

# ÇOK İNCE ÇELİK SAÇLARIN ELASTİK ŞEKİLLENDİRİLMESİ

**Muammer GAVAS\***

Günümüzde, çok ince fakat yüksek mukavemetli çelik sacların üretimde kullanılmaya başlanmasıyla, özellikle derin çekme işlemlerinde, mevcut alışılmış yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu tip sacların rijit kalıplarla şekillendirilmesinden karşılaşılan en büyük problemler homojen olmayan deformasyon ve buruşmadır. Bu çalışmada, bu problemleri büyük ölçüde ortadan kaldıran elastik şekillendirme tekniği incelenmiştir. Elastik şekillendirme tekniğinde, zimba veya kalıp olarak, elastomer elastik tamponlar kullanılır. Elastik şekillendirme esnasında elastomer tamponlar sac metale sürekli basınç uygular ve metalle sürekli temas halindedir. Bu sebeple daha homojen deformasyon meydana gelir ve buruşma önlenir. Elastik şekillendirme ile; yüksek mukavemetli, metalik/organik kaplamalı veya ön boyamalı çok ince (0.25-0.7 mm) çelik saclardan çekilerek üretilmesi çok zor parçalar daha kaliteli olarak üretilebilir. Kalıp maliyetinin az olması nedeniyle, özellikle az sayıdaki parçaların üretiminde büyük avantaj sağlar. Orta büyüklükteki parçaların kısa periyotlu üretiminde de kullanılabilir.

**Anahtar sözcükler:** Elastik şekillendirme, esnek kalıp

*In our days, with the use of very thin but high strength steel sheets, specially in deep drawing, the present conventional methods have been unsatisfactory. The main problem encountered during forming of this type of thin sheets with the rigid dies are unhomogenous deformation and wrinkling. In this study, elastoforming technique that reduce these problems has been investigated. In elastoforming, elastomer elastic cushions are used as a male or female die. During stamping, elastomer cushions exert a pressure on the blank and contact with the blank continuously from the beginning to the end of the operation. For this reason, more homogenous deformation occurs, and wrinkling is prevented. With the elastoforming, extra-thin steel sheets (0.25-0.7 mm) which has high strength, coated with metallic and/or organic or prepainted, and some difficult drawn-parts may be produced in more quality. Because of die cost reduction, specially for low-volume production, it obtains more advantages. It can be used for producing middle size parts in the short period.*

**Keywords:** Elastoforming, flexible die.

- • Dumlupınar Üniversitesi

## GİRİŞ

Endüstride, çelik saclardan parça üreten her üreticinin amacı, optimal kalitedeki çelikten istenen fonksiyonları yerine getiren fakat düşük maliyetli endüstriyel üretimleri gerçekleştirmektir. Üretilen parçada aranan özellikler de;

- Şekil tamlığı,
- Ölçü tamlığı,
- Direnç,
- Sertlik,
- Yorulmaya karşı dayanıklılık,
- Kütle/hacim azaltımı,
- Yüzey kalitesi,
- Kullanım kolaylığı,
- Emniyet,

şeklinde sıralanabilir. Üretilen parçada bu özellikleri yerine getirebilmek için çok kaliteli ve çok ince çelik sac levhalara ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için çelik üreticileri aşağıdaki özelliklere sahip çok ince çelik saclar üretmektedirler. Bu özellikler de;

- Daha yüksek akma ve çekme mukavemeti.
- Korozyona karşı daha fazla dayanıklılık.
- Daha iyi dış görünüş.
- Şekillendirme esnasında daha az sürtünme oluşturacak dış yüzey özellikleri.
- Daha iyi akustik özellikler.
- Kullanımı daha zevkli metalik/organik kaplamalı ince saclar.

Oysa, sayılan bütün bu özelliklerin her birisinin üretilen parçada optimal düzeyde bulunması çok zor olmakla birlikte, aynı zamanda şekillendirme işlemini de güçleştirmektedir.

## **YÜKSEK MUKAVEMETLİ İNCE ÇELİK SACLARIN ŞEKİLLENDİRİLMESİNDE KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER**

Yüksek mukavemetli ince çelik sacların şekillendirilmesinde karşılaşılan güçlükler aşağıda belirtilmiştir.

- Çekme esnasında parçanın çekilmeyen kısımlarının azalması sonucu ortaya çıkan ve sabit tutulmayan baskı plakası basıncı.
- Sürtünme sonucu meydana gelen yüzey kalitesi bozukluğu (çizilme, çentiklenme, çukurlaşma (surface galling), ve kabarcıklanma (pimple).
- Pres performansını direk olarak etkileyen malzemenin yayılma (scattering) özelliklerinin artması.
- Farklı şekillendirme şartları.
- Takım bakım periyotlarının artışı.
- Pres tezgahlarının yetersiz kapasitesi.
- Metalik/organik kaplamalı saclarda yüzey hasarı meydana gelmesi ve kaplama sonucu sacın sürtünme karakteristiklerinin değişmesi.
- Mevcut konvansiyonel yöntemlerin yetersiz kalışı.
- Buruşma.
- Homojen olmayan deformasyon.

Özellikle kaplamalı ince çelik saclar, şekillendirme esnasında ya hiç ya da yok denecek kadar az hasar görmeli; buruşma, kırılma ve geri esneme olmamalıdır. Aksi halde kaplama yapmanın bir yararı olmaz.

Yüksek mukavemetli ince çelik sacların konvansiyonel yöntemlerle derin çekilmesi esnasında karşılaşılan en büyük problemlerden bir tanesi buruşmadır. Çünkü çekme işlemi esnasında buruşmanın olduğu bölgelerde sac metal desteksiz durumdadır. Şekil 1' de görüldüğü gibi, yarıküresel bir kabın alışılmış yöntemle derin çekilmesi esnasında iş parçasının baskı plakasının altında kalan kısımları hariç, zımbaya temas edecek olan kısımlar, çekme işleminin tamamlanmasına kadar kalıp tarafından desteklenmez. Bu durum buruşmayı önemli ölçüde etkiler. Buruşma oluşumu daha ayrıntılı olarak Şekil 2' de gösterilmiştir. Sac parçanın çekme işlemi esnasında zımbanın çevresine sarıldığı düşünülürse, A-A çapındaki zımba çevresi, bu çevreye sarılacak olan C-E çapındaki iş parçası çevresinden küçük olacağından ( $\phi_d < \phi_d$ ), bu durumda fazlalık teşkil eden karakteristik üçgenler baskı plakası kuvvetinin yeterli olmaması durumunda buruşma, buruşma-katlanma (Şekil 2, B-C, C-D eğrileri) meydana getirir. Baskı plakasının yeterli olması durumunda ise çekilen yüzeylere dağılarak parçanın kalınlığını artırır (Şekil 2, D-E eğrisi) ve homojen olmayan deformasyon oluşur. Bunu önlemek için kalıp boşluğuna malzeme akışını minimize etmek ve dolayısıyla baskı plakası kuvvetini artırmak gerekir. Akma mukavemeti düşük olan saclar için baskı plakası kuvvetinin biraz artırılmasıyla bu problem çözülebilir. Ancak; yüksek mukavemetli çelik sacların akma mukavemeti de yüksek olduğundan, bu tür sacların şekillendirilmesi esnasında buruşma problemini

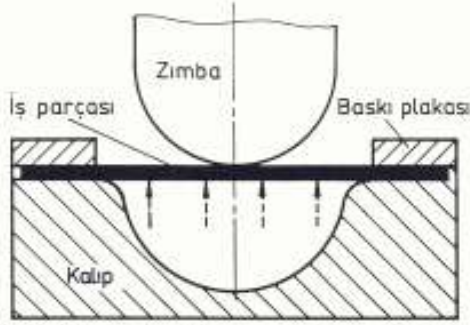
ortadan kaldırmak için baskı plakası basıncının daha fazla artırılması gerekir. Bunun sonucu olarak zımba köşelerinin sac metalle temas ettiği yerlerde yırtılmalar meydana gelir.

## **ELASTİK ŞEKİLLENDİRME TEKNİĞİ**

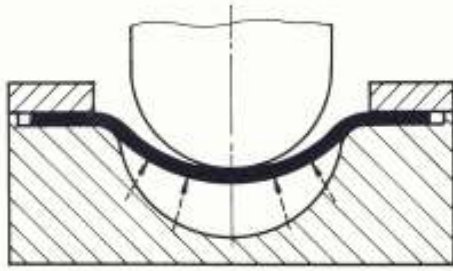
Yüksek mukavemetli ince çelik sacların şekillendirilmesinde karşılaşılan güçlükleri ortadan kaldırmak veya önemli derecede azaltmak için elastik şekillendirme tekniği kullanılır. Bu teknikte, rijit zımba veya kalıp (dişi kalıp) yerine, çelik kap içine alınmış elastomer elastik tampon veya bloklar kullanılır. Elastomer zımba veya kalıpların kullanılması esnasında, çekme işleminin başlangıcından sonuna kadar elastomer, iş parçası ve zımba/kalıp ile temas halindedir, yani parçaya bir nevi basınç uygular. Bu sayede buruşma önemli ölçüde azaltılarak homojen deformasyon sağlanır [7].

Lineer polimerlerle uzayağı polimerleri arasında bir yapıya sahip olan elastomerler, bükülmüş ve kangal şeklinde dolanmış uzun molekül zincirlerinden oluşur. Kuvvet etkisinde bu kangalların açılması ve bağ dönmesi sonucu büyük ölçüde tersinir, yani elastik şekil değiştirme yeteneği gösterirler. Diğer taraftan sertlik ve mukavemet gibi çok iyi mekanik özelliklerin yanı sıra direnç ve yağlama özelliğine de sahiptirler. Çok sayıdaki yükleme ve boşaltma esnasında bu özelliklerini uzun süre koruduğundan elastomerler sac metal şekillendirme teknikleri için elverişlidir.

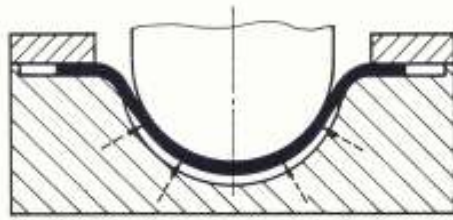
Günümüzde; basınç altında şekillendirme için bu teknikten başka çeşitli teknikler de vardır [6,1,12]. Bunlardan bazıları küçük ve basit geometriye sahip parçaların seri üretimi için endüstriyel çözümler sağlar. Diğerleri ise az sayıdaki üretimler ve prototip üretimi ile sınırlıdır.



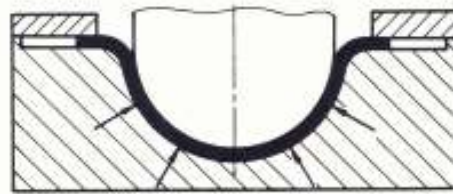
(a) Çekme işlemi başlangıcı, iş parçası desteksiz



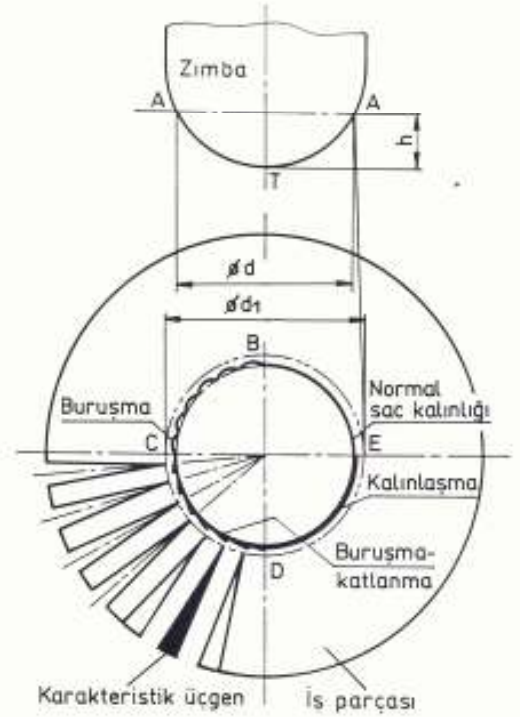
(b) İşlemin orta safhası, iş parçası desteksiz



(c) İşlem bitmek üzere, iş parçası desteksiz



(d) Çekme işlemi sonu, iş parçası destekli



Şekil 1. Derin çekme işlemi esnasında yetersiz baskı plakası basıncı ve iş parçasının desteksiz kalması halinde buruşma oluşumu

Şekil 2. Derin çekme işlemi esnasında buruşma, buruşma-katlanma oluşumu ve iş parçası kalınlaşması

## ÇİFT ETKİLİ ELASTİK ŞEKİLLENDİRME

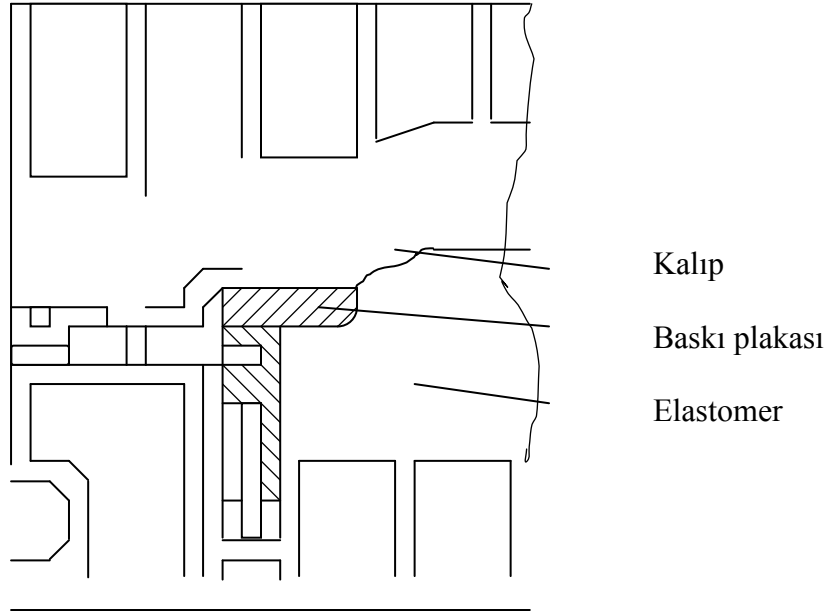
Elastik şekillendirme, kalıplanan parçalarda en homojen dağılımlı deformasyon elde etmek için geliştirilmiştir [10]. Homojen dağılımlı deformasyon aşağıda sayılanlarla ilgilidir.

- Baskı plakası altından gelen malzeme miktarı (Baskı plakasının altından malzeme akışı). Bu miktar baskı plakası kuvvetine, sürtünmeye ve yerel bağlama tekniklerinin kullanılmasına bağlıdır.
- Çelik sacın özellikleri (Kalınlık, akma mukavemeti, deformasyon sertleşmesi).
- Basınç miktarı.
- Basınç etkime geometrisi.

Çift etkili elastik şekillendirme ile orta büyüklükteki parçalar üretilir.

#### Kalıbın Detayları

Endüstriyel bir elastik şekillendirme kalıbının detayları Şekil 3' te gösterilmiştir.



Şekil 3. Elastik şekillendirme kalıbının detayları

#### Alt Parça

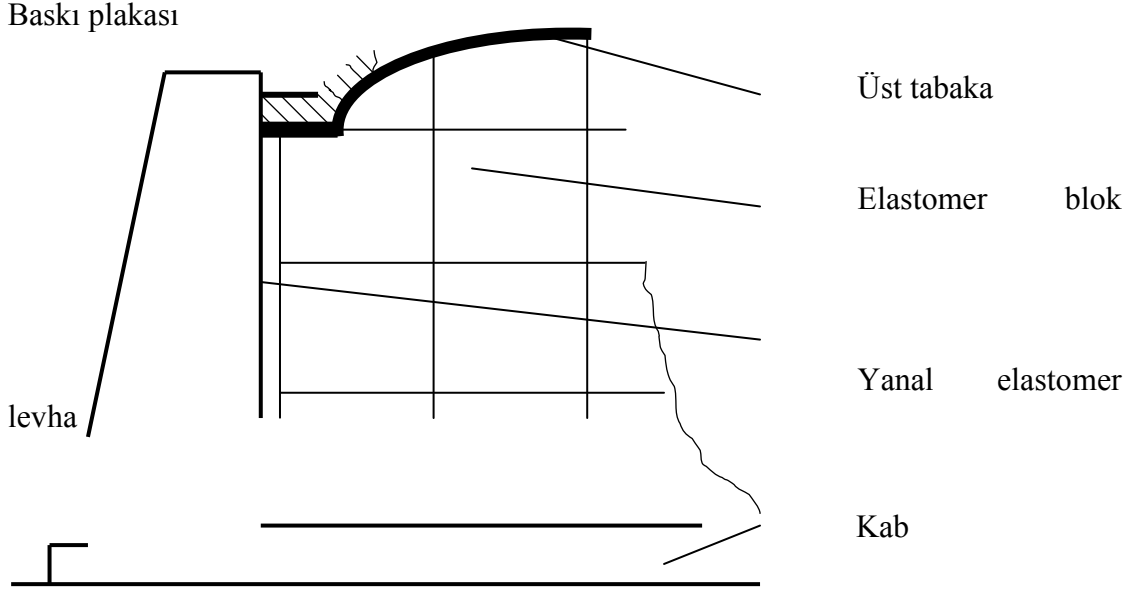
Elastomer tampon kabın içine yerleştirilir. Metal akışını kontrol etmek ve buruşmadan sakınmak için elastomerin üzerine baskı plakası yerleştirilir. İş parçası ile elastomer arasında baskı plakası olmazsa, klasik sert kalıplardaki düzgün dağılmış buruşma yerine, hidrolik şekillendirmede olduğu gibi çok keskin lokal buruşmalar meydana gelir. Alt ve üst tabakaların düz ve birbirine paralel olması şart değildir.

#### Üst Parça

Esas zımba; baskı plakasının üzerine (baskı plakası T kanalında hareket edebilecek şekilde) yerleştirilir. Bu durumda T zımba T kanalında asılı vaziyette kalır. Bunun hareketi, zımbanın T kanal boşluğu ile kontrol edilir.

## Elastomer Tampon

Şekil 4' te gösterilen elastomer tampon değişik parçalardan yapılmıştır



Şekil 4. Elastomer tamponun detayları [9]

- **Elastomer Bloklar:** Oda sıcaklığında çok düşük sertlikte (25 shore 00) paralel boruludur. Oldukça ince (yaklaşık 1 mm) lateks deri ile kaplanmıştır. Bu bloklar baskı plakasının düzlem yüzeyli olmadığı durumlarda belirli şekiller için de kullanılır.
- **Yanal Elastomer Levhalar:** (Sertlik 60 shore A; kalınlık 20 mm) conta görevi yapmak ve kap ile teması sağlamak için kullanılır.
- **Elastomer Tampon Üst Tabakası:** (Sertlik 60 shore A; kalınlık 6-10 mm). Bu tabaka şekillendirme esnasında baskı plakasının alt yüzeyi ve sac metal ile temas halindedir.

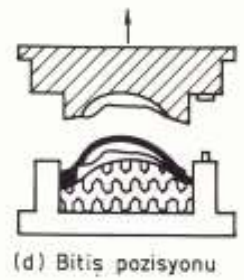
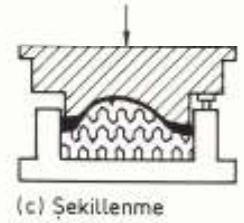
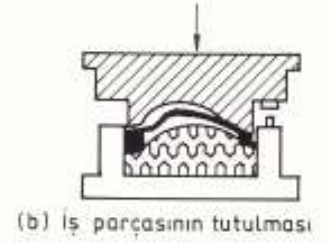
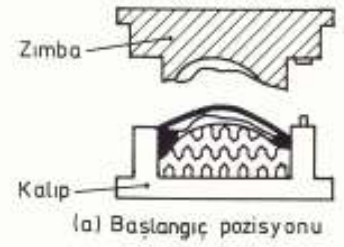
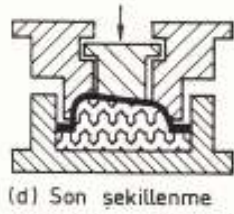
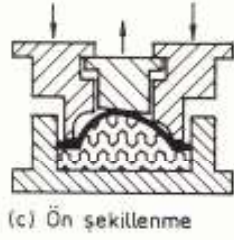
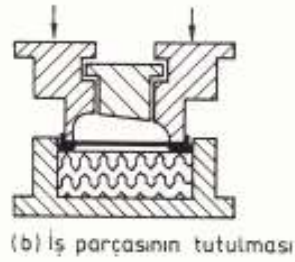
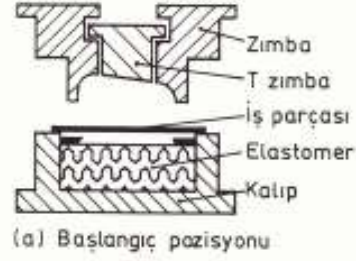
## Çift Etkili Elastik Şekillendirmenin

### Uygulanması

Çift etkili elastik şekillendirmenin uygulama safhaları şu şekilde özetlenebilir, (Şekil 5)

1. İş parçasını direkt olarak alt baskı plakası üzerine veya kap üzerine yerleştirme, (Şekil 5.a)
2. Zımbanın "T" kanalında aşağıya doğru ilk hareketi ile iş parçasının tutulması, (Şekil 5.b)
3. Baskı plakasının kayması alt ölü noktaya erişinceye kadar, elastomer kalıp boşluğuna itilir. Bu esnada sac metalde, elastomerin basıncı ile ön şekillenme oluşur. Elastomer, yumuşak bir zımba gibi hareket eder. İş parçasının deformasyon direnci tarafından belirlenen/yönlendirilen basınç, baskı plakası kuvvetini belirler. Bu ön şekillenmiş parçanın yüzeyi son şekillendirilen parçanın yüzeyine benzerlik gösterir, (Şekil 5.c).
4. "T" zımbanın aşağıya doğru hareketi sonucu, ön şekillenmenin biraz değişimi ile son şekillenme oluşur, (Şekil 5.d). Presin ikinci hareketi sayesinde; zımba, sac metal yüzeyinin her noktası ile temas edinceye kadar kalıbın içine doğru itilir.

5. 5. Zimba alt ölü noktaya ulaştıktan sonra, yukarı hareket eder, (Şekil 5.e). Bu esnada, “T” zimba esas zimbaya bağlı olmalı ve yukarıya beraber hareket etmelidir. Aksi halde, zımbanın dönüş kursu esnasında da parçada deformasyon oluşur. Elastomer çok çabuk olarak başlangıç pozisyonuna gelir.



Şekil 5. Çift etkili elastik şekillendirme [9]

Şekil 6. Tek etkili elastik şekillendirme

1. Çelik sacın kullanılabilir maksimum kalınlığı, parçanın geometrisine ve presin maksimum kuvvetine bağlıdır. Halen bu kalınlık 0.2-1 mm arasındadır [9].
2. Presin 1. ve 2. hareketleri esnasında parçanın ne kadarının şekillendirileceğinin ayarlanması gerekir Mekanik preslerde, elastomerin aşırı sıkışmasını telafi etmek için kabın içine özel bir sistem yerleştirilebilir.
3. Delikli sac metallerin şekillendirilmesi bu sistemle yapılamaz.
4. Kompleks parçalar için alt kalıbın dış yüzeylerini belirlemek ve ön şekillenmeyi kontrol etmek çok zor olduğundan, çift etkili elastik şekillendirme, basit ve hemen hemen simetrik olan parçaların üretimi ile sınırlıdır.
5. Şekillendirme işleminden sonra elastomer, malzemeye yapışacağından ve hızla kendi sabit pozisyonuna geleceğinden kalıp, hava giriş ve çıkışı için belirli bir sisteme sahip olmalıdır.

## TEK ETKİLİ ELASTİK ŞEKİLENDİRME

Preslenmiş kompleks parçalar için kalıbın şekli direk olarak parçanın şeklidir. Şekil 6' da görüldüğü gibi;

- Kalıbın alt parçası (kalıp) çift etkili kalıp ile aynıdır.
- Kalıbın üst parçası (zımba) pres başlığına bağlanmış tek bir parçadan ibarettir.
- Ön şekillendirme safhası yoktur. İş parçası direk olarak şekillendirilir. Zımba (üst kalıp), iş parçasının bütün yüzeyleri ile temas edinceye kadar ilerler (Şekil 6.c).

Çift etkili elastik şekillendirme ile karşılaştırıldığında, tek etkili elastik şekillendirme aşağıdaki avantajlara sahiptir.

- Üst kalıp daha basittir.
- Elastomer için hacim düzenlemesi yoktur.
- Baskı plakası basıncı için sınırlama yoktur (Klasik şekillendirmede olduğu gibi sadece zımbanın iniş hareketi gereklidir).

## ELASTİK ŞEKİLENDİRMEDE KUVVET ANALİZLERİ

Alışılmış derin çekme işlemleri için gerekli olan maksimum pres kuvveti çeşitli metotlarla hesaplanabilir [13,5,11,2,8,3]. Bu kuvvet üç bileşenden oluşur.

$$F_m = F_a + F_s + F_h \quad (1)$$

$F_m$ : Alışılmış yöntemle derin çekme işlemi için gerekli olan zımba kuvveti (N).

$F_a$ : Yarıçekilmiş kabın flanşlı kısmının deformasyonu için gerekli olan kuvvet (N).

$F_s$ : Rijit kalıp ve baskı plakası arasındaki sürtünme kuvveti (N).

$F_h$ : Çekme işlemi esnasında, çekme boğazında sac metale uygulanan çift eğme (çevresel ve eksenel) kuvveti (N).

Elastik şekillendirmede; iş parçasının dış yüzeyi ile elastomer arasında ve iş parçasının iç yüzeyi ile baskı plakası arasında farklı sürtünme şartları olduğundan hesaplamalarda,  $F_s$  kuvveti



hesaplanırken iki farklı sürtünme katsayısı kullanılmaktadır. Ayrıca; elastik şekillendirmede, yukarıdaki üç kuvvete ilave olarak:

- Baskı plakası kuvveti.
- Elastik tamponun şekillendirilmesi için gerekli olan kuvvet.
- Elastomer ile kabın/çelik kabın yan yüzeyleri arasında oluşan sürtünme kuvveti de eklenir [4].

Bu durumda, elastik şekillendirme işlemleri için gerekli olan toplam pres kuvveti:

$$F_o = F_m + F_p + F_r + F_s \quad (2)$$

şeklinde olur. Burada:

- F<sub>o</sub> : Derin çekmede kullanılan toplam pres kuvveti (N).  
F<sub>m</sub>: Alışılmış yöntemle derin çekme işlemi için gerekli olan zımba kuvveti (N).  
F<sub>p</sub> : Poliüretan tamponların şekillendirilmesi için gerekli olan kuvvet (N).  
F<sub>r</sub> : Baskı plakası kuvveti (N).  
F<sub>s</sub> : Kabın yanal yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvveti (N).

Şekil 7' de elastik şekillendirmedeki kuvvet bileşenleri görülmektedir. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi; elastik şekillendirmede, rijit takımlı derin çekme işlemlerine nazaran daha fazla pres kuvveti gereklidir. Ancak; pres kuvvetinin en büyük kısmı çelik sacın şekillendirilmesi için kullanılır. İşlem esnasında elastomerdeki sıcaklık, 60° C' a kadar çıkabilir [9].

Endüstriyel uygulamada; çift etkili preste, 0.78 mm kalınlığında, 1000x1000 mm ölçülendirme FePO<sub>4</sub> çelik sacdan otomobil stepne muhafaza kabının üretimi için 400 ton baskı plakası kuvveti ve 600 ton zımba kuvveti kullanılmıştır.

## ELASTİK ŞEKİLLENDİRMENİN AVANTAJLARI

1. Sac metal, elastomerin basıncı tarafından sürekli kontrol edildiğinden, buruşma eğilimi klasik çekme özelliklerine sahip çelik saclardan daha fazla olan yeni tip daha mukavemetli çelik saclar (Sac kalınlığı 0.6 mm'nin altında, daha yüksek akma gerilmesi, sıkıştırma), daha kolay şekilde preslenebilir.
2. Parçada önemli lokal incelmeler olmadan büyük deformasyonlar elde edilebilir. Deformasyon, diğer klasik rijit yüzeyli kalıplara nazaran daha homojendir.
3. İş parçası ve elastomer arasındaki ilk temas kalıbın ortasındaki kademeli kısımda meydana gelir, iş parçası kalıbın ortasından her yöne doğru artan bir gerilme ile ilerler. Bu husus otoların dış kaportaları/panelleri için çok önemlidir.
4. İş parçasının sadece bir yüzeyi elastomer ile temas halinde olduğundan, sert kalıp yüzeyi ile karşılaşmadığından, çekilen parçanın bir yüzeyi mükemmel bir yüzey kalitesine sahiptir. Özellikle bu durum metalik ve/veya organik kaplamalı çelik oto dış yüzey parçaları için çok önemlidir.
5. Mevcut mekanik preslerde elastik şekillendirme yapıldığında, rijit yüzeyli kalıplar kullanılarak aynı çekme hızında yapılan deneylere nazaran daha iyi bir verimlilik elde edilebilir.

6. Daha homojen deformasyon nedeniyle daha az geri sıçrama ve daha iyi geometrik şekil tamlığı elde edilir.
7. Eğer parça geometrisi işlem için doğru bir şekilde ayarlanırsa aynı kalıpla farklı kalınlıktaki ve özellikteki çelik saclardan üretim yapılabilir. Bu durum özellikle prototip çalışmaları için önemlidir.
8. Zımba-kalıp boşluğu ayarı gerekmediğinden klasik şekillendirme kalıplarına nazaran deneme/test yapma daha kolaydır. Eğer şekil değişiklikleri gerekir ise sadece üst kalıp değiştirilir.
9. Kalıbın kavisli köşelerinin/kenarlarının iş parçası ile temasında çok fazla bir basınç meydana gelmez. Metalik zımbalarda ise aynı bölgelerde büyük bir lokal basınç meydana gelir ve parçadaki yırtılmalar genellikle bu bölgelerde oluşur.
10. Eğer çekme işleminde yaylar, hava yastığı veya kalıp tamponu kullanılırsa, baskı plakası altındaki malzeme akışı kolayca kontrol edilebilir.
11. Elastomer kabı, elastomer tampon ve üst parça (tavan) benzer büyüklükteki çeşitli parçaların üretimi için de kullanılabilir olduğundan kalıp maliyeti düşer. Her parça için sadece belirli kalıp elemanlarının işlenmesine/değiştirilmesine ihtiyaç duyulur. Bunlar da, genellikle üst kalıp ve baskı plakasıdır. Kalıp elemanlarının ilk maliyeti, yaklaşık olarak klasik kalıp maliyeti ile aynıdır, maliyet azalması ilk kalıbın daha değişik parçaların üretimi için bazı parçalarının değiştirilmesi ile sağlanır. Bu nokta özellikle az sayıdaki üretim miktarları ve prototip üretimi için önemlidir.
12. Kalıbın tasarım safhası ile ilk prototip parçanın elde edilmesi arasındaki süre kısaldır. Sadece baskı plakası ve üst kalıp işlenir.
13. Elastik şekillendirme, kompleks prototip parçaların klasik kalıplarda üretilmesi için ön şekillendirme olarak kullanılabilir.
14. Bu yöntemdeki üniform basınç dağılımı nedeniyle dökme demir ve çelikten başka beton, resin ve işlenmiş resin gibi malzemeler de kalıp malzemesi olarak kullanılabilir.

## **SONUÇLAR**

Elastik şekillendirme, otomotiv endüstrisi ve çelik sac kullanıcıları için çelik sac kullanımının geliştirilmesine yönelik bir işlem kaynağıdır. Elastik şekillendirme işlemleri için; çekme işlemlerindeki buruşmanın önlenmesi ve daha homojen deformasyon elde edilmesinin yanısıra, aşağıdaki amaçlar da gözönünde bulundurulabilir.

1. Prototip üretimi (100 ile 1000 parça arasında).
2. Kısa süreli üretim (maksimum 100 000 parça).
3. Orta sürede, hacimli parça üretimi (100 000 parçadan daha fazla).

Günümüzde, elastik şekillendirme 1. amaç için endüstriyel bir çözümdür. Daha sonra yapılacak deneysel çalışmalarda; elastomer tamponların yorulma dayanımlarının uzun süreli olabileceği tespit edildiği takdirde bu teknik, ikinci ve üçüncü amaçlar için de endüstriyel çözümler olabilecektir.

Elastik şekillendirmenin endüstriyel geçerliliği tamamen elastomer tamponun yorulma ömrüne bağlıdır. Yorulma ömrü ise, şekillendirme işlemi esnasında elastomerin maksimum uzamasına bağlı olup, büyük oranda kalıbın şekli ile ilgilidir.

## KAYNAKÇA

1. **AMINO, H., NAKAKURA, K., and NAKAGAWA, T.**, “Counter Pressure Deep Drawing and its Application in the Forming of Automobile Parts”, *Journal of Material Processing Technology*, 23, (1990), 243-265.
2. **BEHRENS, A. , PRIES, C. , D. ,** “Prozeßsimulation Beim Tiefziehen Von Runden Und Rechteckigen Näpfen Mit Hilfe Der Elementaren Theorie-Blech Rohre Profile 33 (1986) 11. 485-491. o.
3. **BRAMBAUER, F.**, “Biegen Und Tiefziehen Von Feinblechen Aus Kaltgewalzten Qualitäts- Und Edeltählen, *Umformtechnik* 23 (1989) 3. , 118-124 old.
4. **DANYI, J., VEGVARI, F.**, “Deep Drawing With Flexible Die”, *Advanced Sheet Metal Forming, Proceedings of the 19<sup>th</sup> Biennial IDDRG Congress, Held in Eger, Hungary 10-14, June 1996.*
5. **GELEJI, S.**, “ A Fémek Képlékenyalakításának Elmélete”, *Akadémiai Kiadó, Budapest, 1967.*
6. **GRANZOW, N. G. ,** “Aquadraw”, *S. M. E. American Forming Conference, Cleveland, May 1974. 14.*
7. **KEYES, K. A.**, “Innovations in Die Design”, *Urethane Draws, Forms, Rolls, UMI Books On Deman, A Bell & Howell Company, 300 North Zeeb Road P.O. Box 1346, Ann Arbor, Michigan 48106-1346, Printed in 1998.*
8. **LANGE, K.**, “Lehrbuch Der Umformtechnik”, Bd. 2., *Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/NewYork, 1974.*
9. **MUNIER, M., DUPONT, X., and DITTLO, M.**, “Elastoforming: An Industrial Process For the Forming of Extra-Thin Steel Sheets”, *Advanced Sheet Metal Forming, Proceedings of the 19<sup>th</sup> Biennial IDDRG Congress, Held in Eger, Hungary 10-14, June 1996.*
10. **PACHURA, E.**, “Elastoforming : A Further Breakthrough for Steel in the Automotive Industry”, *IISI Annual Meetings, (1987).*
11. **PRIES, C., D.**, “Beitrag Zur Steigerung Der Berechnungsgenauigkeit Für Das Tiefziehen Im Anschlag Mit Elementaren Ansätzen, *Dr. Ing. Dissertation, Univers. D. Bundeswehr, 1987, Hamburg.*
12. **RYDELL, F., JOHANNISSON, T., and NILSSON-JATKA, P. E.,** ”Fluid Forming of Sheet Metal in Production”,*IDDRG (1984).*
13. **SIEBEL, E., POMP, A. ,** “Der Kraftverlauf beim Tiefziehen”, *Mitt, K-W-Institut Eisenforschung 11, (1929), 139-147, old.*