

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

34728

**PASLANMAZ ÇELİK SAÇLARIN  
DERİN ÇEKİLMESİNDE İŞLEM  
KARAKTERİSTİKLERİ**

**Mak.Müh.İbrahim ŞAHİN**

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof.Mehmet Emin YURCI**

**İSTANBUL, 1994**

**i Ç İ N D E K İ L E R**

**Sayfa No**

**ÖZET**

**SUMMARY**

<b>1. Giriş</b> .....	<b>1</b>
<b>2. DERİN ÇEKME</b> .....	<b>4</b>
2.1. Derin Çekme Yöntemleri .....	4
2.1.1. Baskı Plakalı Çekme .....	5
2.1.2. Baskı Plakasız Çekme .....	5
2.1.3. Çevirme Çekme .....	6
2.2. Derin Çekme işleminin Gerçekleştirilmesi .....	7
2.2.1. Şekillendirmede Sınır Kriterler .....	13
2.2.2. Şekillendirilen Parçalardaki Hatalar ..	16
<b>3. PASLANMAZ ÇELİKLER</b> .....	<b>19</b>
3.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler .....	23
3.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler .....	24
3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler .....	26
3.4. Paslanmaz Çeliklerin Şekillendirilebilirliği .	31
3.4.1. Soğuk Şekillendirme .....	31
3.4.2. Sıcak Şekillendirme .....	31
<b>4. PASLANMAZ ÇELİK SAÇLARIN ÇEKME KABİLİYETİ</b> .....	<b>33</b>
4.1. Giriş .....	33
4.2. Saçların Çekme Kabiliyetinin Genel Olarak incelenmesi ve Bunun Kontrolunda Metalografik Faktörler .....	33
4.3. Çekme Kabiliyeti ve Kristal Yapı .....	36
4.4. Ferritik Paslanmaz Çelik Saçların Çekme Kabiliyeti .....	37
4.5. Östenitik Paslanmaz Çelik Saçların Çekme Kabiliyeti .....	39
<b>5. İŞLEM KARAKTERİSTİKLERİ</b> .....	<b>47</b>
5.1. ilkel Pul Alanı .....	47
5.2. Çekme Oranı .....	47
5.3. Çekme Boşluğu .....	50
5.4. Çekme Radyusları .....	51
5.4.1. Çekme Kalıbı Radyusları .....	51
5.4.2. Zimba Radyusları .....	52

5.5. Çekme Hızı .....	53
5.6. Çekme Kuvveti .....	54
5.6.1. Silindirik Parçalar için Çekme Kuvvetinin Bulunması .....	54
5.6.2. Konik Parçalar için Çekme Kuvvetinin Bulunması .....	55
5.6.3. Köşeli Parçalar için Çekme Kuvvetinin Bulunması .....	55
5.7. Çekme işi .....	55
5.7.1. Çift Etkili Presler için Çekme işi ....	55
5.7.2. Tek Etkili Presler için Çekme işi ....	55
5.8. Yağlama .....	56
6. DENEYLER .....	58
6.1. Sac Kalınlığının Etkisi .....	60
6.2. Yağlamanın Etkisi .....	62
7. SONUÇLAR .....	66
KAYNAKLAR .....	69

### TEŞEKKÜR

Tez danışmanım olan ve yardımlarını benden esirgemeyen kıymetli hocam Prof.Mehmet Emin YURCi 'ye başta olmak üzere; deneylerimi gerçekleştirmemde yardımcı olan Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri öğretim elemanlarından Y.Doç.Dr.Fevziye AKÖZ ve öğr.Gör.Hasan BiRiCiK 'e, deneylerim için gerekli olan yağlayıcıyı sağlayan arkadaşım Mak.Yük.Müh.Hikmet KEMAHLI 'ya ve bana her türlü manevi desteği veren Araştırma Görevlisi arkadaşlarım Murat KIYAK ve Ali GEYİK 'e teşekkürlerimi sunarım.

**Mak.Müh.**  
**İbrahim ŞAHİN**

## Ö Z E T

Paslanmaz çelikler; martenzitik paslanmaz çelik, ferritik paslanmaz çelik ve östenitik paslanmaz çelik olmak üzere üç kategoride sınıflandırılabilir. Bu malzemelerin kristal yapıları birbirlerinden farklıdır. Örneğin, östenitik paslanmaz çelik kübik yüzey merkezli (KYM), ferritik paslanmaz çelik ise kübik hacim merkezli (KHM) 'dir.

Genel olarak, paslanmaz çeliğin kalitesi, magnetik özellikleriyle değerlendirilmektedir. Buna göre östenitik paslanmaz çeliğin kalitesinin, ferritik paslanmaz çeliğinkinden daha iyi olduğuna inanılmaktadır, çünkü östenitik paslanmaz çelik magnetik değildir. Fakat gerçekte, magnetik-ferritik paslanmaz çeliğin çekme kabiliyeti, çoğu zaman östenitik paslanmaz çeliğinkinden daha iyidir. Basma ile şekillendirme, çekme ve uzatma ile şekillendirmeden oluşmaktadır. Bu nedenle paslanmaz çelik sacların basma ile şekillendirilmesinde, uzatma ile şekillendirme ve derin çekmenin sebep olduğu metalografik etkenlerin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu tezde, paslanmaz çeliklerin derin çekilmesinin kontrolündeki, işlem karakteristikleri tartışılmaktadır.

Son bölümde, paslanmaz çelik sacların şekillendirilebilirliğine sac kalınlığı ve yağlamanın etkileri Erichsen Çökertme Testi yardımı ile saptanmıştır. Bu kriterler kullanılarak çeşitli paslanmaz çelik sacların kıyaslaması yapılmıştır.

istanbul, 1994

ibrahim ŞAHİN

Makina Mühendisi

## S U M M A R Y

*Stainless steels can be classified into three categories, i.e. martensitic, ferritic and austenitic. These materials are different in crystalline structure: where austenitic stainless steel is face-centered cubic, ferritic stainless steel is body-centered cubic.*

*In general, the quality of stainless steel tends to be assessed by its magnetic properties: it is believed that austenitic stainless steel is better than ferritic stainless steel, because it is non-magnetic, but, in fact, the drawability of non-magnetic-ferritic stainless steel is somewhat better than that of austenitic stainless steel. Press forming, however, consists of both drawing and stretch forming, and thus in the press forming of stainless steel sheets, it is necessary to have a good knowledge of the metallographic factors governing stretch forming and deep drawing.*

*In this thesis, the process characteristics which control deep drawing of stainless steels, are discussed.*

*In last part, thickness and lubrication parameters acts to the formability of stainless steel sheets is determined by Erichsen Cupping Test". Using this parameters is made comparisons between various sheets.*

*istanbul, 1994*

*ibrahim ŞAHİN*

*Mechanical Engineer*

## 1. Giriş:

Yaygın olarak pres işleri, ıstampalama ve kalıpta şekillendirme ile eş anlamlı olarak kullanılan derin çekme; deney esaslı bir teknolojidir. incelemenin normal seyri, deneysel bir çalışma ile başlar ve buradan analitik modeller geliştirilebilir. işlemin nasıl olduğu her ne kadar ancak 1920 'lerde tam olarak anlaşılabilmişse de, 18. yüzyılda başladığından bu yana büyük ölçüde deneme-yanılma ile çözülmeye çalışılmıştır. ilk araştırmacılar, üniform bir ince malzemenin kap halinde çekildiğinde, kalınlığındaki değişimleri ölçmüşler ve çekme kuvvetini tahmin etmeye çalışmışlardır. Kapsamlı bir deneysel ve analitik inceleme, 1950 'de S.Y.Chung ve H.W.Swift tarafından Sheffield Üniversitesi 'nde gerçekleştirilmiş ve bu, sonraki çalışmaların çoğu için izlenecek yolu belirlemiştir. Diğer birçok şey yanında, Chung ve Swift; ilk boyutları, kalınlıkları, iç yarıçapları, malzemeleri ve işlem şartları farklı olan 4 inç çapındaki kapları çekmişler ve herbir kap için toplam 500-900 ölçme yapmışlardır. Hill tahminlerinin çoğunda, radyal çekmede gelişen uzamaları kullanarak, analitik davranışlardan yararlanmışlardır. ilk deneysel araştırmalar esas olarak, derin çekmenin farklı bir görüntüsü olan radyal çekme rejimiyle ilgilidir. Onlar sadece küçük mertebelerdeki tanımlayıcı sonuçları bildirmişlerdir. Bu hususta Eksergian, Crane, Siebel ve Sachs zımba yüklerini araştırmışlar, Fukui ve Swift kalınlıktaki değişimleri ölçmeyi ve modellemeyi denemişlerdir. Chung ve Swift 'in araştırmalarıyla ilgili faydalı yorumlar, Hessenberg ve Willis 'in çalışmalarında görülmektedir.

Daha fazla çaba, Chung ve Swift 'in çalışmasından bu yana, hem deneysel tanımlama hem de analitik modellemede ortaya konmuştur. Bununla birlikte, esas malzeme akış modeli ne yeterince bilinmiş ne de matematiksel olarak formüle edilebilmiştir. Hatta, takım-iş parçası arasındaki sürtünmeyi, malzeme, yağlayıcı ve donatımdaki sıcaklık oluşumunu, deformasyon sırasındaki ısı transferini ve ilk malzeme özellikleri gibi başlıca işlem parametrelerinin kesin davranışlarını ve nicel değerlerini ve bunların deformasyon sırasındaki değişimlerini ölçmek, analiz etmek ve tahmin etmek zordur.

Derin çekmenin analitik davranışlarını, örneğin slab analizleri, homojen iş, ütüleme için kayma çizgileri alan analizleri, üst sınır teknikleri ve sonlu elemanlar yöntemleri gibi çok iyi bilinen ideal hale getirilmiş plastisite yöntemleri izler. ideal hale getirmek, yani işlemin daha iyi anlaşılmasını sağlamak, değişkenlerin yalnızca sonlu sayıları için uygulanabilir ve her zaman faydalı çözümleri vermez. Bu suretle, deneysel kurallar,

teorik tahminlerin deneysel sonuçlarla memnun edici bir şekilde kabul edilmediği durumlar için kullanılır. Derin çekmenin teknolojik bilgisine sürekli olarak ilaveler yapılmaktadır. Teorik ve deneysel bilgi arasındaki tüm fikirler de sabit değildir. Derin çekmede malzeme akışını belirlemede bir hayli gelişme olmasına karşın, konstrüktif proses tasarım el kitaplarından yararlanılır, bu nedenle birçok malzeme akış analizleri sınırlı şekildedir. Parçalar için karmaşık çekme proseslerinin mevcut tasarımında deneysel sonuçlar belirgin olarak göze çarpar.

Derin çekmede deneysel sonuçların doğrulanmasına, şekil verme şartlarına benzeyen testler ve çekilmiş kapların büyük bir miktarında yapılan gözlemlerin analizleri yardımcı olur. Şekillendirmede Sınır Diyagramları (FLD) ve Şekillendirmede Sınır Eğrileri (FLC) gibi şekillendirilme kabiliyeti sınırları yardımıyla, takım radyusu ve çekilmiş kaptaki hatalar arasındaki bağıntılar ve tutucu kuvvetleri için parametreler bulunur.

Proses modelleme, yani ilk olarak uygulanan bir faaliyet olan kütle şekillendirme prosesleri esas olarak, son zamanlarda sac şekillendirmede uygulanmaktadır ve derin çekmede de görülebilmektedir. Pres işlerinde proses modelleme, analitik olarak şekillendirilme kabiliyetinin sınırlarının çıkarılmasıyla ve deforme olan bölgedeki malzemenin izlediği yolun teorik olarak anlaşılmasının sağlanmasıyla ilgilidir. Fakat bu hususlar, yeni proses tasarımlarının doğrudan ortaya çıkarılmasında henüz kullanılmamaktadır. Pratik tasarım el kitapları ve kılavuzları, kesin olan tasarım yöntemlerini tanımlamaktan çok, mühendislik uygulamalarını tavsiye ederler. Bilgi eksiklikleri ve belli kurallara göre yapabilme yetersizliği mevcut olmasına rağmen, bunlar, endüstri dünyasında büyük ölçüde kullanılan kalıpta şekillendirme proseslerine engel değildirler.

Derin çekme, akma durumlarının geniş bir sınıfını içine alır. Bütün bu şartlarda başlıca önemli gerilme; çekmedir ve deforme olan bölgenin en azından bir yüzeyi donatımla desteklenmemiştir. Radyal çekmede en basit proses, dairesel parçanın, doğrusal, dikey, silindirik kap halinde çekilmesidir, kısaca kap haline getirmedir. Kap haline getirmede başlıca gerinimlerden biri pozitif (çekme), diğeri negatif (sıkıştırma) 'tir ve kalınlıktaki değişimler küçüktür. Gerilmelerin diğer bir kombinasyonu, önemli incelmelerle sonuçlanan, başlıca iki gerilmenin çekme olduğu iki eksenli uzamadır. Her ne kadar kapların üretilme operasyonları derin çekmeye ait olan çekme ve tekrar çekme ise de, endüstriyel kullanımda saca uygulanan proste sac şekillendirme işlemine, yani ıstampalama, kalıpta şekillendirme veya basma ile şekillendirmeye başvurulur ve gerekli olan basma operasyonları kalıpları

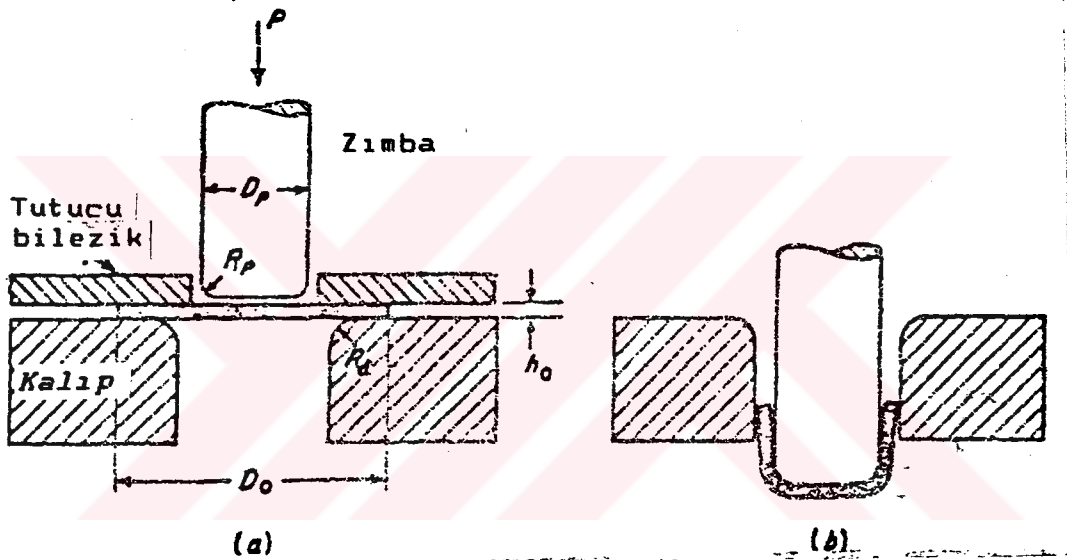
içine alır.

Derin çekme kabiliyetinin ve akma durumlarının başlangıcını tahmin etmek için plastisitenin ana yöntemlerinin ve farklı deneysel yaklaşımların uygulanması yoluna gidilir. Derin çekme kabiliyetinin tahmin edilmesi için birkaç model önerilmektedir. Jevons (1940), hatalardaki gelişmenin metalurjik görüntüsünü ayrıntılı olarak açıklamıştır. Kristal yapı ile çekme sırasındaki değişimlerini, ısıl işlem ve ilgili hatalar arasındaki bağıntıları tanımlamıştır. Daha sonra Chung ve Swift 'in araştırmaları ve bazı araştırmacılar, derin çekme ve uzatma ile şekillendirmede başlıca olayları tanımlamak için basitleştirilmiş formülleri icat etmişlerdir. Whiteley (1960) ve Hosford, esas olarak normal anizotropiye bağlı olan çekme oranı sınırının (LDR) üst sınırını bulmada homojen iş görüşünden faydalanmışlardır. Hill daha düşük bir çekme oranı sınırını bulmak için bir slab malzemenin analizini vermiştir. Klasik bir üst sınır analizi, kalıp bükülme bölgesinin içerisindeki hız değişikliklerine dayandırılarak, Avitzur tarafından geliştirilmiştir. Bu, koç kuvveti için uygulanan ifadelerin zorluğu ve karmaşıklığıyla sonuçlanmıştır. Woo uzatmayla şekillendirme bölgesindeki gerinimleri formüle etmiştir ve Wang bir sacın çekilmesinde, bir tanenin sabit olan enine kesitindeki gerekli olan kuvveti hesaplamıştır. Analitik modellerdeki eksiklikler için deneysel donatımlar, örneğin çok tutulan şekillendirmede sınır diyagramları (FLD) ("Keeler-Goodwin diyagramları") yapılmıştır. Hatta şekillendirmede sınır diyagramlarının kullanılması, karmaşık çekmelerin şekillendirilme sınırları hakkında küçük tavsiyeler verirler.

Karmaşık çekme usullerinde, örneğin şiddetli konik çekmeler, güçsüz tekrar çekmeler ve birleşik çekme ve uzatmayla şekillendirme operasyonlarında belirgin sınırlı mertebede çalışılmıştır. Ayrıca, karmaşık çekmeler için kap haline getirmenin bir özelliği olan şekillendirmede sınır modellerin uygulanması, önemsiz bir hata değildir. Tekrar çekme esas olarak tüp çekme ile benzer şekilde tanımlanmaktadır. Belirtilen tekrar çekme incelemesi, Swift tarafından 40 'ların ilk yıllarında ve daha sonra Swift ve Chung tarafından organize edilmiştir. Şekillendiriciler, bir başka geniş kapsamlı deneysel çalışma yapmışlardır ve bu, sonraki incelemeler için yeterli olmuştur. Kap çekmede, Hessenberg ve Willis tekrar çekme prosesinin basitleştirilmiş bir açıklamasını da ilave etmişlerdir. Fogg konik bir kalıp içinde tekrar çekmede güçsüz bölgenin bükülmesi ve doğrultulmasını incelemiştir. Genel olarak, tekrar çekmenin genellemesi yapılırsa, geriye, gözleme ve deneye dayalı teknoloji kalır (Eshel et al, 1986).

## 2. DERİN ÇEKME:

Metal işleriyle ilgili bir işlem olan çekme; düz pulların veya plakaların çekme kalıbı denilen düzenlerle pres altında çökertilerek belirli derinlik ve profillerde kap şekline sokulması işlemidir (Güneş, 1989). Bu işlem uygun boyuttaki bir şekillendirme kalıbının boşluğuna malzemenin yerleştirilmesi ve bir zımba ile kalıba basılmasıyla yapılır (Şekil 2.1) (Dieter, 1976). Derinliği fazla olan kaplar birkaç çekme işlemi ile elde edilebilirler. Birkaç işlemle yapılan çekme "derin çekme" olarak isimlendirilir. Çekilecek parçalar silindirik, konik, küresel ve benzeri biçimlerde olabileceği gibi herhangi bir biçimde de olabilir (Güneş, 1989).



Şekil 2.1. Silindirik bir kabın derin çekilmesi.  
a. Çekmeden önce , b. Çekmeden sonra  
(Dieter, 1976).

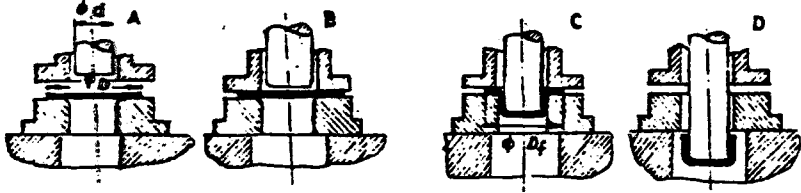
Bu işlemde buruşmayı önlemek için kalıp karşısındaki parçanın basılmasında, genellikle bir sıkıştırma veya tutma basıncı gerekir. Bu, çift etkili bir preste, bir tutucu veya kontrol altında tutma bileziği ile en iyi şekilde yapılır. Derin çekme işleminin kontrol edilmesindeki etkenler oldukça belirgin olmasına karşın, işlemin basit ifadelerle mümkün olmayan matematiksel bir tanımlamasıyla karmaşık bir şekilde birbirlerini etkilerler. Deneysel ve analitik çalışmanın çoğu, düzgün dairesel bir parçadan, düz altlı silindirik bir parçanın derin çekilmesiyle yapılır (Swift testi) (Dieter, 1976).

### 2.1. Derin Çekme Yöntemleri:

Çekmede parçanın şekline, ölçülerine ve malzemeye bağlı olarak çeşitli yöntemler uygulanmaktadır.

### 2.1.1. Baskı Plakalı Çekme:

Baskı plakalı çekme uygulaması Şekil 2.2 'de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.2. Baskı plakalı çekmenin oluşumu (Güneş, 1989).

Bu tür çekme düzeni; baskı plakası, çekme kalıbı ve çekme zımbasından oluşmuştur. Çekmenin başlangıcında (D) çaplı ilkel pulun üzerine, baskı plakası tarafından belirli bir kuvvet uygulanarak çekilecek sac, kalıpla baskı plakası arasına sıkıştırılır. (B) şeklinde görülen bu baskının amacı, sacın çekme esnasında kırışmasına engel olmaktır.

(C) şeklinde görülen ikinci kademede presin baskı plakası hareket ünitesinden bağımsız şekilde hareket eder ve ana baskı devresine bağlı çekme zımbası devreye girerek ilkel pulu kalıp içerisine iter. Böylece flanş çapı ( $D_1$ ), iç çapı ( $d$ ) olan bir kap elde edilir. Eğer istenirse zımba daha aşağı indirilerek flanşlı çekilmiş parça ( $h$ ) yüksekliğinde bir kovan şekline dönüştürülebilir. Bu durum (D) şeklinde görülmektedir.

### 2.1.2. Baskı Plakasız Çekme:

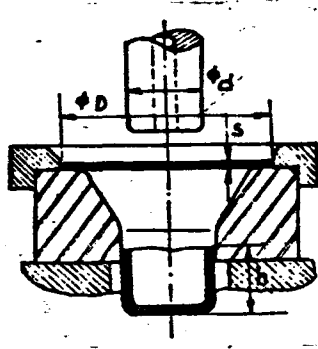
Geniş yüzeyli ve ince plakaların, derinliği fazla kaplar haline dönüştürülmelerinde malzeme kırışmasına engel olmak amacıyla uygulanan baskı plakalı çekme, özel yapılmış pres tezgahı ve pahalı kalıp düzenleri gerektirir. Kalınlığı fazla olan saclardan yapılacak derinliği az olan parçaların çekilmelerinde kırışma olasılığı daha az olduğundan, basit yapılı parçalardan oluşan baskı plakasız çekme kalıpları kullanılır. Şekil 2.3 'de görüldüğü gibi zımba ve kalıp ikilisinden oluşan çekme düzeni, basit yapılı pres tezgahlarında kullanılabilir. Pres koçuna bağlı zımba, iş parçasına baskı uygulayarak onu çekme kalıbı içerisine iter. Bu uygulamanın yapılabilmesi için aşağıdaki şartlar olmalıdır:

$$s \geq 0.017D \text{ ve } d_1/D \geq 0.55$$

Çekilmiş kabın çapının küçültülmesi amacıyla tekrar çekilmesi istendiğinde baskı plakasız çekme uygulanabilmesi için:

$$s \geq 0.015D \text{ ve } d_2/d_1 \geq 0.78$$

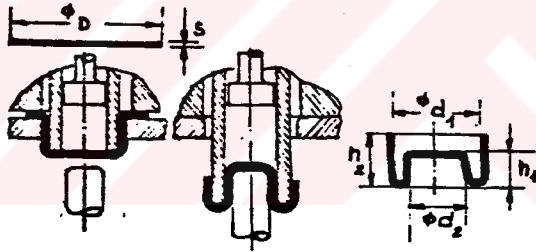
şartları aranmalıdır. Burada;  
 $s$  : Çekilecek sac kalınlığı,  
 $D$  : ilkel pul çapı,  
 $d_1$ : ilk çekmede zımba çapı,  
 $d_2$ : ikinci çekmede zımba çapıdır.



Şekil 2.3. Baskı plakasız çekme (Güneş, 1989).

### 2.1.3. Çevirme Çekme:

Çevirme çekme Şekil 2.4 'ten görüleceği gibi bir pres kursunda iki çekme işlemi yapma şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 2.4. Çevirme çekme (Güneş, 1989).

Bu çekme yönteminde iki çekme zımbası vardır. Parça çapını veren zımba, alt tarafta ve sabittir. İlk çekme çapını verecek zımba pres koçuna bağlanmıştır ve içi, parça dış çapında delinmiştir.

Üst zımba birinci çekme çapını çektikten sonra presin aşağı inmesiyle, alt zımba devreye girerek parçayı ikinci kez çeker.

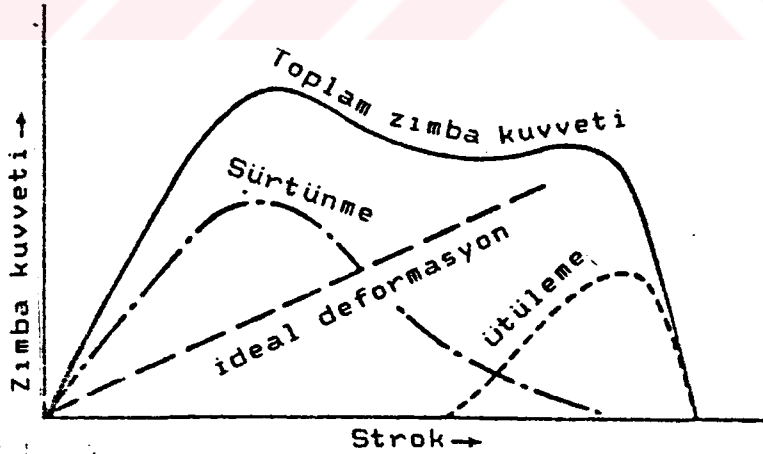
Presin aşağı inme konumuna bağlı olarak parça tam silindirik şekle sokulabileceği gibi çekme kursu tamamlanmayarak, çift cidarlı parçalar da elde edilebilir.

Kullanılacak presin kursu çekilecek parça yüksekliğinin iki katından fazla olmalıdır.  $s/D \cdot 100 > 0.25$  şartlarında uygulanabilen bu yöntem özellikle küresel, konik, parabolik ve benzeri parçaların imali için uygundur (Güneş, 1989).



Eğer zımba ile kalıp arasındaki tolerans miktarı serbest kalınlaşmayla üretilmiş kalınlıktan daha az ise, bu bölgelerdeki malzeme, üniform bir cidar kalınlığı oluşturmak için kalıpla zımba arasında ezilecek veya ütülenecektir. Ticari derin çekme toleransları yaygın olarak, malzeme kalınlığından yaklaşık %10-20 daha büyüktür. Farkedilir üniform redüksiyonlardaki ütüleme operasyonları, çok daha küçük toleransların kullanıldığı cidar kalınlıklarında yapılır.

Bir kabın üretilmesinde gerekli olan zımba kuvveti; ideal deformasyon kuvveti, sürtünme kuvvetleri ve varsa ütüleme için gerekli olan kuvvetlerin toplamıdır. Şekil 2.6; bu bileşenlerden oluşan toplam zımba kuvvetinin, zımba strokunun uzunluğuyla değişimini göstermektedir. Uzama arttığından ve akma gerilmesi sertleşmeden dolayı yükseldiği için, ideal deformasyon kuvveti yayılmanın uzunluğuyla sürekli olarak artar. Sürtünme kuvvetine önemli bir yardım, tutma basıncından gelir. Bu kuvvet bileşeni çabucak tepeye ulaşır ve tutucu bileziği altındaki boşluk bölgesi sürekli azaldığından, yayılmanın artışıyla azalır. Kabın cidarı maksimum kalınlığa ulaştıktan sonra, işlemden daha sonra meydana gelen ütüleme için bir kuvvet gerekir. Kalıp radyusu etrafındaki malzemenin bükülmesi veya bükülmemesi için gereken kuvvet, ilave bir faktördür. Kap haline getirmede gereken işin ölçümünde; işin %70 'i metalin radyal çekilmesine başlamak, %13 'ü sürtünmeyi yenmek ve %17 'si kalıp radyusu etrafının bükülmesi veya bükülmemesi içindir.



Şekil 2.6. Derin çekmede zımba kuvveti ile zımba strokunun ilişkisi (Dieter, 1976).

Derin çekilmiş bir Sachs kabının şekillendirilmesi sırasında denge durumundaki kuvvetlerin analizinden, işlemin herhangi bir kademesinde,  $D_0$  kesme çapının bir fonksiyonu olarak toplam zımba kuvveti için aşağıdaki yaklaşık formül geliştirilmiştir:

$$P = \left[ \pi D_p h (1.1 \sigma_0) \ln \frac{D_0}{D_p} + \mu \left( 2H \frac{D_p}{D_0} \right) \right] e^{(\mu \pi / \epsilon) + B} \quad (2.1)$$

- $P$  : Toplam zimba yükü  
 $\sigma_0$  : Ortalama akma gerilmesi  
 $D_p$  : Zimba çapı  
 $D_0$  : Parçanın ilk çapı  
 $H$  : Tutma kuvveti  
 $B$  : Bükme ve tekrar doğrultma için gereken kuvvet  
 $h$  : Cidar kalınlığı  
 $\mu$  : Sürtünme katsayısı

(2.1) eşitliğindeki ilk terim; kap üretimi için gerekli olan ideal kuvvet ifadesi, ikinci terim; tutucu altındaki sürtünme kuvvetidir. Üstel terim; kalıp radyusundaki sürtünmeyi hesaba katar ve  $B$  miktarı; bu radyus etrafındaki plakanın bükülmesi veya bükülmemesi için gereken kuvvet için hesaplanır. Bir kabın derin çekilmesinde gerilim ve uzamaların daha doğru ve hatasız analizleri Chung, Swift, Budiansky ve Wang tarafından yapılmıştır.

Derin çekmede yük, kabın alt kısmındaki zimba tarafından uygulanmakta ve sonra kabın yan cidarlarına iletilmektedir. Sadece, radyal çekme ve bükmeye dayanamayan, zimba radyusu üzerindeki kap cidarındaki malzemenin dar şeridinde genellikle çatlak oluşur, fakat aslında çekme uzamasına bağlıdır. Bu halka biçimindeki bilezik ile kalıp cidarı ve zimba arasındaki malzeme esasen düzlem gerinim durumundaki uzama ve incelmeye bağlıdır. Daralma ile meydana gelen (koparmanın izlediği) çatlak, çekme gerilmesine yaklaşık eşit bir basınçta, düzlem gerinim faktörüyle artar.

$$P_{max} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_u \pi D_p h \quad (2.2)$$

Derin çekmede uygulanan basınç "en zayıf bağlantı sistemi" nden sertleşmeyle oluşan küçük takviyelere dayanan, başlangıç çatlaklarının bir noktasına iletilir. Bu suretle, malzemenin sertleşme kabiliyeti,  $n$ 'nin çok önemli olduğu tel çekme işlemine karşıt olarak, derin çekmede çok küçük bir rol oynar. Malzemenin çekme kabiliyeti, çekilmiş olan kabın çapının (genellikle tahmini zimba çapıyla), başlangıçtaki parça çapına oranıyla ölçülür. Verilen bir malzeme için, bir kalıpta ( $D_p$ ) koparma olmaksızın çekilebilen en büyük parçayı temsil eden bir çekme oranı sınırı (LDR) bulunur. Teorik olarak üstten sınırlayan LDR şudur:

$$LDR^* \left( \frac{D_o}{D_p} \right)_{max} \approx e^{\eta} \quad (2.3)$$

$\eta$  ; sürtünme kayıpları için hesaplanan verim ifadesidir.

$\eta = 1$  ise  $LDR^* = 2.7$

$\eta = 0.7$  ise  $LDR^* = 2$

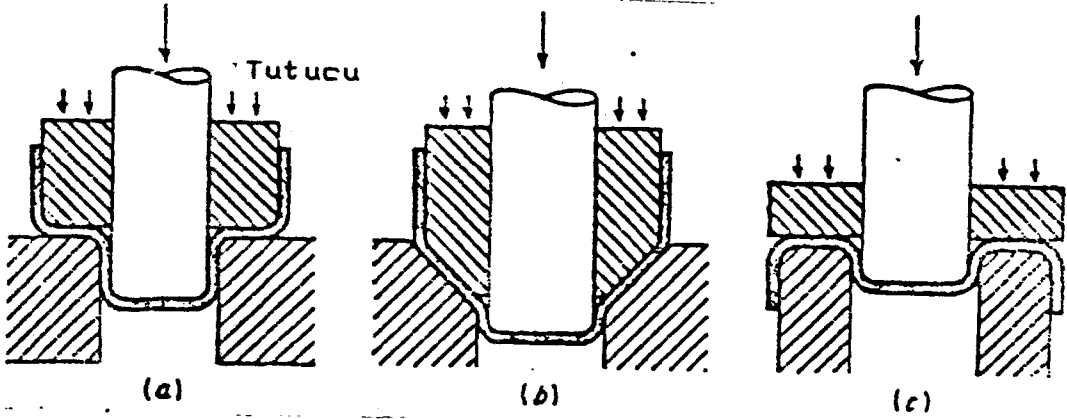
Bu, yumuşak metallere çapından çok daha büyük yüksekliğe sahip olan bir kabın çekilmesinin zor olduğu anlayışına uygundur.

Çekme kabiliyetinde göz önüne alınacak pratik hususlardan bazıları şunlardır:

- Kalıp radyusu; levha kalınlığının yaklaşık 10 katı olabilir.
- Zimba radyusu; bölgesel inceleme ve kopmayla keskin radyuslu bir uca sahiptir.
- Kalıp ile zimba arasındaki tolerans; levha kalınlığından %20-40 daha büyüktür.
- Tutma basıncı;  $s_o$  ve  $s_u$  ortalamasının yaklaşık %2'sidir.
- Çekmede sürtünme, kalıp kenarlarının yağlanması ile azalır.

Derin çekmede ortalama maksimum redüksiyon yaklaşık %50 olduğu için, ince-uzun kaplar yapılmaktadır (fişek kovanları ve ucu kapalı tüpler); bu, çekme operasyonlarının başarılı olması için gereklidir. Bir kabın veya çekilmiş parçanın daha küçük çapa düşürülmesi ve yüksekliğinin artması tekrar çekme olarak tanımlanmaktadır.

Tekrar çekmede temel iki yöntem; direkt veya düzenli tekrar çekme ve tersinir veya düzensiz tekrar çekmedir (Şekil 2.7). Direkt tekrar çekmede; kabın orijinal dış yüzeyi, çekilmiş kabın dış yüzeyi olarak kalır. Şekil 2.7.a 'da kontrol altında tutma bileziği vasıtasıyla yapılan direkt tekrar çekme işlemi resimlerle açıklanmaktadır. Malzemenin iki kez bükülmesinin zorunlu olduğuna dikkat edilmelidir. Bu malzeme, zimba ve kalıp radyuslarında bükülmekte veya bükülmemektedir. Şekil 2.7.a 'da görülen işlemde karşılaşılan yüksek sertleşme olayı, Şekil 2.7.b 'de görülen tasarımla bir miktar azalmaktadır. Malzemenin bükülmeleri benzer sayıda gelişmesine rağmen, bu bükülmeler 90° 'den daha az açıda olmakta ve zimba yükü azalmaktadır. Şekil 2.7.b 'de görülen tasarımın dezavantajı, ilk kademede çekilen kabın konik köşeli olması zorunluluğudur. Bu tip çekilmiş kap, tüm malzemelerle burulma olmaksızın üretilmemektedir. Direkt tekrar çekmede kullanılan tutma bileziğinin kalınlığı, tekrar çekmenin redüksiyon yüzdesiyle belirlenmektedir. Küçük redüksiyonlarda tutma bileziği kullanılmamaktadır.



Şekil 2.7. Tekrar çekme yöntemleri. a. Direkt çekme, b. Konik kalıpla direkt tekrar çekme, c. Tersinir tekrar çekme (Dieter, 1976).

Tersinir tekrar çekmede (Şekil 2.7.c) kabın içi dışına çevrilmekte; böylece çekilmiş kabın dış yüzeyi, tekrar çekilmiş kabın iç yüzeyi haline gelmektedir. Bükme her zaman aynı doğrultudadır; direkt tekrar çekme için karşıt doğrultular tercih edilir ve bu nedenle kap cidarlarının sertleşmesi daha azdır. Kalıp radyusu etrafındaki malzemenin kontrolunun rahat yapılması ve gerçekte tutma bileziğinin kullanılmasıyla geometrik sınırlamaların olmaması nedeniyle, tersinir tekrar çekmede kırışıklık kontrolunun daha iyi olması sağlanabilir.

Tekrar çekmeyle sağlanan redüksiyon; sürtünme miktarı normal tekrar çekme işleminde daha yüksek olduğundan, ilk çekmede elde edilebilenden her zaman daha azdır. Genel olarak redüksiyon, sertleşmenin hesaba katıldığı her başarılı tekrar çekme operasyonunda azalır. Doğal olarak, tekrar çekmeler arasında tavlama işlemi uygulanırsa, daha büyük redüksiyonlar mümkündür. Metallerin çoğu, tavlama öncesinde %50-80 'lik bir toplam redüksiyona izin verirler.

Tekrar çekme operasyonları ayrıca; ütüleme denen, cidar kalınlığında farkedilir artışlarla çekme ve oyma denen, cidar kalınlığında küçük değişmelerle çekme olarak sınıflandırılabilirler. Ütüleme işlemi temelde, hareketli bir mandrelle yapılan tüp çekme işlemi ile aynıdır. Ütülemede en önemli gerilim, kalıp ve zımbanın basıncıyla artan radyal sıkıştırma gerilimidir. Cidar kalınlığında redüksiyon olmayan tekrar çekme, temel olarak mandrelsiz tüp oyma veya tüp çekme ile aynıdır. En önemli gerilmeler; zımbanın hareketinden gelen bir aksenal çekme gerilmesi ve malzemenin çekilmesinden oluşan çevresel sıkıştırma gerilimidir.

Çekme kabiliyetini iyileştirmek için kabın cidarının altına yakın yerdeki gizli kalmış çatlak; kap cidarının

üzerine yakın radyal çekme işlemi ile metalin deforme edilmesine bağlı olarak takviye edilmelidir. Kabın kalıptan çıktığı yerdeki basınçlı bir kauçuk tampon ile kabın kuşatılması sonucu, zimba çevresinde daha fazla sağlamlıkla kabın kavranması gibi mekanik faktörler yardımıyla, kap cidarının üst kısmındaki çatlağın yerinin değiştirilmesi ile bazı gelişmeler sağlanabilir. Zimbanın pürüzlendirilmesi veya zimbanın yağlayıcı içermesi de bu olaya yardımcı olabilir. Bu, flanş bölgesindeki malzemenin ayırıcı ısıtma sonucu, çatlak durumdaki malzemenin bağlı olarak zayıflamasıyla da mümkün olabilir. Bununla birlikte çekme kabiliyetindeki gelişmenin en büyüğü, çekilmiş olan levha da kristal yapının kontroluyla meydana gelir. Kalınlık doğrultusundaki dayanıklılık, levhanın yüzeyindekinden daha büyük olduğundan hatasız yapı, kayma sistemlerinin uygun yönleneşmesiyle olur.

inceltile kalınlıktaki direnç, bir levhada genişliğin kalınlığa oranı olan plastik uzama ( $R$ ) ile ölçülür.  $R$ ; normal anizotropiyle ölçülür.  $R$  'nin değerinin büyük olması, kalınlık doğrultusunda (levha yüzeyine normal doğrultuda) inceltme direncinin yüksek olduğu anlamına gelir:

$$R = \frac{\ln(w_0/w)}{\ln(h_0/h)} \quad (2.4)$$

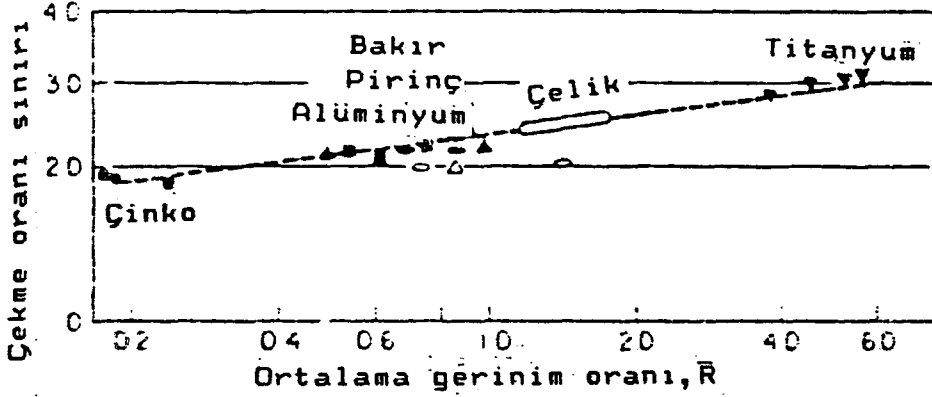
$w_0$  ve  $w$  ilk ve son genişlik,  $h_0$  ve  $h$  ise ilk ve son kalınlıktır. Kalınlık ölçümlerinin ince levhalarda doğrulukla yapılması zor olduğundan, eşitlik; hacim sabitliği bağıntıları kullanılarak tekrar yazılabilir:

$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_L - \epsilon_w} = \frac{\log(w_0/w)}{\log(L/L_0) - \log(w_0/w)} = \frac{\log(w_0/w)}{\log(Lw/L_0w_0)} \quad (2.5)$$

Haddelenmiş levhaların çoğu, levha yüzeyinde yönlendirmeye farklı elastik ve plastik özellikler gösterdikleri için, levhanın haddelenme doğrultusundaki farklı açılardan alınan ölçümlerin ortalamasını ( $\bar{R}$ ) planar anizotropi için hesaba katmak normaldir.

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (2.6)$$

Çekme kabiliyetinde  $\bar{R}$  'nin önemini ilk olarak Whiteley kanıtlamıştır. Aralarındaki ilişkiye bir örnek Şekil 2.8 'de verilmiştir. KHM metallerde  $\bar{R}$  'yi azamiye çıkarmak için ideal kristal yönleneşmesi, levha yapısında levhanın normal doğrultusundaki  $\langle 111 \rangle$  doğrultu ailesi ve yüzeyinde

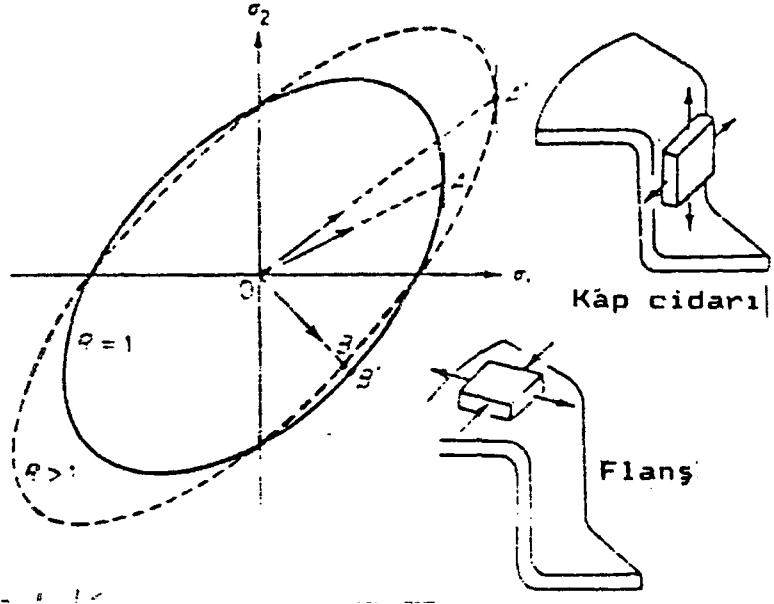


Şekil 2.8. Sacların geniş bir sınıfı için  $\bar{R}$  ve çekme oranı sınırı arasındaki ilişki (Dieter, 1976).

(111) düzlem ailesinde olabilir. Çoğu çelikler  $R=2$  'den  $R=1$  sınırına düşerler. KHM metaller için  $\bar{R}$  'nin teorik sınırı 3 olarak belirlemektedir. Derin çekmede  $\bar{R}$  'nin rolünü anlamak için en iyi yol, verimin geometrik diyagramını kullanmaktır. Kap cidarındaki çatlak yerde ve flanşın geometrik verimindeki gerilim durumları arasında bağlantı kurmamıza ihtiyaç vardır. Şekil 2.8 'de görüldüğü gibi (düşük temas basıncı ile), kap cidarındaki çekme ve deformasyon gerilimleri aslında düzgün uzamadır. Bu,  $\sigma_1 = 2\sigma_2$  ve izotropik bir levha ( $R=1$ ) için geometrik verimi gerektirir (Şekil 2.9). Bu OA vektörü yüklemesini karşılar. Flanştaki gerilme durumu, dairesel doğrultuda sıkıştırma ve radyal doğrultuda çekmedir. Eğer kalınlaşma ihmal edilebilirse, gerilme durumu için sadece, geometrik verimde OB olan makaslama söz edilir.  $R>1$  olan bir levha için geometrik verim Şekil 2.9 'da kesik çizgilerle gösterilmiştir. Flanşta sadece makaslama olan gerilme durumu için yük yolunun (OB') uzunluğunda hemen hiçbir farklılık yoktur, fakat kabın cidarında yüzey gerinimli çekme için yük yolu (OA') farkedilir bir şekilde artar. Bu, kabın cidarının, flanşın yapısal kontroluyla bağıl olarak kuvvetlendiğini ve çekme kabiliyetinin arttığını gösterir.

### 2.2.1. Şekillendirmede Sınır Kriterler:

Sac şekillendirme operasyonlarında güçlük olduğundan, çekme testlerinden yapılmış basit mekanik özellik ölçümleri sınırlı değerlerdedir. Yıllardır yapılan bir seri laboratuvar testleri, sac şekillendirme kabiliyetinin değerini arttırmıştır. Swift 'in düz altlı kap testi, derin çekme için standartlaştırılmış bir testtir. Çekme kabiliyeti, çekme oranı sınırı ile ilgili olarak ifade edilir. Olsen ve Erichsen testlerinde sac, iki kalıp bileziği arasına sıkıştırılır; bir zımba, genellikle bir bilya, çatlayana kadar saca karşı bir kuvvet uygular. Sac çatlamadan önce, oluşan kabartının derinliği ölçülür. Bu

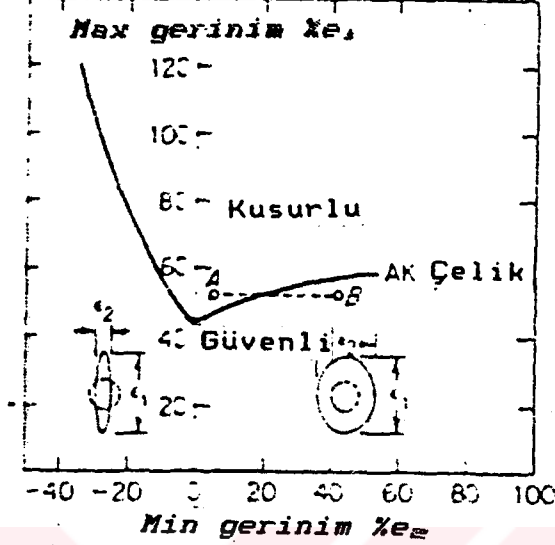


**Şekil 2.9.** izotropik ( $R=1$ ) ve kristallografik olarak takviye edilmiş ( $R>1$ ) levha için geometrik verimde yük yollarının karşılaştırılması (Dieter, 1976).

testler esasen sacın uzamasına bağlıdır ki Swift testi hemen hemen sadece derin çekmede sağlanır. Bununla beraber çoğu pratik sac şekillendirme operasyonları, bir çift eksenli uzama ve derin çekme birlikteliğini (kombinasyonunu) sağlar. Fukui testi; yarım küre şeklindeki bir zımba kullanılarak bir konik kabın üretilmesinde, uzama ve çekmenin kombinasyonunu temin eder.

Sac şekillendirmede çatlamanın kontrol edilmesi için faydalı bir teknik, şekillendirmede sınır diyagramı 'dır. Sac yüzeyi dairelerden oluşan bir ızgarayla kaplanır, elektrokimyasal markalama ile üretim yapılır. Levha deforme olduğunda, daireler elips halinde şekil değiştirirler. Bir elipsin büyük ve küçük aksları, ıstampalamada başlıca iki uzama doğrultusunu temsil eder. Bu iki doğrultudaki uzama, büyük ve küçük aksların uzunluğundaki değişim yüzdesiyle ölçülür. Yüzeyin herhangi bir noktasındaki bu uzamalar, malzeme için Keeler-Goodwin diyagramıyla karşılaştırılır (Şekil 2.10). Çatlağı temsil eden eğrinin üzerindeki uzama durumları, bunların altındaki çatlağa neden olmaz. Örneğin A bir çatlama noktasıdır, fakat eğer uzama dağılımı değişirse (belki kalıp radyusu değişimiyle), B noktasına taşınabilir ve çatlama neden olmayabilir. Çekme-çekme bölgesi için çatlama eğrisi, Keeler tarafından belirlenmiştir ve düşük karbonlu çelik türleri için hemen hemen sabittir.

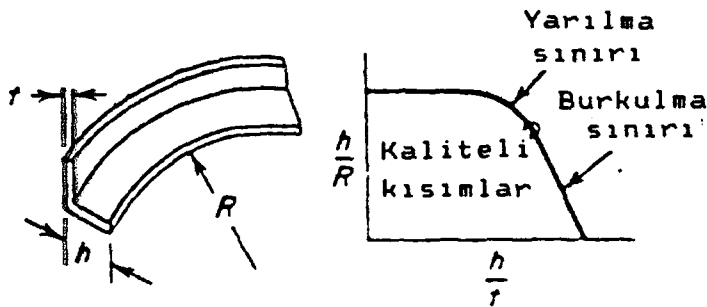
Alüminyum gibi diğer metaller farklı bir eğriye sahiptirler. Çekme-sıkıştırma bölgesi ilk olarak Goodwin tarafından saptanmıştır.



Şekil 2.10. Keeler-Goodwin şekillendirmede sınır diyagramı (Dieter, 1976).

Sac şekillendirme kabiliyetini belirlemede diğer bir yaklaşım ise, uzama-çekme şekil analizidir. Malzemenin şekillendirilme sınırı Olsen testi ve Swift 'in kap testi ile saptanır. Burada parça basit şekillere ayrılarak, çekme ve uzama yüzdesi geometriden hesaplanır. Şekillendirmede sınır diyagramında parçanın bu yerleri ve parçanın sertliğinin derecesi saptanabilir.

Şekillendirilme kabiliyetinde kullanılan tablolar; kırma ile şekillendirme, sarsma, çukurlaştırma, boyuna uzama ile şekillendirme, kauçuk şekillendirme, boncuk haline getirme ve bükme gibi işlemler için geliştirilmiştir. Genelde bunlar, uzay çalışmalarıyla ilgili imalatta kullanılan proseslerdir. Herbir proses için kritik boyut parametreleri saptanır. Boyuna uzama ile şekillendirmeye bir örnek Şekil 2.11 'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Boyuna uzama ile şekillendirme için şekillendirilme kabiliyeti cetveli. Herbir malzeme ölçülendirilmiş olabilir, fakat cetvelin şekli aynı kalabilir (Dieter, 1976).

### 2.2.2. Şekillendirilen Parçalardaki Hatalar :

Şekil verilmiş bir sac parçadaki temel hata, yapısal doğruluğun tahrip olmasıyla bir çatlağın gelişmesidir. Parçanın kullanışlılığı, sıkıştırma basıncının olduğu bölgelerde buruşma ve bükülmeye veya bölgesel olarak daralma veya incelmeyle de yok olabilir. Bir diğer hata, esneklik dolayısıyla çatlağın boyutsal toleranslarının korunmasıdır.

Bir kabın derin çekilmesinde en yaygın olan çatlak, zımba radyusuna yakın en büyük incelmanın olduğu yerde, kabın alt tarafının geri kalan kısmından ayrılmasıdır. Bu hata; incelmanın azaltılmasıyla, daha büyük bir zımba radyusu kullanılmasıyla veya çekme operasyonu için gerekli olan zımba yükünün azaltılmasıyla en aza indirilebilir. Eğer flanşta veya kabın uç kısmında radyal yarıklar oluşursa bu; malzemenin, kesilen parçanın bu bölgesi için gereken çevresel büzülmenin daha büyük miktarlarına karşı koyacak yeterli yumuşaklığa sahip olmadığını gösterir. Bu çeşit çatlağın tavlama işlemiyle tekrar çekmede meydana gelme olasılığı, ilk çekmedekinden çok daha fazladır.

Flanş veya kabın uç kısmındaki buruşukluk, çevresel yüksek sıkıştırma basıncının bir sonucu olan levha burulmasının sonucudur. Levhada herbir eleman için çatlağın bu çeşidi, analizde, sıkıştırmada bir sütun yükleme olarak dikkate alınabilir. Eğer ilkel parçanın çapı çok büyükse, zımba yükü yüksek değerlere çıkacaktır ki sütunun yükü kritik burulma değerini aşabilir. incelve oranının artışıyla sütun kararlılığı azaldığından, kritik burulma yükü, ince levha için daha düşük yüklerde meydana gelir. Bu kusuru önlemek için, burulmayı önleyecek yeterli tutma basıncı kullanmak gereklidir.

Şekillendirilmiş sac parçalar genellikle büyük bir yüzeye sahip olduklarından, özellikle parçanın görünümünü bozan yüzey hatalarına karşı hassastırlar. Parçanın gözle görülebilir deformasyona maruz kalan bölgelerindeki belirgin yüzey pürüzlülükleri, genellikle portakal kabuğu şekli adını alır. Portakal kabuğu etkisi, oldukça büyük tane boyutuna sahip sac ta meydana gelir. Bu gerçekte herbir tanenin birbirinden bağımsız olarak deforme olması eğilimiyle sonuçlanır ve bu nedenle yüzeydeki taneler, gözle görülür bir biçimde azalır. Bu durum, daha iyi tane boyutlu sac kullanımıyla en iyi doğrulukta olur ki taneler hemen hemen bir bütün olarak deforme olur ve herbir taneyi gözle görmek zordur.

Çoğunlukla düşük karbonlu sac çeliklerinde rastlanan bir diğer önemli yüzey hatası gerilme uzamalarının veya kurt yuvalarına benzeyen şekillerin varlığıdır. Bu hata, yüzeydeki çukurlarda alevlenmeye benzeyen bir model olarak



**Şekil 2.12. Düşük karbonlu çelik saclarda gerilme uzamaları (Dieter, 1976).**

ortaya çıkar (Şekil 2.12). Çukurlar ilk olarak maksimum makaslama gerilmesinin olduğu düzlemler boyunca ortaya çıkarlar ve sonra deformasyon olarak devam ederler. Bunlar üniform bir pürüzlü yüzey oluşmasıyla birlikte yayılırlar ve birbirleriyle birleşirler. Gerilme uzamalarının varlığı; gerilme-uzama eğrisinde bir verim noktasının varlığıyla ve verim noktasının uzamasıyla sonuçlanan üniform olmayan deformasyonla direkt olarak ilişkilidir (Şekil 2.10). Gerilme uzamalarındaki malzeme Şekil 2.10 'daki B 'ye eşit bir miktarda uzamakta iken, arta kalan malzeme esasen sıfır uzamaya maruz kalır. Parçanın uzaması aradaki A değeriyle verilmektedir. Deformasyon devam ettiğinden ve gerilme uzamalarının sayısı arttığı için, tüm parça B 'ye eşit bir gerinimle kaplanıncaya kadar uzama artar. Bu gerinim ötesindeki deformasyon üniform ve homojendir. Gerilme uzamalarıyla asıl zorluk bu nedenle, parçanın, gerinimin verim noktası uzamasından daha az olduğu bölgelerinde meydana gelir. Bu problemin normal çözümü, çelik saca küçük bir soğuk redüksiyon vermektir, genellikle kalınlıktaki redüksiyon %0.5-2 'dir. Böyle bir sertleştirme haddelenmesi veya yüzey haddelenme soğuk işlemleri ile metalin verim noktası yeterince yok edilir. Bununla birlikte, eğer çelikte depolama esnasında gerinim yaşanması olursa, verim noktası geri döner ve gerilme uzamaları zorlukları tekrar ortaya çıkar.

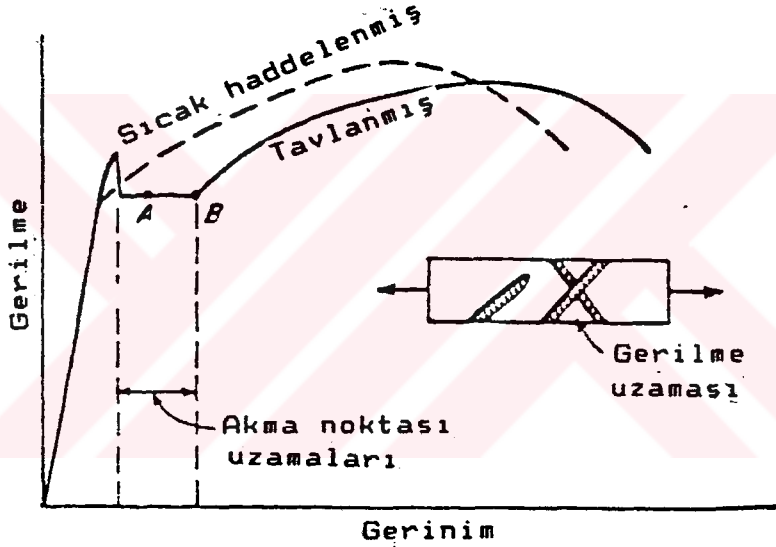
Mekanik özelliklerdeki yönlendirme, haddelenme ve metalin imal edilebilirliğinde önemli bir etkiye sahip olabilen diğer başlıca çalışma prosesleriyle yapılır. Mekanik liflenme, şekillendirmede küçük etkilere sahiptir, oysa ki

kristallografik liflenme veya tercih edilen yönlenme büyük bir etkiye sahip olabilir. Çoğunlukla bükme işleminde bükme doğrultusunun haddeme doğrultusuna paralel olması, haddeme doğrultusuna dik yapılmasından çok daha zordur.

Derin çekmede görülen yönlenmelerden biri de başaklanma olayıdır. Başaklanma; üniform bir kaplama oluşturmak için büyük ölçüde çevre kesme gerektiren derin çekilmiş bir kabın üst kısmında bir dalga ucunun oluşumudur. Sacın yüzeyinde tercih edilen yönlenmeye bağlı olarak, genellikle iki, dört veya altı başak şekillenir. Başaklanma, planar anizotropi ile doğrudan ilişkili olabilir ve  $\Delta R$  ile ölçülür (Dieter, 1976):

$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90} - 2R_{45}}{2}$$

(2.7)



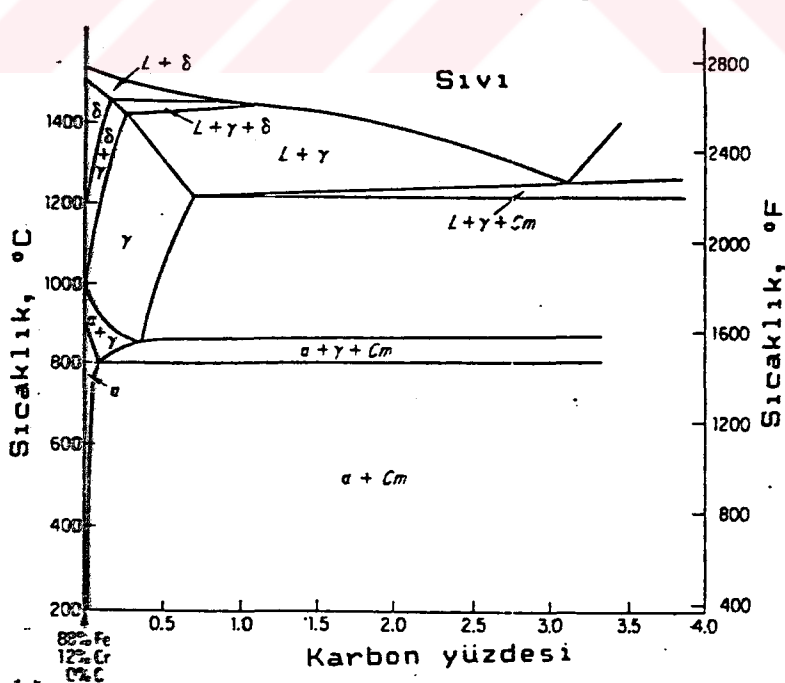
Şekil 2.13. Gerilme-uzama eğrisi ile gerilme uzamalarının ilişkisi (Dieter, 1976).

### 3. PASLANMAZ ÇELİKLER :

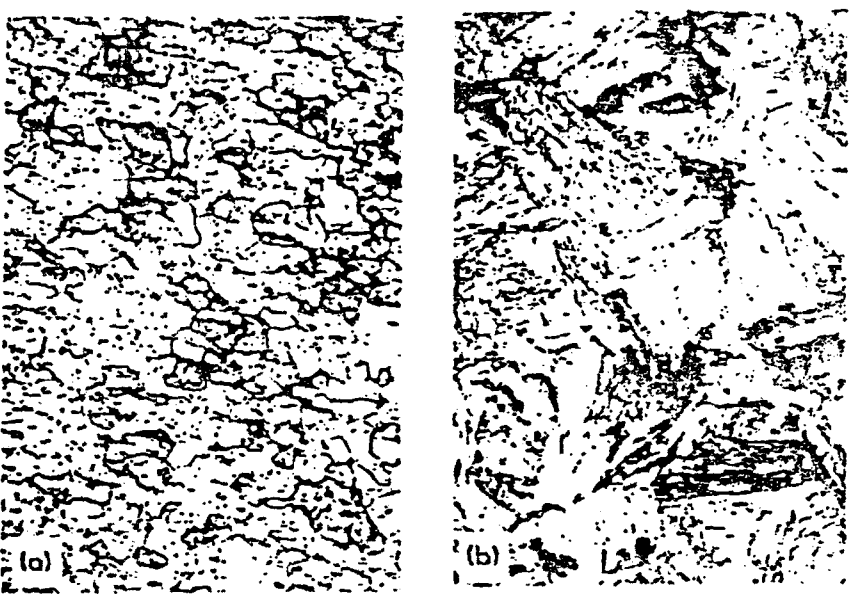
Paslanmaz çelikler ısıya ve korozyona dayanıklı uygulamalar için kullanılır. Paslanmaz çelikleri belirtmek için üç rakamlı bir kodlama sistemi kullanılır. Son iki rakamın belirli bir anlamı yoktur, fakat ilk rakam aşağıdaki gösterildiği gibi grupları ifade eder (Avner, 1974):

Serilerin Gösterilişi	Gruplar
2xx	Krom-nikel-manganlı; sertleştirilemez, östenitik, magnetik değil
3xx	Krom-nikelli; serleştirilemez, östenitik, magnetik değil
4xx	Kromlu; sertleştirilebilir, martenzitik, magnetik
4xx	Kromlu; sertleştirilemez, ferritik, magnetik
5xx	Kromlu; düşük kromlu, ısıya dayanıklı

ince, yapışık, sabit bir krom oksit ve nikel oksit filminden dolayı oluşan korozyon dayanımı özelliği, çeliği birçok aşınma vasıtalarına karşı korur. Bu özellik, düşük karbonlu yapı çeliklerinde tamamen belirli değildir ve sadece krom miktarı yaklaşık %10 'u aşınca görülebilir.



Şekil 3.1. Diyagramın yatay eksenini %12 Cr içeren çelikleri gösterir (Avner, 1974).



**Şekil 3.2. %12 Cr içeren bir çeliğin mikroyapısı.**  
a) Tavllanmış; bir ferrit matristeki küçük karbür partikülleri.  
b) 1850°F 'ta su verme ile sertleştirilmiş; 600°F 'ta temperlenmiş; temperli martenzit yapı. Pikrik-hidroklorik asitle dağlanmış (\*500) (Avner, 1974).

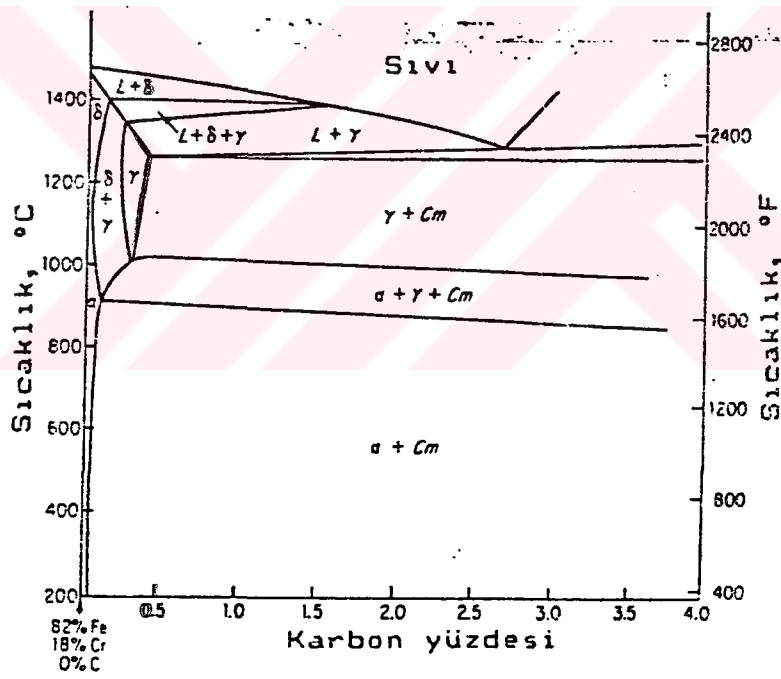
Paslanmaz çelikler oldukça büyük miktarlarda krom içerdiğinden, demir-krom-karbon alaşımlarından oluşan üçlü bir sisteme aittir. Şekil 3.1 ve 3.3 böyle bir üçlü sistemin düzlemsel şekillerini gösterir. Bu düzlemsel şekiller gerçek olmayan denge diyagramları olmasına rağmen, bir faz değişimi incelenmesinde ve yapıların açıklanmasında kullanılır.

Şekil 3.1 'de %12 Cr ve değişken karbon miktarları içeren çelikler için bir diyagram görülmektedir. Demir-demir karbür diyagramıyla karşılaştırmada, mevcut olan kromun bu miktarı, kritik sıcaklıkları arttırır ve östenit bölgeyi küçültür. Bununla birlikte uygun karbon miktarıyla bu çelikler, alaşımsız karbon çelikleri gibi sıcakta işlenebilir bir martenzitik yapı olabilirler.

Şekil 3.2.a 'da %12 Cr 'lu tavllanmış durumdaki bir çeliğin mikroyapısı görülmektedir. Bu yapı, ferrit ve küçük karbür partiküllerinden oluşur. Aynı çeliğin 1850°F 'ta sertleştirilmesinden ve 600°F 'ta temperlenmesinden sonra temperlenmiş martenzit ve beynit oluşur (Şekil 3.2.b).

Şekil 3.3 'de %18 Cr ve farklı karbon miktarlarındaki bir diyagram görülmektedir. Bu diyagramın anlatmak istediği husus; eğer çelikteki karbon miktarı düşerse östenit, sıcakta şekillendirilemeyecektir. Bu çelikler

sertleştirilemeyip, daha sonraki sertleştirme işlemine rağmen sadece düşük sertlikteki ferrit şeklini alacaktır. Şekil 3.4.a, delta bölgesindeki %0.03 C, %18 Cr içeren bir çeliğin sertleştirmeyle elde edilen ferritik yapısını açıklamaktadır. Karbon miktarı arttığında ısının artmasıyla çelik,  $\delta+\gamma$  alanında olacak, bazı sertlikler demirinin değişiminden dolayı sönümlenmeye sonuçlanacaktır. Bu, Şekil 3.4.b 'de %0.075 C, %18 Cr içeren, 1850°F 'ta suda sertleştirilmiş çelik için açıklanmıştır. Ferritin (açık renk bölge) ve değişim ürünlerinin (koyu renk bölge) mikroyapısı meydana gelmiştir. Karbon daha fazla artmaya devam ederse çelik sıcakta  $\gamma+C_m$  östenitte olup, takip eden soğutma tamamıyla sert yapının oluşmasına sebep olacaktır. Bu, Şekil 3.4.c 'de %18 Cr 'lu, 1850°F 'ta suda sertleştirilmiş ve 600°F 'ta temperlenmiş yüksek karbonlu bir çelik için gösterilmiştir. Mikroyapı temperlenmiş martenzit artı, bazı çözülmeyen karbürlerden meydana gelmiştir.



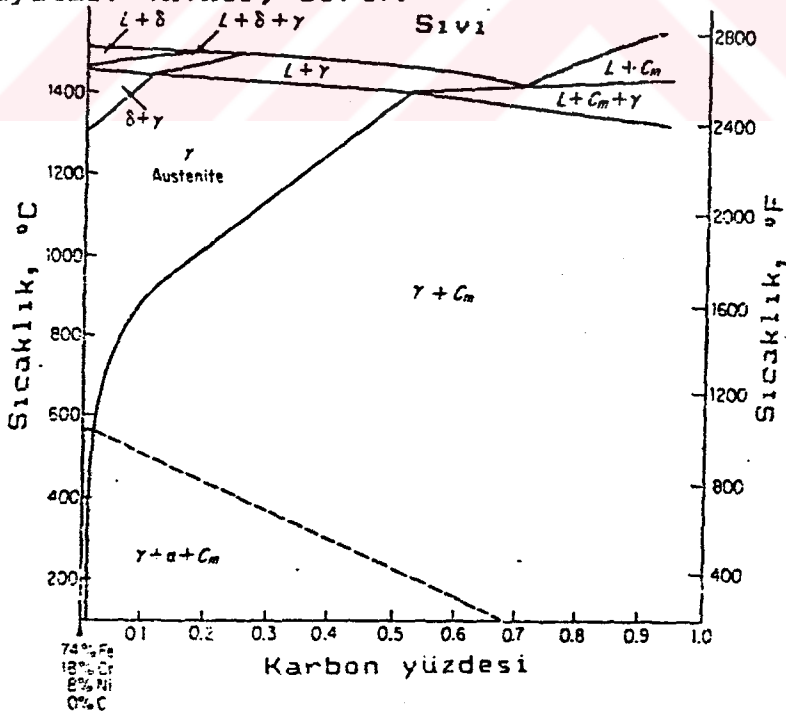
Şekil 3.3. Diyagramın yatay eksenini %18 Cr içeren demir-karbon alaşımları içindir (Avner, 1974).

Kromlu çeliğe nikel ilavesi, diyagramda daha fazla değişikliğe sebep olacaktır. Şekil 3.5; %18 Cr, %8 Ni ve farklı karbon miktarlarındaki çeliğin değişimindeki yönelmeyi göstermektedir. Sıcaklık yükseldiğinde oluşan östenit form, özellikle değişime isteksiz dengeli faz ve tavlama sonrası oluşan yapıyı koruma eğilimindedir. Şekil 3.6.a; %18 Cr, %8 Ni içeren çeliğin tavlamadan sonraki tamamen östenitik olan mikroyapısını gösterir. Bu çeliğin soğuk işlemden sonraki mikroyapısı, Şekil 3.6.b 'de gösterilmektedir.

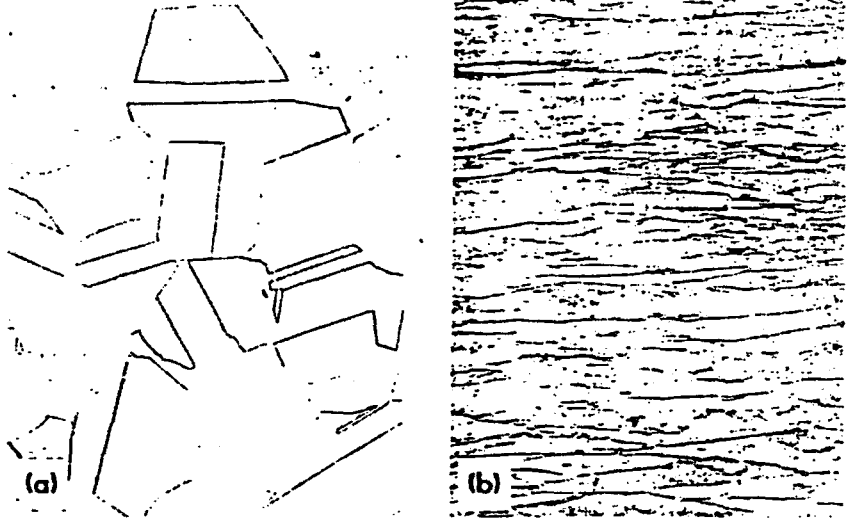


Şekil 3.4. Karbon miktarı değişken olan, %18 Cr 'lu bir çeliğin mikroyapısı.

- 0.03 C 'lu, 2100°F 'ta suda sertleştirilmiş, %20 HCl 'te dağlanmış ferritik yapı.
- 0.075 C içeren, 1850°F 'ta suda sertleştirilmiş ve 1000°F 'ta temperlenmiş, pikrik-HCl 'te dağlanmış ferrit (açık renk bölge) ve değişim ürünü (daha koyu renk bölge).
- 0.65 C 'lu, 1850°F 'ta suda sertleştirilmiş ve 1000°F 'ta temperlenmiş, pikrik-HCl 'te dağlanmış, temperlenmiş martenzit matriste çözünmeyen karbürler. (500 büyütme) (Avner, 1974).



Şekil 3.5. %18 Cr ve %8 Ni içeren alaşımlı çelikte reaksiyonların eğilimini gösteren diyagramın yatay eksenini deneme sonucudur (Avner, 1974).



Şekil 3.6. %18Cr, %8 Ni içeren bir çeliğin mikroyapısı.  
a) Tavlamadan sonra tamamen östenit.  
b) Soğuk işlemden sonra Glyceregida dağlanmış.  
(100 büyütme) (Avner ,1974).

### 3.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler:

Bu çelikler esas olarak, %11.5-18 Cr içeren krom çelikleridir. Bu gruba birkaç örnek; 403, 410, 416, 420, 440A, 501 ve 502 tipleridir. Martenzitik çeliklerin bazı özellikleri ve uygulamaları Şekil 3.7 'de verilmektedir. 410 ve 416 tipler bu gruptaki en popüler alaşımlardır ve türbin bıçakları ile korozyona dayanıklı döküm parçalarda kullanılır. Kimyasal bileşim ve tipik mekanik özellikler Tablo 3.2 'de verilmektedir. Paslanmaz çeliklerin martenzitik tipleri magnetiktir, özellikle düşük karbonlu olanlar bir zorluk çıkarmadan soğuk işlenebilirler, tatmin edici şekillerde talaşlı işlenebilirler, iyi bir sertliğe sahiptirler, bazı kimyasal maddelere ve havaya karşı iyi korozyon dayanımı gösterirler ve kolayca sıcak işlenirler. Tavsiye edilen sıcaklıkta sertleştirildiklerinde en iyi korozyon direncine ulaşırlar, fakat östenitik veya ferritik paslanmaz çelikler kadar iyi değildirler.

Martenzitik çelikler için ısıtma işlemi, başlıca karbon miktarına bağlı olarak, maksimum kuvvet ve sertlik açısından saf karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerinkiyle aynıdır. Yüksek alaşımlı paslanmazların farklı sınıflara ayrılmasındaki sebeplerden başlıcası; değişimin çok yavaş olması ve sertleşebilme kabiliyetinin çok yüksek olmasıdır ki maksimum sertlik hava ile soğutmayla meydana gelir. Bu çelikler normal olarak yaklaşık 1850°F sıcaklık değişim sınırlarının üzerinde ısıtılmayla, daha sonra hava veya yağda soğutmayla sertleştirilirler. Dekarbürizasyonu ve

aşırı tane büyümesini önlemek için işlem zamanı minimum tutulmalıdır. Bu gruptaki çeliklerin tavlama, etkin özelliklerinde düşüş olması nedeniyle 750-950°F sınırları arasında yapılmamalıdır. Tavlama genellikle 1100°F 'ın üzerinde yapılır. Daha yüksek sıcaklıklardaki tavlama işlemleri, daha sonra korozyon direncinin düşmesiyle, karbürlerin çökelmelerine sebep olacaktır. Bununla birlikte, düşük sınıra yakın taraftaki karbon miktarlarında, korozyon direncinde çok şiddetli bir düşüş olmaz.

Paslanmaz çelikler, talaşlı işlenebilmesi saf karbonlu çeliklerden çok daha zor olan bir gruptur. 416 'da kükürt ve 416Se 'de selenyumun küçük bir miktar ilave edilmesiyle talaşlı işlenebilme kabiliyeti çok daha iyi olur. Selenyum kullanılması korozyon direncinin düşmesi açısından kükürt kullanılmasından daha az etkilidir. Karbon miktarı %0.60-1.20 olan ve %16-18 Cr içeren 440 paslanmaz çelikler; yüksek korozyon direncine, dayanıma ve dış dirence sahip olacaktır. Bu alaşımlar kesici aletler, valf parçaları ve yataklar için kullanılır.

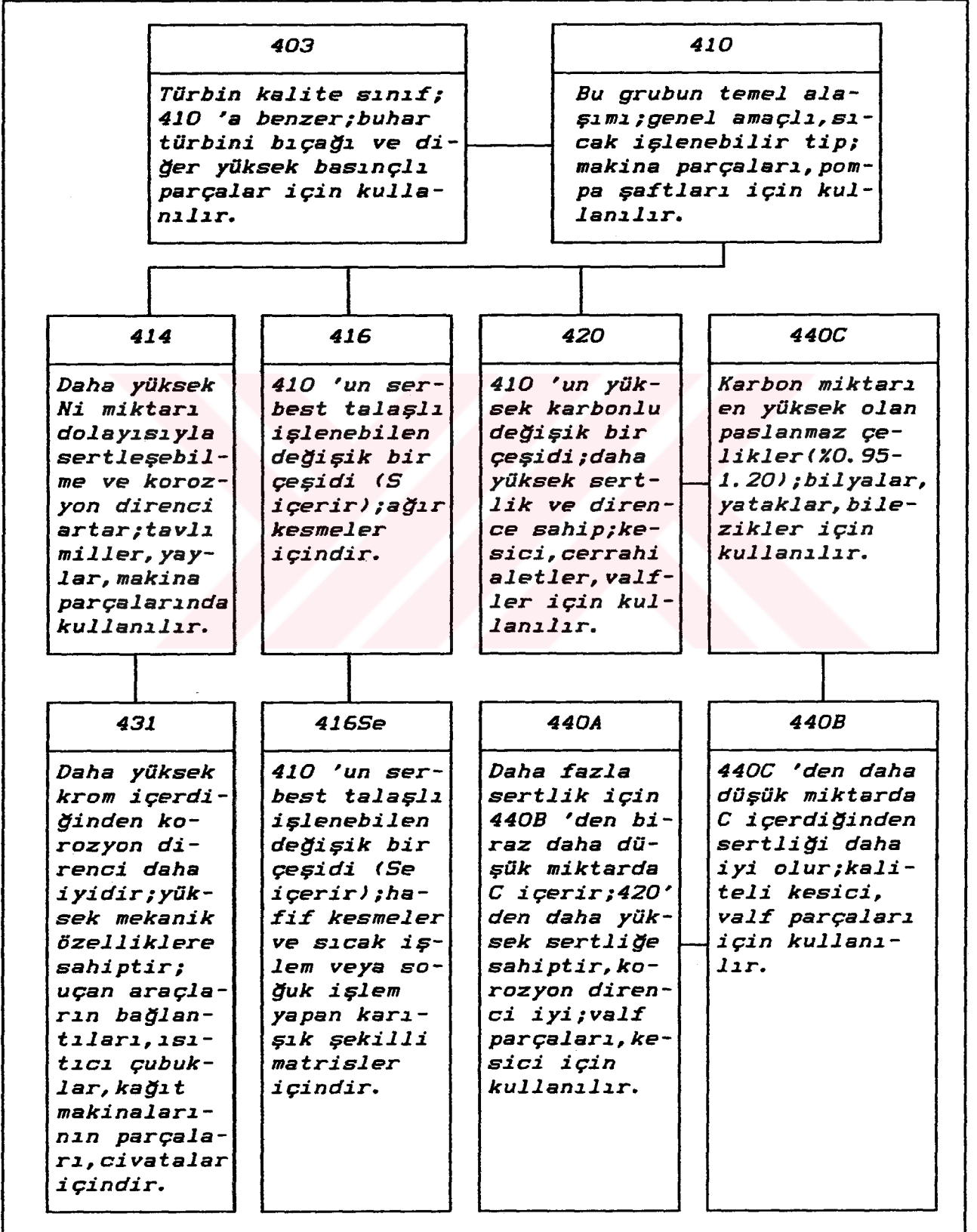
%16-18 Cr 'lu düşük karbonlu alaşımlara (tip 431) yaklaşık %2 Ni ilavesi östenit bölgeyi uzatır ve böylece sıcak işlenebilmelerini sağlar. Genellikle hava ile soğutulurlar ve ısıl işlem, östenit sıcaklığında delta ferritin varlığı mümkün olduğundan sertleştirme derecesinin ve bileşimin dikkatli kontrol edilmesini gerektirir. Tip 431; uçan vasıtaların bağlantıları, kağıt makinalarının parçaları ve civatalar için kullanılmaktadır.

%4-6 Cr içeren (501 ve 502 tipler) düşük kromlu alaşımlı çelikler, mükemmel oksidasyon direncine ve sıradan çelikten daha iyi korozyon dayanımına sahiptirler. Bu çelikler yağda veya bazı durumlarda havada soğutmayla sertleşebilirler. Ulaşılan özellikler gerçekte 5xxx serili alaşımlı çelikler ve tip 400 martenzitik paslanmaz çeliklerin arasındadır. Bu nedenle, bunlar yumuşak korozyon şartları veya 1000°F 'ın altındaki sıcaklıklar için uygundur.

Bunlar büyük oranda, sıcaklık değiştirici olarak petrol rafine makinalarında, valf gövdeleri, pompa segmanları ve diğer bağlantılarda kullanılmaktadır.

### 3.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler:

Bu grup, yaklaşık %14-27 Cr içeren ve 405, 430, 446 tiplerini kapsayan, tamamen kromlu paslanmaz çelikler grubudur. Karbon miktarı düşük, fakat genel olarak martenzitik sınıftan daha yüksek oranda Cr içeren bu çelikler sıcak işlemle sertleştirilemezler, soğuk işlemle sadece biraz sertleştirilebilirler. Bunlar magnetiktir ve



Şekil 3.7. Martenzitik paslanmaz çelikler (Avner, 1974).

soğuk veya sıcak işlenebilir, fakat maksimum yumuşaklık, kolay biçim verilebilme ve korozyon direnci tavlama durumunda iyileşir. Tavllanmış durumda bu çeliklerin gücü, karbon çeliklerinkinden yaklaşık %50 daha yüksektir, korozyon direnci ve işlenebilirliği martenzitik paslanmaz çeliklerden daha üstündür. Ferritik çelikler kolaylıkla soğuk şekillenebilmelerinden bu yana; büyük oranda kimyasal ve yiyecek endüstrisindeki kaplar gibi derin çekilmiş parçalar, mimari ve otomotiv ile ilgili kesmeler için kullanılır.

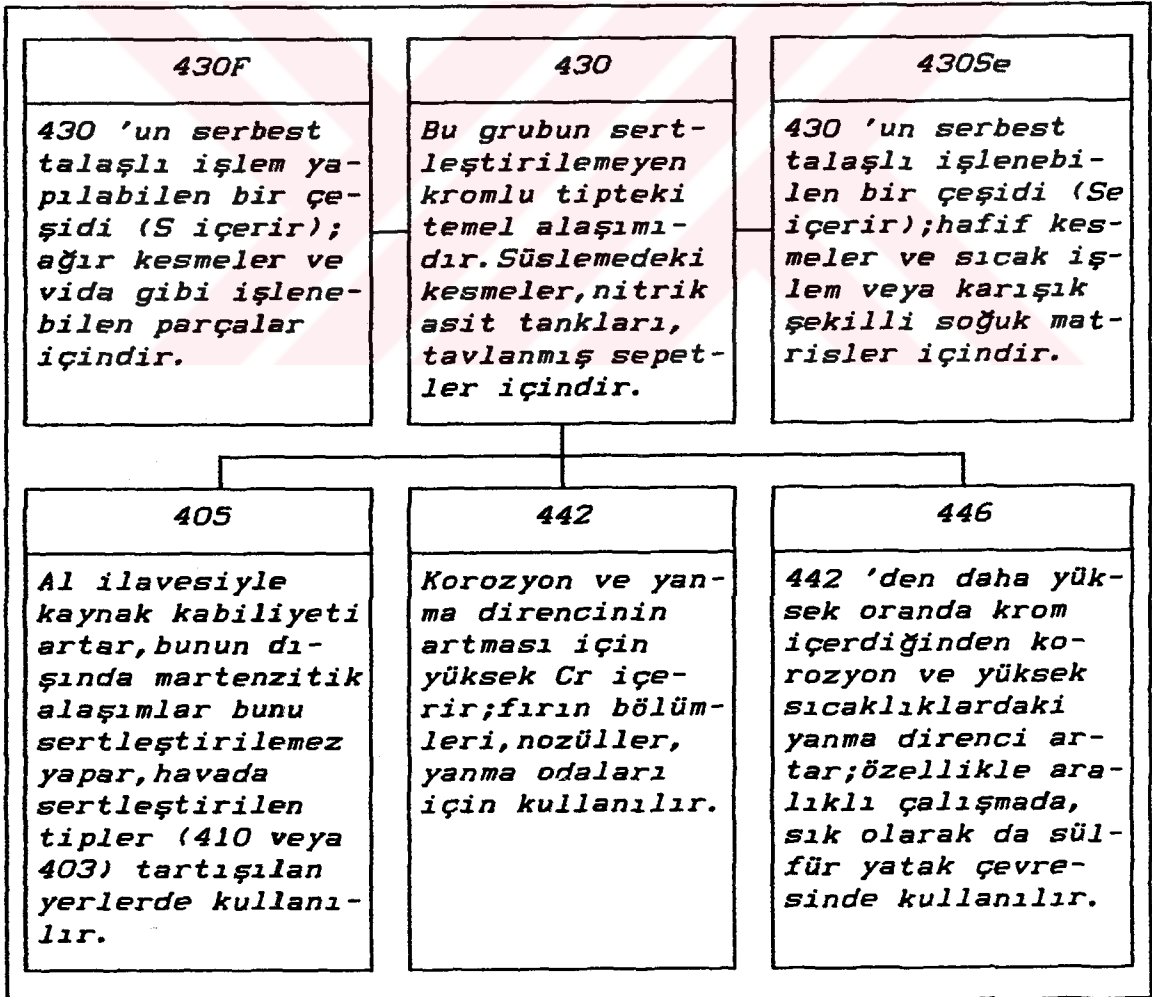
Gerçek ferritik çeliklere uygulanan sıcak işlem, sadece tavlama değildir. Bu işlem esas olarak kaynak ve soğuk işlem basınçlarını düşürmek içindir. Ferritik sınıfların şekillendirilmesinde önemli bir özellik olan gevreklik, yaklaşık 750-950°F sıcaklık sınırları dahilinde yavaş soğuma veya açık havada genleşmeyle artar. Çentik-darbe mukavemeti ters etki yapar. Gevrekliğin kesin sebebi belirlenememesine rağmen, bunun etkileri krom miktarıyla hızla azalmakta, 446 tipinde maksimuma ulaşmaktadır. Bazı ısıtma işlemler, mesela maksimum yumuşaklık için kullanılan soğutma fırınları, gevrekleşmeden kaçınmak amacıyla mutlaka kontrollü olmalıdır. Ferritik çelikler genellikle gevrekleşme için 850°F sınırının üzerindeki sıcaklıklarda tavlantılar, bunun altındaki sıcaklıklar östenit şekillendirme için olabilir. Isıl işlem A hattının üzerinde yapıldığında maksimum yumuşaklık sağlanır, bu çelikler yavaş soğutulur. Bunlar, martenzit oluşum miktarı ihmal edilebilir seviyede olduğunda temperlenemezler, çünkü 850°F sınırında gevrekleşme olabilir.

### 3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler:

Bunlar Cr-Ni (tip 3xx) ve Cr-Ni-Mn (tip 2xx) paslanmaz çelikleridir. Östenitik olan bu tipler aslında tavllanmış durumda magnetik değildir ve ısıtma işlemle sertleştirilemezler. Ni ve Cr 'un toplam miktarı en az %23 olmalıdır. Kolayca sıcak işlenebilirler ve katılaşma işi hızlı olduğundan uygun toleransta yapıldığında soğuk işlenebilirler. Soğuk işlem mekanik özelliklerin sınırını geniş bir şekilde geliştirir ve bu durumda çelik biraz magnetik hale gelebilir. Bunlar S ve Se içermedikçe işlenmeleri zor ve darbe dirençleri aşırı derecede fazladır. Bu çelikler, paslanmaz çeliklerin içinde en iyi yüksek ısıya dayanım ve yanma direncine sahip olanlarıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, genellikle martenzitik ve ferritik çeliklerinkinden daha iyidir.

302 tip, östenitik paslanmaz çeliklerin temel alaşımıdır, aynı türden 22 alaşımdan oluşan bir ailedendir (Şekil 3.9). Örneğin düşük karbon miktarında maksimum %0.08 C ile önde giden 304 'te kaynak kabiliyeti artmakta ve karbür

oluşumuna eğilim azalmaktadır. Kaynak esnasında karbür oluşumundan kaçınmak için, sadece maksimum %0.03 C içeren daha düşük karbonlu bir versiyon olan 304L geliştirilmiştir. 304L 'de kaynaktan sonra 800-1500°F sınırları arasında soğutma esnasında karbür oluşumu önlenmesine rağmen, çok geçişli kaynakta veya 800-1500°F sınırlarında çalışmada daha ciddi problemlerin oluşmasına rastlamak mümkündür. Bu ihtiyaçları karşılamak için, Ti ilaveli 321 tip ve Cb veya Ta ilaveli 347 tip kararlı sınıflar önerilmektedir. Her iki alaşımda, krom karbürden başka bir karbür meydana gelir, bu nedenle krom eriyik içinde korunur ve alaşım bunun korozyon direncini devam ettirir. Kararlı bir ısıl işlem, çelik tiplerini 1600-1650°F 'ta 2 veya 4 saatte hem de kaynak yapma, daha sonra havada veya suda hızlı soğutma olayından oluşur. Amaç; krom karbürün daha sonra çökmesini önlemek için tüm karbonu Ti ve Cb 'un karbürleri olarak çöktürmektir.



Şekil 3.8. Ferritik paslanmaz çelikler (Avner, 1974).

Bütün paslanmaz çelikler soğuk işleme az çok sertleşebilmelerine rağmen, östenitik alaşımlarda buna cevap belirgin olmakta, 201 ve 301 'de bir maksimuma ulaşılmaktadır. Tablo 3.1 'de 17-7 Cr-Ni tip 301 ile daha kararlı olan 18-8 tip 302 karşılaştırılmaktadır.

Şekil 3.9 karşılıklı ilişkiyi ve çeşitli uygulamalar için hangi östenitik paslanmaz çeliklerin kullanıldığını göstermektedir. Tablo 3.2 ise , bazı paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi ve tipik mekanik özelliklerini vermektedir.

Tablo 3.1. 301 ve 302 tip östenitik paslanmaz çeliklerde uzunlamasına doğrultuda soğuk haddelenmenin etkisi (Avner, 1974).

SOĞUK REDÜKSİYON %	METALİN DURUMU	GERİLME				SİKİŞTİRMA	
		Gerilme dayanımı(*) PSI	Çekme dayanımı PSI	2 inç'teki uzama %	Rockwell sertlik değeri	Gerilme dayanımı(*) PSI	Burulma dayanımı PSI
301 TİP PASLANMAZ ÇELİK							
0	Tavlama	33,000	117,600	68	B 85	40,000	57,800
10	Soğuk haddelenmiş	67,000	147,600	47	C 32	54,000	89,400
25	Soğuk haddelenmiş	127,000	165,200	24	C 38	96,000	151,400
35	Soğuk haddelenmiş	164,000	196,000	15	C 43	139,000	184,500
45	Soğuk haddelenmiş	200,000	225,000	7	C 46	163,000	218,000
302 TİP PASLANMAZ ÇELİK							
0	Tavlama	36,000	94,000	61	B 80	36,000	50,250
20	Soğuk haddelenmiş	121,000	139,300	22	C 29	74,000	120,400
35	Soğuk haddelenmiş	131,000	155,300	15	C 36	95,000	151,800
50	Soğuk haddelenmiş	151,000	177,400	6	C 38	99,000	155,200

\* %2 kayma (1 psi = 1 lb/inç<sup>2</sup> = 7.0307\*10<sup>-4</sup> kgf/cm<sup>2</sup>)

Ulusal felaket zamanında nikelin yokluğu, paslanmaz çelik üreticileri ve tüketicileri için ciddi bir problem olmuştur. İkinci Dünya Savaşı başladığında ve Kore felaketi sürerken, koruyucu imalinde Ni yerine Mn kullanımı paslanmaz çeliklerde 201 ve 202 tip ürünlerde başta gitmiş, Cr-Ni-Mn 'lı paslanmaz çelikler geliştirilmiştir. Talaşlı işleme kabiliyetinin ve ciddi işleme karakteristiklerinin gerekli olmadığı yerlerde, %17 Cr, % 4.5 Ni ve %6.5 Mn bileşimindeki 201 'i, 301 (%17 Cr, %7 Ni) yerine kullanmak yeterli olmuştur. Bu karakteristiklerin gerekli olduğu yerde %18 Cr, %5 Ni, %8 Mn bileşimindeki tip 202 daha değerlidir, çünkü manganın daha yüksek değerinde olması, işlenirken sertleşme oranını azaltır. Buna rağmen 201 ve 202 kimyasal korozyona karşı 301 ve 302 'den biraz daha az dirençlidirler (Avner, 1974)

<p><b>202</b></p> <p>302 'ye karşılık gelen düşük mikelli genel amaçlı, kısmen nikel yerine mangan kullanılmıştır.</p>	<p><b>302</b></p> <p>Bu grubun temel alaşımı; çevre kesmelerde, yiyecek saklama elemanlarında, uçan araçların iç kaplamasında, antenlerde, yaylarda, mimari ürünlerde, yiyecek depolarında kullanılır.</p>	<p><b>302B</b></p> <p>Si içerdiğinden soyulmaya karşı 302'den daha dirençlidir; fırın parçalarında, yolcu gemilerinde, ısıtma elemanlarında kullanılır.</p>		
<p><b>304L</b></p> <p>304'ün çok düşük karbonlu bir çeşidi, kaynak esnasında karbür oluşumunu daha çok sınırlamak içindir.</p>	<p><b>304</b></p> <p>302'nin düşük karbonlu çeşidi, kaynak sırasında karbür oluşumunu sınırlamak içindir; kimyasal ve yiyecek işleme teçhizatlarında, kayış tellerinde kullanılır.</p>	<p><b>347</b></p> <p>Kaynak uygulamalarında kararlı olması için ilave edilen Cb veya Ta hariç 321'le aynı türdendir.</p>	<p><b>308</b></p> <p>Daha yüksek alaşım miktarı (Ni ve Cr) korozyon ve ısıl direncini artırır; başlıca olarak kaynakta kaybolan alaşımın yerini tutan kaynak dolgu maddesi olarak kullanılır.</p>	<p><b>305</b></p> <p>Yüksek nikel miktarı sebebiyle daha düşük işlenirken sertleşme oranı; döndürerek işleme ve ağır çekme operasyonları içindir.</p>
<p><b>303</b></p> <p>302'nin serbest ta- laşlı işlenebilen çeşidi (S içerir); ağır kesmeler içindir; vida ürünlerin işlenmesinde, şaftlarda, vanalarda kullanılır.</p>	<p><b>321</b></p> <p>Ti miktarı kaynak esnasında krom karbür oluşumunu önler; şiddetli korozif durumlar ve 800-1600 F'ta çalışma içindir; uçan araçların egzost manifoldlarında, buhar kazanlarında, işleme ekipmanlarında kullanılır.</p>	<p><b>348</b></p> <p>Maksimum Ta miktarı hariç 347 ile aynı türdendir; nükleer enerji uygulamalarında kullanılır.</p>	<p><b>309</b></p> <p>Daha yüksek olan alaşım miktarı (Ni ve Cr) hariç 308'le aynı türdendir; mükemmel korozyon ve soyulma direncine sahiptir; uçan araçların ısıtıcılarında, ısıl işleme teçhizatlarında, fırın parçalarında kullanılır.</p>	<p><b>309S</b></p> <p>Kaynak kabiliyetini iyileştirmek için 309'un düşük karbonlu türüdür.</p>
<p><b>303Se</b></p> <p>302'nin serbest ta- laşlı işlenebilen çeşidi (Se içerir); hafif kesmeler ve sıcak işleme veya karmaşık olan soğuk perçinlemeler içindir.</p>		<p><b>314</b></p> <p>Yüksek sıcaklıkta soyulma direncini arttıran yüksek Si miktarı hariç 310 ile aynı türdendir.</p>	<p><b>310</b></p> <p>Daha yüksek alaşım miktarı (Ni ve Cr) hariç 309 ile aynı türdendir; eşanjörler, fırın parçaları, yanma odaları, kaynak dolgu metalleri için kullanılır.</p>	<p><b>310S</b></p> <p>Kaynak kabiliyetini iyileştirmek için 310'un düşük karbonlu türüdür.</p>
<p><b>301</b></p> <p>Düşük Cr ve Ni miktarıyla işlenirken sertleşme oranı artar; demiryolu arabaları, treyler gövdeleri, uçan araçların yapısal bölümleri gibi yüksek mukavemetli, çekilebilirliği yüksek olan uygulamalarda kullanılır.</p>	<p><b>201</b></p> <p>301'im düşük nikelli olan çeşidi; nikel yerine kısmen mangan kullanılır; yüksek işlenirken sertleşme oranına sahiptir.</p>	<p><b>317</b></p> <p>Korozyon ve akma direncini iyileştirmek için 316'dan daha yüksek oranda molibden içerir.</p>	<p><b>316</b></p> <p>Mo miktarı dolayısıyla 302 veya 304'den daha yüksek korozyon direnci; yüksek akma direncine sahip; kimyada, kağıt hamuru işlemede, fotoğrafçılık ve yiyecek ekipmanlarında kullanılır.</p>	<p><b>316L</b></p> <p>Kaynak konstrüksiyonu için 316'nın düşük karbonlu türüdür.</p>

Şekil 3.9. östenitik paslanmaz çelikler (Avner, 1974).

Tablo 3.2. Bazı paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri (Amer, 1974).

GRUP	AİSTENİTİK GRUP						MARTENZİTİK GRUP						FERRİTİK GRUP		
	201	202	301	302	309	316	410	416	420	440A	501	502	405	430	446
Analiz, % :															
Krom	16,0-18,0	17,0-19,0	16,0-18,0	17,0-19,0	22,0-24,0	16,0-18,0	11,5-13,5	12,0-14,0	12,0-14,0	16,0-18,0	4,0-6,0	4,0-6,0	11,5-14,5	14,0-18,0	23,0-27,0
Nikel	3,5-5,5	4,0-6,0	6,0-8,0	8,0-10,0	12,0-15,0	10,0-14,0	0,50 max	...	...	0,50 max	...	...	0,50 max	0,50 max	0,50 max
Diğer elementler	N 0,25 max	N 0,25 max	...	...	...	Mo2,0-3,0	...	...	...	Mo0,75 max	...	...	...	...	N 0,25 max
Karbon	0,15 max	0,15 max	0,15 max	0,15 max	0,20 max	0,08 max	0,15 max	0,15 max	0,15 max	0,60-0,75	0,10 max	0,10 max	0,08 max	0,12 max	0,20 max
Mangan	5,5-7,5	7,5-10,0	2,0 max	2,0 max	2,0 max	2,0 max	1,0 max	1,25 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,5 max
Silyum	1,00 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max	1,0 max
Sıcaklık, F :															
Döve-bağlangıç	2300	2300	2200	2200	2150	2200	2100	2150	2000	2100	2150	2100	2100	2100	2150
Tavlama-sınırlar	1850-2000	1850-2000	1950-2050	1850-2050	2050-2150	1975-2150	1500-1650	1500-1650	1550-1650	1550-1650	1525-1600	1525-1600	1350-1500	1400-1500	1450-1600
Tavlama-soğutma(+)	MO(AC)	MO(AC)	MO(AC)	MO(AC)	MO(AC)	MO(AC)	SFC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	MO
Sertleştirme-sınırlar	#	#	#	#	#	#	1700-1850	1700-1850	1800-1900	1850-1900	1600-1700	e		Sertleştirilemez	
Su verme	...	...	...	...	...	...	0 veya A	0 veya A	0 veya A	0 veya A	0				
Temperleme-ara sertlik için	...	...	...	...	...	...	1100'üzeri	1200'e kadar	700 altı	700 altı	1000 üzeri				
Çekme-boşaltma gerilmeleri için	...	...	...	...	...	...	700 altı	700 altı	700 altı	700 altı	700 altı				
Mekanik özellikler-tavlama :															
Tavlama yapı	A	A	A	A	A	A	F-C	F-C	F-C	F-C	F-C	F-C	F-C	F-C	F-C
Gerilme kuvveti, 1,000 psi min	40	40	35	30	30	30	32	40-50	50-60	55	30	25	32	35	45
Kopma mukavemeti, 1,000 psi min	115	100	100	80	75	75	60	60-80	90-100	95	70	65	60	60	75
Uzama, 2 in. min 'deki %	40,0	40,0	50,0	50,0	40,0	40,0	20,0	30-20	25-20	20,0	28,0	30,0	20,0	20,0	20,0
Büzülme, % min	...	...	60,0	60,0	50,0	50,0	50,0	60-50	50-40	40,0	65,0	75,0	50,0	40,0	40,0
Çekme elastiklik modülü, 10 psi	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	30,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
Brinell sertlik	210 max	210 max	180 max	180 max	200 max	200 max	200 max	145-185	200-230	240 max	160	150	180 max	200 max	200 max
Rockwell sertlik	B 95 max	B 95 max	B 90 max	B 90 max	B 95 max	B 95 max	B 95 max	B 79-90	B 93-98	B 100 max	...	B 75	B 90 max	B 95 max	B 95 max
Darbe değerleri, ft-lb	85 min	85 min	85 min	85 min	80 min	70 min	85 min	50-30	...	Düşük	...	85 min	25 min	3-65	Düşük
Mekanik özellikler-ısıtılmış işleme :															
Gerilme kuvveti, 1,000 psi	...	...	...	...	...	...	35-180	60-130	120-220	55-240	90-135	90-135			
Kopma mukavemeti, 1,000 psi	...	...	...	...	...	...	60-200	90-160	150-250	95-275	115-175	115-175			
Uzama, 2 in. 'deki %	...	...	...	...	...	...	25-2	20-10	12-2	20-2	20-15	20-15			
Brinell sertlik	...	...	...	...	...	...	120-400	180-300	275-500	200-555	240-370	240-370			
Rockwell sertlik	...	...	...	...	...	...	B 70-C 45	B 88-107	C 30-52	B 95-C 55					

Kısaltmalar : AC-Hava soğutmalı, FC-Fırın soğutmalı, SFC-Yavaş fırın soğutmalı, MO-Suda tavlama, O-Yağda tavlama, F-Ferrit, C-Karbür, A-Austenit (+) 300 serilerinin ince bölümleri ; MO(AC) genellikle hava soğutmalı, suda tavlama ağır kısımları singeler.

(\*) Sadece soğuk işleme sertleştirilebilir.

(†) Kopma mukavemeti 350,000 psi 'ye kadar olan tel ve 250,000 psi 'ye kadar olan çerit, soğuk işleme elde edilebilir.

(‡) Genelde sadece tavlama durumunda kullanılır.

### 3.4. Paslanmaz Çeliklerin Şekillendirilebilirliği :

#### 3.4.1. Soğuk Şekillendirme :

Ferritik paslanmaz çelikler, oda sıcaklığında birçok yöntemle şekillendirilebilirler. İlk mukavemetlerinin yüksek ve sünekliliklerinin düşük olması sebebiyle, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha zor şekillendirilirler. Mutfak lavaboları ve kaplarının imalinde östenitik çeliklere oranla daha fazla tercih edilirler.

Ferritik paslanmaz çeliklerin düşük deformasyon sertleşme hızı özelliği göstermeleri, bunların deformasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu yönden yumuşak çeliklere benzeyen ferritik çeliklere kolayca pul şeklinde basma, soğuk dövme ve sıvama gibi soğuk şekillendirme işlemleri uygulanabilir. Germe şekillendirilmesi gerektiğinde ise östenitik paslanmaz çelikler, ferritik paslanmaz çeliklere oranla daha uygundur.

Ferritik paslanmaz çelikler, son tavlama sonrası yüzey pasosundan geçirilmedikçe, germe ve sıvama işlemleri sırasında, germe şekil değiştirmesi gösterirler. Derin çekme karakteristiklerine kristal yapının etkisi çok önemlidir (Tekin, 1981).

Östenitik paslanmaz çelikler derin çekme ve germe ile şekillendirilirler. Derin çekmenin geliştirilmesinde, doğru kristal yapı ve R değerleri önemli yer tutar. Germe ile şekillendirme için yüksek bir maksimum deformasyon gereklidir.

#### 3.4.2. Sıcak Şekillendirme :

Ferritik paslanmaz çeliklerin sıcak şekillendirilmesi sırasında germe şekil değişmesine benzemeyen izler oluşmaktadır. Bu izler kristal yapı etkisiyle meydana gelir. İzler, haddeme doğrultusuna paralel olarak uzanır ve böylece germe izlerinden farklı bir yön göstermiş olurlar. Sıcak işlem süresince, istenmeyen kristal yapının gelişmesi ile oluşan bu olayın kontrol edilmesi gerekir. Çünkü bu işlem, çok düşük anizotropiye sahip sıralar halinde izleri doğurma özelliğindedir.

Sonuç olarak, sıcak şekillendirilebilme açısından ferritik paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda çok düşük akma gerilmelerine sahip çeliklerdir. Kolaylıkla sıcak işlenebilen bu çelikler, yumuşak olmaları sebebiyle, sıcak işlem sırasında kolaylıkla çizilebilirler. Bununla beraber,

sıcak işlem sıcaklığında mevcut östenit miktarındaki artışla birlikte sıcak işlenebilirlik hızla düşmekte, östenit ve ferrit eşit oranlarda bulunduğu durumda da minimuma inmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin sıcak şekillendirilmesinde en büyük dezavantaj üniform özellikler elde edilememesidir. Tekrar ısıtma ile yok edilen bu durumda, ısıtmanın yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılması koşulu ile mukavemet değerlerinde azalma olmaksızın özelliklerde üniform bir artış sağlanabilir.

#### **4. PASLANMAZ ÇELİK SAÇLARIN ÇEKME KABİLİYETİ :**

##### **4.1. Giriş :**

Yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliklerin östenitik, martenzitik ve ferritik tiplerinin çeşitli yöntemlerle uygun olarak şekillendirilmesinde genel değerler Tablo 4.1 'de verilmektedir. Bu değerler, şekillendirme için hem şekil verme kabiliyeti hem de güç gereksinimi için temel değerlerdir.

Tabloda görüldüğü üzere, östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler hemen hemen tüm şekil verme yöntemlerine uygundur. Bununla birlikte martenzitik paslanmaz çeliklerin sadece 403, 410 ve 414 tipleri genelde soğuk şekil verme uygulamaları için tavsiye edilmektedir. Çünkü geriye kalan, daha yüksek karbon miktarına sahip martenzitik tipler, soğuk şekillendirmede çok fazla sınır değerler gerektirir; bu çelikler bazen sıcak şekillendirilirler (Metals Handbook Vol.4, 1975).

Böylece paslanmaz çelikler içerisinde en iyi çekme kabiliyetine sahip olanların östenitik ve ferritik tipler olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

##### **4.2. Saçların Çekme Kabiliyetinin Genel Olarak İncelenmesi ve Bunun Kontrolunda Metalografik Faktörler:**

iyi bir çekme kabiliyetinin büyük tane boyutlu saçlarda elde edildiği bilinmektedir. Bu nedenle çekme kabiliyetinin belirlenmesinde tane boyutundan faydalanılmaktadır (Suzuki, 1983).

Şekil 4.1 'deki örnekte, çelik saçlarda küçük ve büyük tane boyutlu malzemelere ait gerilme-gerinim eğrilerinin hemen hemen birbirlerine paralel olduğu görülmektedir. Flanştaki deformasyon kuvveti azaldığında ve kabın cidarının mukavemeti arttığında saçlarda iyi bir çekme kabiliyeti sağlandığı görüşünden, Şekil 4.1 'deki gibi gerilme-gerinim eğrilerinin birbirlerine paralel olduğu durumda, daha büyük tane boyutlu malzeme için akma gerilmesi daha düşük olmakta ve flanşın deformasyon kuvveti azalmaktadır. Bununla birlikte, kabın cidarının mukavemeti de akma gerilmesi ve çekme mukavemetinin artışı nedeniyle daha düşük olmaktadır. Böylece, bu örnekte çekme kabiliyeti tane boyutunun kaba hale gelmesi ile iyileşmemektedir. Diğer yandan, bakır sac örneğinde akma gerilmesi, tane boyutunun daha büyük hale gelmesi ile daha düşük bir duruma gelmekte, fakat büyük ve küçük tane boyutlu malzemelerin çekme mukavemetleri hemen hemen aynı değerde olmaktadır. Bu nedenle, bakır sac örneğinde çekme kabiliyeti tanenin kontrol altında tutulması ile iyileşmekte, çünkü kabın cidarının mukavemeti küçük ve

**Tablo 4.1 : Çeşitli Şekillendirme Metodları için Paslanmaz Çeliklerin Uygunluk Dereceleri (a) (Metals Handbook Vol.4, 1975)**

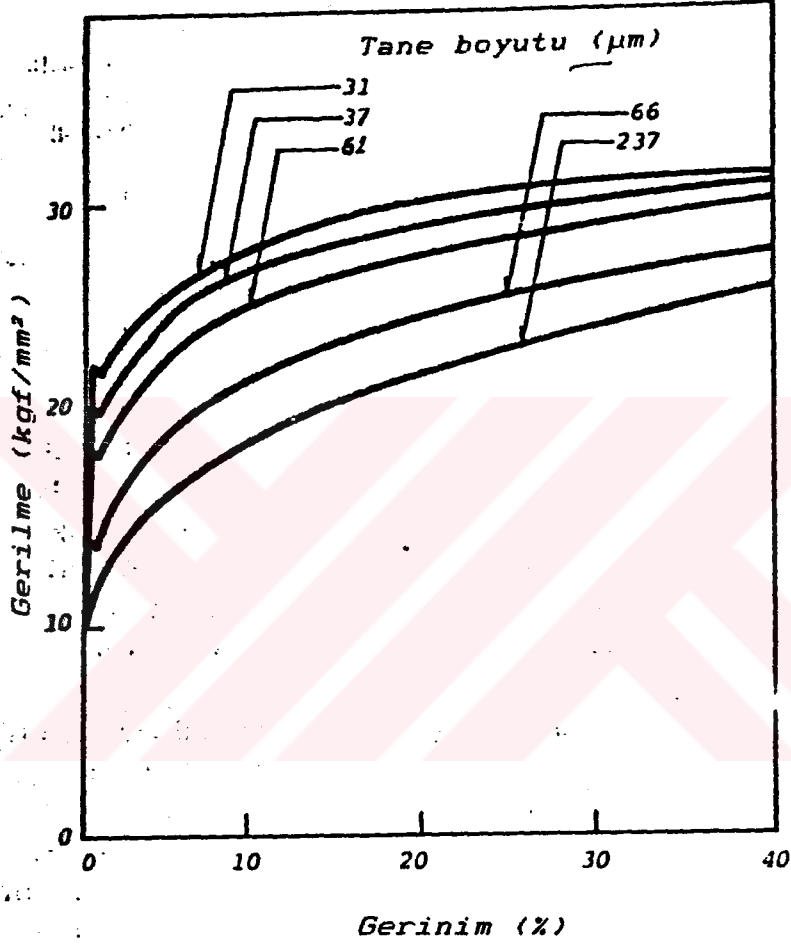
(A=Nükemmel, B=iyi, C=Orta, D=Genelde tavsiye edilmez)

Çelik	%0.2Akma mukavem. 1000 psi	Uygunluk							
		Boşaltma	Delme	Preste bükme	Derin çekme	Bükme	Haddeleme	Soğuk vurma	Çukurlaştırma
<b>Östenitik Çelikler</b>									
201 .....	55	B	C	B	A-B	C-D	B	B-C	B-C
202 .....	55	B	B	A	A	B-C	A	B	B
301 .....	40	B	C	B	A-B	C-D	B	B-C	B-C
302 .....	37	B	B	A	A	B-C	A	B	B
302B .....	40	B	B	B	B-C	C	...	C	B-C
303, 303(Se) .	35	B	B	D(b)	D	D	D	C-D	C
304 .....	35	B	B	A	A	B	A	B	B
304L .....	30	B	B	A	A	B	A	B	B
305 .....	37	B	B	A	B	A	A	A-B	A-B
308 .....	35	B	...	B	D	D	...	D	D
309, 309S ....	40	B	B	A(b)	B	C	B	B	B
310, 310S ....	40	B	B	A(b)	B	B	A	B	B
314 .....	50	B	B	A(b)	B-C	C	B	B	B-C
316 .....	35	B	B	A(b)	B	B	A	B	B
316L .....	30	B	B	A(b)	B	B	A	B	B
317 .....	40	B	B	A(b)	B	B-C	B	B	B
321, 347, 348	35	B	B	A(b)	B	B-C	B	B	B
<b>Martenzitik Çelikler</b>									
403, 410 .....	40	A	A-B	A	A	A	A	A	A
414 .....	95	A	B	A(b)	B	C	C	B	C
416, 416(Se) .	40	B	A-B	C(b)	D	D	D	D	C
420 .....	50	B	B-C	C(b)	C-D	D	C-D	C-D	C
431 .....	95	C-D	C-D	C(b)	C-D	D	C-D	C-D	C-D
440A .....	60	B-C	...	C(b)	C-D	D	C-D	D	C
440B .....	62	...	...	...	...	D	...	D	D
440C .....	65	...	...	...	...	D	...	D	D
<b>Ferritik Çelikler</b>									
405 .....	40	A	A-B	A(b)	A	A	A	A	A
430 .....	45	A	A-B	A(b)	A-B	A	A	A	A
430F, 430F(Se)	55	B	A-B	B-C(b)	D	D	D	C-D	C
442 .....	..	A	A-B	A(b)	B	B-C	A	B	B
446 .....	50	A	B	A(b)	B-C	C	B	B	B

(a) Uygunluk değerleri herhangi bir sınıf içerisinde çeliklerin karşılaştırılmasında esastır; bunun için buradan, özel bir yöntem için A değerli bir ferritik çeliğin C değerli bir östenitik çelikten daha fazla şekillendirilebilir olduğu sonucu çıkarılmamalıdır.

(b) Şiddetli keskin kıvrımalardan kaçınılmalıdır.

büyük tane boyutlu malzemeler için hemen hemen aynı olmaktadır. Fakat flanştaki deformasyon kuvveti, kaba hale gelen taneler için azalmaktadır.



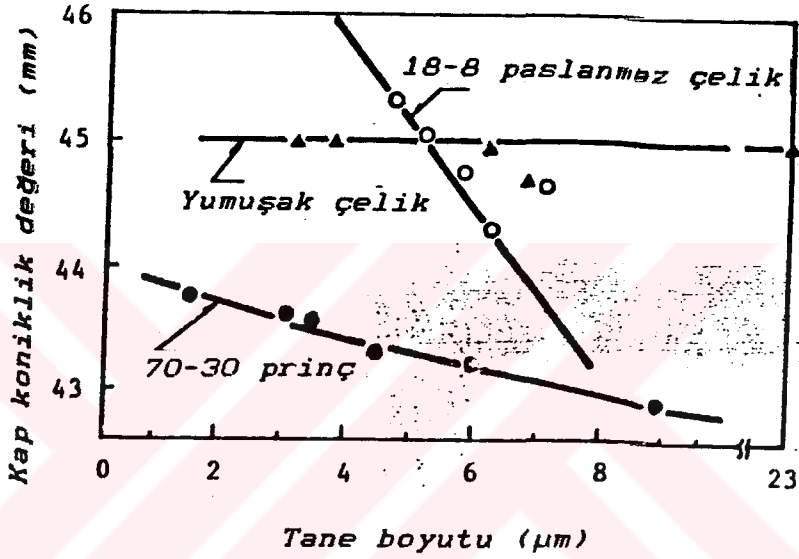
Şekil 4.1. Yumuşak çelik için gerilme-gerinim eğrilerinde, sertleşme oranının tane boyuyundan bağımsız olduğu görülmektedir (1 kg/mm<sup>2</sup> = 9.81 MPa) (Suzuki, 1983)

Aşağıdaki deneysel sonuçlar, yukarıda bahsi geçen iddiaların doğru olduğunu göstermektedir. Buna göre çekme işleminde akma gerilmesini, kabın cidarının mukavemetini de belirleyen çekme mukavemeti ve flanştaki deformasyon kuvveti belirlemektedir.

Şekil 4.2 'de yumuşak çelik, 18-8 paslanmaz çelik ve 70/30 prinç saclar için, tane boyutu ile kap koniklik değeri arasındaki ilişki görülmektedir. Yumuşak çeliğin kap koniklik değeri tane boyutu ile etkilenmemekte, fakat 18-8 paslanmaz çelik ve 70/30 princin kap koniklik değeri tane boyutu kaba olduğunda daha düşük olmakta ve bu, çekme kabiliyetinin iyileştiğini göstermektedir. Bu eğilim,

özellikle 18-8 paslanmaz çelik örneğinde daha belirgin olmaktadır.

Bu sonuçlar; tane boyutu ile çekme kabiliyeti arasındaki ilişkinin, örneğin yumuşak çelik veya bakır gibi farklı malzemelerin gerilme-gerinim bağıntılarına uygun, farklı davranışlarla açıklandığını göstermektedir ve sadece bakırın çekme kabiliyetinin tane boyutu ile doğrudan etkilendiği sonucuna varılabilmektedir.



Şekil 4.2. Kap koniklik değeri ile tane boyutu arasındaki ilişki. Yumuşak çeliğin koniklik değeri tane boyutundan bağımsızken, 18-8 paslanmaz çeliğin ve 70/30 brinçin koniklik değerinin tane boyutuna bağlı olduğu görülmektedir (Suzuki, 1983).

#### 4.3. Çekme Kabiliyeti ve Kristal Yapı :

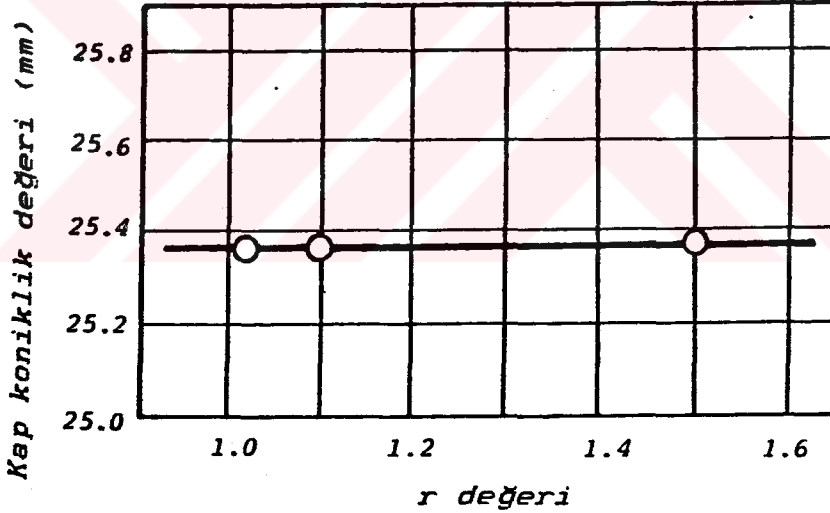
Yumuşak çelik saclar gibi kübik hacim merkezli (KHM) malzemelerin çekme kabiliyeti sadece  $r$  değeri ile gösterilmektedir. Burada, iyi bir çekme kabiliyeti,  $r$  değerinin artışı ile sağlanmaktadır.

Kristal yapı ile bağımlı olan  $r$  değeri  $r = \epsilon_w / \epsilon_t$  olarak tanımlanmaktadır. Burada  $\epsilon_w$ ; numunenin genişliği doğrultusundaki gerinim,  $\epsilon_t$  ise; kalınlık doğrultusundaki gerinim değerleridir. Genellikle KHM sacların çekme kabiliyetinin kristal yapı ile büyük ölçüde etkilendiği kabul edilmektedir. Aksine nikel-gümüş alaşımı sac gibi bazı kübik yüzey merkezli (KYM) malzemeler için çekme kabiliyeti,  $r$  değeri ile kontrol edilememektedir. Şekil 4.3 'te görüldüğü gibi, nikel-gümüş alaşımı saclarda  $r$

değeri değişmesine rağmen, kap koniklik değeri hemen hemen sabittir. Bu sonuçlar, çekme kabiliyetinin  $r$  değeri ile gösterilemediği bazı KYM saclarda beklenen sonuçlardır. Bununla birlikte, kristal yapının kontrol altında tutulmasında  $r$ 'nin önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Nikel-gümüş alaşımı saclardaki  $r$  değeri (113) düzlem ailesinin şiddeti ile artarken, KYM saclarda  $r$  değeri (111) düzlemindeki yapı ile büyümektedir.

Tek kristalli sac için yapılan deneysel sonuçlar şunu göstermektedir: Bütün kristal yapı için en iyi çekme kabiliyeti (111) düzleminde, ikinci olarak (110) düzleminde sağlanmakta, pratik olarak çekme kabiliyeti (113) düzleminde etkilenmemektedir.

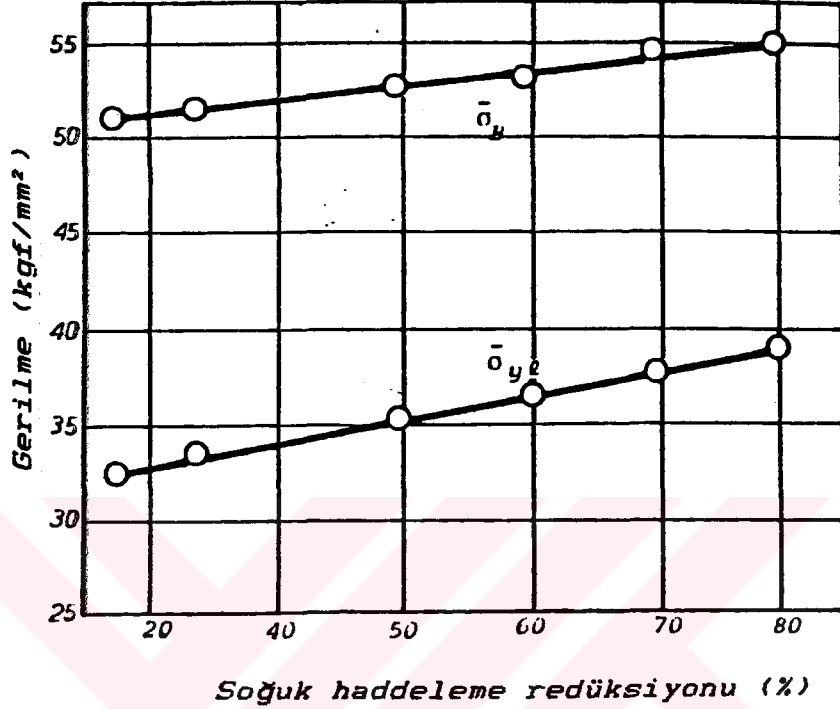
Bu görüşten, çok kristalli sacın çekme kabiliyetinin (111) düzlemindeki artışla iyileşebileceği, (113) düzlemindeki artışla etkilenmeyeceği kanısına varılmaktadır. Tam tersine, en düşük  $r$  değeri, dolayısıyla en kötü çekme kabiliyeti (100) düzleminde olmaktadır.



Şekil 4.3. Nikel-gümüş alaşımı saclarda kap koniklik değeri ile  $r$  değeri arasındaki ilişki (Suzuki, 1983).

#### 4.4. Ferritik Paslanmaz Çelik Sacların Çekme Kabiliyeti :

Şekil 4.4 'te, soğuk haddelenmiş ve sonra vakum ortamında 800°C 'de 1 saat tavllanmış olan 18Cr ferritik paslanmaz çelik sacların mekanik özellikleri görülmektedir. Akma olayı bu çeliklerde açıkça görülmekte ve akma noktası daha düşük değerlerdeki bir akma değeri ile ( $\sigma_{y1}$ ) gösterilmektedir.

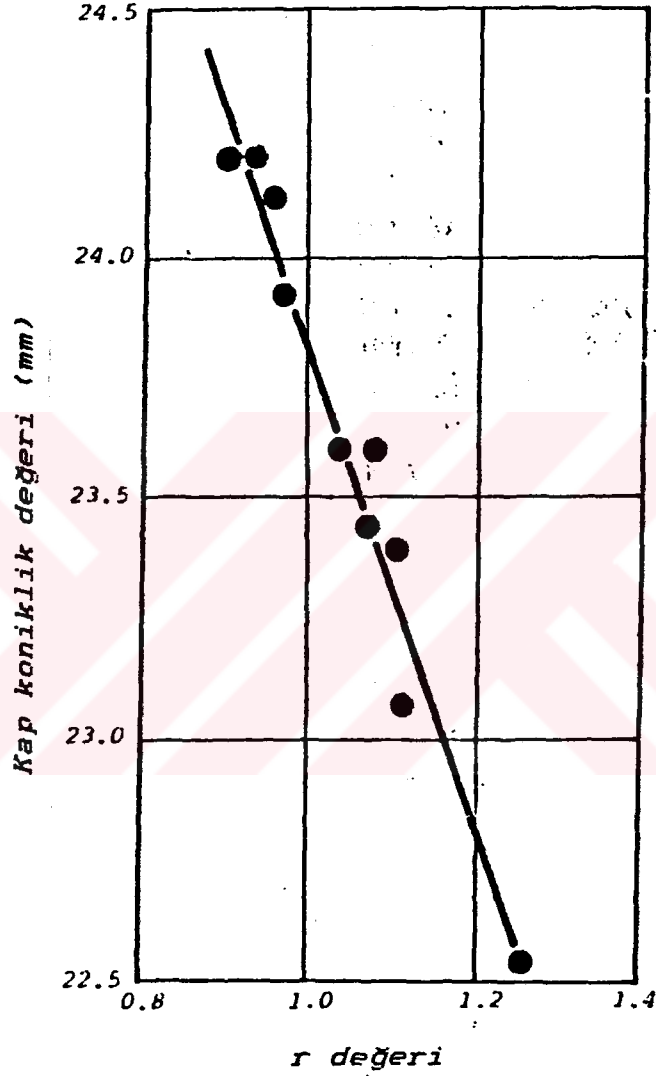


Şekil 4.4. Tavlamadan sonra 18Cr paslanmaz çelik sacların mekanik özelliklerine soğuk haddeleme redüksiyonunun etkisi (Suzuki, 1983).

Verilen bu sonuçlar, 0°, 45° ve 90° 'deki haddeleme doğrultularında üretilen birçok test parçasından elde edilen ortalama değerlerdir. Çekme mukavemeti  $\sigma_B$  ve düşük akma noktası  $\sigma_{y1}$ , haddeleme redüksiyonunun artışı ile orantılı olarak artmaktadır. Diğer yandan, haddeleme redüksiyonu daha büyük olduğundan, tanelerin yeniden kristalleşme eğilimi daha düşük olmaktadır. Şekil 4.4 'te, 18Cr paslanmaz çelik saclarda ince ve kaba taneler için gerilme-gerinim eğrilerinin bu sebeple birbirlerine paralel olduğu görülmektedir. Bundan, 18Cr paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyetinin pratik olarak tane boyutu ile etkilenmeyeceği düşünülebilmektedir.

Şekil 4.5 'te, 18Cr paslanmaz çelik saclarda r değeri ile kap koniklik değeri arasındaki ilişki görülmektedir. r değerinin artışı ile kap koniklik değeri lineer olarak azalmakta ve çekme kabiliyeti r değeri ile iyileşmektedir. r değeri kristal yapı ile oldukça fazla etkilendiğinden, 18Cr paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyetinin de kristal yapı ile büyük oranda etkileneceği düşünülmektedir. Sonuç olarak, 18Cr paslanmaz çelik saclar çekme kabiliyetinin tane boyutu ile hemen hemen hiç etkilenmediği, kristal yönlenmesi ile ilgili olduğu

kanısına varılmakta, çünkü yönelme  $r$  değeri ile bağlantılı olmaktadır. Gerçekte, 18Cr paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyeti hemen hemen sadece (111) düzleminde değişmektedir.

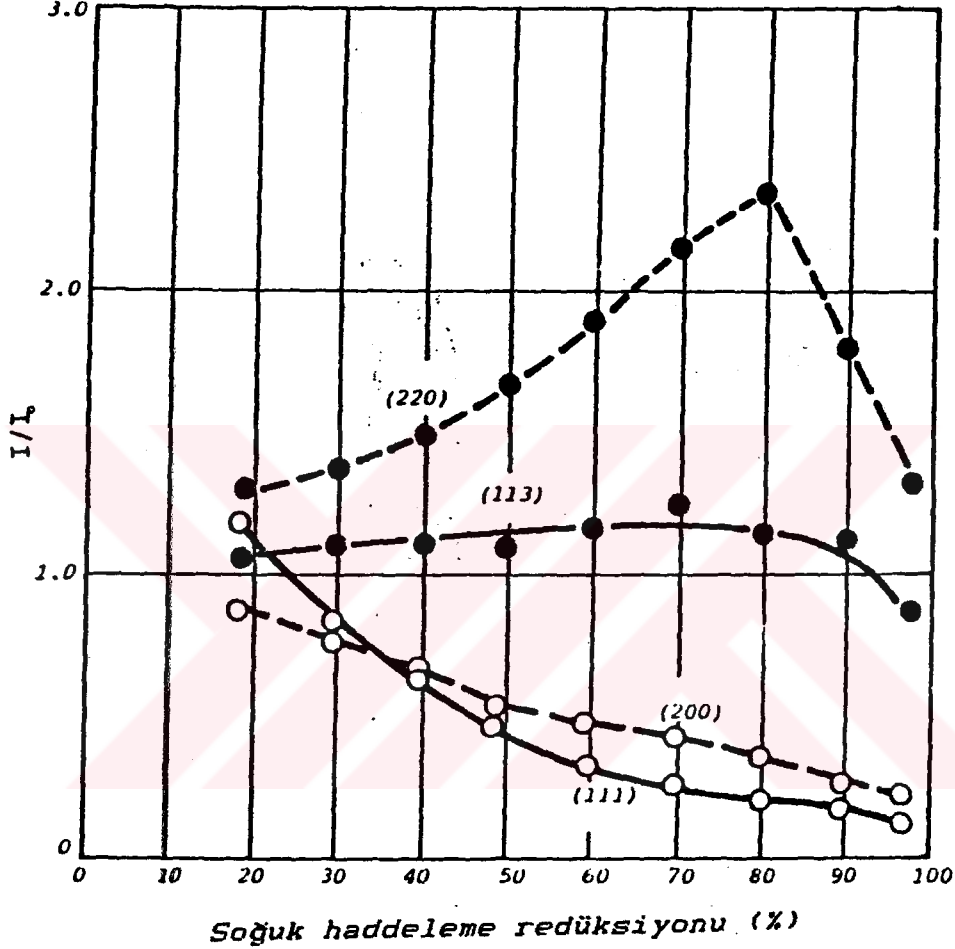


Şekil 4.5. 18Cr paslanmaz çelik için  $r$  değeri ile kap koniklik değeri arasındaki ilişki (Suzuki, 1983).

#### 4.5. Östenitik Paslanmaz Çelik Sacların Çekme Kabiliyeti :

Şekil 4.2 'de görüldüğü gibi, 18-8 paslanmaz çelik sacların kap koniklik değeri, daha büyük hale gelen tane boyutu ile azalır ve bu çeliğin çekme kabiliyeti iyileşmektedir. Bu sonuçlar çekme oranı sınırının ölçülmesiyle de elde edilmektedir. 18-8 paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyeti tane boyutu ile büyük oranda etkilenmektedir. Bununla birlikte, kaba tanelilerde

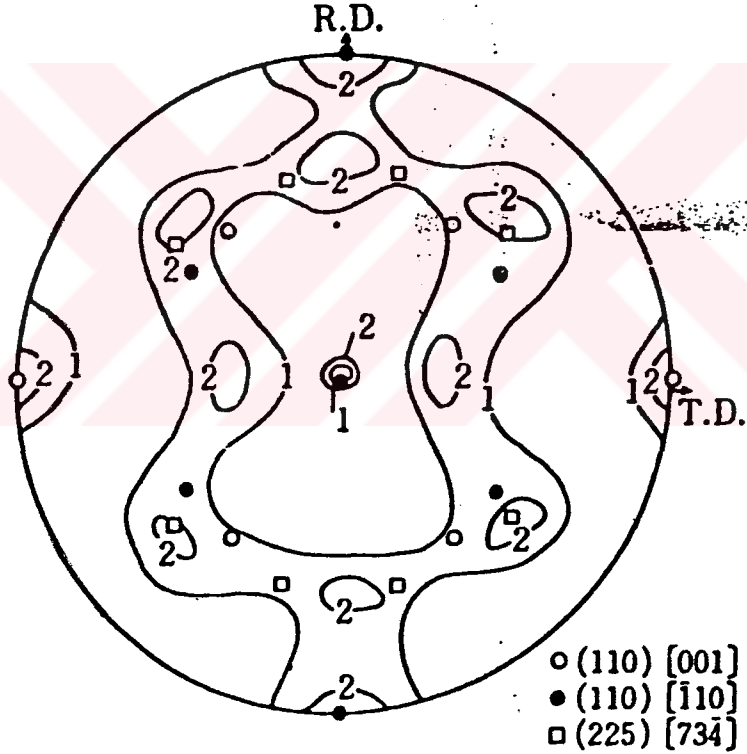
portakal kabuğu şekli ortaya çıkmaktadır. Böylece teknik yöntemlerle kaba hale getirilen tane boyutlu malzemelerde çekme kabiliyeti o kadar kolay bir şekilde iyileşmemektedir.



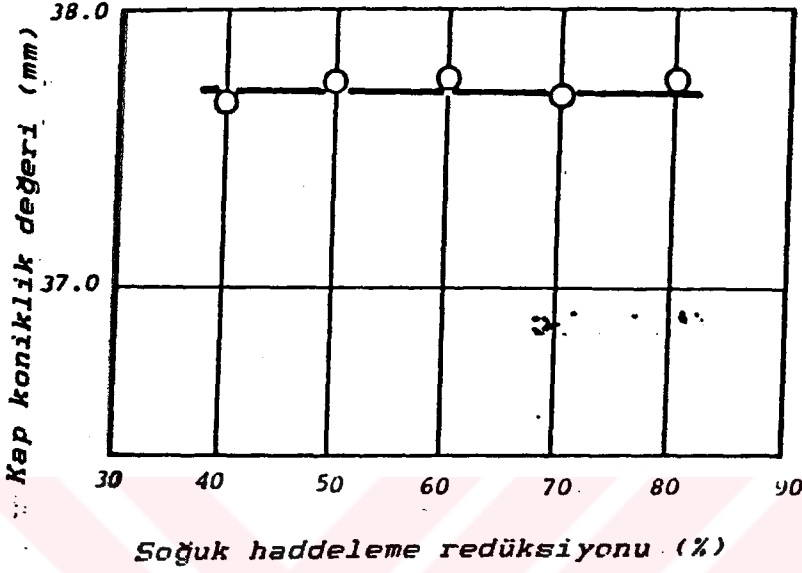
Şekil 4.6. Farklı redüksiyonlarla haddelenmiş ve sonra 1100°C 'de 5 dak. tavllanmış 18-8 paslanmaz çelik sacların yapısında yeniden kristalleşme dönüşümü (Suzuki, 1983).

18-8 paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyeti kristal yapıdan hemen hemen bağımsızdır. Şekil 4.6; 18-8 paslanmaz çelik sacların kristal yapısı (1100°C 'de 5 dak. tavllanmış) ile soğuk haddelene redüksiyonu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kristal yapı özellikle, bu malzemede sertliğin çok düşük olduğunu belirten  $I/I_0$  faktörü ile karakterize edilmektedir. Bununla birlikte ana yapının (110) düzlemi olduğu, (113) düzleminin en küçük yapı olduğu tahmin edilmektedir. Şekil 4.7, %80 redüksiyonla soğuk haddelenmiş 18-8 paslanmaz çelik sacın yeniden kristalleşmiş yapısını belirten (110) kutup şeklini göstermektedir. Şekil 4.7 'de görüldüğü gibi,

Şekil 4.6 'daki (110) düzlemi, (110)[001] ve (110)[110] 'ın iki yapısı ile (113) düzlemindeki (225)[734] yapısının birleşimidir. Fakat bunların şiddeti çok kuvvetli değildir, bu nedenle hemen hemen tesadüfi bir yapı olduğu düşünülmektedir; bu kutup şekli Şekil 4.6 'nın sonuçlarına uygunluk göstermektedir. Bu paslanmaz çelik sacların soğuk haddeleme redüksiyonu yaklaşık %20-%98 sınırları arasında olmasına rağmen, yeniden kristalleşmiş tane boyutu hemen hemen üniformdur. Şekil 4.8, kristal yapıya sahip ve tane boyutu hakkında kısaca bahsedilen 18-8 paslanmaz çelik saclarda soğuk haddeleme redüksiyonu ile kap koniklik değeri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilden, kap koniklik değerinin, soğuk haddeleme redüksiyonu ile etkilenmediği, hemen hemen sabit bir değeri koruduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. %80 redüksiyonla soğuk haddelenmiş ve sonra 1100°C 'de 5 dak. tavllanmış 18-8 paslanmaz çelik sac için (110) kutup şekli (Suzuki, 1983).



**Şekil 4.8.** Yeniden kristalleştirilmiş 18-8 paslanmaz çelik saclar için soğuk haddeme redüksiyonu ile kap koniklik değeri arasındaki ilişki (Suzuki, 1983).

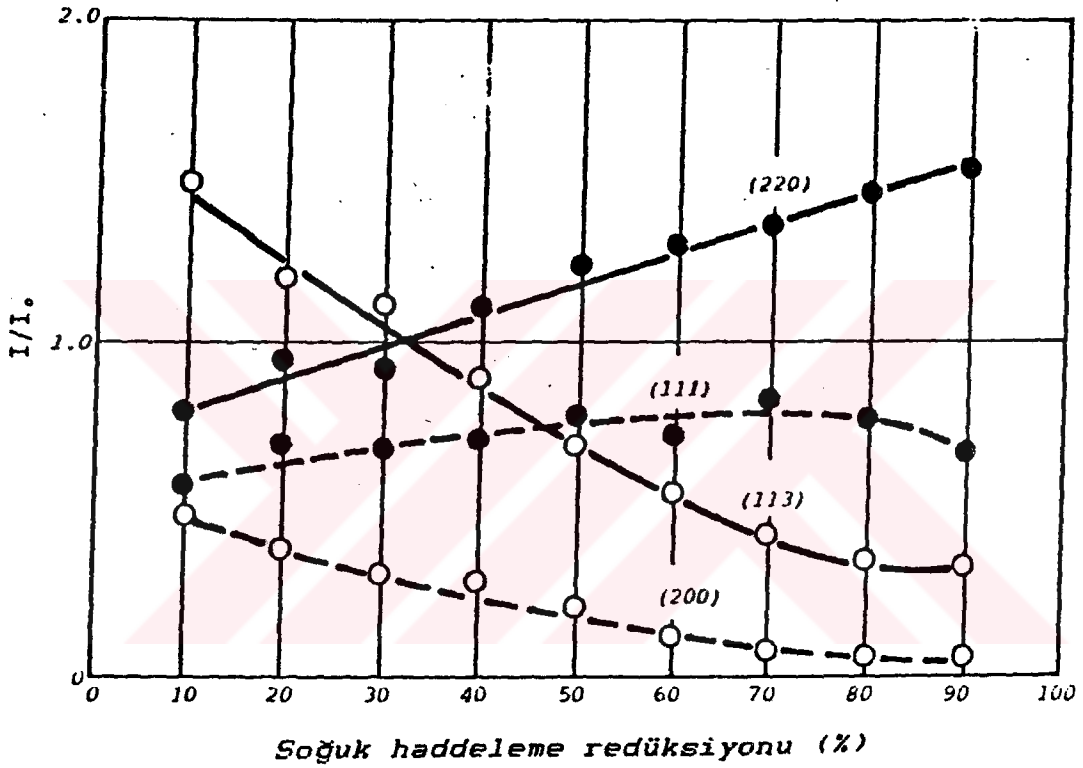
Çekme kabiliyetinin (110) düzlemindeki [7,11] doğrultusu ile iyileştiği, fakat (113) düzlemindeki [6,11] 'den bağımsız olduğu görüşünden, Şekil 4.8 'deki sonuçlar, çekme kabiliyeti için (110) etkin düzleminin şiddetinin, nicelik olarak yeterlilik bakımından çok düşük olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle; 18-8 paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyetinin iyileşmesi, bu malzemenin yeniden kristalleşmiş tane boyutunun hemen hemen sabit olması ve bu sacların (110) etkin düzleminin çok fazla belirgin olmaması nedeniyle çok zordur. 18-8 paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyetinin çok iyi olmamasının sebebi bu olaydır.

Aksine, KYM gümüş sacların soğuk haddelenmiş yapısında çekme kabiliyeti için (110) etkin düzlemi yüksek haddeme oranında oldukça belirgindir ve ikinci yönlenme olarak da (111) en etkin düzlemi mevcuttur. Bundan dolayı, soğuk haddelenmiş gümüş saclar derin çekildiğinde, (110) ve (111) gibi iki ilave etkin düzlem ile mükemmel bir çekme kabiliyetinin olacağı umulmaktadır.

Yukarıdaki deneysel sonuçların temelinde, çekme kabiliyetini iyileştirmek amacı ile 18-8 paslanmaz çelik sacların soğuk haddelenmiş yapısının etkisi tartışılmaktadır. Şekil 4.9, soğuk haddelenmiş yapının belirginliği ile haddeme redüksiyonu arasındaki ilişkiyi

göstermektedir. (110) düzlemini belirginliği haddeleme redüksiyonunun artışı ile artmaktadır, (111) düzlemi en küçüğü olmaktadır.

Şekil 4.9 'daki yapıların mevcudiyeti çok az olduğu için, yapının hemen hemen tesadüfi olduğundan bahsedilebilmekte ve Şekil 4.6 ile Şekil 4.9 'un karşılaştırılmasıyla, bu miktardaki kristal yapının şekillendirme kabiliyetine belirgin bir etkisi olmadığı açıkça görülmektedir.

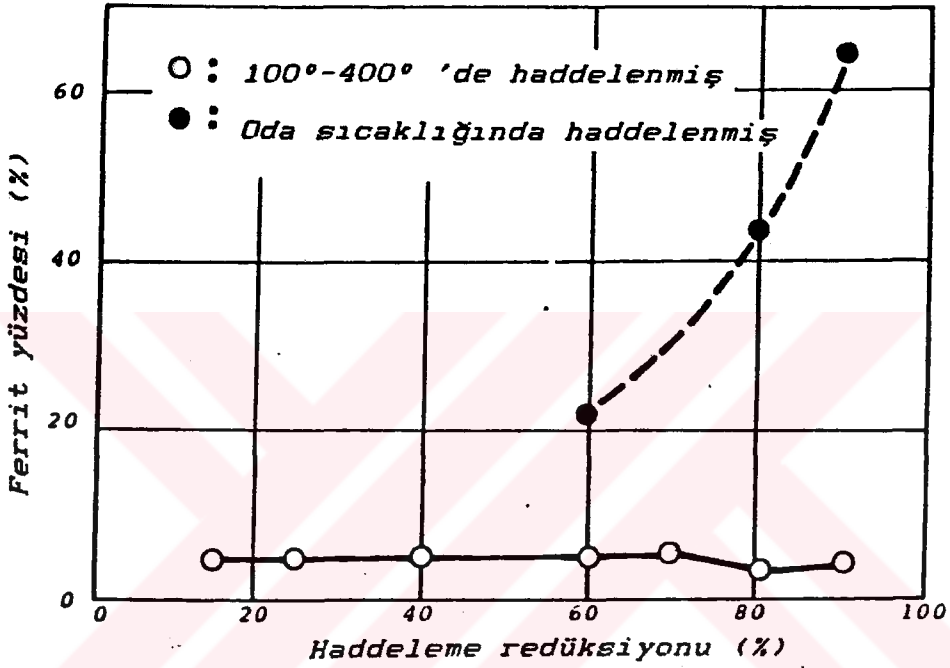


Şekil 4.9. Soğuk haddelenmiş 18-8 paslanmaz çelik saclar için soğuk haddeleme yapısı ile haddeleme redüksiyonu arasındaki ilişki (Suzuki, 1983).

Şekil 4.9 'daki çok küçük miktardaki kristal yapının 18-8 paslanmaz çelik saclardaki gerinimin sebep olduğu dönüşüm yüzünden meydana geldiği görüşünden,  $M_a$  noktasından daha yüksek sıcaklıklarda haddelenmiş olan KHM dönüşümlü ferrit miktarı Şekil 4.10 'da görülmektedir. Bu sonuçlarda ferrit miktarı, X ışınları vasıtasıyla ölçülmüştür. Bu şekildeki içi boş noktalı çizgi  $M_a$  noktasından daha yüksek sıcaklık olan 300-400°C 'de haddelenmiş 18-8 paslanmaz çelik saclardaki ferrit yüzdesini göstermekte, içi dolu noktalı kesik çizgi ise oda sıcaklığında haddelenmiş sacları içermektedir. 300-400°C 'de haddelenmiş saclarda çok düşük miktarda ferrit geriye kalırken ve ilk kademedeki mevcut miktar korunurken, oda sıcaklığında haddelenmiş saclardaki

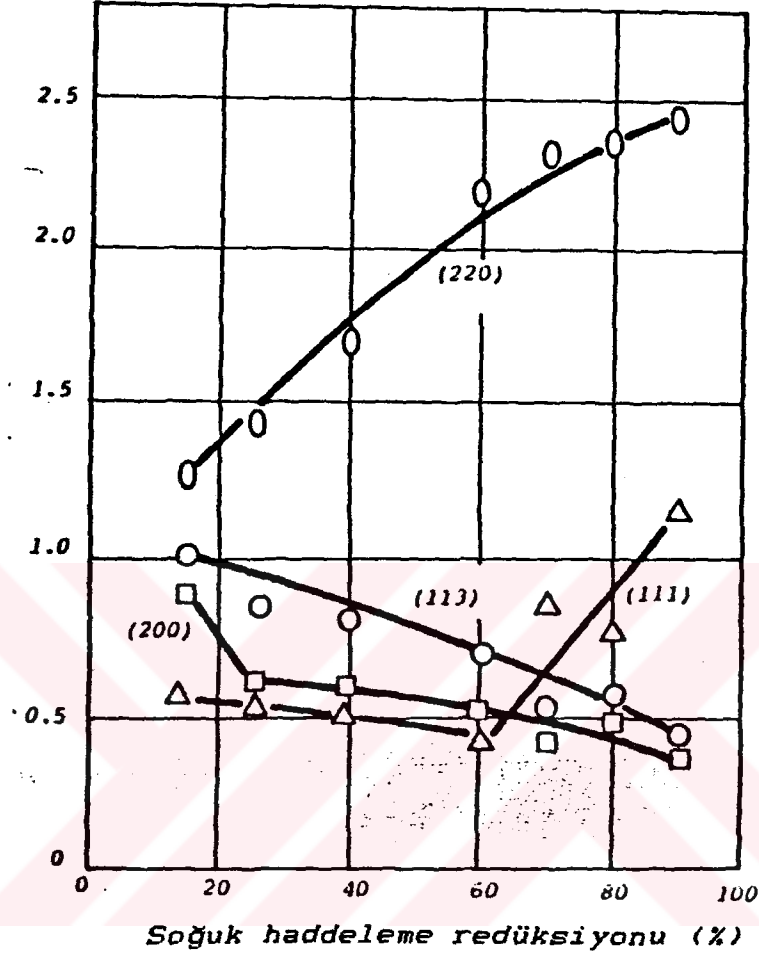
ferrit miktarı haddeme redüksiyonu ile %90 olduğunda, buna bağlı olarak hızlı bir şekilde artmakta ve hemen hemen %70 olmaktadır.

Bu sonuçlardan, gerininin sebep olduğu dönüşümün 300-400°C 'de haddemede hemen hemen hiç oluşmadığı açıkça görülmektedir.



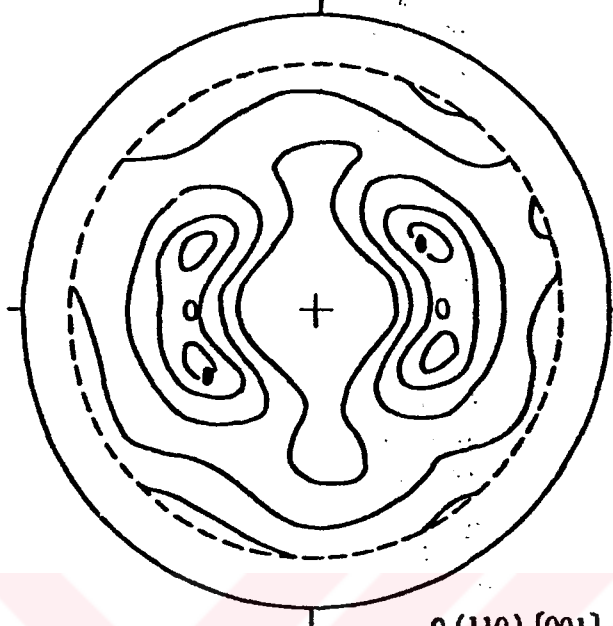
Şekil 4.10. 18-8 paslanmaz çelik saclar için haddeme sıcaklığında ferritik düzenin esası (Suzuki, 1983).

Şekil 4.11, gerininin sebep olduğu dönüşümün meydana gelmediği durumlarda haddeme redüksiyonu ile kristal yapısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. {220} düzlem ailesi haddeme redüksiyonu ile doğrusal olarak artmakta, fakat {220} düzleminin X ışınıyla sapma şiddeti  $I_{(220)}$  ve gelişigüzel bir standart kristallografik deney numunesinde X ışınıyla sapma  $I_0$  olmak üzere,  $I_{(220)}/I_0$  yaklaşık olarak yalnızca 2.5 gibi bir maksimum değerde olmaktadır. {111} düzlem ailesinin davranışına rağmen, gümüş saclar modeline tamamen benzer, {220} düzlem ailesi hariç kristal yapının varlığı oldukça sınırlıdır.



Şekil 4.11. 300-400°C 'de haddelemiş 18-8 paslanmaz çelik sacların kristal yönlenmesi ile haddeleme redüksiyonu arasındaki ilişki (Suzuki, 1983).

Şekil 4.12 ise, 300-400°C 'de %90 redüksiyonla haddelenmiş olan 18-8 paslanmaz çelik sacların (200) kutup şeklini göstermektedir ve haddeleme yapısının tercih edilen doğrultusunun (110)[001] ve (110)[112] olduğunu belirtmektedir. Bunlar gözönüne alınmayan diğer doğrultularla hemen hemen eşit bir şekilde dağılmışlardır. Şekil 4.11 ve 4.12 'den açıkça görüldüğü gibi, 18-8 paslanmaz çelik sacların haddelenmiş yapısının sertliği çok düşük ve tesadüfidir.



o (110) [001]  
• (110) [ $\bar{1}$ 12]

**Şekil 4.12.** 300-400°C 'de %90 redüksiyonla haddelenmiş 18-8 paslanmaz çelik sacların (200) kutup şekli (Suzuki, 1983).

Şekil 4.6 ve 4.8 'de görüldüğü gibi, 300-400°C 'de haddelenmiş 18-8 paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyeti bu sebeple kristal yapısıyla etkilenmemektedir.

Buradan, 18-8 paslanmaz çelik sacların çekme kabiliyetinin, kristal yapısının kontrol altında tutulması ile iyileşmesinin çok zor olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bu nedenle, paslanmaz çelik sacların preste şekillendirilmesinde ve özellikle 18-8 paslanmaz çelik örneğinde, derin çekme işleminden mümkün olduğu kadar kaçınılması tavsiye edilmektedir.

## 5. İŞLEM KARAKTERİSTİKLERİ :

### 5.1. ilkel Pul Alanı :

Derin çekme işleminin operasyonlandırılmasına, çekme öncesinde parça boyutlarının ve şeklinin belirlenmesi ile başlanır.

Her plastik şekil verme işleminde olduğu gibi derin çekme işleminde de çekme öncesindeki parça hacmi ile çekme sonrasındaki parça hacmi birbirlerine eşittir. Bu ilkeden hareket edilerek, çekme öncesindeki parça boyutları çeşitli yöntemlerle belirlenebilir.

Silindirik, prizmatik ve karmaşık şekilli parçaların ilkel şekillerinin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılır. Çekme öncesi belirlenen şekil dairesel biçimde ise "ilkel pul", dairesel biçimde değilse "ilkel plaka" olarak tanımlanmaktadır (Güneş, 1989).

Nispeten basit biçimli dönele parçalar için parçanın toplam yüzey alanı hesaplanarak, prizmatik şekilli parçalar için özel çizim yöntemleri ile; karmaşık şekilli dönele parçalar için de Guldin teoremi uygulanarak ilkel pul alanı belirlenmektedir (Yurci, 1992). Tablo 5.1 'de, bazı parça şekillerine ait ilkel pul çaplarının hesaplanmasında kullanılan formüller herbiri için ayrı ayrı verilmiş bulunmaktadır.

### 5.2. Çekme Oranı :

Çekme oranı  $m = d/D$  veya  $\beta = D/d$  ifadeleri ile tanımlanmakta ve çekme boyutlarının belirlenmesinde uygulama kolaylığı sağlaması sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır.

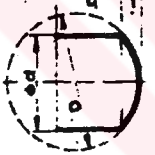
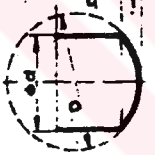




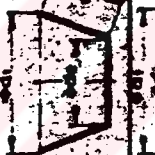
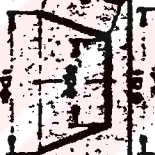




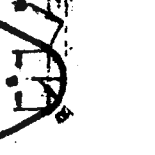
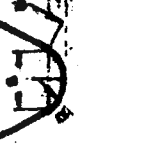
$s_0 = 1$  mm kalınlığındaki çeşitli malzemelerden  $d = 100$  mm çapında zımba ile birçok çekme deneyleri yapılmış ve elde edilebilen çekme oranları  $\beta_{100}$  olarak tablolar halinde düzenlenmiştir. Daha sonra özel çekme ölçüleri için elde edilmiş bu değerlerden, çekmede karşılaşılabilecek genel uygulamalara geçiş yolları aranmıştır. Farklı kalınlıklardaki malzemeler ve farklı çaplı zımbalarla elde edilebilecek çekme oranlarını, deneysel bulunmuş olan  $\beta_{100}$  oranına bağlı olarak bulmaya yarayan aşağıdaki formül önerilmiştir:

$$\beta = (\beta_{100} + e) - \frac{e \cdot d}{100 \cdot s_0} \quad (5.1)$$

$\beta$ : Çekme oranı

$d$ : Çekme zımbası çapı (mm)

**Tablo 5.1. Bazı parça şekillerine ait ilkel pul çapları**  
(Güneş, 1989)

Parçanın şekli	Pul çapı D	Parçanın şekli	Pul çapı D
	$\sqrt{d \cdot 4h}$		$\sqrt{d \cdot 4h}$
	$\sqrt{d^2 + 4d_2 h}$		$\sqrt{d^2 + 4d_2 h}$
	$\sqrt{d^2 + 4(d_2 h_2 + d_3 h_3 + d_4 h_4)}$		$\sqrt{d^2 + 4(d_2 h_2 + d_3 h_3 + d_4 h_4)}$
	$\sqrt{(d - 2r) + 2Rr(d - 0.7r)}$		$\sqrt{(d - 2r) + 2Rr(d - 0.7r)}$
	$\sqrt{d^2 + d_2^2 + 2Rr(d_2 - 0.7r)}$		$\sqrt{d^2 + d_2^2 + 2Rr(d_2 - 0.7r)}$
	$\sqrt{d^2 + d_1^2}$		$\sqrt{d^2 + d_1^2}$
	$\sqrt{2d^2 + 4dh}$		$\sqrt{2d^2 + 4dh}$

$s_0$ : ilkel pul kalınlığı (mm)

$e$  : Yüzey pürüzlülüğü ve yağlama durumuna bağlı katsayı.

$e = 0.005-0.15$  arasında olabilir. Küçük ( $e$ ) değerleri iyi şekillenebilir, yüzeyi düzgün malzemeler için kullanılır. Büyük değerler ise daha az şekillenebilen ve yüzeyi daha pürüzlü olan malzemeler içindir (Güneş, 1989).

Olağan işlem şartları ve parçalar için öngörülebilecek maksimum redüksiyon değerleri Tablo 5.2 'de verilmiştir.

**Tablo 5.2. Derin çekmede maksimum redüksiyon değerleri (Yurci, 1992).**

Malzeme	Max. çap redüksiyonu (%) $100(1-d/D)$	Çekme oranı $D/d$	Gerinim faktörü $e_{c,n}$
Alüminyum alaşımları	45	1.80	1.40
Alüminyum (ısıtıl işlemlili)	40	1.60	1.30
Bakır	45	1.80	1.40
Prinçler, 63/37, 70/30	50	2.00	1.50
Kalay bronzu	50	2.00	1.50
Düşük karbonlu çelik	45	1.80	1.40
Östenitik paslanmaz çelik	50	2.00	1.50
Çinko	40	1.60	1.30

Büyük çekme oranı gereken hallerde, ardışık çekme işlemlerine başvurulmaktadır. Bu durumda işlemin esası değişmemekte, ilkel pulun yerini bir önceki kademede çekilen parça almaktadır. Bu kademelerin düzenlenmesinde de, gerinim faktörü  $e_n$  (tek kademelide  $e_c$ ) dikkate alınmaktadır. Ardışık çekmede, çoğu metaller için  $e_{c,n} = 1.12-1.18$  arasında alınabilmektedir.

Çekme oranları çekilecek malzeme cinsine ve kalınlığına göre değişmektedir. Ostergood 'a göre derin çekme sacları ve kaliteli çelik saclar için çekme oranları şöyle seçilebilir:

Sac Kalınlıkları (mm)	Çekme Oranları (m)			
	1. Çekme Kademesi	2. Çekme Kademesi	3. Çekme Kademesi	4. Çekme Kademesi
1.6 'dan ince	0.52-0.60	0.75-0.80	0.80-0.82	0.80-.084
1.6 -3.2	0.52-0.60	0.82-0.85	0.85-0.86	0.86-0.87
3.2 -4.75	0.52-0.60	0.85-0.88	0.88-0.89	0.89-0.90
4.75-6.4	0.52-0.60	0.87-0.90	0.90-0.91	0.90-0.92
6.4 'ten kalın	0.52-0.60	0.90-0.92	0.92-0.93	0.93-0.94

### 5.3. Çekme Boşluğu :

Çekme kalıbı ile çekme zımbası arasındaki boşluk kısmı "çekme boşluğu" olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.1). Çekme esnasında meydana gelecek olan sürtünmeleri bir miktar azaltmak, aynı zamanda sacın imalat toleranslarından dolayı, çekme boşluğunun sac kalınlığından biraz büyük olması gerekmektedir (Ataşimşek, 1977). Bu da uygulanan işlemin tipi ve malzeme cinsine bağlı olarak, sac kalınlığının %7-20 'si civarında değişmektedir. Çeşitli sac kalınlıklarına karşılık verilmesi gerekli olan çekme boşluğu değerleri Tablo 5.3 'te gösterilmektedir.

**Tablo 5.3. Çekme boşluğu değerleri (Yurci, 1992).**

Sac Kalınlığı (mm)	İlk çekme kademesi	Ara çekme kademeleri	Son çekme kademesi
0.4 mm 'ye kadar	(1.07-1.09)s	1.08-1.10	1.04-1.05
0.4-1.3	(1.08-1.10)s	1.09-1.12	1.05-1.06
1.3-3.2	(1.10-1.12)s	1.12-1.14	1.07-1.09
3.5 mm 'den kalın	(1.12-1.14)s	1.15-1.20	1.08-1.10

Paslanmaz çelik sacların derin çekilmesinde çekme boşluğu, parça kalınlığının 1.2 katı olarak verilmektedir (Ataşimşek, 1977).

Çekme boşluğu değerinin seçilmesinde, Oehler 'in ampirik formülünden de yararlanılabilir:

$$z = s [ 1 + 0.01 \sigma_c (\beta - 1)^3 ] \quad (5.2)$$

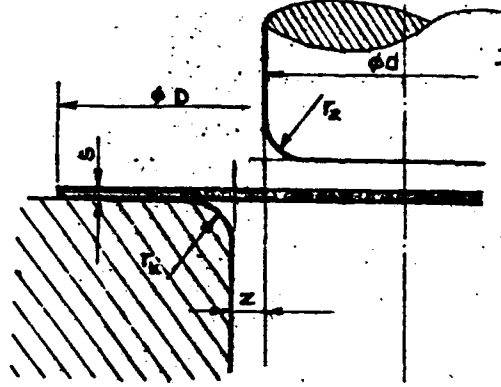
z: Çekme boşluğu

$\beta$ : Çekme oranı (D/d)

$\sigma_c$ : Malzemenin çekme dayanımı (Kgf/mm<sup>2</sup>)

s: Sac kalınlığı (mm)

Çekme boşluğunun değeri gereğinden küçük olunca, aşırı miktarda sürtünmeler meydana gelmekte ve malzeme kalınlığında incelmeler görülmektedir. Bu daha ziyade taban yırtılmasına sebep olmaktadır. Çekme boşluğu gereğinden büyük olunca, parçada istenilen ölçüleri gerçekleştirmek zor olmakta, ayrıca bilhassa ince malzemelerde ondüle (kırışıklık) tehlikeleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.1. Çekme boşluğu ve çekme radyusları (Güneş, 1989)

#### 5.4. Çekme Radyusları :

##### 5.4.1. Çekme Kalıbı Radyusları :

Çekme kalıplarında gerek çekme kalıbına, gerekse zimbalara verilmesi gerekli olan radyusların değerlerine azami ölçüde dikkat etmek gerekmektedir. Mümkün olduğu kadar büyük radyuslarla çekme yapılması tavsiye edilmektedir.

Fakat bu radyus normalden büyük yapılırsa, baskı plakasının etki alanını küçülteceğinden, parça radyusunun iç tarafında kat teşekkülü olabilir. Normalden küçük yapılırsa, parçanın taban radyusları kısmında yırtılmalar meydana gelebilir.

Tablo 5.4 'te sac kalınlığına göre, Tablo 5.5 'te ise kalınlık oranına göre çekme kalıbı radyusları verilmektedir.

**Tablo 5.4.** Sac kalınlığına göre kalıp radyusları (Ataşimşek,

1977).

Sac kalınlığı s (mm)	Kalıp radyusları $r_k$ (mm)
0.4	1.6
0.8	3.2
1	4
1.2	4.8
1.5	6
1.6	6.4
2	9.1
2.6	11.6
5	20

**Tablo 5.5. Kalınlık oranına göre çekme kalıbı radyusları (Ataşimşek, 1977).**

Çekmenin şekli	Kalınlık Oranı s/D (%)		
	2.0 ..... 1.0	1 ..... 0.3	0.3 ..... 0.1
Flanşsız	(6-8)s	(8-10)s	(10-15)s
Flanşlı	(10-15)s	(15-20)s	(20-30)s
Yakalı çekme	(4-6)s	(6-8)s	(8-10)s

#### 5.4.2. Zımba Radyusları :

Çekmenin oluşumunda büyük önemi olan zımba radyusları için kesin kurallar konmamıştır. Küçük zımba radyusları cidar incilmesi etkisi gösterir. Bu cidar incilmesi sonucunda, parça sonraki çekmelerde ortaya çıkan çekme kuvvetine dayanmayabilir. En azından parça çevresinde teğetsel kuvvetler etkisi ile giderilemeyecek izler belirir. Birçok araştırmacı zımba radyuslarının kalıp radyuslarından daha küçük olmaması gerektiği konusunda birleşmektedirler (Güneş, 1989).

İlk çekme için zımba radyusu şu şekilde alınabilmektedir:

$$\begin{aligned} s/D*100 > 0.6 & \quad \text{ise } r_z = r_k \\ s/D*100 = 0.3-0.6 & \quad \text{ise } r_z = 1.5r_k \\ s/D*100 < 0.3 & \quad \text{ise } r_z = 2r_k \end{aligned}$$

( $r_z$ : Zımba radyusu,  $r_k$ : Kalıp radyusu)

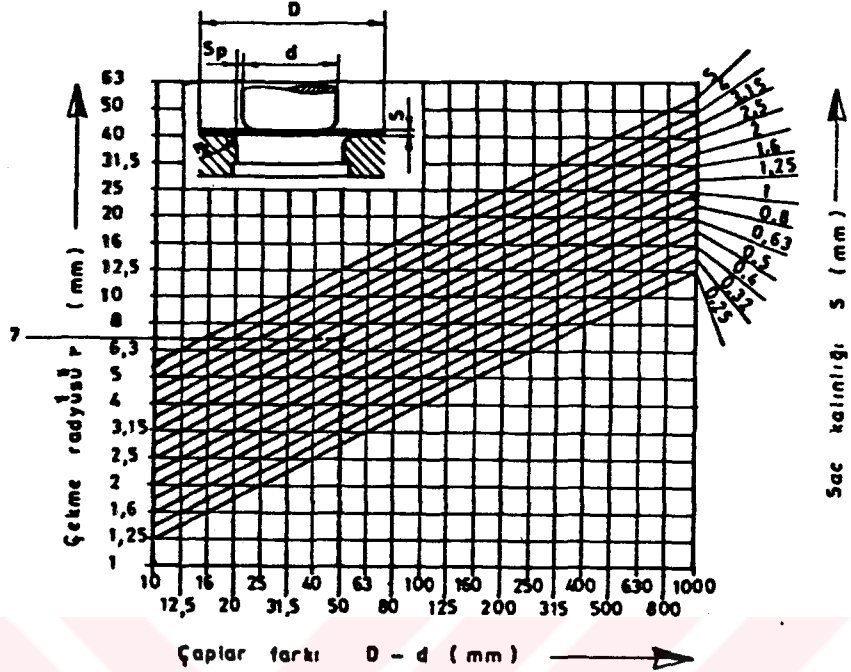
Ara çekmelerde parça tabanı konik veya silindirik biçimde seçilebileceğinden, ara çekmelerdeki zımba radyusunun değeri seçilen parça tabanı şekline bağlıdır. Ara çekmelerde taban radyusu küçültülür.

Son çekmelerde ise zımba radyusu, bitmiş parça radyusuna eşit olarak yapılır.

Ayrıca Şekil 5.2 'deki diyagramdan yararlanılarak da kalıp radyusunun bulunması yoluna gidilebilmektedir.

D: ilkel pul çapı (mm)  
d: Zımba çapı (mm)  
 $r_k$ : Çekme kalıbı radyusu (mm)

örneğin D= 155 mm, d= 105 mm, s= 1.5 mm olduğunda diyagramdan  $r = 7$  mm olarak bulunabilir.



Şekil 5.2. Çekme kalıpları için çekme radiuslarını direkt olarak bulmaya yarayan diyagram (Ataşimşek, 1977).

### 5.5. Çekme Hızı :

Çekme esnasında malzemenin uygun bir şekilde akması gerekir. Bunun için de malzeme yeteri kadar bir zaman içerisinde çekilmelidir. Özellikle karmaşık şekilli parçaların çekilmelerinde, kritik bölgelerdeki malzeme zayıflamasını arttıracak ve yırtılmalara sebep olacak yüksek hızlardan kaçınılması gerekmektedir. Çekme hızı olarak zımbanın malzemeye temas ettiği andaki hızı anlaşılmalıdır.

Hidrolik preslerde, zımba hızı kurs boyunca sabit kalmaktadır. Ancak, eksantrik preslerde sıfır ile maksimum hız değeri arasında değişim gösterdiğinden, strok ortasındaki hız değeri esas alınmaktadır. Bu makinalarda hızı ayar edebilmek için mümkünse volan hızı azaltılır ya da aynı strok/dak sayısı altında daha kısa kurslu çalışma sağlayan pres tercih edilir. Tablo 5.6 'da malzemeye ve pres etkisine bağlı olarak çekme hızları görülmektedir.

**Tablo 5.6.** Derin çekme işlemlerinde çekme hızlarının seçimi (Yurci, 1992)

Sac Malzemesi	Çekme Hızı (m/dak)	
	Tek Etkili Pres	Çift Etkili Pres
Alüminyum	53	30
Yüksek mukavemetli Al	-	9-12
Prinç	60	30
Bakır	45	25
Çelik	16	10-15
Çelik(karbür kalıpta)	-	18
Paslanmaz çelik	-	6-9
Çinko	45	12

#### 5.6. Çekme Kuvveti :

İstenen parçayı meydana getirmek için malzeme üzerine uygulanması gerekli olan kuvvet "çekme kuvveti" olarak tanımlanmaktadır.

Çekme kuvveti şu faktörlere bağlıdır:

- Zimba büyüklüğü,
- ilkel pul büyüklüğü,
- Malzeme kalınlığı,
- Malzemenin çekme dayanımı,
- Çekme boşluğu,
- Çekme hızı,
- Çekme radyuslarının büyüklüğü,
- Çekme takımlarının yağlama durumu,
- Çekme oranı,
- Çekme derinliği,
- Çekme takımlarının yüzey pürüzlülüğü.

Parça şekline göre uygulanması gereken çekme kuvvetleri farklı olmaktadır.

#### 5.6.1. Silindirik Parçalar için Çekme Kuvvetinin Bulunması

$$P_z = d \cdot s \cdot \sigma_b \cdot k \quad (5.3)$$

$P_z$  : Çekme kuvveti (kgf)

$d$  : Zimba çapı (mm)

$s$  : Sac kalınlığı (mm)

$\sigma_b$  : Çekme dayanımı (kgf/mm<sup>2</sup>)

$k$  : Çekme oranına (m) bağlı olarak bulunan bir katsayı.

Çekme oranı (m)	.55	.576	.6	.626	.66	.676	.7	.72	.75	.775
k	1	.93	.86	.79	.76	.66	.6	.55	.5	.45

m	.8	.825	.85	.876	.9	.925	.95
k	.4	.35	.3	.25	.2	.15	.1

### 5.6.2. Konik Parçalar için Çekme Kuvvetinin Bulunması :

$$P_x = \sigma_b \cdot d_m \cdot s \cdot k \quad (5.4)$$

D : ilkel pul çapı (mm)

$d_m$  : Ortalama çap (mm)

$$d_m = (D_1 + d_1) / 2$$

$D_1$  : Koninin büyük çapı (mm)

$d_1$  : Koninin küçük çapı (mm)

### 5.6.3. Köşeli Parçalar için Çekme Kuvvetinin Bulunması :

$$P_x = \left[ (2r \cdot \frac{a+b}{2}) + (4 \cdot \frac{a+b}{2}) \right] \cdot \sigma_b \cdot s \cdot k \quad (5.5)$$

r : Köşe radyusu (mm)

a : Uzun kenarın uzunluğu (mm)

b : Kısa kenarın uzunluğu (mm)

### 5.7. Çekme işi :

Çekme işi ( $A_x$ ), kullanılan presin etki şekline göre değişmektedir.

#### 5.7.1. Çift Etkili Presler için Çekme işi :

$$A_{x\sigma} = P_x \cdot h \cdot x \quad (5.6)$$

$A_{x\sigma}$  : Çift etkili presler için çekme işi (kgfm)

$P_x$  : Çekme kuvveti (kgf)

h : Çekme yüksekliği (m)

x : Düzeltme faktörü

#### 5.7.2. Tek Etkili Presler için Çekme işi :

$$A_{x\sigma} = [(P_x \cdot x) + P_n] \cdot h \quad (5.7)$$

$A_{x\sigma}$  : Tek etkili presler için çekme işi (kgfm)

$P_n$  : Sacı tutma kuvveti (kgf)

### 5.8. Yağlama :

Genellikle her bir derin çekme işlemi için iş parçasının her iki yanının yağlanması gerekmektedir. Eğer çok az yağlayıcı kullanılırsa, takımlarda, üretim sırasında sürtünmeyle oluşan ısınma sebebiyle, parçada çatlamaya sebep olunabilmektedir. Minimum yağlayıcı kullanarak yapılan testlerde, 25 çekmeden sonra başarısız olunmuştur.

Paslanmaz çeliklerin derin çekilmesinde yağlama gereksinimleri, karbonlu ve alaşımlı çeliklerin çekilmesinden daha önemlidir. Çünkü paslanmaz çeliklerde genellikle yüksek kalitede yüzey korunumu gereklidir ve paslanmaz çelikler daha yüksek mukavemete, daha büyük sertliğe, daha düşük ısı iletkenliğe ve daha yüksek sürtünme katsayısına sahiptirler. Paslanmaz çeliklerin derin çekilmesinde, aşırı ısı oluşumu ve kabuk soyulması kolaylıkla meydana gelir ve daha yüksek sıcaklıklarda daha büyük hacimdeki iş parçasında bu süre uzar. Bölgesel veya genel ısınma, iş malzemesinin özelliklerini değiştirebilir.

Çeşitli proseslerce paslanmaz çeliğin şekillendirilmesinde kullanılan yağlar Tablo 5.7 'de verilmektedir. Grafit ve molibden disülfid gibi özel amaçlı yağların dışındakiler, aşırı ısınmayı ve sürtünmeyi azaltma kabiliyetinin artış sırasına göre listelenmiştir. Tablo 5.7 'deki nominal değerlerde, temizlik ve kolay yer değiştirme gibi diğer uygunluk faktörleri de dikkate alınmıştır.

Paslanmaz çeliğin birçok şekillendirme işlemlerinde etkisiz kalmalarından dolayı, genel amaçlı çözülebilir yağlardan olan mineral yağlar, sabun eriyikleri ve su emülsiyonları terkedilmiştir.

Şekillendirme işleminde yağlayıcının kullanılması üniform bir gerinim dağılımı sağlar. Bir yağlayıcının seçiminde gözönünde tutulması gereken noktalar şunlardır (Richards, 1981):

- Film oluşturma özellikleri ve yağlamanın kolaylığı,
- Kolay temizlenmesi,
- Korozyona karşı koruması,
- Gerinim oranlarına göre yağlama.

Kullanılan yağlayıcının viskozitesi veya ana malzemesi çok önemlidir. Çok kalın (yoğun) yağlayıcı, basınç altındaki metalin buruşmasına, çok incisi ise tutukluğa veya sürtünmeyle ısı oluşumuna sebep olmaktadır.

**Tablo 5.7. Paslanmaz çeliklerin şekillendirilmesinde kullanılan çeşitli yağlayıcıların uygunluk değerleri (Metals Handbook, Vol.4, 1975).**

( A= Mükemmel, B= iyi, C= Kabul edilebilir, D= Tavsiye edilmez ) (a)

Yağlayıcı	Boşaltma veya delme	Bükme presi ile şekil verme	Basma ile şek.	Çoklu kaydırma ile	Derin çekme	Bükme	Şahmerdanla şek.	Çevre haddelene ile	Kabartma
Organik yağlar ve karışımları (b)	C	B	C	A	C	A	C	B	B
Sabunlu yağ hamurları (c)	D	D	C	A	B	B	C	B	C
Mum asıllı hamurlar (c)	B	B	B	A	B	B	C	B	A
Yüksek verimli emülsiyonlar (d)	B	D	B	A	B	B	D	A	B
Kuru film (mum veya sabun+boraks)	B	B	B	D	B	A	B	D	A
Boya hamurları (c) (e)	B	D	A	B	A	C	D	D	D
Sülfürlü veya kükürt klorürlü yağlar (f)	A	A	B +	A	C	D	A	B	A
Klorlu yağlar veya murlar (g):									
Yüksek viskoziteli tipler (h)	A (j)	D	A	D	A	D	A (k)	A	D
Düşük viskoziteli tipler (m)	B +	A	A	A	B	D	A (k)	A	A
Grafit veya molibden disülfid (n)	D	(p)	(p)	D	(p)	D	(p)	D	D

(a) Tesirlilik, temizlik, taşınma kolaylığı ve diğer uygunluk faktörlerinin dikkate alınan oranları.

(b) Bitkisel veya hayvansal tipler; mineral yağ bükme için kullanılır.

(c) Su ile inceltililebilir.

(d) Eriyebilir yağların su emülsiyonları; yüksek konsantrasyonlu sülfür veya klorür bileşikleri.

(e) Tebeşir (beyazlaştırılmış) en yaygın boya maddesidir; diğerleri bazen kullanılır.

(f) EP tipler; bazı mineral veya organik yağları içerir.

(g) EP klorlu mineral yağlar veya murlar; su esaslı temizleyicilerde taşınmanın kolay olması için emülsiyonlayıcıları içerir.

(h) Viskozitesi 4000-20000 SUS.

(j) Ağır plaka için.

(k) Sadece soğuk şekillendirme için.

(m) Viskozite (200-1000 SUS) esas yağla veya murla, klorlanma derecesiyle ve katkılarla veya mineral yağla etkilenir.

(n) Yağ, çözücü veya suda dağılımlarda katı yağlayıcı uygulanır.

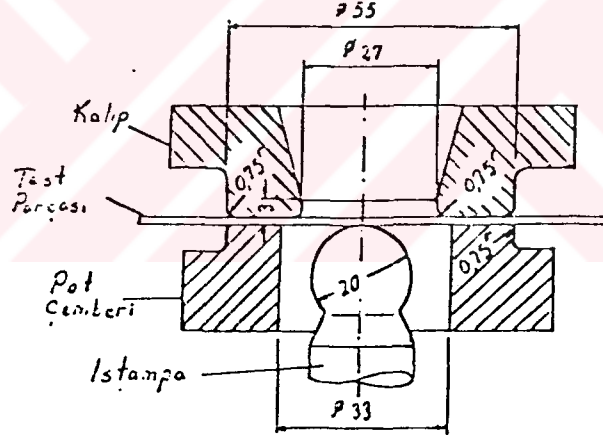
(p) Sadece sıcak şekillendirme uygulamaları için.

Derin çekme işlemi bitirildikten sonra bir güvenlik tedbiri olarak, parçalar ısıtma işlemi girmeden önce üzerindeki yağlardan tamamen arındırılmalıdır. Bu işlem özellikle çözünmeyen katılar, sülfür veya klorin içerenlerde uygulanır.

## 6. DENEYLER :

Sacların plastik şekillendirilme kabiliyetini etkileyen çeşitli malzeme ve işlem faktörleri vardır. Bunlardan malzeme faktörü olan sac kalınlığı ile işlem faktörü olan yağlamanın saca yapmış olduğu etkileri incelemek amacıyla Erichsen Çökertme Deneyi (DIN 50101, 50102 , TS 271) gerçekleştirildi.

Malzemelerin soğuk şekillendirme kabiliyeti ile ilgili deneylerden birisi olan Erichsen Çökertme Deneyi 'nde, sac ve bantların derin çekmeye uygunluğu belirlenmektedir. Sözkonusu deneyde, bir tutucu çember yardımıyla sabitleştirilen sac veya bant parçası küresel uçlu bir zımba ile yırtılincaya kadar çökertilir (Şekil 6.1) (Güleç ve diğerleri, 1985). Bu deneyde deney parçası tutucu çember ile kalıp arasına yaklaşık 1000 kgf 'lik bir sıkıştırma kuvveti ile tesbit edilir. Küresel uçlu zımba ise, 5-20 mm/dak 'lık bir hızla düzenli olarak ilerletilir ve deney parçası çökertilir. Deney parçasında çatlak oluştuğu anda işlem tamamlanmış olur.



Şekil 6.1. Erichsen test cihazı ve ana parçaları.

Deney sonucunda sac parça yüzeyinin görünüşü malzemenin kristal durumu, kırılan kısmın şekli ise iç dokusu hakkında bilgi verir. Çeşitli malzemeler arasında şekillendirilebilirlik açısından karşılaştırma yapılmasını sağlar.

Yaptığımız deneyde kullandığımız sac parçaları; 90\*90 ölçülerindeki AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ile AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemelerdendir. Kullanılan tezgah ise Mohr & Federhaff AG Mannheim-GERMANY marka bir hidrolik prestir.

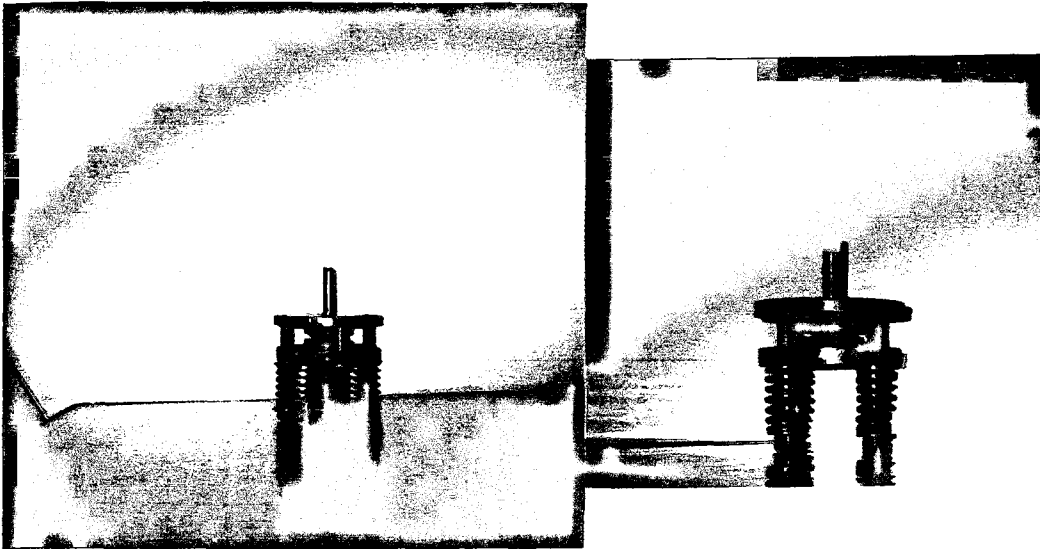
Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 1.1 'de, mekanik özellikleri ise Tablo 6.2 'de verilmiştir. Yine deneyde kullanılan Erichsen çökertme aparatı Şekil 6.2 'de, işlemin yapıldığı hidrolik pres ise Şekil 6.3 'te gösterilmiştir.

**Tablo 6.1.** 304 östenitik paslanmaz çelik ile 430 ferritik paslanmaz çelik sacların kimyasal bileşimleri (%) (Metals Handbook Vol.1).

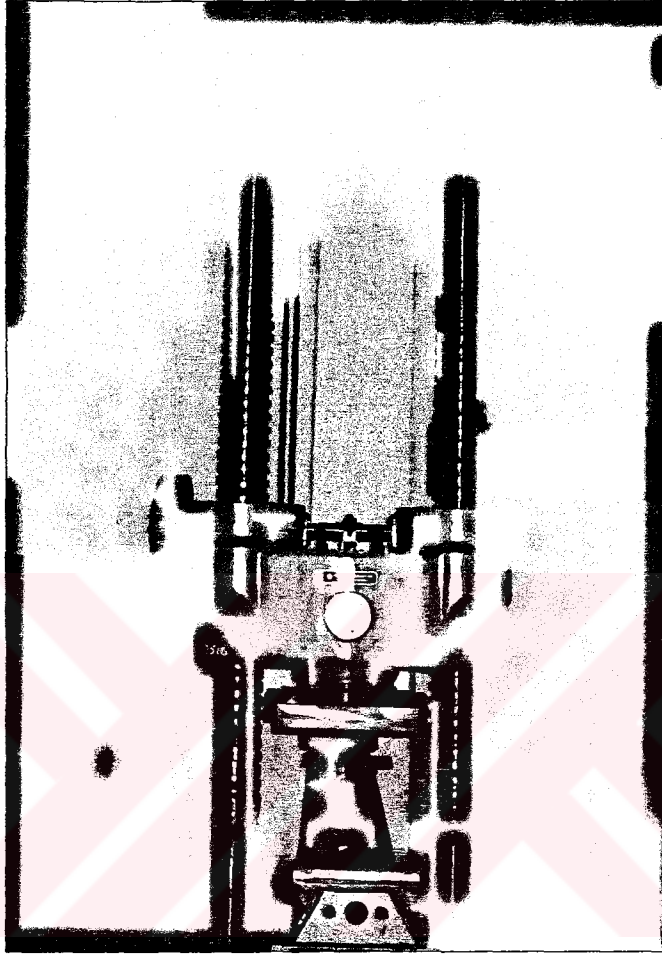
AISI No	max C	Cr	Ni	max Mn	max Si
304	0.08	18-20	8-12	2	1
430	0.12	11.5-14.5	-	1	1

**Tablo 6.2.** 304 östenitik paslanmaz çelik ile 430 ferritik paslanmaz çelik sacların mekanik özellikleri (Metals Handbook Vol.1).

AISI No	Çekme muk. kgf/mm <sup>2</sup>	Akma muk. kgf/mm <sup>2</sup>	Uzama %
304	59.76	24.61	55
430	52.73	31.64	30



**Şekil 6.2.** Erichsen çökertme aparatı.



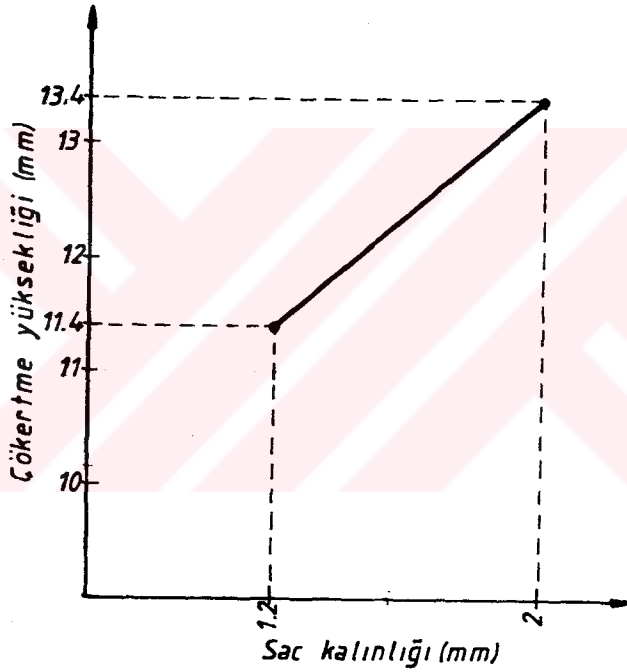
**Şekil 6.3.** Hidrolik pres (Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı).

#### **6.1. Sac Kalınlığının Etkisi :**

Plastik şekillendirilebilme özelliğine etki eden faktörlerden birisi sac kalınlığıdır. Sac kalınlığının artışı, bu özelliğe olumlu yönde etki etmektedir. Yapılan deneylerde 1.2 mm ve 2 mm kalınlığındaki 304 östenitik paslanmaz çelik sac için ulaşılan çökertme yükseklikleri ( $h$ ), Tablo 6.3 'te verilmiştir. Kalınlığa bağlı çökertme yükseklikleri ayrıca Şekil 6.4 'te bir eğri halinde gösterilmiştir.

**Tablo 6.3.** 304 östenitik paslanmaz çelik sac için çökertme yükseklikleri.

Sac kalınlığı (mm)	Çökertme yüksekliği (h) (mm)
1.2	11.4
2	13.4



**Şekil 6.4.** 304 östenitik paslanmaz çelik sac için sac kalınlığı ile çökertme yükseklikleri arasındaki ilişki.

Bu ölçümler sonucunda sac kalınlığı arttıkça , daha fazla miktarda çökertme yüksekliğine ulaşıldığı görülmektedir.

Ayrıca yırtılmanın biçiminden de malzemenin anizotropluğu hakkında bir yargıya varılabilir. Saca iki eksenli çekme zorlamaları etki ettiğinden izotrop malzemede yırtılma çoğunlukla tam bir çember şeklindedir. Tek taraflı yırtılma, saca bir dokunun varlığını ve bu nedenle derin çekmeye çok fazla elverişli olmadığını gösterir (Güleç ve diğerleri, 1985). Bizim yaptığımız deneyde yırtılma yarım çember şeklinde meydana gelmiştir.

Yüzeyin pürüzlenmesi ise tane büyüklüğü hakkında fikir verir. İri taneli malzemeler derin çekmeye elverişli değildir. Yine bizim yaptığımız deney sonucunda sac yüzünde herhangi bir pürüzlenme sözkonusu olmadı.

## 6.2. Yağlamanın Etkisi :

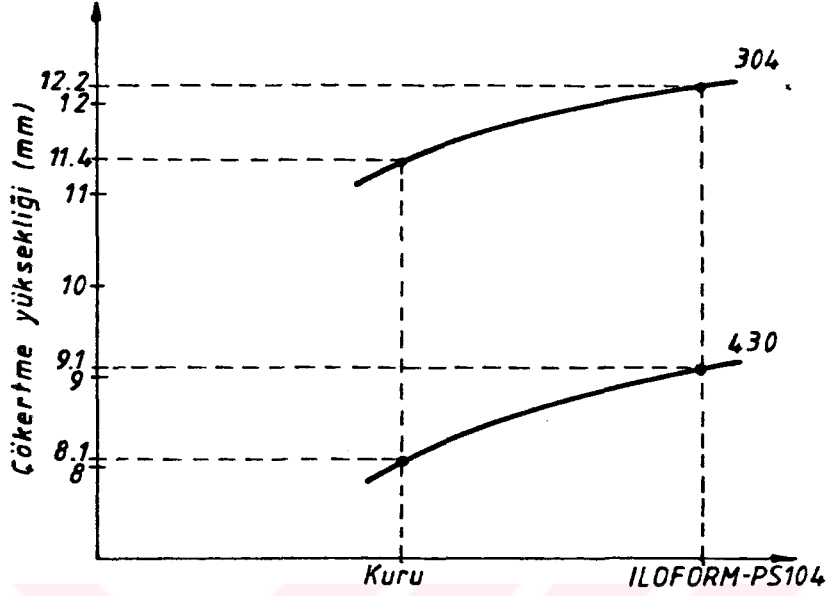
Bir işlem faktörü olan yağlama, sac malzemelerin şekillendirilebilirliğine olumlu yönde etki etmektedir. Şekillendirme işleminde zımba ile sac parça arasındaki sürtünmeden dolayı üniform şekil değiştirme sağlanamamaktadır. Bu sebeple, yağlayıcı yardımıyla üniform bir gerinim dağılımı sağlanması, şekillendirilebilirliği arttırabilmektedir.

Yaptığımız deneyde yağlamanın şekillendirilebilirlik üzerine olan etkisi 304 östenitik paslanmaz çelik ve 430 ferritik paslanmaz çelik sac malzemelerde incelendi. Deneyde kullandığımız yağ Türk Petrol firmasından sağlanan ILOFORM-PS104 çekme yağıdır. Bu yağ su ile birebir karışım yapılarak kullanıldı. Yapılan çökertmeler sonucunda, kuru ve yağlayıcı kullanılması durumunda ayrı ayrı çökertme yükseklikleri saptandı. Bu değerler Tablo 6.4 'te verilmiştir. Bu değerlerle çizilen eğri ise Şekil 6.5 'te gösterilmiştir.

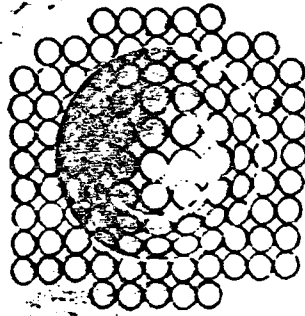
**Tablo 6.4.** Kuru ve yağlayıcı kullanılması durumunda elde edilen çökertme yükseklikleri.

Yağlama durumu	Malzeme türü	Sac kalınlığı (mm)	Çökertme yüksekliği h (mm)
Kuru ILOFORM-PS104	304	1.2	11.4
	304	1.2	12.2
Kuru ILOFORM-PS104	430	1.5	8.1
	430	1.5	9.1

Kuru ve yağlayıcı kullanılması durumunda sac parça üzerindeki gerinim dağılımını saptamak için 1.5 mm sac kalınlığındaki 430 ferritik paslanmaz çelik sac üzerine 3 mm çapında daireler çizildi. Yapılan çökertme işlemlerinden sonra daireler elipse dönüştü. Bu durum Şekil 6.6 'da görülmektedir.



Şekil 6.5. Yağlama durumuna göre elde edilen çökertme yükseklikleri.



Şekil 6.6. 430 ferritik paslanmaz çelik sacda dairelerin elips şekline dönüşümü.

Yapılan ölçümler sonucunda, oluşan elipslerin büyük eksenleri maksimum gerinimi, küçük eksenleri ise minimum gerinimi vermektedir.

$$\%e_1 = \frac{d_1 - d_0}{d_0} * 100 \quad \text{Maksimum gerinim} \quad (6.1)$$

$$\%e_2 = \frac{d_2 - d_0}{d_0} * 100 \quad \text{Minimum gerinim} \quad (6.2)$$

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler Tablo 6.5 'te verilmiştir.

**Tablo 6.5.** Kuru ve yağlayıcı kullanılması durumunda, 1.5 mm kalınlığındaki 430 ferritik paslanmaz çelik sac'ta yapılan çökertme işlemi sonucunda elde edilen maksimum gerinimler.

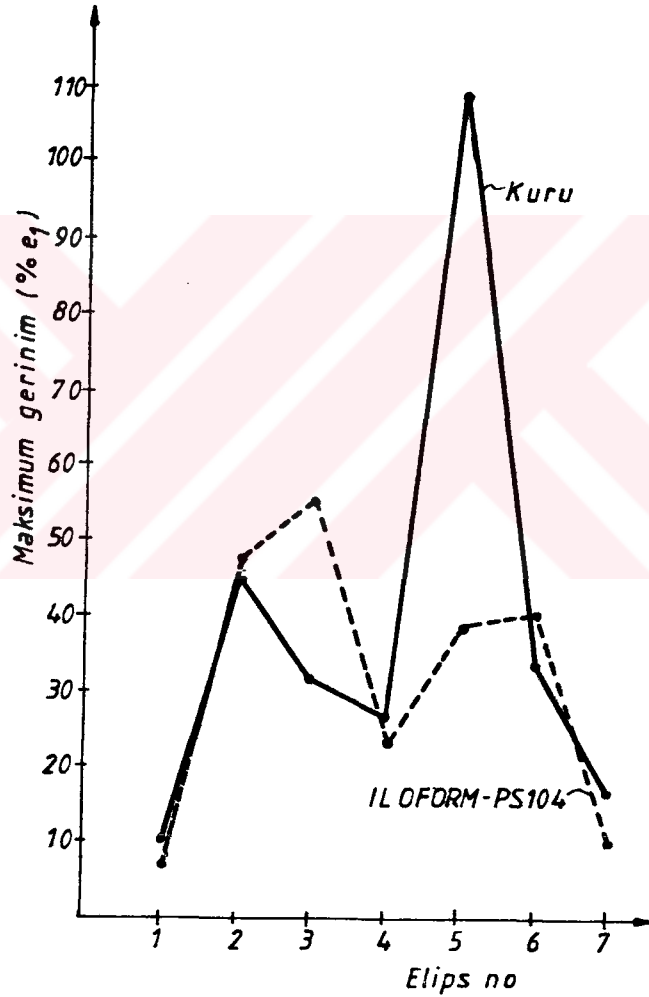
Kuru

Elips No	Maksimum eksen ( $d_1$ )	$\%e_1$
1 . . . . .	3.30 . . . . .	10.00
2 . . . . .	4.35 . . . . .	45.00
3 . . . . .	3.95 . . . . .	31.66
4 . . . . .	3.80 . . . . .	26.22
5 . . . . .	6.30 . . . . .	110.00 (Çatlak)
6 . . . . .	4.00 . . . . .	33.33
7 . . . . .	3.50 . . . . .	16.66

ILOFORM-PS104

Elips No	Maksimum eksen ( $d_1$ )	$\%e_1$
1 . . . . .	3.20 . . . . .	6.66
2 . . . . .	4.40 . . . . .	46.66
3 . . . . .	4.65 . . . . .	55.00
4 . . . . .	3.70 . . . . .	23.33
5 . . . . .	4.15 . . . . .	38.33
6 . . . . .	4.20 . . . . .	40.00
7 . . . . .	3.30 . . . . .	10.00

Bu deneyin sonucunda, kuru olarak yapılan denemede 5 numaralı elipste %110 'luk bir  $e_1$  gerinim değerinde çatlak oluştuğu gözlemlendi. Yağlayıcı kullanılması durumunda ise, bu noktada %38.33 'lük bir gerinim değeri ölçüldü. Çünkü yağlayıcı, zımba ile sac parça arasındaki sürtünmeyi ortadan kaldırarak üniform bir gerinim dağılımı sağlamış oldu ve kritik olan gerinim değerini daha düşük seviyelere indirdi. Bu durum Şekil 6.7 'de bir eğri halinde gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Yağlama durumuna göre elde edilen gerinim dağılımları.

## 7. SONUÇLAR :

- 1- Derin çekmede gerekli olan zimba kuvveti; ideal deformasyon kuvveti, sürtünme kuvvetleri ve varsa ütüleme için gerekli olan kuvvetlerin toplamıdır ve zimba strokunun uzunluğu ile değişmektedir.
- 2- Derin çekmede ortalama maksimum redüksiyon miktarı yaklaşık %50 olduğu için, ince-uzun kaplar üretilebilmektedir.
- 3- Tekrar çekme ile sağlanan redüksiyon miktarı; sürtünme miktarı daha fazla olduğundan, ilk çekmede elde edilebilen redüksiyon miktarından her zaman daha azdır.
- 4- Çekme oranları, çekilecek malzeme cinsine ve kalınlığına göre değişmektedir.
- 5- Çekme esnasında oluşacak sürtünmeleri azaltmak için çekme boşluğunun sac kalınlığından biraz daha büyük olması gerekmektedir. Paslanmaz çelik sacların derin çekilmesinde çekme boşluğu, parça kalınlığının yaklaşık 1.2 katı olarak verilmektedir.
- 6- Çekme radyusları normalden büyük olursa, parça radyusunun iç kısmında kat teşekkülü; normalden küçük olursa, parça tabanında yırtılmalar olabilir.
- 7- Özellikle karmaşık şekilli parçaların çekilmesinde, kritik bölgelerdeki malzeme zayıflamasını arttıracak ve yırtılmalara sebep olacak yüksek hızlardan kaçınılmalıdır.
- 8- Sac şekillendirmede çatlak kontrolü için şekillendirme sınır diyagramından faydalanılır. Sac yüzeyi dairelerden oluşan bir ağ ile kaplanır. Sac deforme olduğunda bu daireler elips haline gelir. Elipsin büyük ve küçük eksenleri, başlıca iki uzama doğrultusunu temsil eder. Bu iki doğrultudaki uzama, büyük ve küçük eksenlerin uzunluğundaki değişim yüzdesi ile ölçülür. Yüzeyin herhangi bir noktasındaki bu uzamalar, değişik malzemeler için Keeler-Goodwin diyagramı ile karşılaştırılır.
- 9- Keeler-Goodwin diyagramında çekme-çekme bölgesi düşük karbonlu çelikler için hemen hemen sabittir. Alüminyum gibi diğer metaller, farklı bir eğriye sahiptirler.

- 10-Sac parçalar genellikle büyük bir yüzeye sahip olduklarından gözle görülebilir yüzey pürüzlülükleri ortaya çıkabilmektedir. Genellikle portakal kabuğu şeklini andıran yüzey pürüzlülükleri, büyük tane boyutuna sahip saclarda meydana gelir. ince taneli saclarda bu olayın gözle görülmesi zordur.
- 11-Malzemenin çekme kabiliyeti, çekilmiş olan kap çapının (genellikle tahmini zımba çapının), başlangıçtaki parça çapına oranı ile ölçülür. Herbir malzeme için çatlama olmaksızın çekilebilen en büyük miktarı temsil eden bir çekme oranı sınırı vardır.
- 12-Çekme kabiliyetini iyileştirmek, malzemenin kristal yapısının kontrol altında tutulması ile mümkün olabilir.
- 13-Sac şekillendirilmesinde kristal yönlenmesi oldukça büyük bir etkiye sahiptir.
- 14-Ferritik paslanmaz çeliklerin soğuk şekillendirilmesi, mukavemetlerinin yüksek, sünekliliklerinin düşük olması sebebiyle östenitik paslanmaz çeliklere göre daha zordur.
- 15-Sıcak şekillendirilebilme açısından ferritik paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda çok düşük akma gerilmelerine sahiptirler ve kolaylıkla sıcak şekillendirilebilirler.
- 16-östenitik paslanmaz çeliklerin sıcak şekillendirilmesinde en büyük dezavantaj, uniform özellikler elde edilememesidir. Yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılan bir ısıtma ile mukavemet değerlerinde azalma olmaksızın özelliklerde uniform bir artış sağlanabilir.
- 17-östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler hemen hemen tüm şekil verme yöntemlerine uygun oldukları halde, martenzitik paslanmaz çeliklerin sadece bir kısmı soğuk şekil verme uygulamaları için tavsiye edilmektedir. Çünkü yüksek karbon miktarına sahip martenzitik tipler, soğuk şekillendirmede çok fazla sınır değerler gerektirir; bu çelikler çoğu kez sıcak şekillendirilirler.
- 18-Ferritik paslanmaz çeliklerin çekme kabiliyeti tane boyutu ile hemen hemen hiç etkilenmemekte, kristal yönlenmesi ile ilgili olmaktadır.
- 19-östenitik paslanmaz çeliklerin çekme kabiliyeti ise tane boyutu ile önemli ölçüde etkilenmekte, kristal yapıdan ise hemen hemen bağımsız olmaktadır.

20-Çekme kabiliyetinin ölçülmesinde Swift, Olsen, Erichsen ve Fukui testlerinden faydalanılır.

21-Plastik şekillendirilebilme özelliğine sac kalınlığının artışı olumlu yönde etki etmektedir.

22-Derin çekmede zımba ile sac parça arasındaki sürtünmeyi azaltmak ve böylece üniform bir gerinim dağılımı sağlamak için, yağlama işlemine başvurulur. Böylece aynı zamanda şekillendirilebilirlik de arttırılmış olur.



**K A Y N A K L A R**

-----

1. Eshel, G., Barash, M., Johnson, W., 1986. Rule Based Modeling For Planning Axisymmetrical Deep Drawing, In: F.W.Travis (Editor), Journal of Mechanical Working Technology, Vol 14, Elsevier Science Publishers B.V., 7-9.
2. Güneş, A.T., 1989. Pres işleri Tekniği - Bölüm II, TMMOB MMO Yayın No: 130, Ankara: 1-3.
3. Dieter, G.E., 1976. Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill Series in Materials Science and Engineering, Kosaido Printing Co.Ltd., Tokyo, 688-700.
4. Avner, S.H., 1974. Introduction to Physical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company, Özgün Publishing Inc., Ankara, 361-374.
5. Tekin, A., 1981. Çeliklerin Metalurjik Dizaynı, Doyuran Matbaası, istanbul.
6. Metals Handbook, Vol.4: Forming, 1975. ASM Handbook Committee, American Society for Metals, Ohio.
7. Suzuki, K., 1983. Drawability of Stainless Steel Sheets, Journal of Mechanical Technology, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, No.7, 327-338.
8. Yurci, M.E., 1992. Kalıp imal Tekniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Sayı: 251, istanbul.
9. Yurci, M.E., 1992. Talaşsız Şekil Verme, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Sayı: 248, istanbul.
10. Ataşimşek, S., 1977. Sac Kalıpları, Bursa.
11. Richards, P.N., 1981. Forming and Drawing of Sheet Steel, Sheet Metal Ind. Part.1, Part.2.
12. Güleç, Ş., Aran, A., 1985. Malzeme Bilgisi Cilt 1, TUGAM Matbaası, Gebze.
13. Metals Handbook Vol.1: Properties and Selection of Metals, 1975. ASM Handbook Committee, American Society for Metals, Ohio.

## **ÖZGEÇMİŞ**

*Doğum tarihim: 12 Eylül 1967*

*Doğum yerim : Erzurum*

*1973-1978 tarihleri arasında Artvin Çoruh ilkokulunda,  
1978-1981 tarihleri arasında Artvin 50.Yıl Ortaokulunda,  
1981-1985 tarihleri arasında İstanbul Pendik Lisesinde  
okudum.*

*1987 yılında Yıldız Üniversitesi Makina Mühendisliği  
Bölümünü kazandım.*

*1991 yılında Yıldız Üniversitesinden Makina Mühendisi  
olarak mezun oldum.*

*1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri  
Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı imal Usulleri  
Programına kabul edildim.*

*1993 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri  
Enstitüsünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım.*

