

### SAC ŞEKİLLENDİRME İLE İMALAT

- \* Tüm sac'lar kesme işlemi dışında şekillendirilirken bir yandan **UZATILIR**, öte yandan sıkıştırılarak **BÜZÜLME** ile son şeklini alır.
- \* Sac şekillendirme ya **mekanik** ya da **hidrolik pres'lerde** yapılır.
- \* Sac şekillendirme **zımba** (punch=ıstampa=erkek kalıp) ile **kalıp** (matris=dişi kalıp) arasında yapılır.
- \* Sacın kırışmasını önlemek için "**POT ÇEMBERİ**" kullanılır.
- \* Sac şekillendirme yöntemleri :
  - **Derin çekme**
  - **Gererek şekillendirme**
  - **Eğme ve kenetleme**
  - **Sıvama** diye sınıflanır.

### DERİN ÇEKMENİN TEMEL ESASLARI

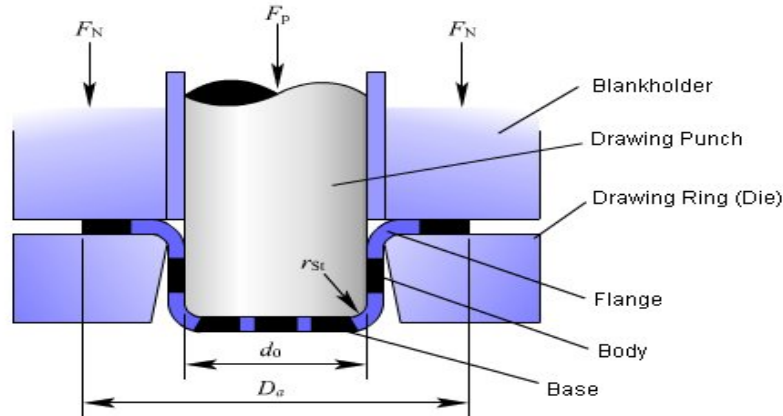
#### **DERİN ÇEKME NEDİR?**

- \* Yuvarlak sac'tan üç boyutlu **derin bir kap** elde etme işlemidir.
- \* Bu işlemde **zımba** ve **kalıp** kullanılır.
- \* Yırtılma olmasın diye zımba ve kalıp köşeleri radyüslüdür.
- \* Derin çekme işleminde sac kalınlığında büyük değişiklik olmaz.
- \* Elde edilen ürünün tabanı düzdür.

#### **DERİN ÇEKME ORANI SINIRI**

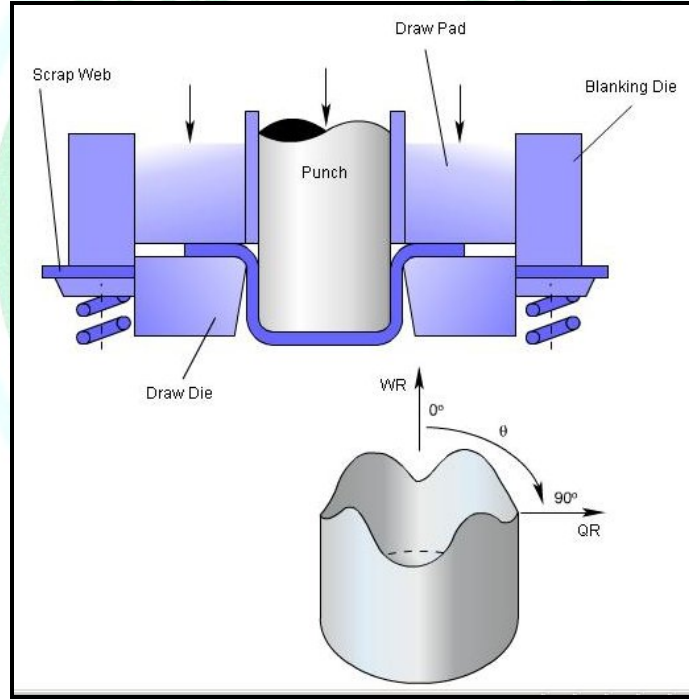
**Çekme oranı** : Başlangıçtaki  $D_0$  parça çapının,  $d_0$  zımba çapına oranıdır.

**Çekme Oranı Sınırı (limit)** : Maksimum çekilebilecek  $D_0$  parça çapının,  $d_0$  zımba çapına oranıdır. Bu değer, malzemelerin derin çekilebilirliğinin bir ifadesidir. Malzemelerin çatlak başlangıcından az önce maksimum hangi çapa kadar çekilebildiğini açıklar



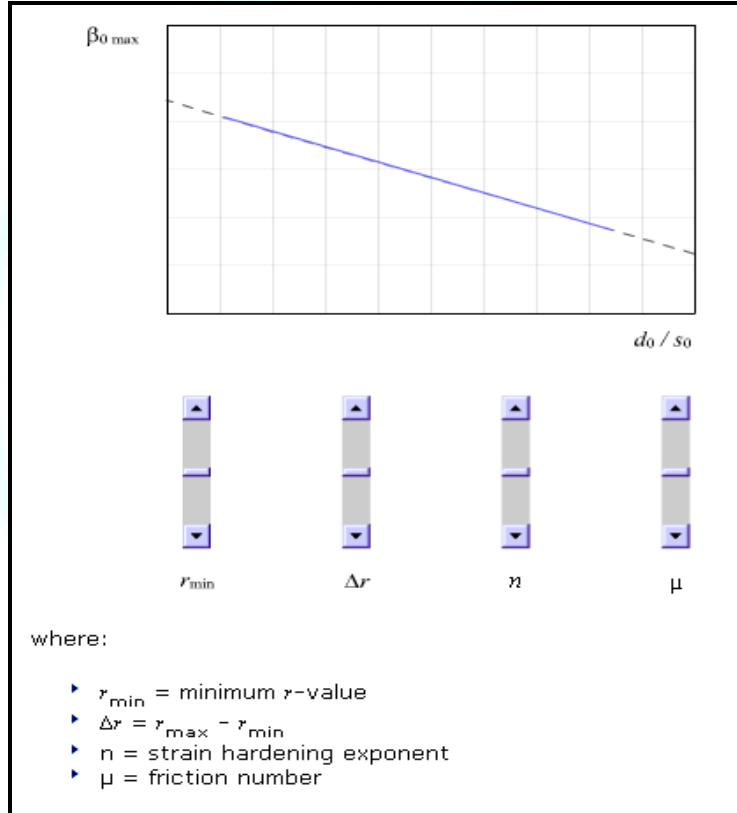
## KENAR PROFİLLERİ

Sacın anizotropisi (kristallografik yapısı), dairesel parçaların derin çekilmesi esnasında eşit olmayan düzensiz kab kenarlarının oluşmasına neden olur.



## DERİN ÇEKME ORAN SINIRINI ETKİLİYEN PARAMATRELER

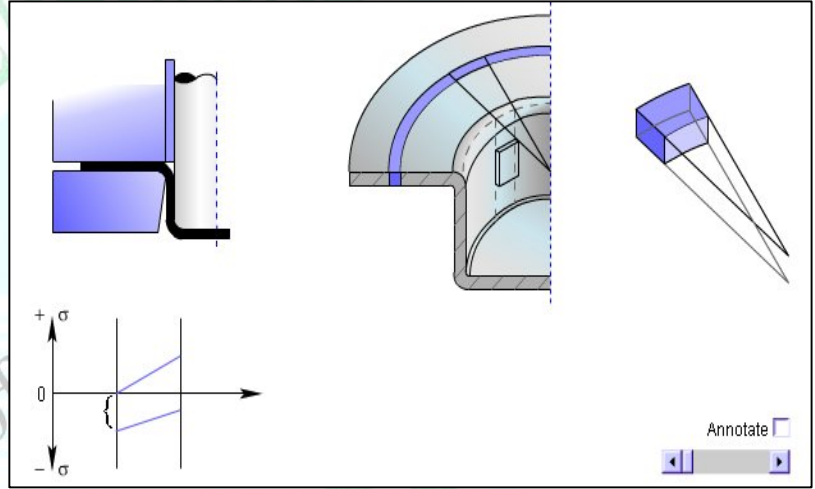
$\beta_{0 \max}$  sınır çekme oranı, flanş ile pot çemberi arasındaki ( $\mu$ )'ye bağlıdır. Bu etki, büyük çaplı zimbalar için daha da fazladır.  $\beta_{0 \max}$  aynı zamanda malzemenin de fonksiyonudur.



## ŞEKİLVİRME BÖLGESİNDE OLUŞAN GERİLMELER

Silindirik kapların derin çekilmesinde pot çemberi altındaki parça, “**radyal çeki gerilme**”sine ve “**teğetsel bası gerilme**”sine maruz kalır. Aynı zamanda flanş’taki buruşma (**wrinkling**)’ yı önlemek için pot çemberi kuvveti, min.değerde ve dik şekilde bası gerilmesi uygulanmalıdır.

Aşağıdaki ve bundan sonraki sayfadaki diyagramlar, pot çemberli derin çekme esnasında şekil değiştiren bölgede hareket eden gerilmeleri göstermektedir. Zımba (eğme bölgesinde)’dan verilen bir mesafedeki gerilmelerin relatif büyüklükleri görmek için “kayıcı” yı hareket ettirerek izleyiniz.



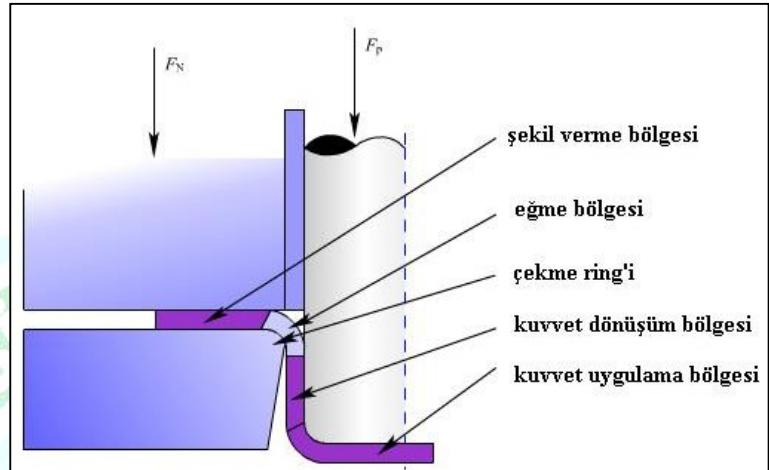
## DERİN ÇEKMEDE OLUŞAN GERİLME BÖLGELERİ

Derin çekme esnasında birbirinden farklı 4 bölge oluşur.

1)- **Şekil verme bölgesi**: Burası pot çemberinin parçaya bastığı kısımdır. Pot çemberi kuvveti ilk oluşacak “buruşma” yı önler.

2)- **Eğme bölgesi** : Parça, çekme ring radyüsü üzerinden eğmeye zorlanır.

3)- **Kuvvet taşıma bölgesi** :Bu bölgede parçanın cidarları şekil alır.



4)-**Kuvvet uygulama bölgesi** :Şekil vermeye basma kuvveti ile bu bölgede başlanır.

## STABİL ŞART :

Triboloji sistemlerinde sürtünme ;

\* **saç / yağ / pot çemberi**

\* **saç / yağ / çekme ringi**

\* **saç / yağ / çekme ring radyüsü aralarında** mümkün olduğunca az olmalıdır. Zımba ve sacın cidar kalınlığı arasındaki sürtünme çok yüksek zımba kuvvetleri oluşsun diye mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.

Aşağıdaki **STABİL ŞARTI** olmalıdır.

$$F_p \leq F_T = (a) \cdot R_m \cdot U \cdot T$$

Burada ;

**(a)** : Yırtılma faktörü

**R<sub>m</sub>** : sacın çekme mukavemeti

**U** : Zımba çevresi

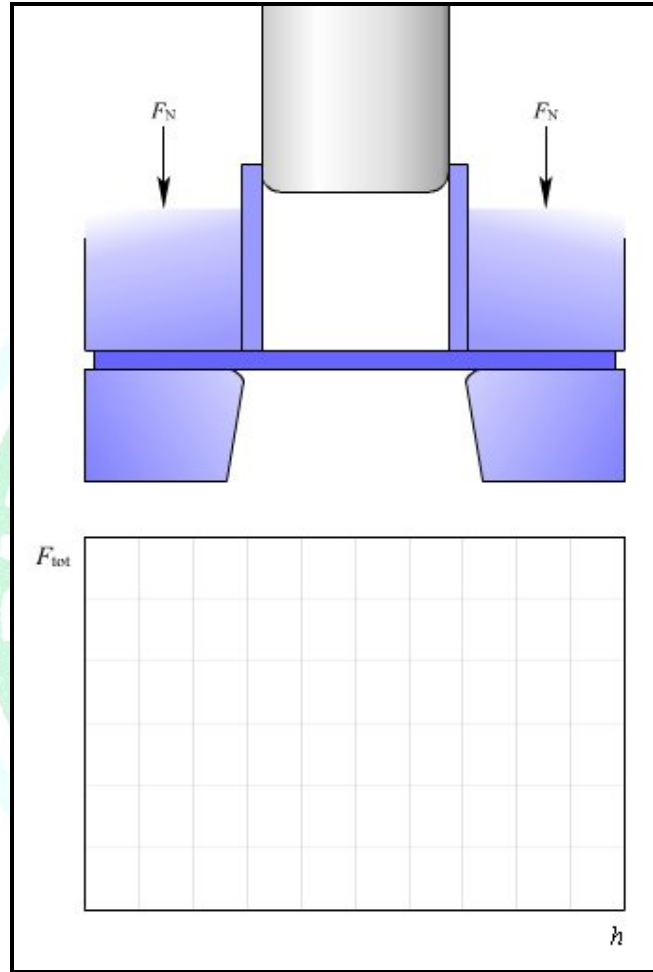
**t** : Saç kalınlığı

**F<sub>T</sub>** : Yırtma kuvveti

**a)** → **parça kalınlığı / yağ / zımba** arasındaki sürtünmeden etkilenir. Yırtılma faktörü (**μ**) büyük olursa, daha büyük yırtılma kuvveti oluşur. O zaman da parça cidarında yırtılma meydana gelir.

### DERİN ÇEKME ESNASINDA OLUŞAN KUVVETLER

Derin çekme kuvveti (**F<sub>p</sub>**) , işlem esnasında artar, kritik bir max.değere ulaşır. İlk önce parçanın alt kısmı şekil alır. Sonra derin çekmenin diğer kısımları cidarlar ve derinlik şekillenir.



Stabil şart, zımba kuvveti ( $F_p$ ) 'yi mümkün olduğunca düşük olacak şekilde tutmaktan etkilenebilir. Bu durumda aşağıdaki denklem göz önüne alınmalıdır.

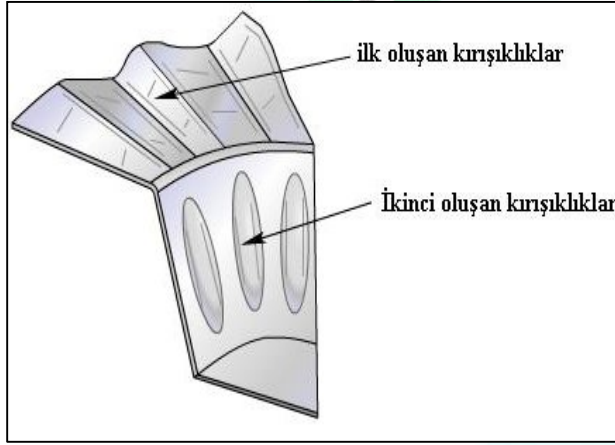
$$F_p = F_{IDE} + F_{EĞM} + F_{SAC/YAĞ/POT} + F_{SAC/YAĞ/RİNG} + F_{SAC/YAĞ/RİNG RAD.}$$

Derin çekme esnasında  $F_{IDE}$  ve  $F_{EĞM}$  kuvvetleri sac malzemesi ve sac kalınlığı verilmişse etkilenmezler. Fakat , yağlanmaya rağmen sac/kalıp yüzeylerindeki yukarıdaki üç sürtünme kuvvetini min. indirmek mümkündür.

### KIRŞIKLIK-BURUŞULUKLAR –I-

Flanş'ta **tg** basma gerilmesi altında parça bukleye şeklinde oluşmaya meyleder.Sonuçta oluşan kıvrımlara “**ilk oluşan kırışıklıklar**” adı verilir.Bu durum **YETERLİ POT ÇEMBERİ KUVVETİ** ( $F_p$ ) uygu lamakla önlenabilir.

Kabın çekilmesi esnasında parça kalınlığı, flanş'ın dış kenarına doğru **ARTAR.Kalıp** radyüsüne yakın orta kısım ise daha **İNCE** olur.



Kalıp ile pot çemberi arasındaki mesafe , en büyük flanş kalınlığı olarak belirlenir.Böylece da ha küçük alanlar için pot çemberi ve sac arasında küçük bir aralık olacaktır.Bu da ikinci kez oluşan kırışıklıkların başlamasına izin verecektir

### KIRŞIKLIK-BURUŞUKLUK-II-

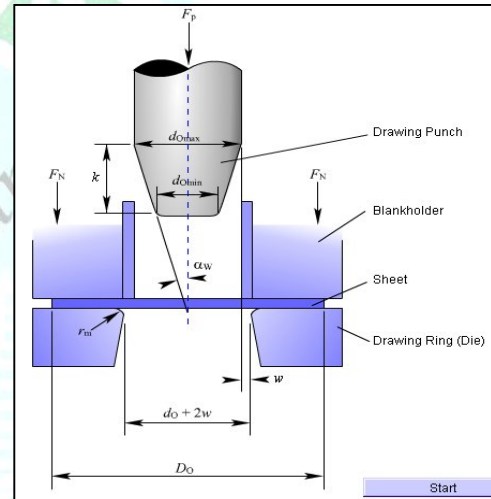
Konik,parabolik veya küresel parçaların derin çekilmesi silindirik parçaların derin çekilmesinden oldukça daha zordur.

\* Çekme kuvveti,yalnızca sacın küçük kesitlerinden taşınması na izin verildiğinden,küçük çekme oranlarında bile lokal çatlama tehlikesi yüksektir.

\* Deformasyon yalnızca flanş'ta meydana gelmez, aynı zaman da zımba ve kalıp arasındaki bölgede de meydana gelir.Burada iş parçası dayanamaz, ilk kırışıklığın meydana gelmesine sebep olan tg bası gerilmelerine maruz kalır.

Böyle durumlarda “**hidromekanik derin çekme**” uygun bir alternatiftir.

$$k = (d_{0max} - d_{0min}) / 2 \text{ tg } \alpha_w$$



## DERİN ÇEKİLEN SAÇ'TA YIRTILMA

Derin çekme işleminde büyük çekme oranı seçersek ;  $\beta_0 = D_0 / d_0$

Daha büyük max. çekme yükü, çekilen parçanın cidarından taşınmasına müsaade edilir. Çekme oranı max. Değeri aştığı zaman kabın alt tarafında çatlamlar olur.

Bu çatlaklar ;

\* Kabın alt tarafının def. esnasında, alt radyus bölgesinde zamanından önce çatlak doğabilir.

\* Kabın alt tarafının oluşmasından sonra, kabın alt tarafındaki radyüste ve kabın cidar kısmına geçişte doğal çatlak oluşabilir.



## POT ÇEMBERİ KUVVETİNİN ETKİSİ

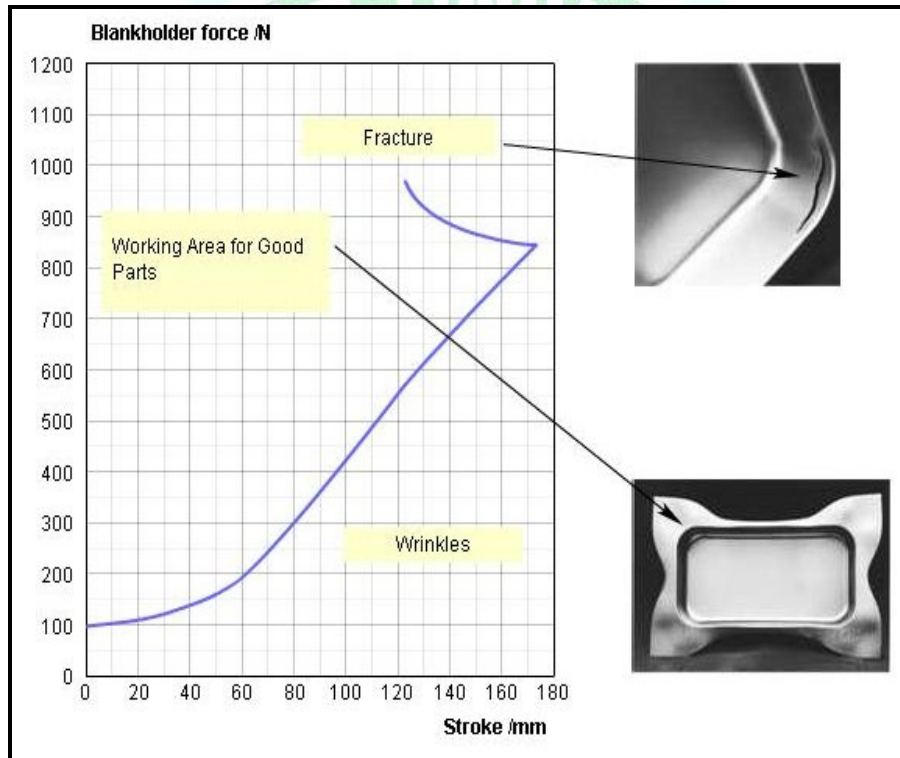
- İşlem ;
- Saç malzeme özelliklerine,
  - Yağlama durumuna,
  - Takım geometrisine,
  - Şekil verme parametrelerine

bağlı olarak “sınırlama” getirebilir.

\* **ÜST SINIR** : Çatlak oluşumu ve kırılma

\* **ALT SINIR** : Kırışıklık-buruşukluğa meyil

Bu iki hata kriteri prosesi sınırlar. Hatasız parçalar için çalışma alanı, bu limitler arasında uzanır.



## DERİN ÇEKME PROSESLERİ

### DERİN ÇEKME İŞLEMİNE GENEL BAKIŞ

Kuvvetin uygulanış biçimine göre 3 kategoride derin çekme işlemini irdeleyebiliriz.

\* **Derin çekme takımları ile ;**

- Silindirik kapların d.ç.
- Direkt tekrar d.ç
- Tersine tekrar d.ç
- Kompleks parçaların d.ç

\* **Aktif ortamda d.ç**

- Hidromekanik d.ç

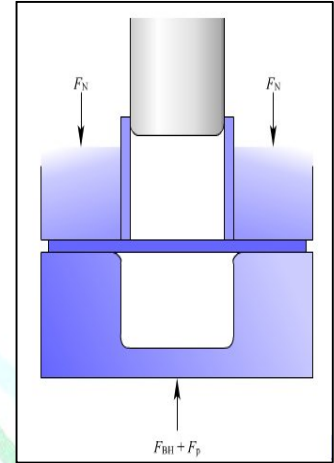
\* **Aktif enerji ile d.ç**

En çok ilk iki metot kullanılır.

### SİLİNDİRİK KABLARIN DERİN ÇEKİLMESİ

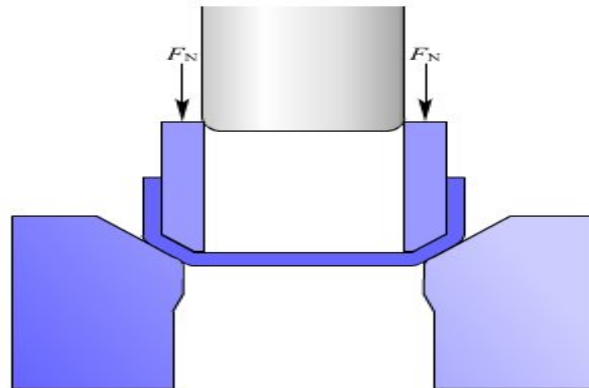
Derin çekme işlemi esnasında dairesel zımba kuvvetleri, önce zımba/ parça ikilisinin alt kısmına sonra kabın cidarını oluşturacak kısma aktarılır.Pot çemberi kuvveti, şekillendirme bölgesinde “**tg bası strain**”inden dolayı oluşacak kırışma-buruşma problemini önler.

Zımba aşağı doğru giderken saç,pot çemberi altında,çekme ring radyüsü boyunca akar ve boşluğa doğru çekilir.Proses esnasında “**saç kalınlığı**” hemen hemen sabit kalır.



### DİREKT TEKRAR DERİN ÇEKME PROSESİ-I-

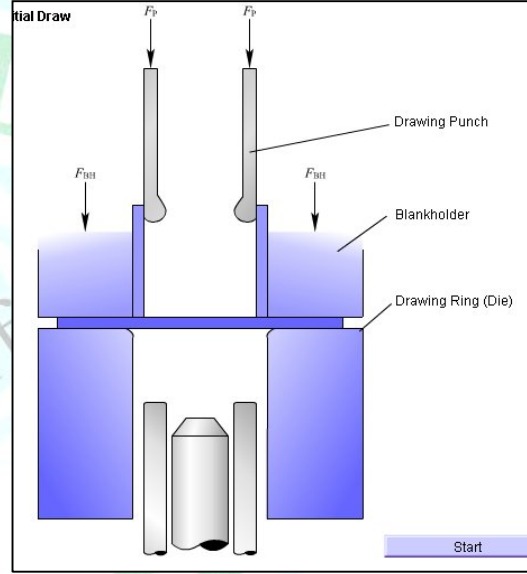
Daha büyük çekme oranları elde etmek için, direkt tekrar çekme işlemi uygulanır.Birinci çekmenin tersine,çekme ringinin konik şekli,saca dik olarak etkir,çekme ringine karşı basmaya ve daha ileri şekil vermeye zorlar.



### TERSİNE TEKRAR DERİN ÇEKME-II-

Tersine derin çekmede saç başlangıçta bir kab gibi şekillendirilir. Bunu zıt yönde çalışan bir zımba üzerine malzemeyi sürme izler. Tersine çekme, büyük flanşlı silindirik olmayan parçaların derin çekme işlemine katkıda bulunmak için yapılır, belli bölgelerde malzeme yığılması da yapabilir.

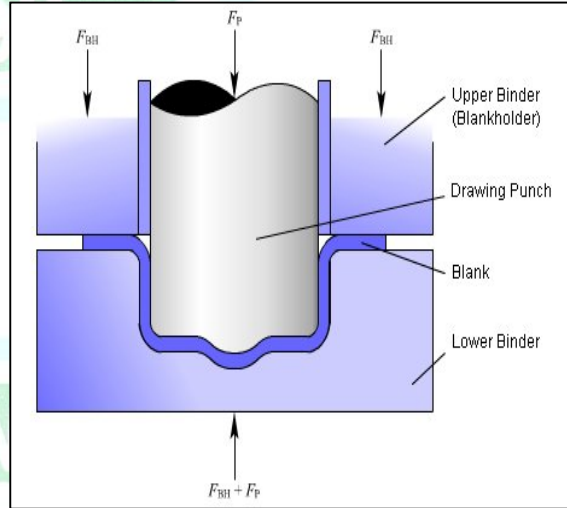
İlk işlem ve sonraki tersine çekme işlemi sıg bir zımba kullanarak tek bir işlemde yapılır.



### KOMPLEX PARÇALARIN DERİN ÇEKİLMESİ-I-

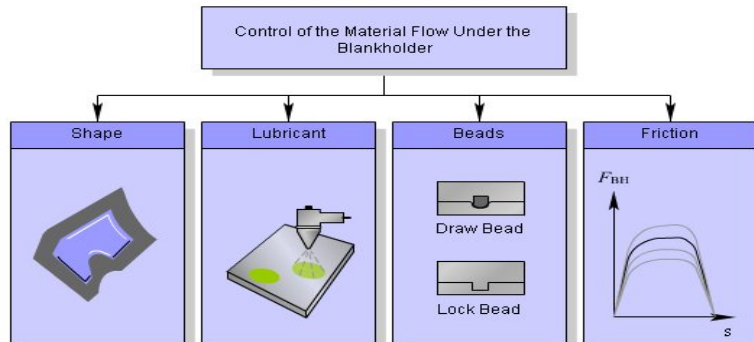
Otomobil gövde paneli gibi, dönel olmayan simetrik parçaların derin çekme işlemi ; derin çekme ile mekanik uzatma işlemlerinin karışımından oluşur.

Nisbeten büyük saç metal parçaları ; azıcık derin çekme, önemli miktarda uzatarak şekil vermenin karışımı ile yapılmaktadır. Bunun tersine otomobil iç kapı panelleri gibi derin çekilerek şekillendirilen parçalar, önemli ölçüde derin çekme, azıcık ta uzatarak şekil verme ile şekillendirilir.



### KOMPLEX PARÇALARIN DERİN ÇEKİLMESİ-II-

Eksenel simetrik parçaların derin çekilmesinde pot çember kuvvetle ri buruşukluk meydana getirmesin diye kontrol edilebilmelidir. Simetrik olmayan parçalar için de malzeme akışı kontrol edilebilmelidir. Malzeme akışı **BEAD**' lerde eğme-sürtünme kuvvetlerince, **PARÇA ŞEKLİ**'nde çekme ve sürtünme kuvvetlerince **SÜRTÜNME** parça ve şeritler arasındaki sürtünme, kullanılan yağ'lar ve pot çemberi kuvvetlerince engellenmektedir.





### KOMPLEX PARÇALARIN DERİN ÇEKİLMESİ-III-

Aşağıda bir araba kapı panelinde malzeme akışının nasıl önlendiği,engellendiği görülmektedir.

- \* **PARÇA ŞEKLİ** : Büyük parçalar malzeme akışını engeller,zira şekle bakılırsa,saç ile alt kuşak arasındaki sürtünmenin üstesinden gelmek için daha fazla kuvvet gerekecektir.
- \* **DRAW BEADS** : Sürtünme ve eğme kuvvetleri sebebiyle,
- \* **LOCK BEADS** : İki şerit arasındaki metal akışını lock beads'ler kendileri,

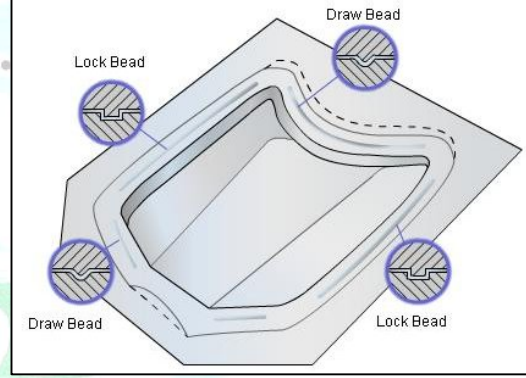
### SÜRTÜNME KUVVETLERİ

Yağlama ve pot çemberi kuvvetleri etkilidir.Özellikle ;

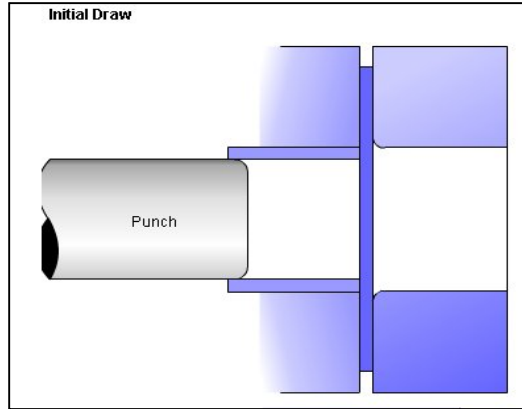
**Saç / üst kuşak ile**

**Saç / alt kuşak**

arasındaki yağlama ve pot çemberi kuvvetleri malzeme akışını önleyecektir.



### DERİN ÇEKME PARÇALARDA CİDAR KALINLIĞI



#### (Cidar kalınlığının ütülenmesi)

Aşağıda maksimum kalınlığı 0,3 mm olan Al saç'tan kesilmiş dairesel bir parçanın derin çekilmesi ile üretilen Al kabının üç üretim aşaması görülmektedir.

Derin çekme esnasında önemli bir “kulak çıkıntısı” hatasından sakınmak için Al saç metal min. Anizotropi'de olmalıdır. Çünkü derin çekme, sonra gelen tekrar çekme ve saç ütüleme aşamalarında”clip-off” hatasına sebep olabilir.

### GEREREK ŞEKİLLENDİRME

#### UZATARAK-GEREREK ÇEKME İŞLEMİ

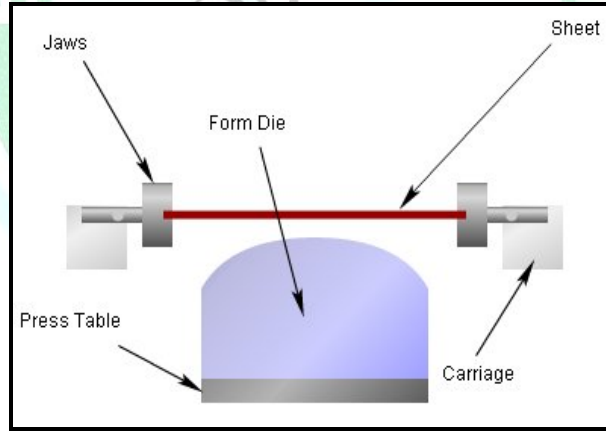
Bu proses çok rijit bir zımba ile sacın şekillenmesi olayıdır. Zımba sacın kenarlarından kuvvetlice tutar.Nispeten düz fakat boyutça büyük olan parçalar istenilen şekilde kıvrılıp, şekillendirilirler.



Proses 4 aşamalıdır.

1. Yükleme
2. Ön germe
3. Uzatma
4. Gevşetme

Saç,  $\sigma_{ak}$ 'nın %2-4 üzerinde plastik şekil değişimine uğrar.



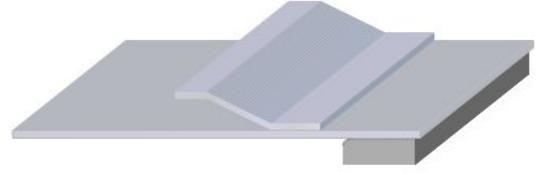
Gererek şekillendirmede **BOYUN VERME** olayı sınırlandırıcı faktördür.

- \* Tek eksenli çekmede boyun verme kriteri max. çekmeye karşılık gelen ( $\epsilon_{çek}$ ) olurken,
- \* İki eksenli çekme'de şekil değiştirme sınırı **BİÇİMLENDİRME SINIR DİYAGRAMLAR** ile belirlenir.
- Bu yöntemde “**GERİ YAYLANMA**” olayı gerilmelerin homojen dağılması sebebiyle önlenmiş durumdadır.
- Malzeme bu yöntemle şekil vermede yeterince **SÜNEK** olmalıdır.
- **GEREREK ŞEKİL VERME ORANI (GŞVO) =  $h/l$**  ile belirlenir.
- \* Kalınlık artarsa , GŞVO artar.
- \* İnce taneli mlz, tek fazlı mlz olursa, GŞVO artar.
- (n) **pekleşme oranı** artarsa, boyun verme güçleşir.
- (n) **pekleşme oranı** düşerse, boyun verme kolaylaşır.
- (m) şekil verme hız hassasiyet katsayısı artarsa, boyun verme etrafa yayılır, homojen kalınlık azalması görülür, çatlak oluşumu gecikir.

## EĞME-KATLAMA İLE ŞEKİLVERME

EĞME-KENET YAPMA :

**Kenet** ; hazır saç'ların kenarları birbiri üzerine uzatılıp,araları sokulup, eğilmesi ile yapılan bir birleştirme prosesi'dir. Nokta teması ve çizgide maslı kenet işlemleri vardır.



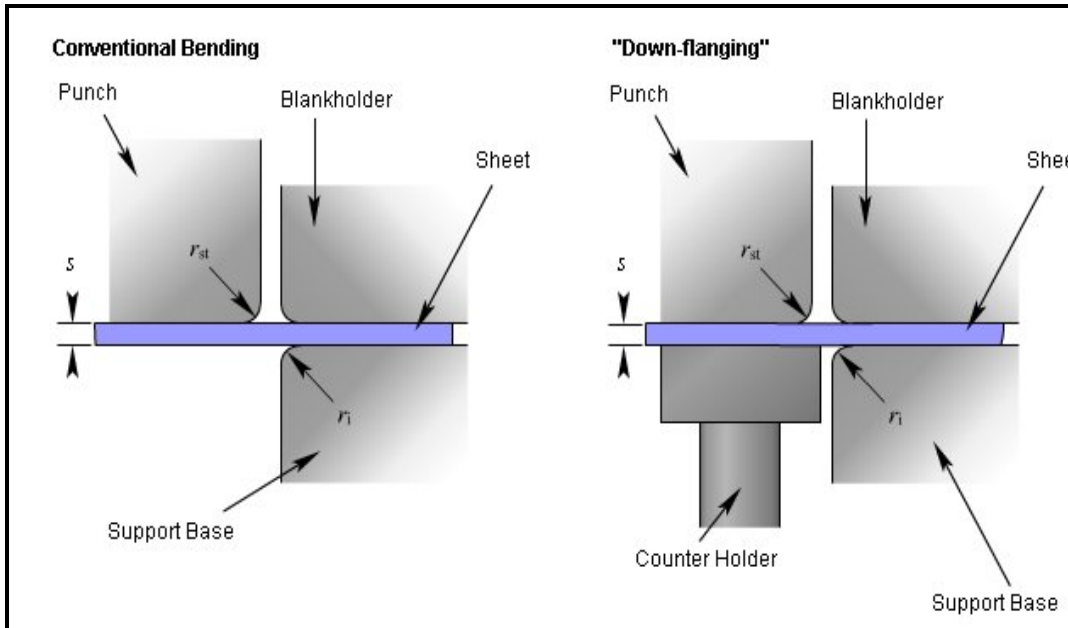
Yanğıda üç aşamalı bir eğme prosesi ile **kenet yapımı** görülmektedir.

- \* Kenarın  $90^{\circ}$  eğilmesi,
- \* Ön kenet için  $135^{\circ}$  ye erişilmesi,
- \* Son kapama keneti  $180^{\circ}$  ye tamamlama

**Down-flanging – Aşağı bükme :**

**Standart eğme** ,  $r_1$  eğme radyüsü üzerine sacın bükülmesi ,zımbanın aşağı doğru hareket ettirilmesiyle olur.

Daha ileri yöntem ise , dış basınçlı karşı tutucu ile yapılan eğme'dir.Buna "**down-flanging**" yöntemi denir.Bu yöntemde kıvrımlardan kurtulunur, mekanik geri yaylanma azalır,yırtılma ihtimali azalır.



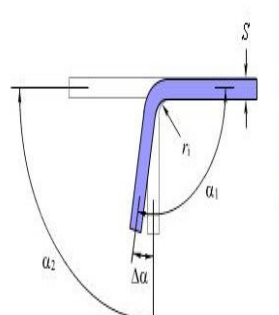
**GERİ YAYLANMA :** Bu terim, saca şekil verme operasyonun elastik bir parçasıdır. ( $\alpha_2$ ) açısını yapmak için kullanılan eğme momenti bırakılınca, sac ( $\Delta\alpha$ ) açısı kadar geri-yaylanır. Geri yaylanma sacın ( $\sigma_{ak}$ ) pekleşme üsteli ( $n$ ) ve ön uzatma ( $E$ ) nin bir fonksiyonu dur. Teknoloji ve malzemenin özel kullanımı sayesinde geri-yaylanma azaltılabilir veya dengelenebilir.

**Etkili Parametreler :**  $E$ ,  $\sigma_{ak}$

(n) – geometrik oran = ( $r_i / s$ )


(s) sac kalınlığı- iç radyüs ( $r_i$ )

**Geri yaylanma açısı : geometrik şartlar**



Burada

$\alpha_1$  = Eğme momenti kalktıktan sonraki açı  
 $\Delta\alpha$  = Geri yaylanma açısı  
 $\alpha_2$  = Eğme açısı  
 $K = (\alpha_2 - \Delta\alpha) / \alpha_2$

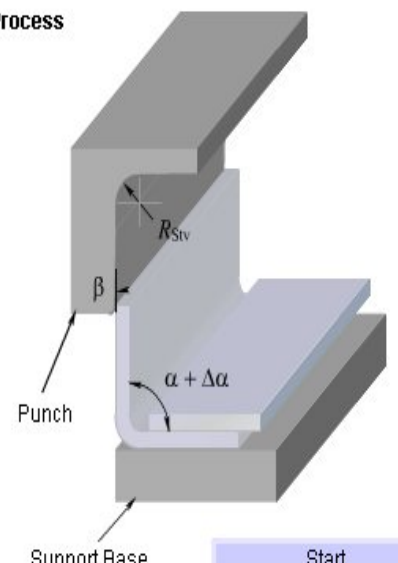


Thickness, $t$ / mm	1.0	<input type="text"/>
Die radius, $r$ / mm	30	<input type="text"/>
0.2% Proof stress / MPa	250	<input type="text"/>
Springback Ratio, $K =$	<b>0.701</b>	<input type="button" value="Test"/>

**KENET YAPIM AŞAMALARI :**

- \* Yan yatırma aşaması
- \* Geri yaylanma -I-
- \* Son kenet prosesi
- \* Kenet geometrisinde değişim
- \* Geri yaylanma-II-
- \* Son kenet geometrisi

**Tilting Process**



Punch

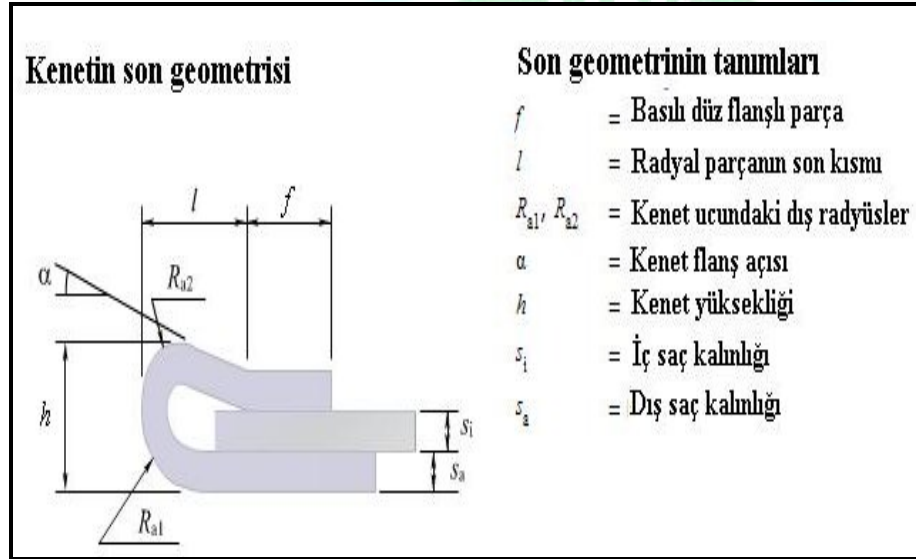
Support Base

Start

**Final Geometry Definitions:**

$f$  = Flanged part pressed flat  
 $l$  = Ending of radial part  
 $R_{s1}, R_{s2}$  = Exterior radius at fold end  
 $\alpha$  = Fold flange angle of inclination  
 $h$  = Fold height  
 $s_i$  = Interior sheet thickness  
 $s_a$  = Exterior sheet thickness

## SON KENET GEOMETRİSİ TANIMLARI



## DİĞER SAÇ ŞEKİLLENDİRME PROSELERİ

### TÜP HİDROFORMİNG PROSESİ

#### TÜP HİDROFORMİNG :

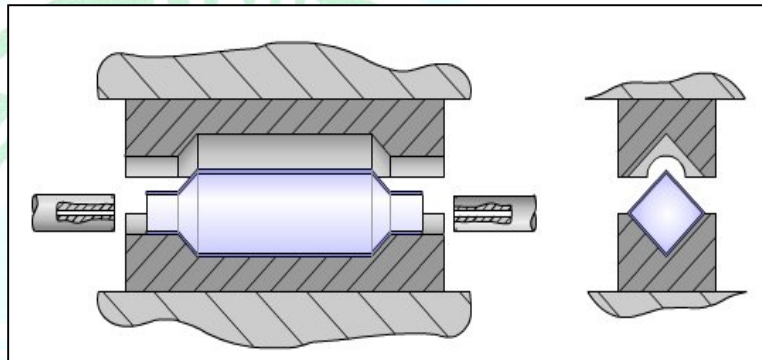
Aktif ortamlarda avantajlı olan bir şekil verme prosesidir. Dairesel tüpler, ekstrüzyon parçaları gibi sığ ve yarı-mamul ürünler, tam bitmiş ürün haline bu yöntemle getirilirler.

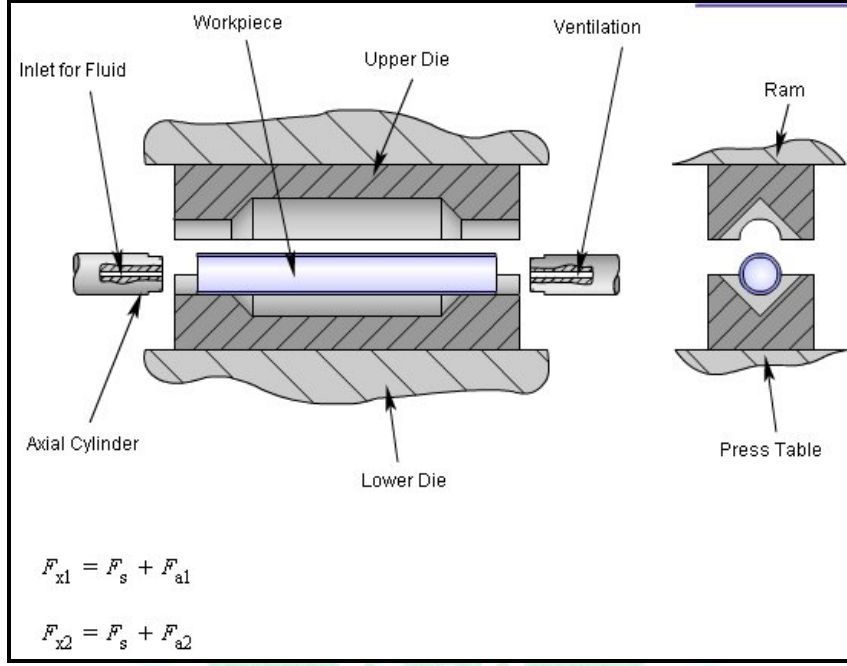
Komplex yüzey geometrisine sahip parçalar **basınçlı sıvılar** vasıtasıyla aynı anda **eksenel kuvvetlerin** de yardımıyla **şekillenirler**. Su bazlı sıvılar genel olarak kullanılmasına karşılık **yağ** ve **elastomer** bazlı maddeler de basınç ortamı için uygun maddelerdir.

Etkili kuvvetler :

$$F_s = F_{x1} = F_{x2} = (\pi D_p^2 / 4) \cdot P_i$$

$F_{x1,2}$  → Eksenel kuvvetler





### TÜP HYDROFORMİNG' DE HATA TİPLERİ -I-

Bu tip şekil verme işleminde çeşitli hatalar oluşabilir. Bunlar ;

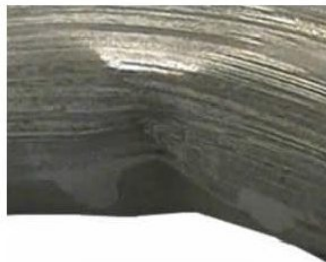
- \* Eğilme-belverme (**buckling**)
- \* Kırışma-buruşma (**wrinkling**)
- \* Arkaya katlanma (**folding back**)
- \* Patlama (**bursting**)
- \* Boğum yapma (**necking**)

Şekillendirme kabiliyeti, malzemeye,onun sıcaklığı na,deformasyon hızına( $\epsilon$ ) ve gerilme ( $\sigma$ ) durumuna bağlıdır.



### TÜP HYDROFORMİNG' DE HATA TİPLERİ-II-

Kırışma-buruşma genellikle şekil verilen radyüs'ün iç kısmında ve dış yüzeylerdeki patlayan kısımlarda görülür.



**Kırışma-buruşma**



**Patlama**

## TÜP HYDROFORMİNG'E ÖRNEK

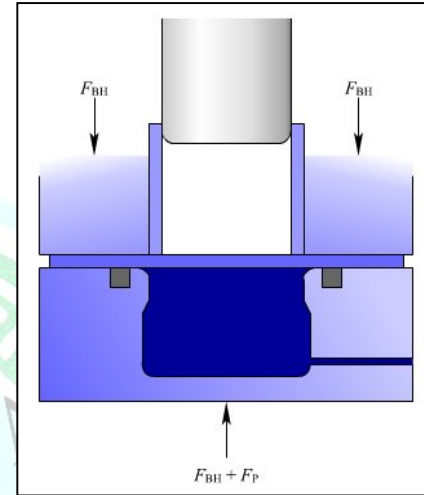
Aşağıda araba amortisörü üzerine konan Al 'dan yapılmış köprü vazifesi gören tüp hydroforming'e örnek bir parça görülmektedir.



### HİDROMEKANİK DERİN ÇEKME-I-

Bu yöntemde, simetrik yuvarlak saç metal parçasının derin çekilmesi esnasında zıt taraftan hidrolik basınç uygulanması söz konusudur. Ters basınç saç metal cidarı ile zımba arasındaki sürtünmeyi artırır, böylece **YIRTILMA FAKTÖRÜ** katsayı olarak büyür, bunun anlamı ise daha derin saç çekilebilme kabiliyetini artırmaktır.

Ayrıca, tek bir operasyonla **kırıma** olmadan daha da ince cidarlı olmasını istediğimiz parçaları üretmek olasıdır.

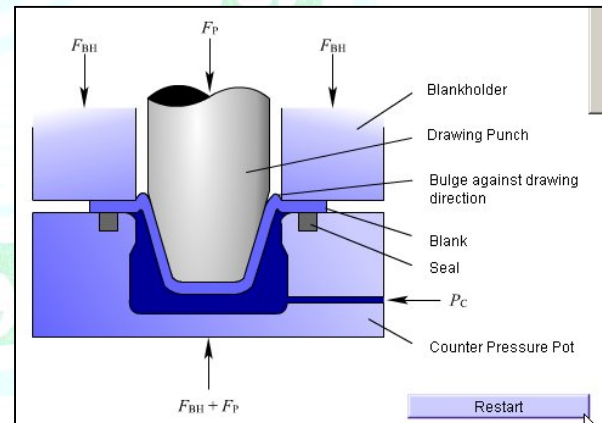


### HİDROMEKANİK DERİN ÇEKME-II-

Hidromekanik derin çekme, sadece mekanik derin çekme işlemine göre

\* Daha yüksek yırtılma faktörü sağlar bu ise daha fazla derinlikte saç şekillendirme yapmamıza olanak verir.

\* Gittikçe incelmesini istediğimiz ince cidarlı parçayı kolayca elde ederiz.



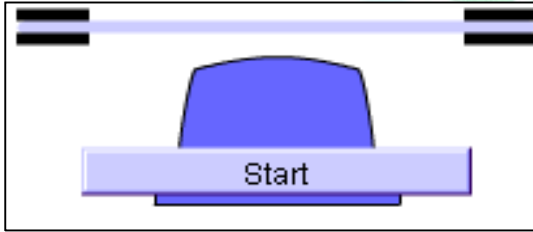
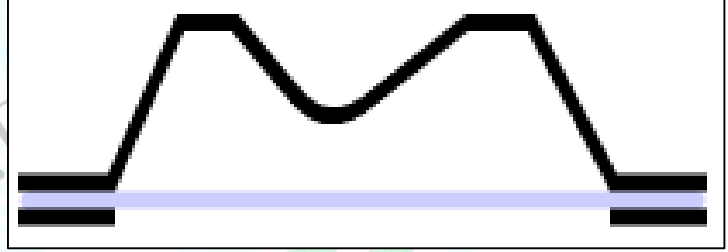
## SÜPERPLASTİK ŞEKİLVİRME PROSELERİ

Üç tip süperplastik şekil verme yöntemi uygulanır.

- \* Boşluk tipi şekil verme
- \* Kabartılı şekil verme
- \* Diyaframlı şekil verme

### Boşluk tipi ş.v

Başlangıçta parça ısıtılarak gaz basıncı ile kalıpla temas edecek şekle getirilir. Birden fazla çıkıntılı olabilir. Dış hatları düzgün parçalar daha iyi üretilirler. Bu proses düz ve konvex yüzeylerin üretimine daha uygundur.



**Kabartılı şekil verme** : Boşluk tipi şekil vermeye benzer. Parça iki taraftan sıkıca tutulur. Gaz basıncı ile çıkıntı oluşturulur. Çıkıntı istenen yüksekliğe erişince kalıp hareket ettirilir.

Prosesin ikinci kısmı, önceki şekil verme yönüne ters bir basınç uygulanarak kalıp şekillenir. Daha iyi malzeme kullanarak daha küçük cidar kalınlığına sahip malzemeler

şekillendirilir. Bu teknoloji özellikle yüksek derinliğe sahip parçalar için çok uygundur.

**Diyaframlı şekil verme**: Super plastik olan ve olmayan parçalar için kullanılır. Kompozit malzemeler de uygundur.

