



ALÜMİNYUM KARE KABIN DERİN ÇEKİLMESİNDE TASLAK MALZEME ŞEKİLLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

M. GAVAS* & İ. KÜÇÜKRENDECI**

Özet

Bu çalışmada, anizotropik alüminyum sactan hazırlanan değişik taslak malzeme şekilleri kare kap biçiminde derin çekilerek incelenmiştir. Çekilen tüm parçalarda herhangi bir yırtılma/kopma meydana gelmemiş yani kullanılabilir durumda elde edilmişlerdir. Optimum taslak malzeme biçimleri ile çekilen kaplarda hurda malzeme miktarı ve buna bağlı olarak maliyetler azalmakta ancak, hafif buruşmalar meydana gelmekte ve bu nedenle de yüzey kalitesi bozulmaktadır. Diğer taslak malzeme şekillerinden elde edilen kaplarda ise, kulaklanma/dalgalanma oldukça fazla olduğundan hurda malzeme miktarı ve buna bağlı olarak maliyetler artmakta fakat özellikle köşelerdeki yüzey kalitesi daha iyi elde edilmektedir.

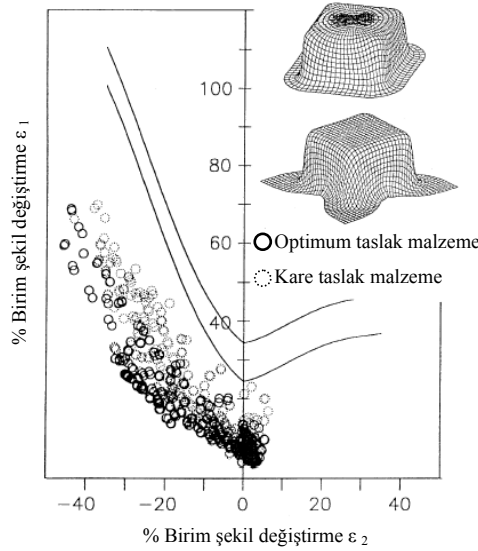
1. GİRİŞ

Yüksek kalitedeki şekillendirilmiş sac parçaların kısa zamanda ve düşük maliyetle üretilmesi, imalat sektörünün başlıca hedefi olmuştur. Bu hedefe ulaşmak için, tasarım ve üretimin her kademesinde sürekli ilerlemeler kaydedilmektedir [1].

Sac metalleri şekillendirme işlemlerinin tasarımı; kalıp geometrisi, taslak malzeme şekli, sac malzeme kalınlığı, baskı plakası basıncı, sürtünme, yağlama v.b. birçok işlem parametrelerinin değerlendirilmesine bağlıdır. Bu işlem parametrelerinin en önemlilerinden bir tanesi optimum taslak malzeme tasarımı olup üretilen parçanın kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Çünkü, derin çekme yöntemiyle şekillendirilen parçalarda malzemenin çekilebilirliği, taslak malzemenin biçimi tarafından etkilenir. Aynı kalınlığa ve aynı alana sahip optimum ve kare şekilli iki taslak malzemenin şekillendirilebilirlikleri incelendiğinde, optimum şekilli taslak malzemenin şekillendirilebilirliğinin diğerine nazaran bir hayli artmış olduğu şekil 1’ de görülmektedir [2].

Optimum taslak malzeme tasarımı, sac metal şekillendirme işlemleri ile uğraşan araştırmacılar için ilgi çekici bir konudur [3]. Bu konuda bir çok çalışmalar

yapılmıştır. Jimma [4], Hazek ve Lange [5] ve Karima [6], kayma çizgisi metodu (Slip-line method) ile taslak malzeme biçimi geliştirmişlerdir. Vogel ve Lee [7] ve Chen ve Sowerby [8], taslak malzemenin biçimi konusunda düzlemsel gerilme karakteristiklerini kullanmalarına karşın Duncan ve arkadaşları [9], ve Blount ve Stevens [10],



Şekil 1. Optimum Taslak Malzeme Şeklinin Malzemenin Şekillendirilebilirliğini Artırması.

geometrik eşleştirme metodunu kullanmışlardır. Mojlessi ve Lee [11-13], Levy ve arkadaşlarının [14] taslak malzeme tasarımı ve şekillendirilmiş parçalardaki gerilme dağılımının tahmini ile ilgili deformasyon teorisini geliştirerek eksenel simetrik parçalara ve eş eksenli çok kademeli problemlere uygulayarak iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Guo ve Batoz [15-18], taslak malzeme biçimi ve şekillendirilmiş parçalarda kalınlık dağılımı ile ilgili olan problemlerini çözmek için ters metot (Inverse method) formülasyonunu geliştirmişlerdir. Chung ve Richmond [19-22], taslak malzemenin ve ara biçimlendirme uygulanmış parçaların tasarımı konusunda optimum deformasyon ile ideal şekillendirme teorisini (Ideal forming theory) önermişlerdir. Optimum taslak malzeme biçimlerinin belirlenmesinde tecrübelerden ve bilgisayar yardımıyla yapılan sayısal analizlerden yararlanılmaktadır.

Optimum taslak malzeme tasarımı ile ilgili bu metotlar silindirik, kare, dikdörtgen ve gelişigüzel kap şekillerinin derin çekme yöntemleriyle üretilmesinde başarı ile kullanılmaktadır. Ancak bu metotların uygulama alanları basit şekilli ve çekme derinliği az olan parçalar ile sınırlıdır [23].

Derin çekme işlemlerinde optimum taslak malzeme kullanılması sadece malzeme tasarrufuna ve maliyetlerin düşürülmesine sebep olmaz, aynı zamanda biçim hatası buruşma, yırtılma gibi kusurların oluşumlarını da azaltır. Ancak; malzeme deformasyon davranışlarının karmaşıklığı nedeniyle optimum taslak malzeme şekli belirleyip tıraşlama (düzeltme) işlemi gerektirmeyen parça üretmek kolay değildir. Optimum taslak malzeme şekli belirlense bile, kesim ve yerleştirme hataları söz konusu kabın üretimini zorlaştırır [24]. Özellikle az sayıdaki üretim periyodu dikkate alındığında, daha kısa zamanda ve daha kolay hazırlanabilen diğer taslak malzeme biçimleri de kullanılmaktadır.

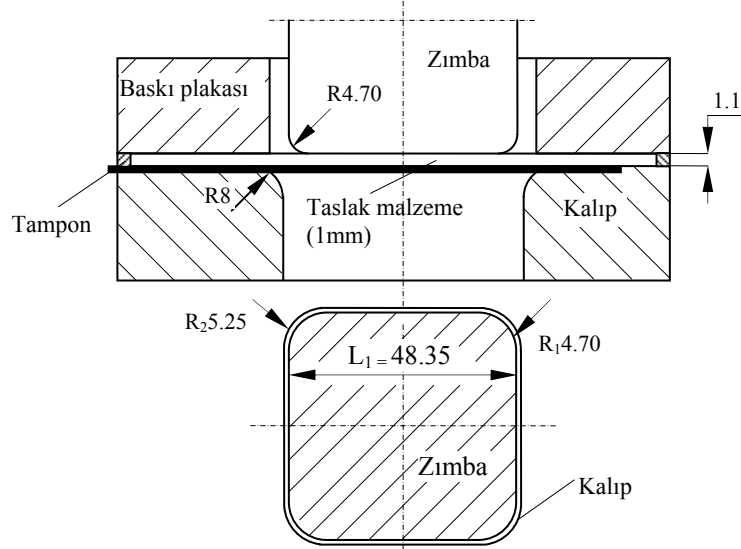
Bu çalışmada, kare kabın derin çekme yöntemiyle üretilmesinde kullanılan ve deneme-yanılma metodu ile elde edilen optimum taslak malzeme biçiminin yanı sıra, pratikte en çok kullanılan taslak malzeme biçimlerine flanşsız kare derin çekme işlemi uygulanmış, sonuçlar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

2. TASLAK MALZEME ŞEKLİNİN VE BÜYÜKLÜĞÜNÜN DERİN ÇEKME İŞLEMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

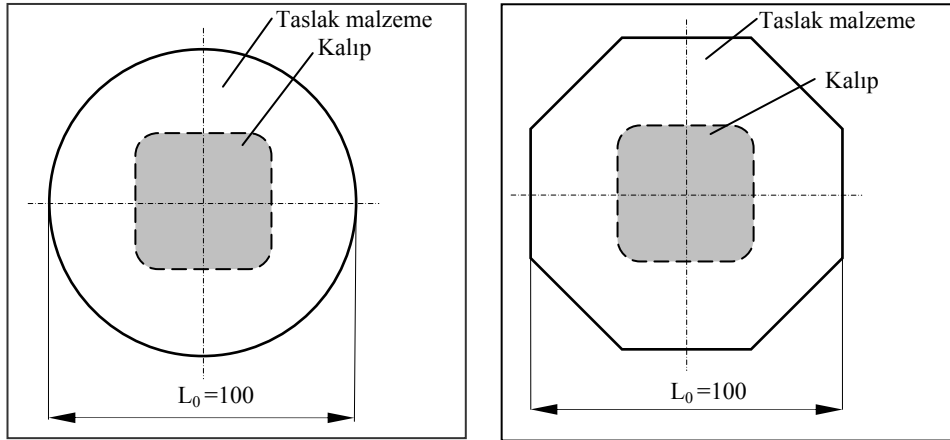
Taslak malzeme şeklinin ve büyüklüğünün derin çekme işlemi üzerinde büyük bir etkisi vardır. Taslak malzeme büyüklüğünün, kritik çapı/büyüklüğü aşması halinde, malzemede oluşan buruşma ve gerilme (stretching) nedeniyle zımbanın altında tam bir akma meydana gelmez. Kalıp boğazında aşırı bir incelme (boyun verme) meydana gelir ve malzeme genelde kare kaplarda değişik şekillerde kopması sonucu, çekme işlemi başarısızlıkla sonuçlanır [25]. Diğer taraftan; eğer taslak malzeme çok küçük olursa buruşma oluşabilir. Pratik uygulamalarda sac metaldeki kalınlık değişimi sac metalin şekillendirilebilirliğinin bir göstergesidir. Kalınlık miktarındaki artış buruşmaya, azalma ise boyun vermeye yol açabilir. Pratikte, kalınlık artışı ve azalması sac kalınlığının + %15' i ile - %25' i arasında sınırlanır [1].

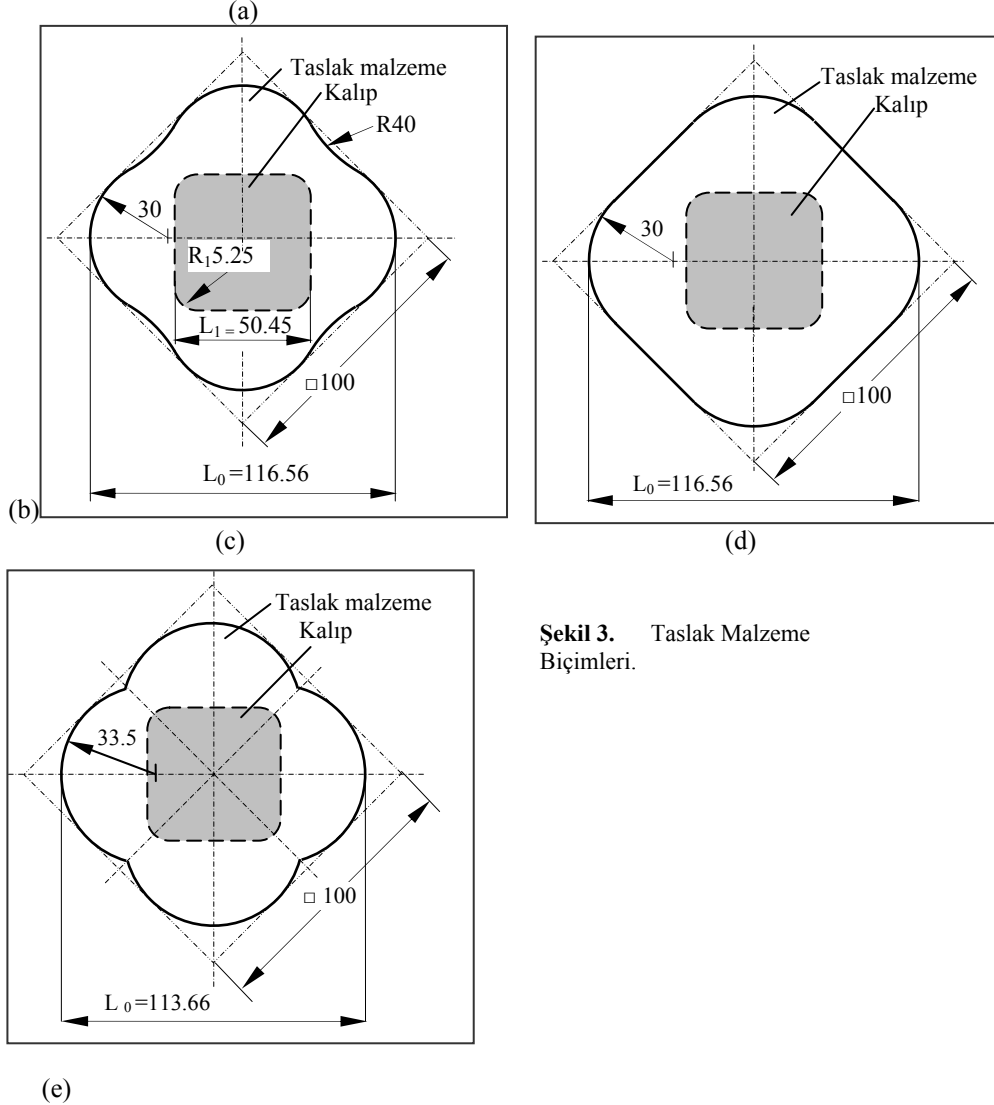
3. DENEY ŞARTLARI

Deneylerde kullanılan alüminyum sacın kimyasal kompozisyonu çizelge 1'de, takım bilgileri ve malzemenin mekanik özellikleri çizelge 2'de, takım geometrisi şekil 2'de ve taslak malzeme biçimleri ise şekil 3'te görülmektedir. Deneyler 80 tonluk hidrolik preste gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Deneşlerde kullanılan takım geometrisi.





Şekil 3. Taslak Malzeme Biçimleri.

(e) Deneilerde, kalıp yüzeyi ile baskı plakası yüzeyi arasındaki mesafeyi kontrol etmek için baskı plakası kuvveti yerine baskı plakası ile kalıp arasındaki sabit mesafe olarak tanımlanan baskı plakası boşluğu sistemi [26] kullanılmıştır ve bu durum 1.1 mm'lik tamponlarla sağlanmıştır. Şekil 2'de de görüldüğü gibi taslak malzeme kalınlığı 1 mm, boşluk ise 1.1 mm dir. Böylece, başlangıçta baskı plakası kuvveti ihmal edilebilir seviyede tutulmuştur. Bu durum, başlangıçta, malzemenin kalıp boşluğuna doğru akışını kolaylaştırdığından derin çekme işlemlerinde çekme başlangıcı için oldukça elverişlidir. Tek kademeli çekme işlemlerinde baskı plakası boşluğu, malzeme kalınlığının 1.1-1.3'ü kadar olması şartıyla işlem üzerinde

olumlu etkiye sahiptir [26]. Zimba kursunun artması ile baskı plakası kuvveti de artar.

Çizelge 1. Alüminyum Sacın Kimyasal Kompozisyonu (ağırlıkça %)

Si	Mn	Ni	Sn	Al	Fe	Mg
0.010900 0.00089	0.00565	0.00405	0.00500	99.37000	0.47000	
Cr	Ti	Cu	Zn	Pb	Sb	
0.00200	0.01160	0.00156	0.01320	0.00200	0.00300	

Çizelge 2. Deneylerle İlgili Takım Bilgileri ve Malzemenin Mekanik Özellikleri

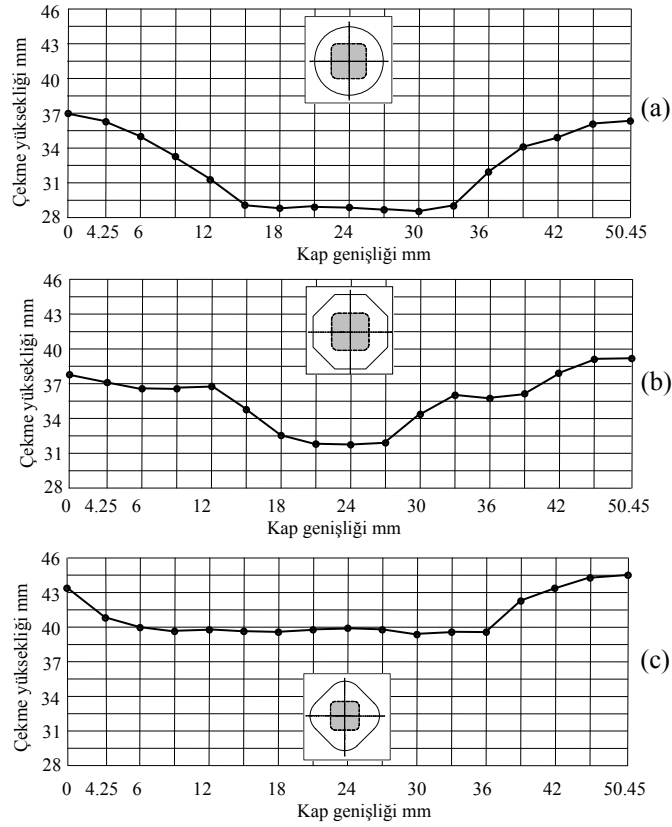
Malzeme	: Alüminyum
Akma gerilmesi	: $\sigma_{a(0.2)} = 98$ MPa
Mak. çekme gerilmesi	: $\sigma_{\varphi} = 142.6$ MPa
Malzeme kalınlığı	: 1 mm
Malzeme sertliği	: 34.4HB
Zimba hızı	: 0.417 m/dk
Baskı plakası boşluğu	: 1.1 mm
Biçim faktörü R_1/L_1	: 0.10
Yağlayıcı madde	: Gres yağı

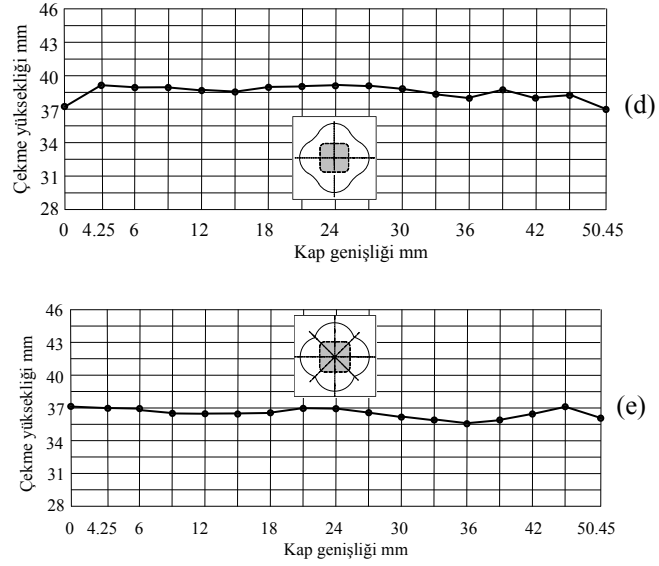
	Şekil 3a	Şekil 3b	Şekil 3c	Şekil 3d	Şekil 3e
Çekme oranı L_0/L_1	1.98	1.98	2.31	2.31	2.25

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

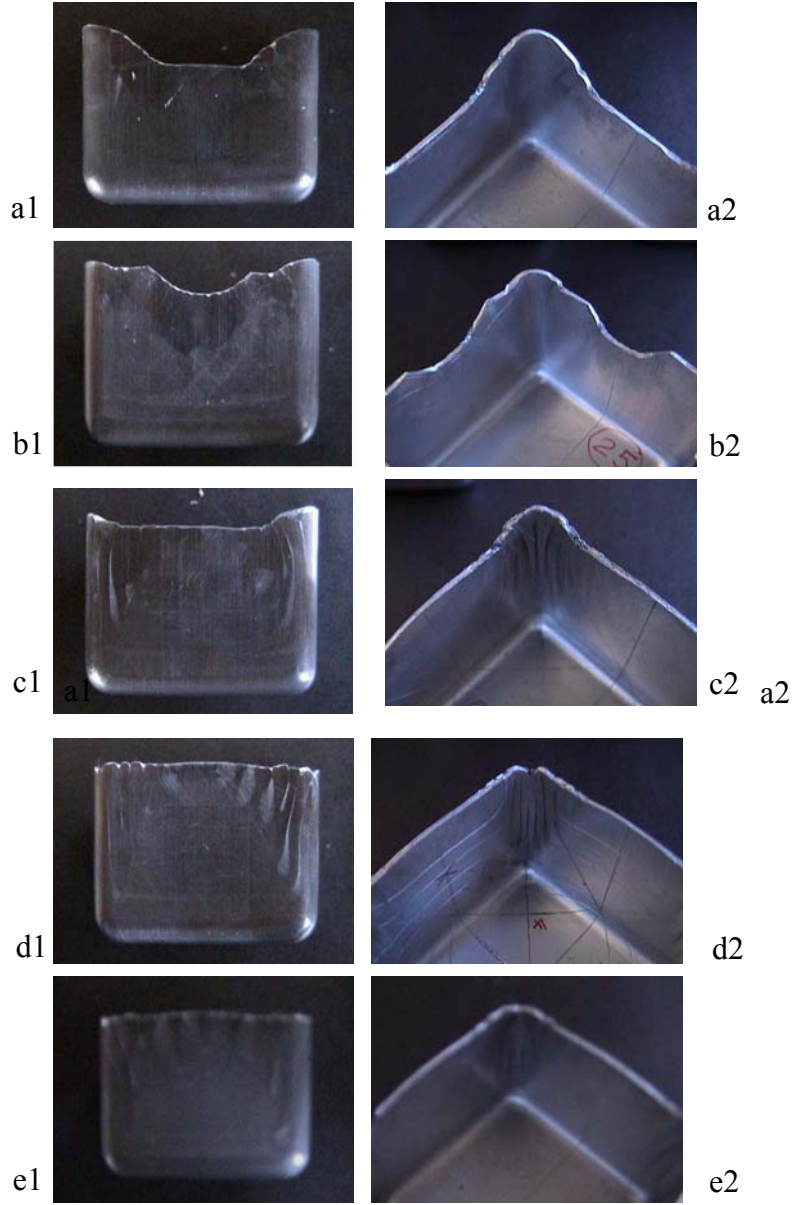
Derin çekme işlemi sonunda elde edilen parçaların maksimum/minimum çekme ve kulaklanma yükseklikleri ile ilgili grafikler şekil 4'te, yan kenar ve köşe fotoğrafları ise şekil 5'te görülmektedir.

Şekil 4a ve 5a₁,a₂ incelendiğinde; kulaklanmanın fazla olduğu, bu nedenle de çekme işleminin sonlarına doğru köşelerdeki malzemenin düz kenarlara doğru yönlendiği ve bu kenarlara doğru buruşma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Köşelerdeki yüzey kalitesi ise oldukça iyidir.





Şekil 4. Çekilen Kaplardaki Çekme Yükseklikleri.



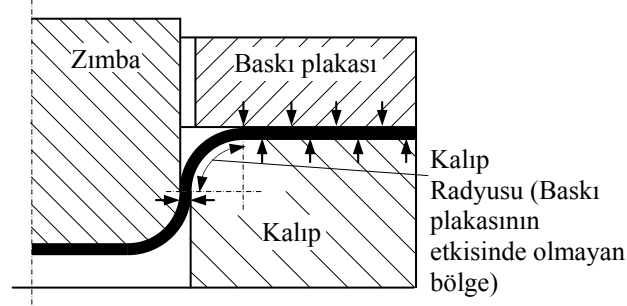
Şekil 5. Derin Çekilen Parçaların Yan Kenar ve Köşe Fotoğrafları.

Şekil 4b ve 5b₁,b₂ incelendiğinde; kulaklanmanın fazla olduğu, köşelerde çok hafif buruşma görüldüğü ve köşelerdeki yüzey kalitesinin iyi olduğu görülmektedir.

Şekil 4c ve 5c₁,c₂ incelendiğinde; kulaklanmanın daha az olduğu, çekme işleminin başlangıcında malzemenin kalıp köşelerine doğru aktığı, çekme işleminin ortalarına doğru malzemenin dengelendiği ve çekme işleminin sonuna doğru ise malzeme akışının köşelerden düz kenar ortalarına doğru yönlendiği ve buruşma izlerinin belirgin olduğu görülmektedir. Köşelerdeki yüzey kalitesi iyi olmadığı gözlenmiştir.

Şekil 4d ile 5d₁,d₂ ve 4e ile 5e₁,e₂ optimum malzeme şekilleri olup her yönden benzerlik göstermektedirler. Çekme işleminin başlangıcında kalıp köşelerine tekabül eden taslak malzeme genişliği minimumdur. Öyle ki; bu mesafe, çekme işleminin sonunda düz kenarlardaki malzeme genişliği ile aynı veya çok yakın ölçüye gelmektedir. Bu demektir ki, çekme işleminin başlangıcından sonuna kadar düz kenarlardan köşelere malzeme akışı devam eder. Yani köşelere sürekli deformasyon halinde olan malzeme yığılır. Bu durum, direncinin artmasına, çekme gerilmesinin yoğunlaşmasına ve sonuç olarak ta çekme işleminin zorlaşmasına sebep olur.

Ayrıca; şekil 6'da da görüldüğü gibi, çekme işlemi esnasında kalıp radyusu boyunca malzeme baskısız kaldığından köşelerde oluşan çevresel basma kuvvetleri malzemenin daha fazla buruşmasına ve kalınlaşmasına sebep olur, hatta bu buruşmalar katlanma derecesine varır ve zimba ile kalıp arasındaki boşluk ölçüsüne göre şekillenir. Düz kenarlarda dalgalanma (kulaklanma) minimum seviyede olmasına rağmen köşelerdeki kulaklanma ve buruşma izleri biraz daha fazla olup yüzey kalitesi de iyi değildir. Yukarıda incelenen taslak malzeme biçimlerinin derin çekildikten sonraki özellikleri çizelge 3'te verilmiştir.

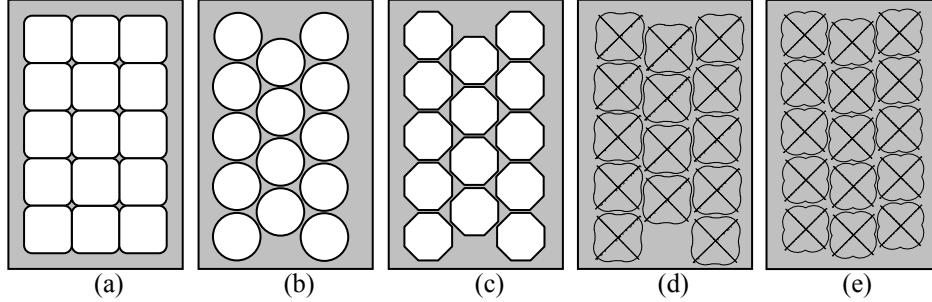


Şekil 6. Derin Çekme İşlemi Esnasında Sac Malzemenin Kalıp Radyusu Boyunca Baskısız Kalması.

Çekilen parçaların incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, deneylerde kullanılan taslak malzeme biçimleri herhangi bir kopmaya (kırılmaya) maruz kalmamışlar, yani kullanılabilir durumda elde edilmişlerdir. Bu taslak malzemeler şekil 7’de görüldüğü gibi çeşitli alternatifler değerlendirilerek en az kesim hurdası verecek şekilde kalıpta veya diğer yöntemlerle kesilebilir. Kesim işlemlerinde kesme kalıplarının kullanılmasının maliyetleri artıracığı dikkate alınmalıdır.

Çizelge 3. Taslak Malzeme Biçimlerinin Derin Çekildikten Sonraki Özellikleri, (mm).

Taslak malzeme biçimi	Maksimum çekme yüksekliği (ortalama, mm)	Minimum çekme yüksekliği (ortalama, mm)	Kulaklanma yüksekliği (ortalama, mm)	Köşelerdeki buruşma	Köşe yüzey kalitesi
	36.68	28.60	8.08	Yok	İyi
	38.40	30.98	7.42	Hafif Buruşma	İyi
	42.44	38.64	3.8	Belirgin buruşma	Orta
	38.45	36.48	1.97	Daha belirgin buruşma	Orta
	37.69	35.95		Daha belirgin buruşma	Orta



Şekil 7. Deneysel olarak kullanılan taslak malzeme şekillerini sac levhadan kesme-
Yerleştirme Planları.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, anizotropik alüminyum sactan beş değişik taslak malzeme biçimi kare şeklinde derin çekilerek incelenmiştir. Kare derin çekmede genel olarak köşelerde bir miktar kulaklanmayı netice veren dairesel taslak malzeme kullanılmaktadır. Optimum biçimli taslak malzemeler en az kulaklanma ve üst kenar dalgalanması oluşturması, hurda malzeme miktarını azaltarak maliyetleri düşürmesi ve şekillendirilebilirliği artırması gibi nedenlerden dolayı tercih edilir. Buna karşın yüzey kalitesi çok iyi değildir. Ayrıca; optimum taslak malzeme biçiminin elde edilmesi için bilgisayar yardımıyla yapılan simülasyonlara ve simülasyonlarda kullanılmak üzere deneysel olarak elde edilen malzemenin karakteristik özelliklerinin bilinmesine, özellikle kompleks şekilli kapların taslak malzemelerinin hazırlanması için maliyeti oldukça yüksek olan kesme kalıplarına ihtiyaç vardır. Bu ise, zaman alıcı ve maliyet artırıcı niteliktedir. Kulaklanmanın/dalgalanmanın daha fazla olduğu diğer şekillerde ise yüzey kalitesi özellikle köşelerde daha iyi, buna karşın hurda malzeme miktarı fazladır. Taslak malzemenin optimum şekilde belirlenip hassas olarak hazırlanmasına rağmen, yerleştirme hataları ve diğer hataların sonucu olarak, elde edilen kabın üst kenarları tam düzgün değildir ve tıraşlama /düzeltme işlemine tabi tutulması gerekir. Ayrıca; bütün bu şartlar değerlendirilirken üretim miktarı da önemli bir etken olarak dikkate alınmalı, taslak malzeme şekline bu değerlendirmeler sonunda karar verilmelidir.

KAYNAKÇA

- [1] Y.Q. Guo, J.L. Batoz, H. Naceur, S. Bouabdallah, S. Mercier and O. Barlet, *Recent developments on the analysis and optimum design of sheet metal forming parts using a simplified inverse approach*, Computers and Structures 78 (2000) 133-148 (Pergamon).
- [2] S.H. Park, J.W. Yoon, D.Y. Yang and Y.H. Kim, *Optimum blank design in sheet metal forming by the deformation path iteration method*, International Journal of Mechanical Sciences 41 (1999) 1217-1232 (Pergamon).
- [3] K. Son and H. Shim, *Optimal blank shape design using the initial velocity of boundary nodes*, Journal of Materials Processing Technology, 134 (2003) 92-98.
- [4] T. Jimma, *Deep drawing convex polygon shell researches on the deep drawing of sheet metal by the slip line theory*, 1st report, Japan Soc. Tech. Plast. 11 (1970) 653.
- [5] V.V. Hazek and K. Lange, *Use of slip line field method in deep drawing of large irregular shaped components*, Proc. 7th NAMRC, 1979, p.65.
- [6] M. Karima, *Blank development and tooling design drawn parts using a modified slip line field based approach*, ASME Trans. J. Eng. Ind. 111 (1989) 345.
- [7] J.H. Vogel and D. Lee, *An analysis method for deep drawing process design*, Int. J. Mech. Sci. 32 (1990) 891.
- [8] X. Chen and R. Sowerby, *The development of ideal blank shapes by the method of plane stress characteristics*, Int. J. Mech. Sci. 34 (1992) 159.
- [9] R. Sowerby, J.L. Duncan and E. Chu, *The modeling of sheet metal stamping*, Int. J. Mech. Sci. 28 (1986) 415.
- [10] G.N. Blount and P.R. Stevens, *Blank shape analysis for heavy gauge metal forming*, J. Mater. Process. Technol. 24 (1990) 65.

- [11] S.A. Majlessi and D. Lee, *Further development of sheet metal forming analysis method*, ASME Trans. J. Eng. Ind. 109 (1987) 330.
- [12] S.A. Majlessi and D. Lee, *Development of multistage sheet metal forming analysis method*, J. Mater. Shaping Technol. 6 (1988) 41.
- [13] S.A. Majlessi and D. Lee, *Deep drawing of square-shaped sheet metal parts, part 1: finite element analysis*, ASME Trans. J. Eng. Ind. 115 (1993) 102.
- [14] S. Levy, C.F. Shinh, J.P.D. Wilkinson, P. Stine and R.C. McWilson, *Analysis of sheet metal forming to axisymmetric shapes*, in: B.A. Niemeier, A.K. Schmeider, J.R. Newby (Eds.), *Formability Topics—Metallic Materials*, ASTM, Toronto, Canada, 1978, p. 238.
- [15] J.L. Batoz, Y.Q. Guo, P. Duroux, and J.M. Detraux, *An efficient algorithm to estimate the large strains in deep drwing*, NUMIFORM '89, Fort Collins, CO, USA, A.A. Balkema, Rotterdam, 1989, p. 383.
- [16] J.L. Batoz, Y.Q. Guo, and J.M. Detraux, *An inverse finite element procedure to estimate the large plastic strain in sheet metal forming*, Proc. 3rd Int. Conf. on Technology of Plasticity 3, 1990, Kyoto, Japan, p. 1403.
- [17] Y.Q. Guo, J.L. Batoz, J.M. Detraux and P. Duroux, *Finite element procedures for strain estimations of sheet metal forming parts*, Int. J. Numer. Methods Eng. 30 (1990) 1385.
- [18] Y.Q. Guo, J.L. Batoz, M.El. Mouatassim, and J.M. Detraux, *On the estimation of thickness strain in thin car panels by the inverse approach*, in: J.L. Chenot, R.D. Wood, O.C. Zienkiewicz (Eds.), NUMIFORM '92, Valbonne, France, A.A. Balkema, Rotterdam, 1992, p. 473.
- [19] K. Chung and O. Richmond, *Ideal forming—I. Homogeneous deformation with minimum plastic work*, Int. J. Mech. Sci. 34 (1992) 575.

- [20] K. Chung and O. Richmond, *Ideal forming—II. Sheet forming with optimum deformation*, Int. J. Mech. Sci. 34 (1992) 617.
- [21] K. Chung and O. Richmond, *Sheet forming process design based on ideal forming theory*, in: J.L. Chenot, R.D. Wood, O.C. Zienkiewicz (Eds.), NUMIFORM '92, Valbonne, France, A.A. Balkema, Rotterdam, 1992, p. 455.
- [22] K. Chung and O. Richmond, *The mechanics of ideal forming*, J. Appl. Mech. 61 (1994) 176.
- [23] S.H. Kim and H. Huh, *Construction of sliding constraint surfaces and initial guess shapes for intermediate steps in multi-step finite element inverse analysis*, Journal of Materials Processing Technology, 130-131 (2002) 482-489.
- [24] H. Shim, K. Son and K. Kim, *Optimum blank shape by sensitivity analysis*, Journal of Materials Processing Technology, 104 (2000) 191-199.
- [25] N. Kishor and D.R. Kumar, *Optimization of initial blank shape to minimize earing in deep drawing using finite element method*, Journal of Materials Processing Technology, 130-131 (2002) 20-30.
- [26] W. Huaibao, X. Weili, L. Zhongqin, Y. Yuying and Z.R. Wang, *Stamping and stamping simulation with a blankholder gap*, Journal of Materials Processing Technology, 120 (2002) 62-67.

EVALUATION OF BLANK SHAPES IN DEEP DRAWING OF ALUMINUM SQUARE CUP

M. GAVAS & İ. KÜÇÜKRENĐECİ

Abstract. In this study, different blank shapes obtained from anisotropic aluminum sheet has been investigated by drawing in the form of square cup. No any failure (tearing and fracturing) occurred in the drawn cups. Namely, they are useable. The results shown that; optimum blank shape reduces scrap metal and costs but also, leads to slightly wrinkling and bad surface quality. There are more scrap metal and costs in the cups obtained from the otherblank shapes due to greater earing and projection but, the surface quality especially in the corners of the cups becomes better.

Keywords: Square Deep Drawing, Blank

*Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Simav/Kütahya, Türkiye, mgavas@dumlupinar.edu.tr

** Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, ihsankrendeci@dumlupinar.edu.tr