z	: Zimba çapı, (mm)
t_s	: Sac kalınlığı, (mm)
h_k	: Çekilen kabın yüksekliği, (mm)
D_{max}	: En büyük sac çapı (ilkel çap), (mm)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gotoh, M., "Studies of stretch-drawing process of metals" Journal of Material Processing Technology, Vol. 63, No: 1-3, pp: 123-128., 1997.
2. Colgan, M. and Monaghan, J., "Deep drawing process: analysis and experiment" Journal of Material Processing Technology, Vol. 132, No: 1-3, pp: 35-41., 2003.
3. Dejmali, I., "On the optimal die curvatures in deep drawing processes" International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 44, No: 6, pp: 1245-1258., 2002.
4. Dong, H.P., "Study on punch load non-axisymmetric deep drawing product according to blank shape" Journal of Material Processing Technology, Volumes. 130-131, pp: 89-94., 2002.
5. Kampus, Z. and Balic, J., "Deep drawing of tailored blanks without a blank holder" Journal of Material Processing Technology, Vol. 133, No: 1-2, pp: 128-133., 2003.
6. Marumo, Y., "Effect of lap sheets on deep drawing of metallic foil cups" Journal of Material Processing Technology, Vol. 119, No:1-3, pp: 48-51., 2001.
7. Sato, E., "Effect of multi-axial loading path on limiting drawing ratio" Journal of Material Processing Technology, Vol. 63, No:1-3, pp: 60-65., 1997.
8. Zhang, G.S., "Effect of anisotropy and prebulging on hydromechanical deep drawing of mild steel cups" Journal of Material Processing Technology, Vol. 142, No:2, pp: 544-550., 2003.
9. Zhang, X.M., "Texture evolution during deep drawing of copper sheet" Scripta Material, Vol. 36, No: 9, pp: 1023-1029., 1997.
10. Mellor, P.B. and El-sebai, M.G., "Plastic instability conditions in deep drawing of a circular blank of sheet metal" Mechanical Sciences, pp: 535-558., 1972.
11. Wilson, R.D. and Hsu, T.C., "Refined models for hydrodynamic lubrication in axisymmetric stretch forming" Journal of Tribology, Vol. 116, pp:101-109., 1994.
12. Daniel, D., "Texture included by tension & deep drawing in low carbon & extra low carbon steel sheets" Acta Metallurgica et Materialia, Vol. 41, pp:1905-1920., 1993.

13. Woo, D.M., “On complete solution of the deep drawing problem” Mechanical Sciences, pp: 83-94., 1967.
14. Woo D.M., “Analysis of the cup drawing Process” Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 6, 1964.
15. Savaş, V. and Seçgin, Ö., “A new type of deep drawing die design and experimental results” Materials and Design, Vol. 28, No:4, pp:1330-1333, 2007.
16. Gavas, M. and İzçiler, M., “Effect of blank holder gap on deep drawing of square cups” Materials Design, Vol. 28, No: 5, pp: 1641-1646., 2007.
17. 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, pp: 555-561. 2003.
18. Güneş, T., “Pres işleri tekniği” Makine mühendisleri odası yayın no:307, cilt II, 2002.