



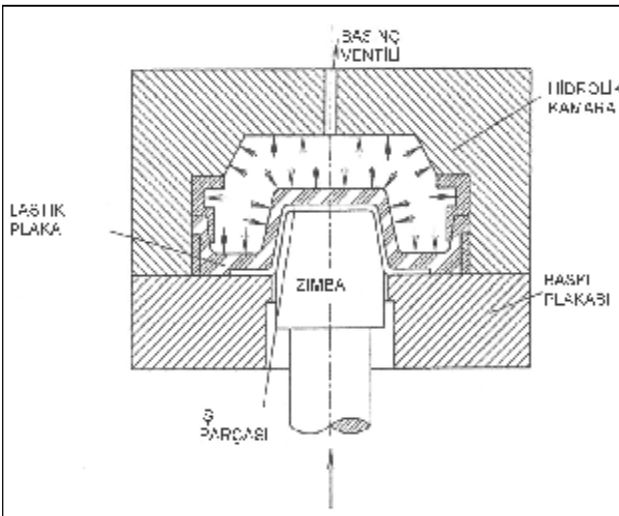
Sac hidrolik şekillendirme teknolojisi ise düşük adetli üretimlerde, prototip imalatında, alüminyum alaşımları ve yüksek dayanımlı çelikler gibi şekillendirilebilirliği göreceli olarak düşük malzemelerin kullanıldığı durumlarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır.

## HİDROLİK ŞEKİLLENDİRME TÜRLERİ

Hidrolik şekillendirme bir tür değişken biçimli takım (soft tool) veya diğer bir deyişle esnek şekillendirme teknolojisidir. Değişken biçimli takım ile şekillendirme teknolojileri basit ekipmanlar gerektirmeleri, mevcut donanımına uyum sağlayabilmeleri, düşük enerji tüketimleri, yüksek ürün kaliteleri ve fayda/maliyet oranlarının yüksek olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Değişken biçimli takım ile şekillendirme: lastik kalıpla şekillendirme ve akışkan ortam yardımıyla şekillendirme olarak iki grubu içerir. Akışkan ortam ile şekillendirme de kendi içinde 1) Gaz ile şekillendirme 2) Hidrolik şekillendirme olmak üzere iki alt grup içerir. Hidrolik şekillendirmeyi 3 ana grup altında toplayabiliriz:

1. Sac hidrolik şekillendirme
2. Tüp hidrolik şekillendirme
3. Hidromekanik derin çekme

*Sac Hidrolik şekillendirme (veya hidrolik şekillendirme ile derin çekme [2]):* Bu uygulama için kullanılan temel ekipmanlar Şekil 2'de gösterilmiştir.

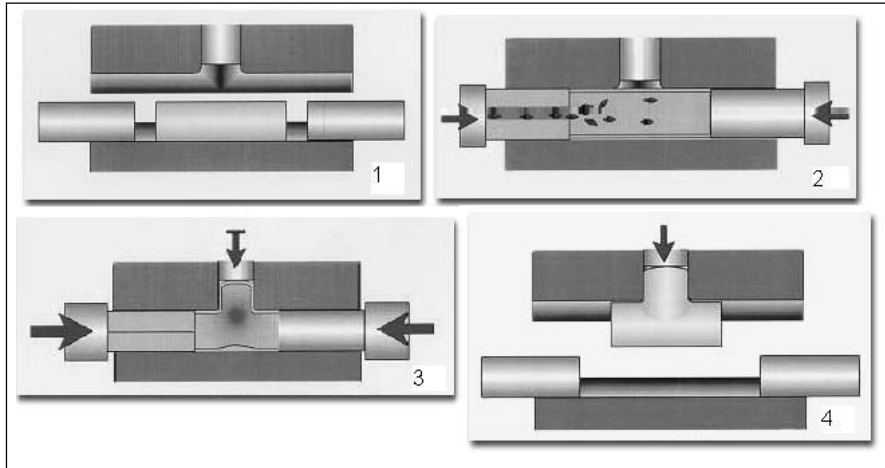


Şekil 2. Hidroşekillendirme İşlemi

İşlem esnasında şekillendirilecek sac baskı tablası üzerine konulur ve zımba sacı lastik plakaya doğru iter. Sacın hidrolik kamara üzerine itelenmesi hidrolik basıncın artmasına sebep olur. Kamaradaki artan basınç, sacın zımba üzerine sıvanmasını sağlar. Zımbanın hidrolik kamara içine ilerlemesi ile orantılı olarak artan hidrolik basınç, basınç ventili vasıtası ile istenilen seviyede tutulur. Sac istenilen şekli aldıktan sonra basınç boşaltılır ve parça çıkarılır. Bu teknoloji özellikle havacılık sanayiinde büyük boyutlu parçalarının imalatında, az adetli üretimlerde ve de prototip hazırlamada kullanılmaktadır.

*Tüp hidrolik şekillendirme (Şekil 3):* Bu teknolojiye zımbanın yerini tamamen sıvı bir ortam alır. İşlem, düz ya da önceden belirli bir geometride bükülmüş boru parçasının uygulanan aksenal kuvvet ve iç basınç veya sadece iç basınç tarafından kalıp boşluğunun şeklini almaya zorlanması olarak özetlenebilir. Diğer hidrolik şekillendirme uygulamalarına göre göreceli olarak daha yüksek basınçlarla şekillendirme gerçekleştirilir. Uygulanan basıncın büyüklüğüne göre (a) alçak basınçlı şekillendirme (b) yüksek basınçlı şekillendirme olarak ikiye ayrılır. Alçak-basınçlı şekillendirmede uygulanan iç basınç genel olarak 80-100 MPa civarında ve cidar inceliği çoğunlukla 5%'den daha azdır. Yüksek-basınçlı şekillendirmede ise iç basınç 690 MPa gibi yüksek değerlere çıkabilmekte ve buna bağlı olarak da boru malzeme daha karmaşık kalıp boşluklarını doldurabilmektedir. Endüstride her iki yöntem birlikte uygulanmaktadır. Öncelikle kalıp kapanırken düşük basınçla şekillendirme başlamakta, kalıp tam kapandıktan sonra yüksek basınçlı şekillendirmeye geçilmektedir. Böylece sürtünme kuvvetleri azalmakta, uygulanması gereken en yüksek basınç miktarı düşmektedir.

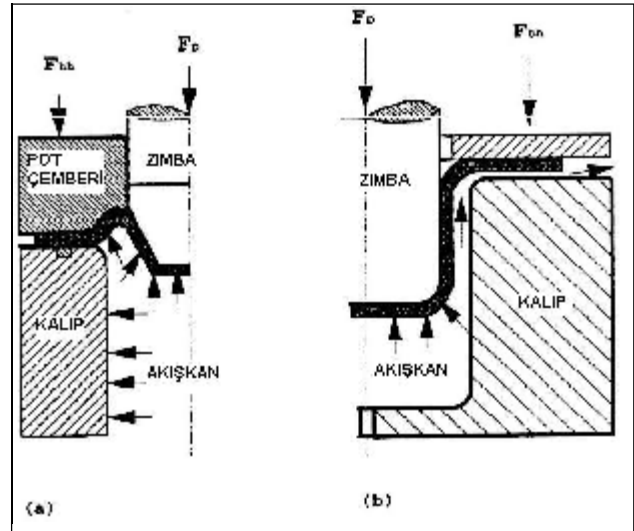
*Tüp hidrolik şekillendirme işlemi kabaca 4 adımdan oluşuyor gibi düşünülebilir (Şekil 3):* (1) İlk adımda düz veya ön şekillendirilmiş boru, üretilecek ürünün profiline sahip kalıp içine yerleştirilir. (2) Kalıp hidrolik pres



Şekil 3. Tüp Hidroşekillendirme İşlem Aşamaları [3]

yardımıyla kapatılır ve basınç uygulanır. Sızdırmazlığı ve aynı zamanda aksel stroku sağlayacak olan pistonlar harekete geçer, borunun iki tarafını kapatır ve ortam şekillendirmeyi sağlayacak akışkanla doldurulur. Bu akışkan uygulamanın türüne göre değişik özelliklerde olabilir. Genel olarak su kullanılmakla beraber, daha iyi sızdırmazlık özelliklerine sahip olmasından dolayı polimerik viskoz akışkanlarda kullanılmaktadır. (3) Uygulanan iç basınçtan ve eğer varsa aksel sıkıştırmadan dolayı malzeme kalıbın içinde akmaya başlar, şişer ve kalıbın şeklini alır. (4) İşlem sonunda kalıp açılır ve parça dışarıya alınır.

**Hidromekanik derin çekme işlemi (Şekil 4) :** Klasik hidrolik şekillendirme işlemi esnasında kullanılan lastik plaka bu işlem esnasında ortadan kalkar. Malzeme direk olarak akışkan ortamı ile temas halindedir. Birçok farklı türe ayrılabilmesine rağmen temel olarak 2 ana sınıfta düşünebilir: (a) Hidrostatik hidromekanik derin çekme (b) Hidrodinamik hidromekanik derin çekme [4] . Hidromekanik çekme yönteminde klasik çekmeye oranla daha yüksek çekme oranlarına ulaşılabilir. Pratik uygulamalar hidromekanik çekmede 2.7 gibi yüksek derin çekme ( $b^1$ ) oranlarına rahatlıkla ulaşabilmektedir. Bu durum bize klasik çekmede birden çok çekme kademesi gerektirecek profillere



Şekil 4. Hidromekanik Derin Çekme İşlemi: (a) Hidrostatik Hidromekanik Derin Çekme (b) Hidrodinamik Hidromekanik Derin Çekme

tek adımda ulaşma imkanı verir. Ayrıca bu işlem esnasında, malzemenin çekme zımbasına akışkan basıncı yardımıyla sıvanması sayesinde taban kavis bölgesinde malzeme incelmeleri çok az olmaktadır.

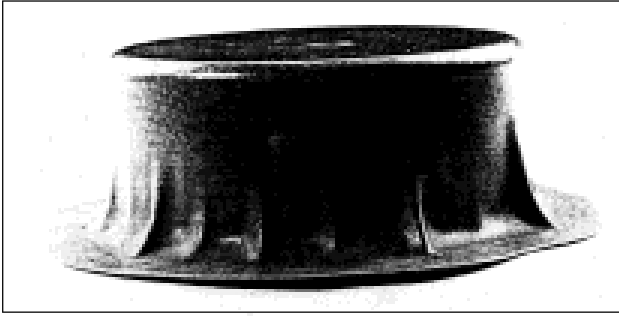
Bu büyük üstünlük, çok ince malzemelerin bile hidromekanik yöntem kullanılarak çekilmesine olanak sağlar. Küçük taban kavisleri kullanılabilir. Bu özellik, basınçlı kap imalatı gibi alanlarda, oldukça büyük avantaj sağlamaktadır. Klasik derin çekmede et kalınlığındaki yerel incelmelerden kaçınmak için, nominal kalınlıktan

<sup>1</sup> b çekme oranı ( $b=D/d$ ), D ilkel pul çapı, d çekilecek çap

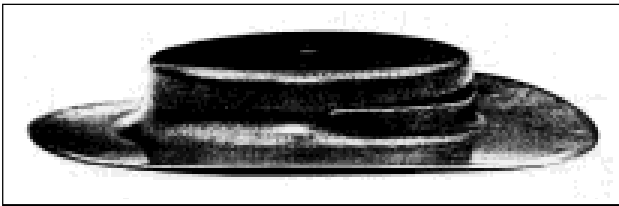
daha kalın levhalar kullanılırken; hidromekanik derin çekme yöntemiyle üretilen parçalarda, nominal kalınlığa çok daha yakın malzemeler kullanılabilir. Yöntem otomobil parçalarının üretiminde (far kovanları, çamurluklar), uçak sanayinde ve mutfak ekipmanları üretiminde kullanılmaktadır.

## İŞLEM

İşlemin başarılı olup olmayacağını belirleyen temel değişken çalışma basıncıdır. Örneğin yetersiz basınçla işlemin gerçekleştirilmesi kırışmalara yol açabilirken (Şekil 5), gereğinden yüksek basınçlarda çalışılması ise gerilme dengesizliklerinden doğan erken yırtılmalara yol açabilir (Şekil 6) [5, 6, 7]. Ayrıca yüksek basınç flanş ile kalıp arasındaki sürtünme



Şekil 5. Çok Düşük Basınç Nedeniyle Oluşan Buruşma



Şekil 6. Çalışma Bölgesinin Üstünde Basınç Uygulanması Sonucu Hasar Oluşumu

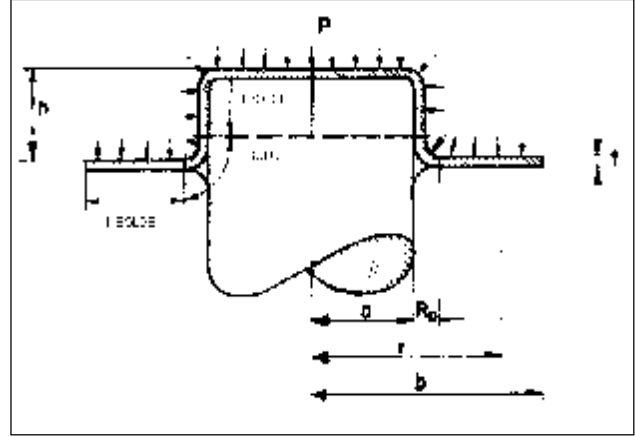
kuvvetlerini artıracığından, içeriye doğru gelişen plastik akışına karşı daha fazla direnç oluşur, bu da hasar oluşumuna sebep olur.

Günümüzde, çalışma basıncı, malzeme özellikleri ve de mevcut parça geometrisi arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmaktadır. Bu tür bir ilişkinin bulunması

ile, mümkün olan en yüksek çekme oranı limitlerinde (LDR) sistematik bir şekilde çalışılabilecektir.

Plastik şekil değişimi esnasında malzemede farklı karakteristikte üç ayrı bölge gözlemlenir (Şekil 7).

I.Bölge: Flanş bölgesinin kalıpla temasını sürdürdüğü bölüm



Şekil 7. Sac Hidrolik Şekillendirmede Plastik Şekillenme Bölgeleri

II.Bölge: Sacın kalıp içine akmaya başladığı kıvrım bölümü

III.Bölge : Sacın basınç dolayısıyla zımba ile direk temasta bulunduğu bölüm

Klasik derin çekme işleminde hasar kabın taban bölgesinde oluşurken (düzlemsel gerilme hali için) hidroşekillendirme ile gerçekleştirilen işlemlerde hasar, malzemenin kabın içine akmaya başladığı üst kısımlarda (II. ve III. Bölgeler arası) oluşmaktadır. Bunun sebebi yukarıda da belirtildiği gibi sıvı basıncının malzemeyi zımbaya iyice yapıştırmasıdır. Hasar bölgesinin taban kısmından üst kısımlara taşınması neticesinde, malzemenin şekillendirilebilirlik limitleri önemli ölçüde gelişme gösterir.

Hidrolik şekillendirme teknolojisinin avantajları şunlardır:

İşlem tek taraflı rijit kalıp kullanır. Bundan dolayı işleme, parça ve işçilik masrafları düşüktür. Ayrıca daha az kalıp aşınması görüldüğünden kalıp bakım masrafları daha düşüktür.

İşlem, ürün kalitesini geliştirir, ürün performansı ciddi ölçüde artırır. Hidrolik şekillendirme ile üretilmiş parçalar daha hafif, ucuz, dayanıklı, rijit, malzemeyi daha verimli kullanan daha kaliteli ürünlerdir. Özellikle yüksek dayanımlı çelik kullanıldığında, bu artış daha iyi gözlenebilmektedir. Buna örnek olarak, liderliğini bir firmanın yürüttüğü, Süper Hafif Çelik Otomobil Gövdesi-Gelişkin Araç Konsepti Projesi verilebilir [8]. Bu projede iki temel kriter vardır: ağırlık ve maliyet. Bu teknoloji daha hafif ve de daha fonksiyonel parçaların üretilmesine imkan sağlamasından ötürü bazı gövde parçalarının (roof rail) üretiminde kullanılmaktadır.

Klasik yöntemler ile üretilen parçalarla kıyaslandığında, hidrolik şekillendirme ile üretilen parçalar daha sıkı bir tolerans aralığına ve de daha yüksek bir boyutsal tekrarlanabilirliğe sahiptir. Ayrıca daha iyi bir yüzey görünümüne, daha düşük geri yaylanma miktarına, ve önemli ölçüde daha düşük artık gerilmelere sahiptir.

Hidrolik şekillendirme ile üretilen parçalar oldukça karmaşık şekillerde olabilir. (Şekil 1). Bu teknoloji ile diğer üretim yöntemleri ile üretilmeyen karmaşık geometrideki parçalar üretilir. Klasik yöntemlerle üretilen, daha sonra kaynak ve de benzeri yöntemlerle birleştirilen bir çok parça hidrolik şekillendirme yöntemiyle üretilen parçalarla değiştirilerek üründeki parça adedi düşürülebilir. Daha az parçadan oluşan bir ürün, örneğin bir otomobil, daha hafif olacaktır ve de daha az işçilik gerektirecektir. Birçok farklı aşama gerektiren parçalar, tek bir adımda üretilebilecek dolayısıyla ara istasyonların sayısı azalacaktır. Örneğin, parça aynı kalıbın içinde hem şişirilip hem de delikler açılabilir. Yöntem, birçok işlemi aynı anda yapması ve bazı durumlarda kaynak işlemine gereksinimi ortadan kaldırması dolayısıyla oluşan hurda miktarı çok düşüktür.

Hidrolik şekillendirme, yukarıda sayılan getirilerinin yanı sıra; uzun işlem süresi, çok iyi parlatılmış kalıp yüzeyleri, özel sızdırmazlık teknolojileri, yüksek tonajlı presler gibi pahalı ekipmanlar ve gerek işlem hakkında, gerek de uygun takım tasarımı hakkında gerekli bilgi ve tecrübenin oluşmamış olması gibi birçok farklı

götürüye de sahiptir. Bundan dolayı işlemin, klasik üretim yöntemlerine göre avantajlı olup olmadığı tüm bu şartlar göz önüne alınarak, her bir parça için ayrı ayrı kontrol edilmelidir.

## SONUÇ

Hidrolik şekillendirme, son yıllardaki araştırmalar neticesinde, klasik üretim yöntemlerine önemli bir alternatif oluşturmuştur. Otomobil sanayinde daha hafif, daha sağlam ve daha düşük üretim adetlerine ekonomik üretilirliği olan araçlara talep artıktıkça, hidrolik şekillendirmenin tüm dallarına ilgi artacaktır. Türkiye'de bu konu halihazırda yeteri kadar ilgi görmemesine rağmen, gelişen kalıp sanayi neticesinde, yakın bir gelecekte bu alanda yetişmiş iş gücüne ve bilgi birikimine ihtiyaç olacaktır.

## KAYNAKÇA

1. **Q. Wang** , Hydromechanical Deep Drawing, New Technol. New Process. 5 (1994) 23-24
2. **S.H. Zhang**, Developments in Hydroforming. Journal of Materials Processing Technology. 91 (1999) 236-244
3. **Schuler Hydroforming**, [http://www.schulergroup.com/en/30\\_products/60\\_hydroforming/10\\_with\\_pressure\\_from-within/index.php](http://www.schulergroup.com/en/30_products/60_hydroforming/10_with_pressure_from-within/index.php)
4. **S. Yossifon ve J. Tirosh**, Rapture Instability in Hydroforming Deep Drawing Process. Int. J. Mech. Sci. 27,559-570
5. **S. Yossifon, J. Tirosh ve E. Kochavi**, On Suppression of Plastic Buckling in Hydroforming Process. Int. J. Mech. Sci. 26, 389-402 (1984);
6. **S. Yossifon ve J. Tirosh**, Buckling Prevention by Lateral Fluid Pressure in Deep Drawing. Int. J. Mech. Sci. 27, 1977-185 (1985)
7. **I. Strambland**, Fluid Forming of Sheet Steel. Sheet Met. Ind. 47, 41-54 (1970)
8. International Iron&steel Institute, [http://www.ulsab.org/ulsab/OverviewReport/ULSAB\\_ExecSum-pdf](http://www.ulsab.org/ulsab/OverviewReport/ULSAB_ExecSum-pdf)