

METALLERİN PATLAMA İLE ŞEKİLLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN KALIPLARIN TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

FACTORS EFFECTING DESIGN OF DIES USED WITH EXPLOSIVE FORMING OF METALS

Muammer GAVAS*

ÖZET

Hidrolik ve mekanik preslerdeki konvansiyonel şekillendirme işlemleri için tasarlanan kalıplar detonasyon, elektrohidrolik ve elektromanyetik yöntem gibi patlama ile şekillendirme işlemleri için yeterli değildir. Konvansiyonel yöntemde genel olarak zımba ve kalıp (dişi kalıp) kullanılmasına karşın, patlama ile şekillendirmede genellikle kalıp (dişi kalıp) kullanılır. Bu yöntemde, az sayıdaki parçaların üretimi yapılması nedeniyle beton, plastik ve fiberglas gibi kalıp malzemeleri de kullanılabilirdiğinden kalıp maliyeti düşer. Tasarımda; yüksek enerji veren patlayıcıların ürettiği şok basınç dalgaları nedeniyle kalıplarda meydana gelen çatlama, kırılma ve ölçü büyümesinin yanısıra, kalıp malzemesi, sıkışan havanın dışarıya atılması, vakum deliğinin büyüklüğü, konumu ve şekli, iş parçasının malzemesi ve geometrisi, kullanılan enerji miktarı ile güvenlik önlemlerinin de gözönünde bulundurulması gerekir.

ABSTRACT

Dies designed for conventional forming procession in hydraulic and mechanical press are inadequate for the explosive forming such as detonation, electrohydraulic and electromagnetic. In conventional method, male and female dies are used; however, in explosive forming of metals generally female dies are used. In the latter method; because of small number of parts and die materials such as concrete, plastic and fiberglas the cost of die is reduced. In design; in addition to fracture, craking and extension of dimensions of the die; created by shock wave that are produced by high explosives, evacuation of entrapped air, geometry, place and position of vacuum holes, materials of workpiece, amount of energy and safety precaution must be considered.

Anahtar kelimeler: Kalıp tasarımı, Patlama ile şekillendirme
Key words: Die design, Explosive forming

* Dumlupınar Üniversitesi Şaphane Meslek Yüksekokulu

1. GİRİŞ

Hidrolik ve mekanik preslerdeki konvansiyonel şekillendirme işlemleri için tasarlanan kalıplar, patlama ile şekillendirme işlemleri için yeterli değildir. Konvansiyonel metodlarla yapılan şekillendirme işlemlerinde genel kural olarak erkek ve dişi kalıp kullanılmasına karşın, patlama ile yapılan şekillendirme işlemlerinde genellikle tek parçalı olan erkek veya dişi kalıp tercih edilir. Erkek kalıptaki hava boşaltma deliğinin açılmasında ve iş parçasının bağlanmasında karşılaşılan zorluklardan dolayı pratikte tek parçalı dişi kalıplar tercih edilir.

Patlama ile şekillendirme işlemlerinde kalıp maliyeti genel olarak en büyük tek parça halindeki kalıbın maliyetidir. Bu sebeple kalıp malzemesinin doğru olarak seçilmesi ve en ekonomik kalıp tasarımı çok önemlidir. Bu çalışmada, detonasyonla derin çekme deneyleri için ayarlanabilen vuruş mesafesine sahip detonasyon tüpü ve kalıp ihtiva eden detonasyon makinesi imal edilmiş, deneylerde propan-oksijen gazı ile sertliği 40 H_B ve kalınlığı 0.5 mm olan alüminyum sac levha kullanılmıştır. Çalışmaya esas teşkil eden teorik bilgiler çeşitli kaynaklardan derlenmiş ve izleyen bölümlerde sunulmuştur.

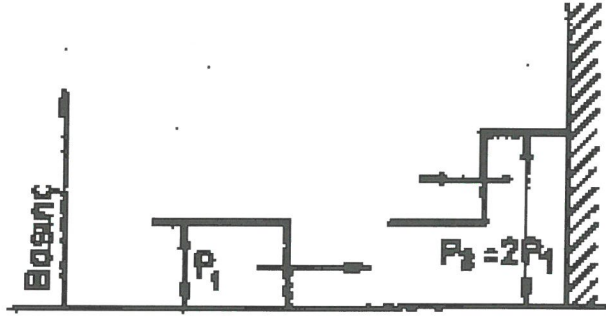
2. ŞOK BASINÇ DALGALARININ RİJİT YÜZEYLERDEKİ BASINÇ ETKİLERİNİN ANALİZİ

Metallerin patlama ile şekillendirilmesinde, enerji kaynağı olarak, kimyasal patlayıcıların detonasyonundan elde edilen kısa süreli fakat etkili enerji kullanılmaktadır. Herhangibir iletken ortamda patlayıcılar patlatıldığında; yüksek yoğunluktaki basınç hızla şok dalgalar meydana getirir [4], [10] ve bu dalgalar iletken ortam içinde hızla ilerler. Bunlar, başlangıç şok dalgaları olarak bilinir ve saniyede yaklaşık 1450-1500 m' lik bir hızla hareket etmektedirler.

Kalıplar üzerindeki olumsuz etkilerin en büyüğü, enerji kaynağından yayılan bu ilk şok basınç dalgaları, kalıp yüzeylerine çarptığında meydana gelmektedir. Bu sebeple, bu şok dalgalarının rijit yüzeyler üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir.

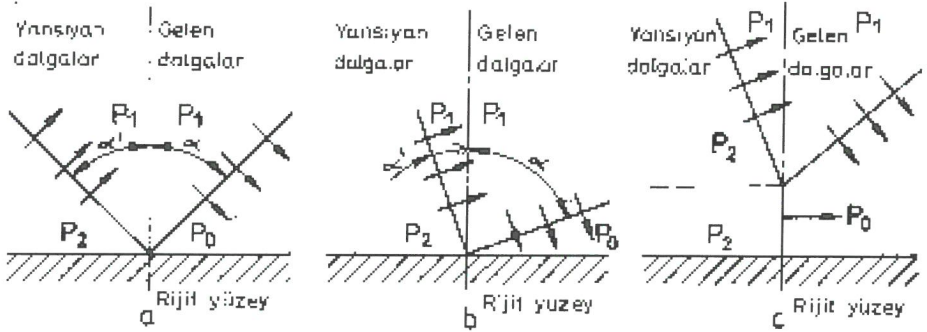
Patlayıcıdan yayılan şok basınç dalgaları, rijit yüzeylere dik veya eğik olarak etki etmekte ve rijit yüzeylerden geri yansımaktadır. Geri yansıyan şok basınç dalgaları enerji kaynağından gelen yeni şok dalgaları ile karşılaşmakta ve yeni bir basınç dağılımı oluşturmaktadır.

Rijit yüzeylere dik olarak etkiyen basınç dalgalarının şiddeti, yansımadan hemen sonra iki katına çıkar ve kısa süre sonra geliş şiddetine inerek sabit kalır. Şekil 1' de görüldüğü gibi şok dalgalarının geliş basıncı P_1 ise, yansıma sonundaki basıncı $P_2 = 2P_1$ olur. Bu durum düşük basınçlı akustik dalgalar için geçerlidir. Yüksek basınçlı akustik dalgalar ise rijit yüzeylere çarptığında yansıyan basınç $P_2 > 2P_1$ olur. Şok basınç dalgaları rijit yüzeylere eğik olarak etkiğinde şok dalgasının normalle yaptığı geliş açısı ve dalga yoğunluğuna bağlı olarak üç değişik durum meydana gelmektedir.



Şekil 1. Rijit Yüzeyle Dik Olarak Etkiyen ve Yansıyan Şok Basınç Dalgaları.

Birincisi: Zayıf şok dalgalarının yansımada geliş açısı yansıma açısına eşittir. Yansıyan dalgaların arkasındaki P_2 basıncı, gelen dalgaların basıncı olan P_1 'in iki katıdır, diğer bir deyişle $P_2 = 2P_1$ olur. P_0 basıncı ise gelen dalgalardan etkilenmez (Şekil 2.a).



Şekil 2. Rijit Yüzeyle Eğik Olarak Etkiyen ve Yansıyan Şok Basınç Dalgaları

İkincisi: Gelen dalgaların yoğunluğu ve şiddeti arttığında (orta şiddette ve orta eğik geliş açısı altında) basınç alanında iki değişiklik meydana gelir. Yansıma açısı α' , gelme açısı α 'ya eşit değildir ve α açısı gittikçe artar. Ayrıca, P_2 basıncı gelen ve yansıyan dalgalardan etkilenir ve $P_2 > 2P_1$ olur (Şekil 2.b).

Üçüncüsü: Çok kuvvetli şok dalgalarının rijit yüzeylere gayet eğik olarak etkimesiyle oluşur. Bu durumda gelen ve yansıyan dalgalar rijit yüzeyden biraz yukarıda karşılaşırlar, düzensiz ve çok karmaşık yansıma meydana gelir (Şekil 2.c) [11].

Görüldüğü gibi, şok dalgalarının dalga şiddetine, yoğunluğuna ve etkime açısına bağlı olarak rijit kenarlar üzerinde çok değişik etkileri vardır.

3. DENEYLERDE KULLANILAN DETONASYON MAKİNESİNİN TASARIMI VE ÖZELLİKLERİ

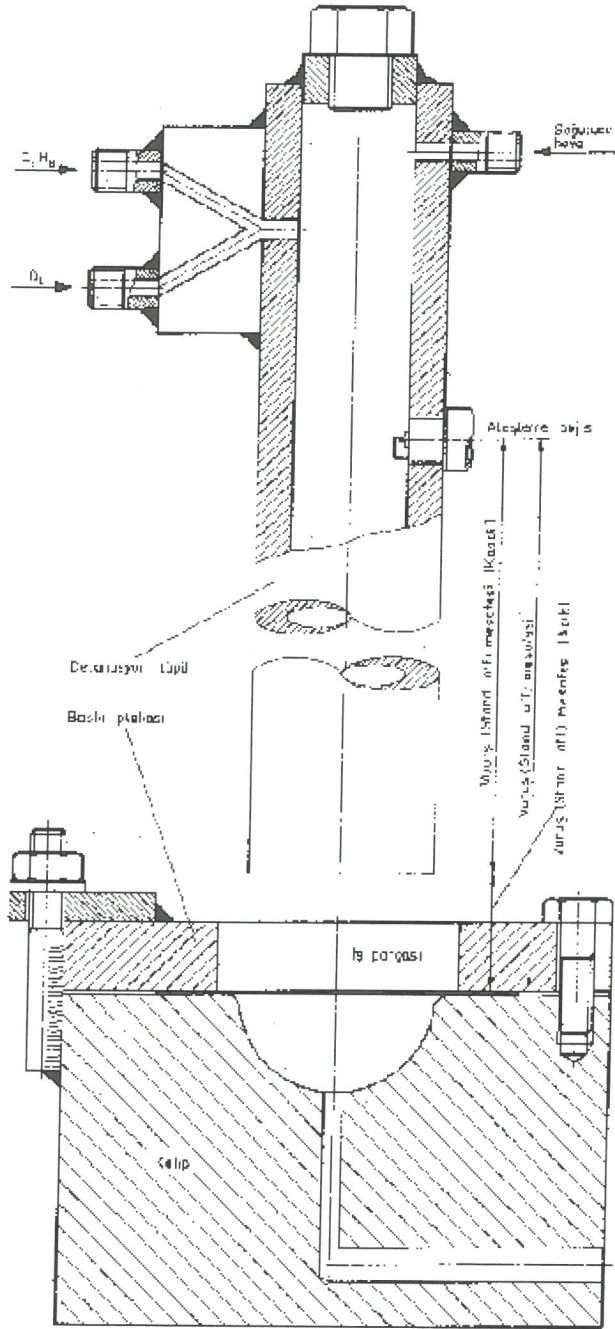
Detonasyon makinesi esas itibarıyla detonasyon tüpü, hareketli tabla, sütunlar ve kaideden meydana gelmektedir. Muhtelif deneyler için farklı çapta ve boyda detonasyon tüplerinin kullanılmasına imkan sağlamak amacıyla, detonasyon tüpü sökülebilir şekilde monte edilmiştir. Vuruş mesafesinin istenilen şekilde ayarlanmasından sonra patlama esnasında tablanın ve buna bağlı kalıbın hareket etmemesi için tabla sabitlenebilir şekilde yapılmıştır. Patlama işlemi esnasında geri tepme olayı gözönünde bulundurularak detonasyon tüpü ve tabla aynı sütunlara bağlanmıştır. Bu sayede geri tepme önlenmiş, deneyler esnasında makinede herhangi bir sarsıntı meydana gelmemiştir. Makinenin en önemli kısmını oluşturan detonasyon tüpü ile deneylerde kullanılan kalıbın kesiti Şekil 3' te görülmektedir. Deneylerde kullanılan kalıbın keskin köşeleri olmadığı, oldukça büyük kütleli ve tek parça olarak imal edildiği için, kalıpta herhangi bir hasar; iş parçasında yüzey kalitesi bozukluğu (çizilme, çentiklenme) meydana gelmemiştir. Detonasyon tüpüne doldurulan gaz, patlayıncaaya kadar iş parçası ile temas halinde olmadığından ve iletken ortam olarak sıvı kullanılmadığından herhangi bir sızdırmazlık elemanı kullanılmamıştır. Baskı plakası basıncı ve hava boşaltma deliğinin iş parçası üzerindeki etkileri ile ilgili deney sonuçları ise ilerideki bölümlerde açıklanacaktır.

4. KALIP TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Detonasyon, elektro-hidrolik ve elektro-manyetik yöntem ile şekillendirilen parçaların kalıplarının tasarım kriterleri birbirine yakın benzerlik gösterirler. Klasik metodlarda deformasyon hızı 0.5-0.9 m/s iken patlama ile şekillendirme işlemlerinde bu hız 18-213 m/s' ye kadar çıkmaktadır. Patlama ile şekillendirme işlemlerinde ilk oluşan yüksek hızdaki şok dalgalarının iş parçası ve kalıp üzerinde çok büyük bir etkisi olduğundan, kalıp tasarımı; kalıpta oluşan en büyük gerilmeler gözönünde bulundurularak yapılmalıdır. Genel olarak atlama ile şekillendirmede kalıptaki olumsuzluklar, çatlama ve kalıp ölçülerinin büyümesi şeklinde ortaya çıkar. Kalıpların şok dalgalarını karşılayabilecek kadar büyük kütleli yapılması halinde kalıpların tasarımı herhangi bir problem teşkil etmemektedir. Kalıbın yüzeyi üzerindeki metalin akışı sınırlandırıldığından aşırı derecede kalıp aşınması meydana gelmeyecektir. Kalıp ağzı profilinin dairesel yerine dik eliptik yapılması halinde ise kalıp aşınması oldukça azalır [3]. Şok yüklere maruz kalan bu çeşit kalıplarda kalıbın alt oturma yüzey kalınlığı kalıbın yan yüzeyleri kadar kalın olmalıdır.

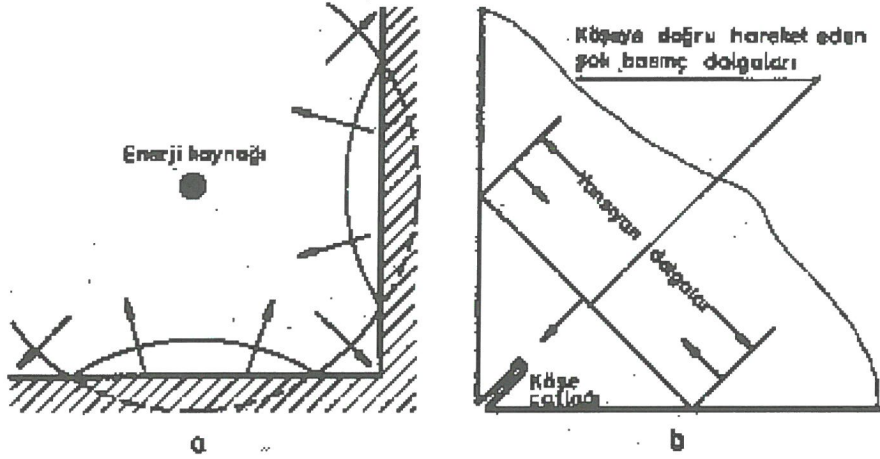
4.1 Kalıp Köşelerine Etkiyen Şok Basınç Dalgası Faktörü

Yüksek enerjili patlayıcıların ürettiği şok basınç dalgaları kalıbın kenarlarından gerilme dalgaları olarak yansır. Eğer şok dalgaları kalıbın yüzeylerine eğik olarak etkirse, gerilme dalgaları kalıbın iki bitişik yüzeyinden yansıyarak köşelere doğru ilerler ve köşelerde birleşir. Bu suretle kalıp içindeki köşelerde şiddetli lokal gerilmeler meydana gelir ve kalıp köşeleri çatlayabilir (Şekil 4.a, b). Patlama ile şekillendirme esnasında bozulan kalıpların incelenmesinden, kalıplardaki kırılmalara, kalıbın komşu iki yüzeyinin birleştiği köşelerde oluşan köşegensel gerilme çatlaklarının sebep olduğu tesbit edilmiştir. Yüksek enerji veren



Şekil 3. Deneilerde Kullanılan Detonasyon Tüpü ve Kalıp

patlayıcıların meydana getirdiği şok basınç dalgalarının olumsuz etkisi nedeniyle kalıpta keskin köşelerden ve kırılgen kalıp malzemelerinden kaçınılmalıdır. Kalıpların oturma yüzeyi veya üst kısımlarındaki köşeler mümkün olan yerlerde mümkün olduğu kadar yuvarlatılmalıdır. Eğer kalıp malzemesi basma gerilmesine dayanıklı fakat çekme gerilmesine karşı dayanıksız ise (beton gibi); kalıp, çelik gibi özgül akustik empedansı daha yüksek, yoğun ve daha dayanıklı metallere yapılan kafes içine alınmalıdır.



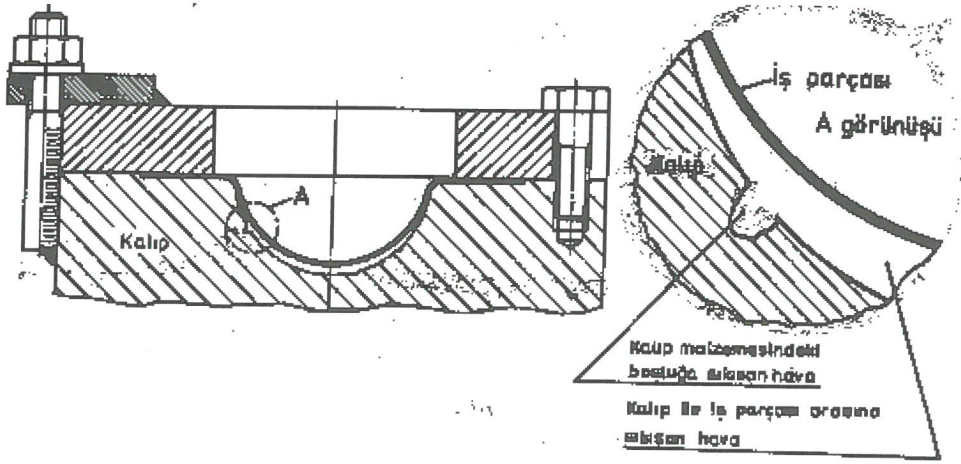
Şekil 4. Kalıp Köşelerinde Oluşan Çatlaklar

4.2 Yüzey Kalitesi Faktörü

Kalıp yüzeyinin kalitesi üretilen parçanın yüzey kalitesine eşit olacaktır. Bu sebeple; parçalı olarak yapılan kalıplarda parçaların birleşme yerleri çok hassas yapılmazsa, aşırı yüklenme şartlarında bir nevi ekstrüzyon uygulaması nedeniyle malzeme iki kalıp parçası arasına dolmakta ve istenmeyen yüzey kalitesi oluşmaktadır.

4.3 Kalıp ile İş Parçası Arasına Sıkışan Hava Faktörü

Kalıp ile iş parçası arasına sıkışan hava diğer faktörlerden daha fazla olarak şekillendirilmiş parçaların kalıptan çıkarılmasına yardımcı olur. Sıkışmış bu havanın parçanın boyutlarına olan olumsuz etkisinin yanısıra sürtünmeyi azaltıcı etkisinin olması yani bir nevi yağlama vazifesi gördüğü de bir gerçektir. Ayrıca kalıp malzemesindeki döküm hatalarından veya çeşitli nedenlerle kalıp yüzeyinde meydana gelen küçük boşluklar da aynı etkiyi yapmaktadır (Şekil 5). Hatta bu durum çeşitli metodlarla kalıp yüzeyinde özel olarak da oluşturulabilir. Şekillendirme işlemi esnasında parça ile kalıp arasına sıkışan hava, ya hava boşaltma deliği yardımıyla ya da kalıptaki boşluk yardımıyla dışarıya atılmalıdır. Sıkışan havanın hava boşaltma deliği vasıtasıyla dışarıya atılması metodu, kalıp boşluğundaki hava hacminin küçük olduğu durumlarda; örneğin hacimsel büyültme vb. işlemlerle sınırlıdır. Patlama ile şekillendirme işlemlerinde hava boşaltma deliğinin yeri, konumu ve büyüklüğü oldukça kritiktir. Çünkü iş parçası üzerinde istenmeyen şekil ve çentikler oluşturabilir.



Şekil 5. Kalıp ile İş Parçası Arasına ve Kalıp Malzemesinin Gözeneklerine Sıkışan Hava.

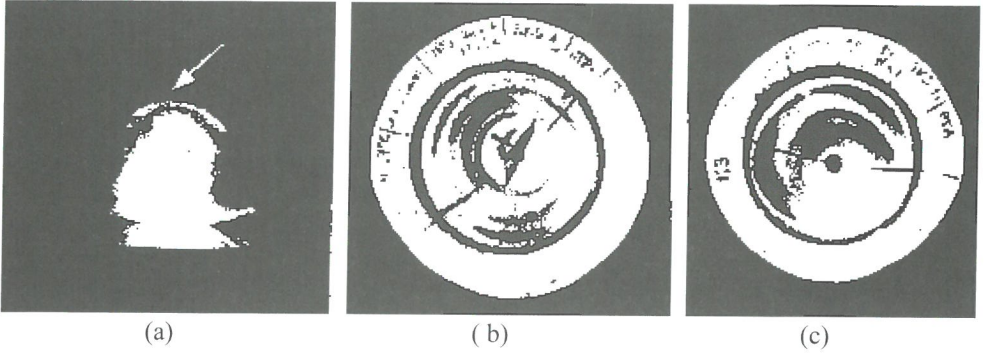
Özellikle yumuşak malzemelerin şekillendirilmesi esnasında iş parçasında hava deliğinin çapında meme oluşumuna ve delinmelere sebep olur [7]. Bu sebeple uygun büyüklükte ve yerde olmayan hava boşaltma deliğinden kaçınılmalıdır.

4.4 Hava Boşaltma Deliği Faktörü

Kalıp gövdesi içindeki bir veya birbirine yakın olarak açılmış birden fazla hava boşaltma deliği arasındaki bölgelerde kırılma olabilir. Bu kırılmanın nedeni, başlangıçta oluşan yüksek şok basınç nedeniyle kalıpta meydana gelen sapmadır. Kırksit, cerrobend ve beton gibi kırılğan kalıp malzemeleri, yüksek eğilme veya çarpma gerilmelerine dayanıksızlığı nedeniyle tam bir kırılmaya maruz kalabilirler.

56 mm çapında yarıküresel bir parçanın 0.5 mm kalınlığında ve 40 H_B sertliğindeki alüminyum sacdan detonasyonla (1/5 oranında karışmış propan ve oksijen gazları) derin çekilmesi esnasında kalıpta dikey eksen üzerinde ve 5 mm çapındaki hava boşaltma deliğinin basınç fazlalığı nedeniyle iş parçasında meydana getirdiği olumsuz etkiler Şekil 6' da görülmektedir. Şekil 6. a' da, parça merkezinde meme oluşumu, Şekil 6.b' de delinme ile beraber yırtılma, Şekil 6. c' de ise sadece delinme meydana gelmiştir [5].

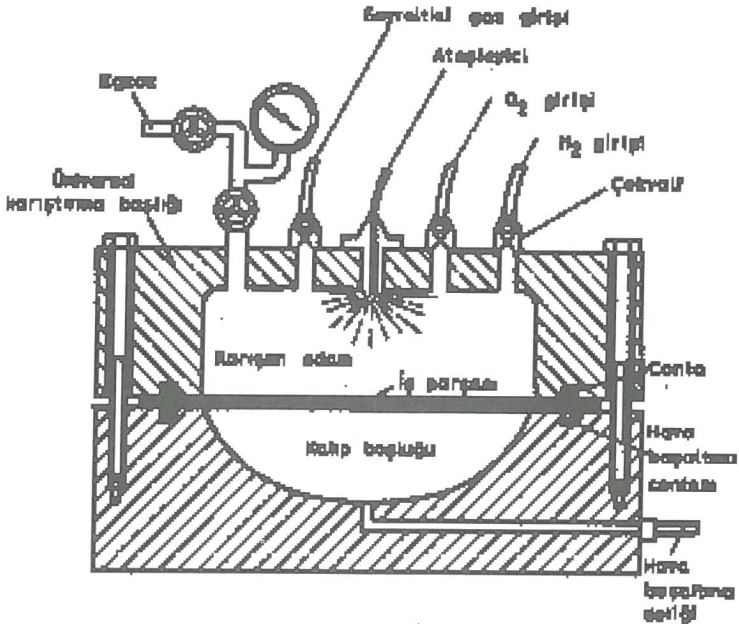
Bu sebeplerden dolayı, uygun büyüklükte ve yerde olmayan hava boşaltma deliğinden kaçınılmalıdır.



Şekil 6. Hava Boşaltma Deliğinin Olumsuz Etkileri

4.5 Sızdırmazlık Faktörü

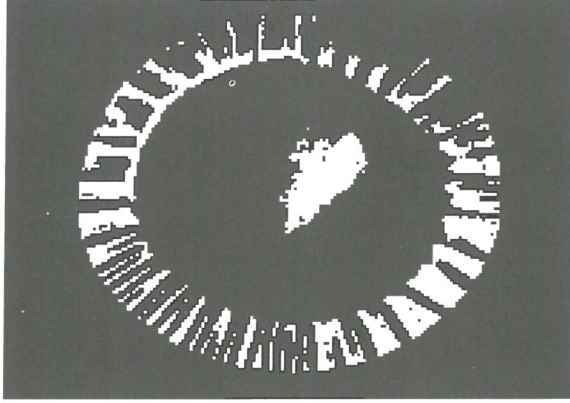
Patlama ile yapılan şekillendirme yöntemlerinde, iletken ortam olarak kullanılan gaz ve sıvıların kalıp boşluğuna dolmasını önlemek için parça ile kalıp arasında sızdırmazlığın sağlanması gerekir [6]. Küçük hacimli parçaların üretimi esnasında bu sızdırmazlık plastik malzemelerle sağlanabilir fakat uzun periyotlu üretimlerde bu sızdırmazlık baskı plakası ve iş parçasının altında kalıba açılan dairesel kanal içine yerleştirilen “ O “ ring sızdırmazlık elemanları tarafından sağlanır (Şekil 7).



Şekil 7. Patlama ile Şekillendirme Kalıplarında Sızdırmazlık Elemanlarının Kullanılışı

4.6 Baskı Plakası Faktörü

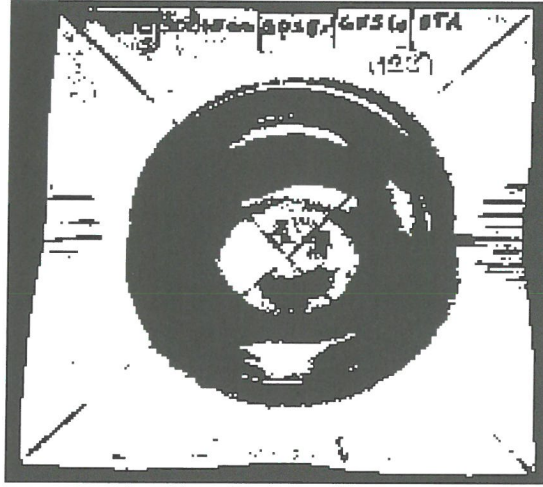
Serbest ve kalıpla şekillendirme işlemleri esnasında iş parçasının kalıp içine doğru olan akma ve kayma hareketini kontrol altına almak için baskı plakası kullanılmalıdır. Bu plaka aynı zamanda buruşmayı önler, kısmen de olsa malzeme gerilmesini ve çekilmesini kontrol altında tutar. Bu plakanın kullanılmaması veya kullanılıp baskı kuvvetinin yeterli olmaması halinde Şekil 8 ' de görülen flanş buruşması meydana gelmektedir. Genel olarak kalıba bağlanan düz ve kalın rondela biçimli parçalar, bu iş için yeterlidir. Bununla beraber bu rondelaların da üretim esnasında pratik kullanışlı olması tercih edilmektedir. Baskı plakasının basıncını ayarlamada ve parçanın kalıba yerleştirilmesinde civatalar mükemmel görev yapmaktadır. Ancak, otomasyona gidilmiş üretimlerde, her parça için bu işlemler tekrarlanacağından, zaman kaybına sebep olmaktadır. Bunun için hidrolik sistem gibi daha pratik bağlama yöntemleri tercih edilir.



Şekil 8. Flanş Buruşması. Kullanılan gaz miktarı 1861 cm^3 , 1/5 oranında karışmış Propan-oksijen, vuruş mesafesi $1396+40 \text{ mm}$ (kapalı+açık), malzeme 0.5 mm kalınlığında ve 40 H_B sertliğinde alüminyum.

Baskı kuvveti; merkezleme rondelasının kalınlığı, kalıpta saç parçası kalınlığında yapılacak kademe veya civata sıkma kuvveti ile kontrol edilir. Baskı kuvvetinin olmaması halinde kararsız ve simetrik olmayan çekme işlemleri meydana gelir. Özellikle üzerinde simetrik olmayan şekillerin bulunduğu parçalarda bu durum çok önemlidir. Bu çeşit parçaların çekilmesi esnasında gerilme yığılmaları nedeniyle istenmeyen sonuçlar meydana gelmektedir. Bazı parçaların üretimi esnasında ise parça simetrik olmasına rağmen ilkel parçanın dış kenarları ile çekilen parçanın dış kenarları arasındaki mesafenin her noktada eşdeğer olmaması halinde (kare parçadan yarıküresel kab çekme gibi), kısa mesafeli bölgelerde daha fazla buruşma meydana gelmektedir (Şekil 9). Bunu önlemek için ilkel parçanın dış kenarları ile çekilmiş parçanın dış kenarları arasındaki uzaklıklar eşit alınmaya dikkat edilmelidir.

Pratikte baskı plakası basıncı tampon tekniği ile üretilen parçalarda hemen hemen sıfırdan başlayarak diğer tekniklerde oldukça yüksek değerlere kadar ulaşır. Şekillendirilen parçanın da baskı plakası basıncı üzerinde etkisi vardır. Genel olarak işparçası malzemesinin dayanımının ve kalınlığının artması ile baskı plakası kuvveti de artar.

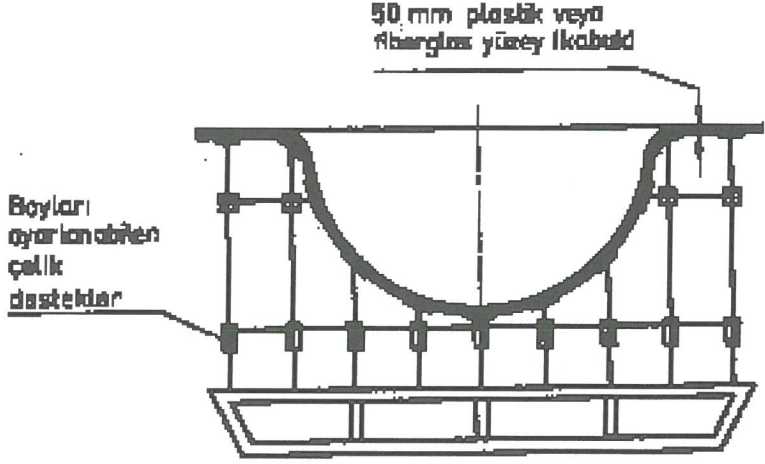


Şekil 9. Kare parçadan yarıküresel kab çekilmesi esnasında kısa mesafeli kenarlarda buruşma meydana gelmesi. Gaz hacmi 930.80 cm^3 1/5 oranında karışmış propan-oksijen, vuruş mesafesi $1396+6 \text{ mm}$ (kapalı+açık), malzeme 0.5 mm kalınlığında ve 40 H_B sertliğinde alüminyum.

4.7 Kalıp Büyüklüğü Faktörü

Yaklaşık 1500 mm ve daha büyük çaptaki parçaların patlama ile şekillendirilmesinde kullanılan tek parçalı kalıplar genel olarak hantal ve kullanışsız olmaktadır. Bu durum birçok araştırmacı ve üreticiyi daha hafif ve basit yapıları kalıpların üretilmesine sevk etmiştir. Bunlardan birtanesi de sarkaç kavramının esas alınarak geliştirildiği plastik yüzeyli (kabuklu) kalıplardır [1], [2]. Bunlarda esas kalıp yüzeyi, çelik ızgara ve iskelet üzerine oturtularak veya çelik konstrüksiyonlu kafes içine monte edilerek, belirli kalınlıktaki (örnek 50 mm) plastik veya fiberglas ile kaplanarak elde edilmektedir. Bu tür kalıplarda, alüminyum gibi yumuşak metaller şekillendirilmekte, daha sert metallerin aynı metodla şekillendirilmesinde ise, metal yüzeyli (kabuklu) kalıplar kullanılmaktadır. Plastik yüzeyli bir kalıbın kesiti Şekil 10' da görülmektedir.

Büyük parçaların şekillendirilmesinde diğer bir sistem de buz kalıplarının kullanılmasıdır [8]. Kısmen küçük kalıplarda, şekillendirici yüzeyleri oluşturacak olan su, katı karbondioksit ile dondurularak katı hale dönüştürülmektedir. Daha büyük çaptaki kalıplar için ise, soğutucu sargılar kullanılmakta ve buz kalıplarının mukavemetini arttırmak için suyun içine kum ilave edilebilmektedir [9].



Şekil 10 . Plastik Yüzeyli (Kabuklu) Kalıp

5. SONUÇ

Patlama ile şekillendirmede (detonasyon, elektrohidrolik ve elektromanyetik) kullanılan kalıpların tasarımını etkileyen faktörlerin en önemlisi şok basınç dalgalarının iş parçası ile beraber kalıp yüzeyine yüksek hızda çarpmasıyla kalıpta meydana gelebilecek çatlama, köşe kırılması ve ölçü büyümesidir. Yeterli kalıp büyüklüğü, köşelere kavis verilmesi ve uygun kalıp malzemesi seçimi ile bu olumsuzluklar giderilebilmektedir. Kırılan veya yumuşak metal kalıp malzemesinin kullanılması zorunlu ise kalıp, kırılma ve ölçü büyümesine karşı çelik konstrüksiyonlu kafesle takviye edilmelidir. Ayrıca, hava boşaltma deliğinin büyüklüğü, konumu ve şekli kalıpta kırılma meydana getirmeyecek değerlerde olmalıdır. İletken ortam olarak su ve diğer sıvıların kullanılması halinde çeşitli sızdırmazlık elemanları ile kalıptaki sızdırmazlık sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Beyer, W.C., "The Tool is the POOL," ASTME Paper No 64-124, 1964.
2. Cox, F., "Explosive Forming," Paper SP 62-03, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, Detroit, 1961.
3. Damborg, F. F., Jensen, M. R., Nielsen, K. B., and Danckert, J., "Optimization of the Draw Die Profile With Regard to Wear Using FEM". Advanced Sheet Metal Forming, Proceeding of the 19th Biennial IDDRG Congress Held in Eger, Hungary 10-14 June 1996.

4. Frey, A., "Applications of High Energy Rate Forming in France, "First International Conference of the Center for High Energy Forming (Estes Park, Colorado, June 19-23, 1967).
5. Gavas, M., " Detonasyonla Derin Çekme İşlemlerine Etkili Parametrelerin İncelenmesi " Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
6. Hobson G., Amini E., and Tobias S.A., "Development of an Explosive Sheet Forming Machine," Proc. 4th International Machine Tool Design and Research Conference, Manchester, 1963, P.337 (Pergamon).
7. Kandan, K. R., Rathinasabapathi, M., and Vaidyanathan, P. V., "Explosive form cladding A - critical study", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 32, 1992 Jul.65-71, Elsevier.
8. Lieberman, I., Zernow, L., "A New Concept of Low Cost Tooling For Explosive Forming-Ice Dies", ASTM Paper No, SP 63-68, 1963.
9. Simmler, W., "Applications of High Energy Rate Forming in West Germany", First International Conference of the Center for High Energy Forming (Estes Park, Colorado: June 19-23, 1967.
9. Tomingo, H. and Takamatsu, M., "Hydropunch - A Pneumatic Hydraulic Forming Machine", Proceedings of the Second International Conference of the Centre for High Energy Forming, Estes Park, Colorado, June 23-7, 1969.
10. U.S. Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico, "The Effects of Atomic Weapons", McGraw -Hill, New York 1959.