

3032

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK SAÇLARIN
ŞEKİLLENDİRME KAABİLİYETİ

(Yüksek Lisans Tezi)

ZARİF ÇATALGÖL

YÖNETEN : Yar.Doç.Dr. A. İRFAN YÜKLER

3032

İSTANBUL 1987

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. ŞEKİLLENDİRME TEKNİKLERİ	4
2.1. Germe Şekillendirmesi	5
2.2. Derin Çekme	8
2.3. Karışık Şekillendirme Yöntemleri	10
3. ŞEKİLLENDİRME KAABİLİYETİ TESTLERİ	12
3.1. Derin Çekme Testi	12
3.2. Çekme Deneyi	14
3.3. Çekme Deneyi İle Anizotropi Katsayısının (R) Tayini	23
3.4. Erichsen Çökertme Deneyi	33
3.5. Şişirme Deneyi	35
3.6. Biçimlendirme Limit Diyagramı	37
4. ŞEKİLLENDİRME KAABİLİYETİNE TESİR EDEN FAKTÖRLER	53
4.1. Malzeme Temel Özelliklerinin Tesirleri	53
4.2. Kimyasal Bileşimin Tesirleri	60
4.3. Mikro Yapının Tesirleri	62
4.4. Saç Üretim Şartlarının Tesirleri	63
4.5. Taslağın Tesirleri	67

4.6. Kalıp Geometrisinin Etkisi	67
4.7. Şekillendirme Şartlarının Etkisi	74
5. REFERANSLAR	78



GİRİŞ

Çelik saçların germe ve derin çekme yöntemi ile şekillendirilmesi ve saçların şekillendirilme kabiliyeti hakkında literatür taraması tarzında bu tez hazırlanmıştır. Tez üç ana bölüm ihtiva etmektedir, şekillendirme teknikleri, şekillendirme kaabiliyet tesbit yöntemleri ve şekillendirme kaabiliyetine tesir eden faktörler.

Birinci bölümde germe ve derin çekme yöntemleri basit şekiller yardımı ile izah edilmiştir. Her ikisinin arasındaki farklar belirtilmiş ve her iki yöntemin müştereken uygulandığı durumlar açıklanmıştır.

İkinci bölümde saç şekillendirme kaabiliyeti tesbitinde yararlanılan çekme, plastik anizotropi, derin çekme, şişirme ve çökertme deneyleri açıklanmış ve deney sonuçlarının korelasyonu yapılmıştır. Bölümün en son kısmında Biçimlendirme Limit Diagramları (BLD) konusuna girilmiştir. BLD diagramlarının nasıl hazırlandığı ve nasıl kullanıldığı geniş olarak izah edilmiştir.

Üçüncü ve son bölümde saç şekillendirme kabiliyeti üzerinde tesiri olan malzeme, kalıp ve şekillendirme şartlarının tesirleri yedi başlık altında açıklanmıştır.

Pres ile saç şekillendirme konularından bilhassa derin çekme konusunda Türkçe yayın oldukça çoktur. Ancak germe ve saçların şekillendirme kabiliyeti hakkında yayınlar bir kaç taneyi geçmemektedir. Bu tezin sahasındaki boşluğu dolduracağı ve Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina ve Metalürji Bölümlerinde okutulan Plastik Şekil Verme ve İmal Usulleri derslerinde yardımcı kitap olarak faydalanılacağını ümit etmekteyim.

SUMMARY

The old method of hand forming of sheet steel is today used primarily as a finishing operation to remove wrinkles left by forming machines. In the metalworking industries hand forming is primarily limited to experimental work where only a few identical pieces are required. Most high production volume sheet metal forming is done on a press, driven by either mechanical or hydraulic action. The basic tools used with a press are the punch and the die. Although there are many forming methods, two of them are more important: Stretch forming and deep drawing. Stretch forming is the process of forming by the application of primarily tensile forces in such a way as to stretch the material over a tool or form block. Deep drawing is the metalworking process used for shaping flat sheets into cup shaped articles. This forming is done by pressing the metal sheet into a die with a punch.

Because of the complexity of sheet forming operations, simple mechanical property measurements made from the tension test are of limited value. Over the years many laboratory tests have been developed to evaluate the formability of sheet metals. A deep drawing test is developed in terms of limiting draw ratio. In Erichsen test the sheet is clamped between two ring dies while a punch, usually a ball, is forced against the sheet until it fractures. The depth of the bulge before the sheet fractures is measured. This test subjects the sheet primarily to stretching. However, most practical sheet forming operations provide a combination of both biaxial stretching and deep drawing. The limit strains are represented best by Forming Limit Diagrams (FLD). Hence, the FLD determines the limit of useful deformation in sheet forming and controls failure.

FLD is usually obtained by performing tension tests, deep drawing tests, Erichsen tests and bulge tests. Representation of fracture data as a plot of major versus minor strains at the fracture gives the limit curve. Fracture occurs when the strain ratio at the end of the process is above the limit curve. The direction and magnitude of maximum strain are easily determined by a grid pattern of small diameter circles on the surface of the blank. The surface of the blank is covered by a grid of circles, produced by electrochemical marking before the tests. During forming, the circles are deformed into ellipses. The direction of maximum strain corresponds to the major axes of ellipses and the magnitude of that strain is determined by measuring the increase in length of the ellipses over the diameters of the circles. The minimum strains are also determined by the same process.

Formability is a function of both material properties (strain hardening exponent "n", strain rate sensitivity "m", plastic anisotropy "R", thickness, grain size) and process variables (die design, lubrication, workpiece geometry). FLD offers a graphical method for the representation of material influences in formability. Material effects are embodied in the limit curve; the shape of which depends on microstructural features and composition. FLD is independent of the process variables, but the process variables effect the formability because of their effects on the uniformity of strain distribution in the stamping operations.

2. ŞEKİLLENDİRME TEKNİKLERİ

20. Yüzyılda, Metallere şekil verme yöntemleri arasında en hızlı gelişme metalik saçları şekillendirme yöntemlerinde görülmüştür. Düz saçları, Yüksek üretim hızlarında ekonomik olarak ve çok değişik şekillerde biçimlendirmek, bu şekillendirme yöntemlerinin yaygınlaşmasını ve gelişmesini sağlamıştır. Kesme işlemi dışında, tüm saç şekillendirme yöntemlerinde Malzeme bir yandan gerilerek (uzama) öte yandan sıkışarak (büyülme) son şeklini alır.

Eskiden el sanatları sınıfında bulunan saç şekillendirme işlemleri, günümüzde Mekanik veya hidrolik preslerde gerçekleştirilmektedir. Saç şekillendirme işlemlerinde kalıplar genellikle iki parçadan oluşur. Birincisi çıkıntılı bir şekle sahiptir ve zimba (punch) adını alır. İkincisi ise girintili şekle sahip olup, sadece kalıp (die) diye adlandırılır. Zimba için ıstampa veya erkek kalıp, kalıp için matris veya dişi kalıp terimleri de kullanılır. Zimba genellikle presin hareketli kısmına bağlanır, kalıp ise sabit tutulur. Zimba ve kalıbın birbirine göre eksenlenmesi son derece önemli olduğundan, bunlar önce birer plakaya bağlanıp eksenlenirler, daha sonra plakalar prese bağlanırlar. Çoğu kez metalik saç kalıp çevresince sıkıştırarak şekillendirme esnasında, kırışmasına engel olacak yardımcı kalıba gerektirir. Bu kalıp sıkıştırma kalıbı veya çember şeklinde olduğundan sıkıştırma çemberi diye adlandırılır. Bu kalıp için pot çemberi terimi de kullanılmaktadır. Tek tesirli preslerde sıkıştırma çemberine kuvvet, mekanik yay veya pnomatik sistem yoluyla uygulanır. Çift tesirli preslerde zimba ilerlerken önce sıkıştırma sistemini harekete geçirir, daha sonra şekillendirme işlemini gerçekleştirir.

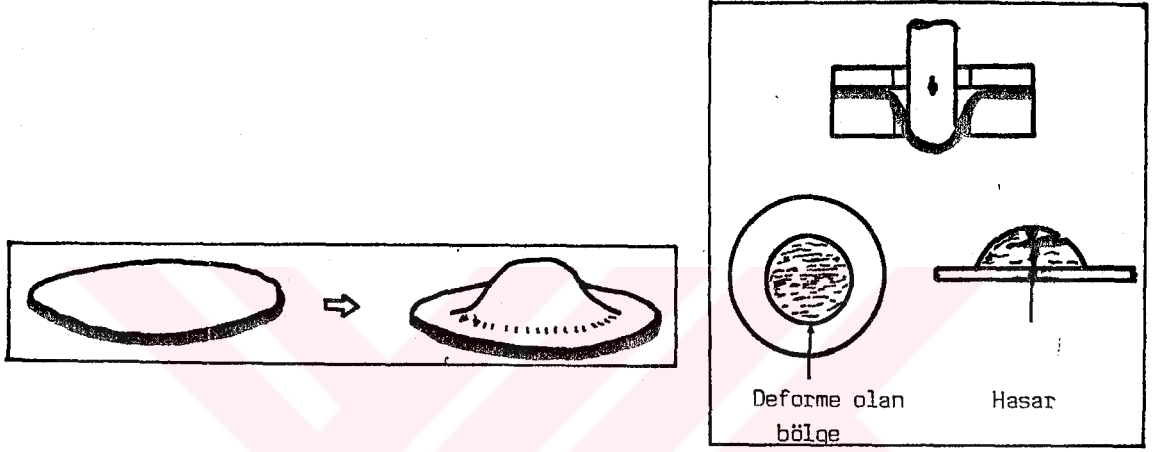
Saç şekillendirme yöntemleri kesme, bükme, sıvama gererek şekillendirme ve derin çekme diye sınıflandırılabilirler. Karmaşık şekilli parçalar, uygun kalıplar kullanarak bu işlemlerin birden fazlasının presin bir tek çevrimi esnasında arka arkaya uygulanması ile hızlı ve ekonomik olarak üretilebilirler.

Saç şekillendirme işlemlerinde kalıp maliyetini azaltma amacıyla son yıllarda kauçuk kalıp yöntemi de uygulanmaktadır. Burada parça şeklinin profili zımbaya verilir. Kalıp yerine belirli boyutlarda kalın kauçuk parçası kullanılır. Zimba metalik saçı kauçuk parçasının içine doğru iter sıkışan kauçuğun tepki kuvveti ile metalik saç zımbanın şeklini alır.

Şekillendirme yöntemleri içerisinde en önemlileri germe şekillendirmesi, derin çekme veya bunların müşterek olarak uygulandığı yöntemlerdir. Bu nedenle germe şekillendirmesi ve derin çekme üzerinde detayla durulacaktır.

2.1. GERME ŞEKİLLENDİRMESİ

Şekil 1.de görüldüğü gibi taslak (blank) kalıplar arasında uçlarından sıkıca bastırılır ki, kalıp arasında hiç bir hareket olmaz. Presin zımbası inerken, zimba burnunun, altındaki alanda deformasyon meydana gelir. Şekil 1.de geniş radüslü parçaların gerilme yöntemiyle üretimi gösterilmektedir.



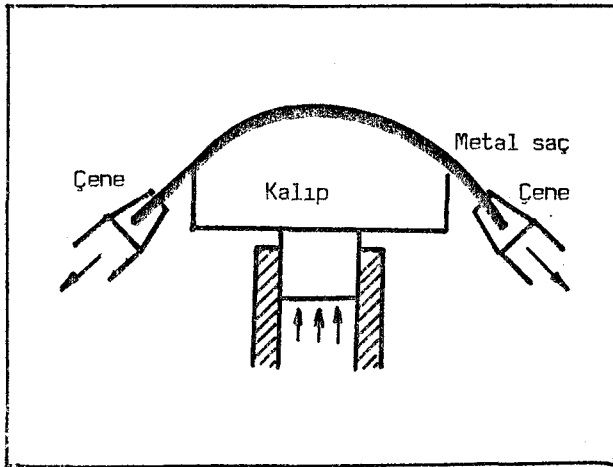
Şekil 1. İdeal germe şekillendirme uygulaması ve şekillendirme sırasında meydana gelen şekillendirme hatası.

Germe şekillendirilmesinde malzeme % 2 ile 4 oranında plâstik değişimine uğrar. Bu yöntemde boyun verme olayı sınırlandırıcı faktördür. Parça geometrisinden dolayı tek eksenli çekme gerilmesi söz konusu ise, çekme deneyinde elde edilen boyun verme noktasına ait homogen plâstik şekil değiştirme oranı, kriter olarak kullanılır. Şekillendirme

sırasında parçada meydana gelen deformasyon, bu kritik sınırı aşarsa parçada hasar meydana gelir.

Parça geometrisi iki eksenli çekme gerilmesine yol açarsa, boyun verme olayı gecikir. Bu durumda metalik saçın kalınlığını daha fazla inceltmek mümkündür. İki eksenli çekme gerilmesi halinde, şekil değiştirme sınırı biçimlendirme sınır diyagramları ile belirlenir.

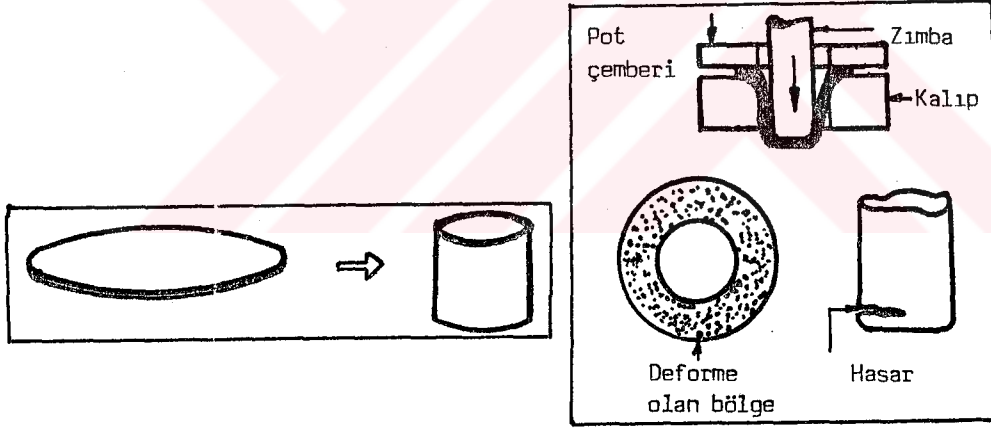
Germe yöntemi uygulamalarında diğer saç şekillendirme yöntemlerine göre % 10-15 oranında daha az malzeme kullanılır. Bu fark, bu yöntemde saç firesinin düşük olmasından kaynaklanır. Germe işleminde kullanılan kalıbın basit olması nedeniyle uygulanan şekillendirme kuvvetide daha az olmaktadır. Makina ve kalıp yatırımının düşük olması, germe yönteminin diğer bir avantajıdır. Eğrilik yarıçapı büyük olan geniş parçalar, uçar gövde parçaları gibi, en kolay ve en ekonomik olarak germe yöntemiyle üretilir.



Şekil 2. Geniş radüslü parçaların germe ile şekillendirilmesi.

2.2. DERİN ÇEKME

Sekil 3'de tipik bir derin çekme işlemi görülmektedir. Germe ile derin çekme şekillendirme yöntemleri arasındaki en büyük fark pot çember basıncının şiddetine bağlıdır. Germede bu basınç çok yüksektir ve pot çemberinin içinde kalan saçta deformasyon meydana gelmektedir.

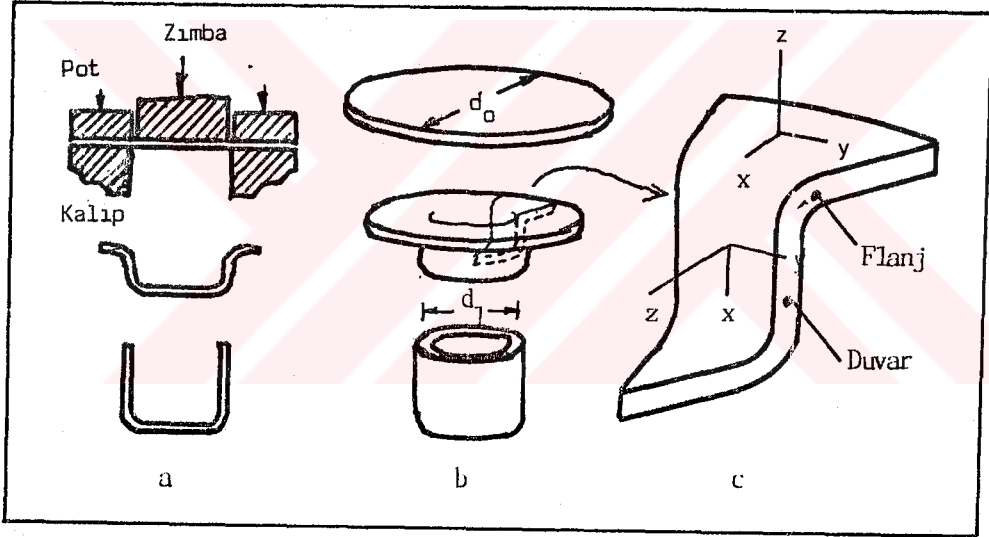


Şekil 3. İdeal derin çekme işlemi ve en fazla raslanan hata türü.

Derin çekme işleminde ise pot çember basıncı az olduğundan zimba ilerlerken saç malzemenin kalıp içerisinde kontrollü olarak hareket etmesine müsaade edilmektedir. Böylece pot çemberin dışında kalan metal kısımda deforma-

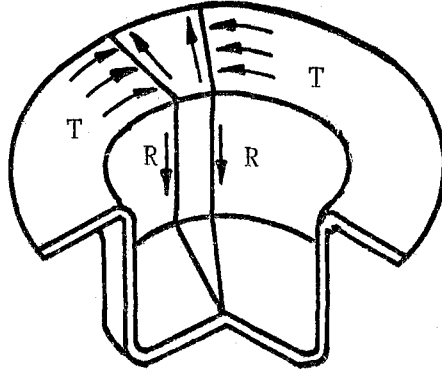
yon meydana geldiği için yırtılmalar ve çatlamlar bu bölgede meydana gelir. Zımba burnunun altında kalan kısımda deformasyon görülmez. Bu hususları Şekil 2 ve 3 de mukayese ederek daha iyi anlayabiliriz.

Derin çekmeye maruz kalan taslak dairesel, dikdörtgen veya daha kompleks şekilde olabilir. Zımba ilerlerken flanştaki malzeme azalarak kalıp içerisine doğru akma gösterir. (Şekil 4)



Şekil 4. Derin çekme işleminin şematik olarak gösterilmesi.

Derin çekme işleminde malzeme radyal çekme kuvvetleri (R) ile kalıp içerisine çekilirken, Taslağın kalıp içine henüz girmemiş bölgesinde çevresel basma kuvvetleri (D) oluşur. (Bak Şekil 5). Çevresel basma kuvvetleri malzemenin



Şekil 5. Derin çekme işleminde radyal çekme ve çevresel basma kuvvetleri.

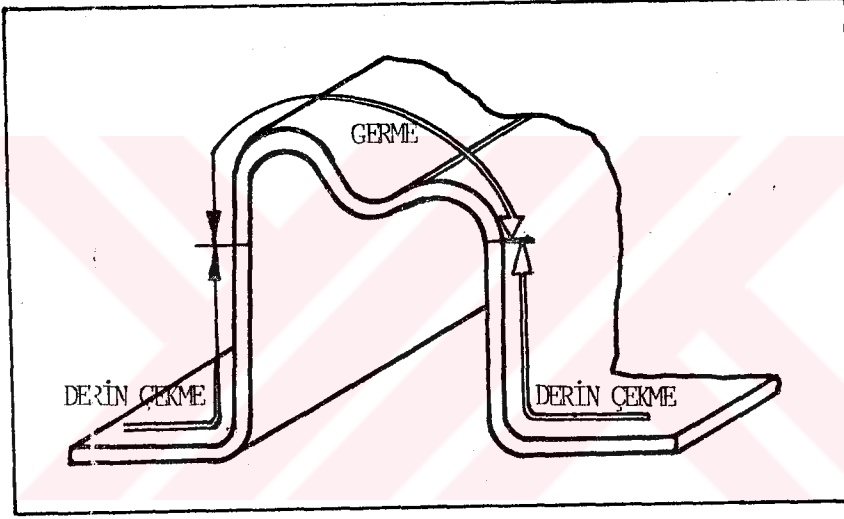
büzülerek kalınlaşmasına ve önlem alınmazsa malzemenin kırışmasına sebep olur. Kırışma olayı taslağın kalıp içine henüz girmemiş bölgelerinin uygun bir kalıp (pot çemberi) yardımıyla sıkıştırılması sonucunda önlenir.

Sıkıştırma kuvveti öylesine uygulanmalıdır ki taslak çevresi ve parça yan duvarlarında kırışıklık olmamalıdır. Sıkıştırma kuvvetinin çok fazla olması halinde malzeme kalıplar arasında hareket edemez ve Radyal çekme kuvvetlerinin etkisiyle malzeme kalınlığı hızla azalır ve sonuçta erken hasar görülür.

2.3. KARIŞIK ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

Sadece germe veya derin çekme yönteminin uygulandığı şekillendirme operasyonu oldukça azdır. Genellikle parça üretiminde germe ve şekillendirme müşterek uygulanmaktadır. Preslenen bir saç parçasının muhtelif noktalarındaki

deformasyon miktarı farklılık göstermektedir. Karışık şekillendirme yöntemine Şekil 6.da gösterilen tamponu örnek verebiliriz. Parçanın duvarları derin çekme ile meydana gelirken zımbanın burnu altında kalan karışık şekil ise germe yöntemiyle teşekkül etmiştir.



Şekil 6. Germe ve derin çekme yöntemleri sonucunda şekillendirilmiş bir saç parça.

3. ŞEKİLLENDİRME KAABİLİYET TESTLERİ

Preslenen parçalarda gerilme ile şekil değiştirme durumlarının malzeme iç yapısına bağlı olarak kritik değerlere ulaştığı bölgelerde çatlak teşekkülü meydana gelir. Saçtaki yönlenmeler, tane boyutu, inkülüzyonların şekli ve hacim oranı, iç gerilmeler ve diğer faktörler çatlak teşekkülü ve kırılma olayında önemli rol oynarlar. Bu nedenle, şekillendirme test numuneleri, gerçek şekillendirme de kırılma gösteren veya gösterme ihtimali olan bölgelerdeki malzeme mikro yapısının, mikro yapısını içermelidir.

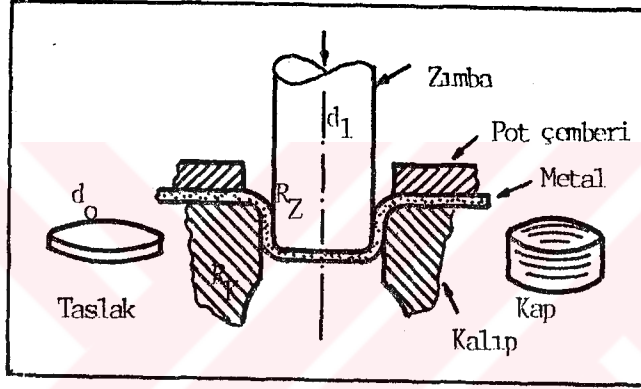
Çelik saçların şekillendirme kaabiliyetini tesbit etmede faydalanılan deneyler ve deney sonuçları arasındaki ilişkiler bu bölümde açıklanacaktır. Şekillendirme kaabiliyetine tesir eden faktörler ise bir sonraki bölümde açıklanacaktır.

3.1. DERİN ÇEKME TESTİ

Bu deney derin çekilecek malzemeler için en fazla uygulanan ve sonuçları en fazla itibar gören deneydir. Bu deneyin nasıl uygulandığı (Şekil 7.de gösterilmektedir. Deney hidrolik preste uygulanmaktadır.

Kalıp radüsü (R_K) malzeme kalınlığının 10 katı, pot çember basıncı saç akma ve çekme mukavemetinin aritmetik ortalamasının % 2 si, kalıp ile zımba arasındaki açıklığın metal kalınlığından % 30 daha fazla olması zımba köşesinin raduşlu olup keskin olmaması ve kalıp duvarına gelen metal kısmının sürtünmeyi önleyecek şekilde yağlanmış olması gerekir. Bu deneyde (d_0) çaplı taslaktan hatası olmayan en küçük (d_1) iç çaplı kap elde edilmeye çalışılır. De-

gişik çaplarda zimba kullanılarak deney yapılır. Deney sonunda derin çekme oranı sınırı tesbit edilir. Bu oran aşağıdaki formülden hesaplanır.



Şekil 7. Derin çekme testi.

$$D.Ç.O.S. = \frac{d_0}{d_{1(\min)}}$$

D.Ç.O.S. = Derin Çekme Oranı Sınırı

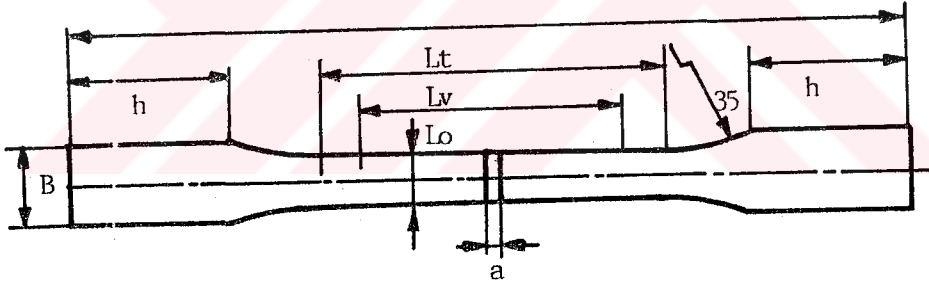
d_0 = Taslak Çapı

$d_{1(\min)}$ = Hatasız kap çeken zimbanın minimum çapı.

Çelik saçın derin çekme oranı sınırı saçın derin çekme kaabiliyetini gösterir. Bu oran ne kadar büyük olursa olsun derin çekme kaabiliyetin o kadar yüksek olduğu anlaşılır. Bu oran ancak ideal şartlarda 2,7 değerindedir. Endüstriyel uygulamalarda bu oran 2 değerini geçemez.

3.2. ÇEKME DENEYİ

Metalik malzemelere en fazla uygulanan deneylerden birisidir. Saçlar için standart çekme numunesi (Şekil 8) de gösterilmiştir. Şekil 8 de harflerle gösterilen boyutlar ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 8. Saçlar için standard çekme deney numunesi.

Şekil 9 da çelik saçların çekme deneyinden elde edilen yük-uzama eğrisinden faydalanılarak çizilen mühendislik gerilme-şekil değiştirme eğrisi görülmektedir. Mühendislik çekme eğrisinden, saçın akma gerilmesi, çekme gerilmesi toplam uzama, üniform uzama, akma uzaması ve elâstisite modülü hesaplanabilmektedir.

Mühendislik eğrisinden hesaplama yapılarak gerçek gerilme-gerçek uzama diyagramı çizilir. Bu hesaplamaların nasıl yapıldığı birçok Türkçe yayında mevcut olduğu için detayına girilmeyecektir.

$$\epsilon = \ln (e+1)$$

$$\epsilon = \text{Gerçek şekil değiştirme}$$

$$e = \text{Mühendislik \% de uzaması}$$

$$\sigma = S (e+1)$$

$$\sigma = \text{Gerçek gerilme}$$

$$s = \text{Mühendislik eğrisinde okunan gerilme}$$

Gerçek gerilme ve gerçek uzama oranı hesaplamalarıyla bulunan noktalar yardımıyla çizilen gerçek gerilme - Gerçek uzama diyagramı Şekil 9'da görülmektedir. Aynı diyagramda mühendislik eğriside verilerek iki diyagram arasındaki fark gösterilmiştir.

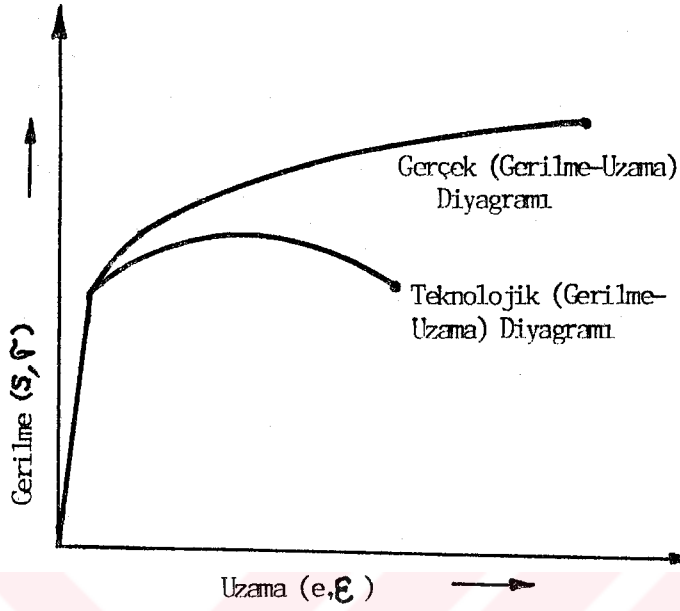
Metalik malzemelerde deformasyon sertleşmesinin görüldüğü, deformasyon sıcaklıklarında ($T < 0,5 T_m$) gerilme-şekil değiştirme eğrisinin homogen deformasyon bölgesi Holloman denklemi olarak bilinen

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

Tablo 1. Saçların standard şekme numune boyutları.
(ölçüler mm.dir)

Sac kalınlığı	Numune genişliği. b	Baş kısmının genişliği. B		Baş kısmının uzunluğu. h	b=15		b=15		b=20		Toplam uzunluk. L _t
		b=15	b=20		İlk ölçü uzunluğu. L ₀	Daraltılmış kısmın uzunluğu. L _y	İlk ölçü uzunluğu. L ₀	Daraltılmamış kısmın uzunluğu. L _y			
0,25mm den daha ince					10		30		10	30	160
0,25-0,35					10		30		15	35	165
0,35-0,45					15		30		15	35	165
0,45-0,65					15		30		20	40	170
0,65-0,80					20		35		20	40	170
0,80-1,20					20		35		25	45	175
1,20-1,60	15	20	30	50	25		40		30	50	180
1,60-2,20					30		45		35	55	185
2,20-2,80					35		50		40	60	190
2,80-3,50					40		55		45	65	195
3,50-4,30					45		60		50	70	200
4,30-5,00					50		65		55	75	205



Şekil 9. Mühendislik ve gerçek çekme diyagramları.

σ = Gerçek plâstik gerilme

ϵ = Gerçek plastik birim şekil değiştirme

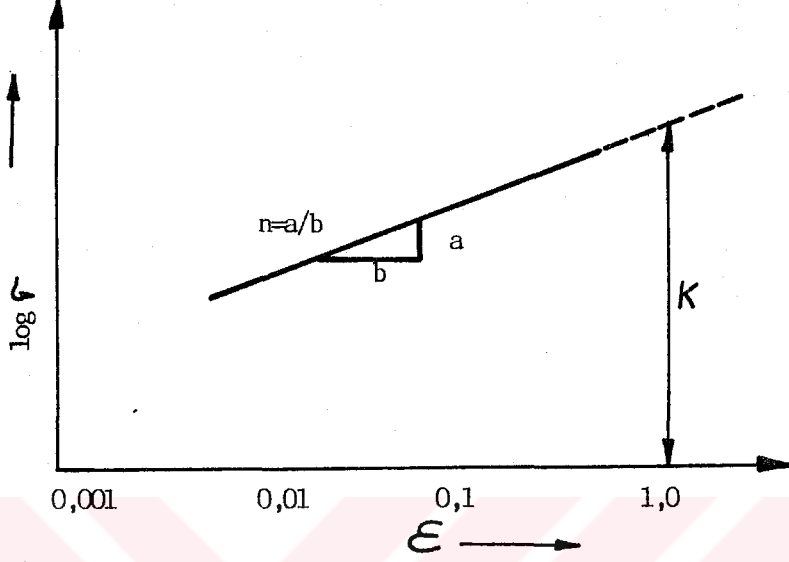
K = Malzeme mukavemet kat sayısı

n = Deformasyon sertleşme üssü

Deformasyon sertleşmesi üssü (n) plastik deformasyonun başladığı akma gerilmesi ile boyun vermenin başladığı nokta arasında bulunan homogen deformasyon bölgesindeki gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme değerlerine göre çizilen logaritmik grafiğin eğimine eşittir (Şekil 10).

$\epsilon = 1$ ($\log \epsilon = 0$) olduğu noktadaki gerçek gerilme değerine ise, K, malzeme mukavemet kat sayısı denir. Bazı çeliklerin

K ve n değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



şekil 10. Deformasyon sertleşmesi üssünün tayini.

Tablo 2. Tavlanmış elik saçların oda sıcaklığındaki K ve n değerleri.

<u>elik türü</u>	<u>n</u>	<u>K,MPa</u>
% 0,08 C eliği	0,25	600
% 0,15 C eliği	0,18	620
% 0,45 C eliği	0,12	950
302 paslanmaz	0,30	1300
410 paslanmaz	0,10	960

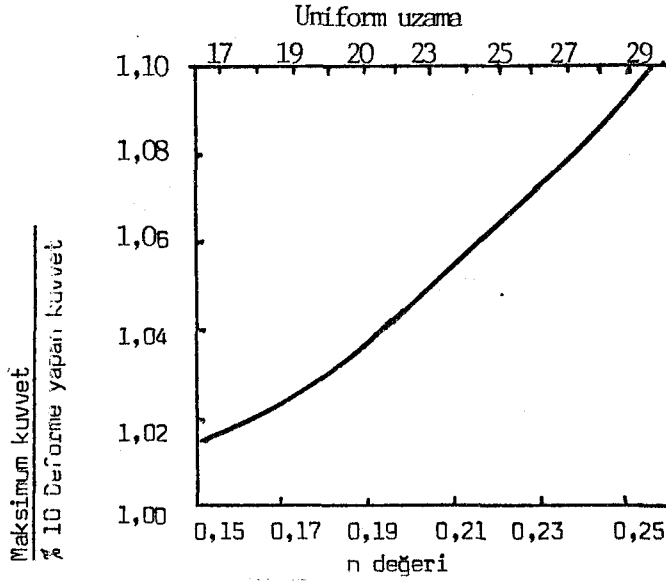
Deformasyon sertleşmesi üssünün (n) kolayca bulunması için Şekil 11'de gösterilen diyagramdan da faydalanmak mümkündür. Çekme deneyinde ölçülen Maksimum kuvvet (P_{mak}) % 10 uzamaya sebebiyet veren kuvvete (P_{10}) oranı bulunarak Şekil 11 de verilen diyagramdan çelik saça ait uniform uzama yüzdesi ve deformasyon sertleşmesi üssü direk olarak tayin edilir.

Alaşım-sız ve az alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerde akma mukavemeti arttıkça deformasyon sertleşmesi üssü şekil 12'de görüldüğü gibi azalma göstermektedir. Mukavemet artışıyla sünekliliğin azalması, az alaşımlı yüksek mukavemetli çelik saçların presle şekillendirmesinde büyük bir problem teşkil etmektedir. Bu problemi önlemek için dual fazlı çelikler üretilmiştir. A_1-A_3 kritik sıcaklıkları arasından su vermek suretiyle Ferrit + Martensit mikroyapısında dual fazlı çelikler üretilmiştir.

Bu çeliklerin çekme mukavemeti klâsik yüksek mukavemetli çeliklerle aynıdır. Ancak bu çeliklerin % uzamaları fazla ve akma mukavemetleri düşük olduklarından presle şekillendirilmeleri kolay olmaktadır.

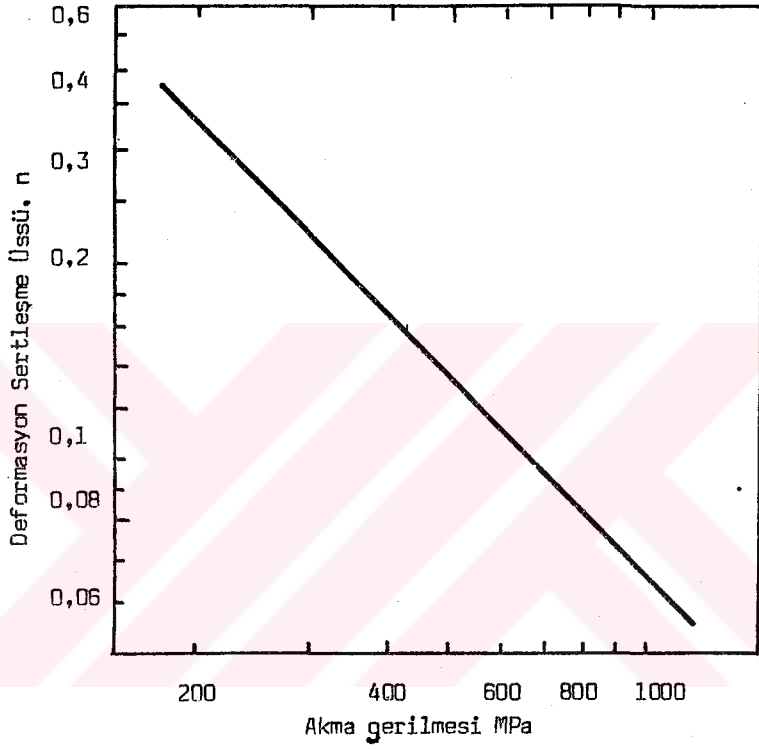
Saçlarda deformasyon sertleşmesi üssünün derin çekilebilirlik sınırı oranı üzerindeki tesiri Şekil 13'de görülmektedir. Bu tesir çok azdır. Yumuşak haldeki malzemelerin deformasyon sırasında sertleşmesinden dolayı çekilebilirlik oranı biraz azalmaktadır.

Deformasyon hızının mekanik özelliklere önemli ölçüde etkisi vardır. Deformasyon hızı arttıkça malzemenin mukavemeti artar. Farklı deformasyon hızları uygulaması halinde çekme deneyinde mukavemetin deformasyon hızı ile arttığı

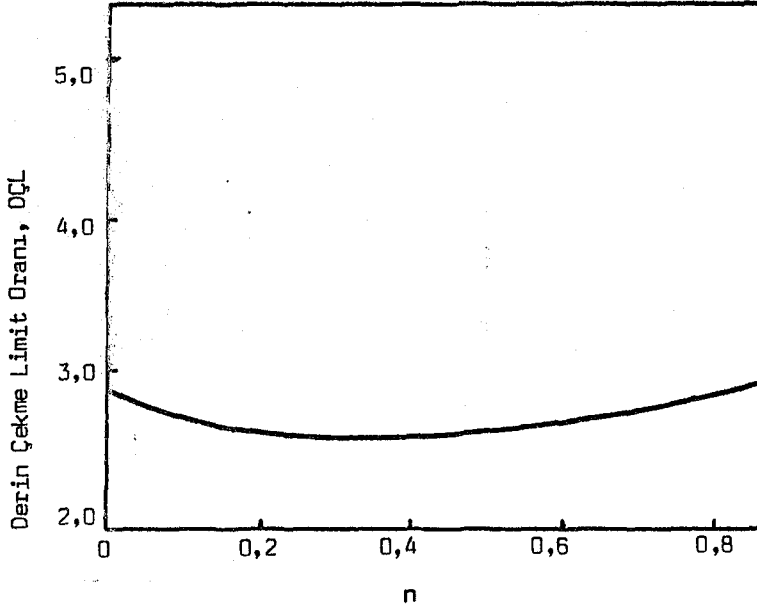


Şekil 11. Yük oranından deformasyon sertleşmesi üssü ve üniform uzamanın tayin edilmesi.

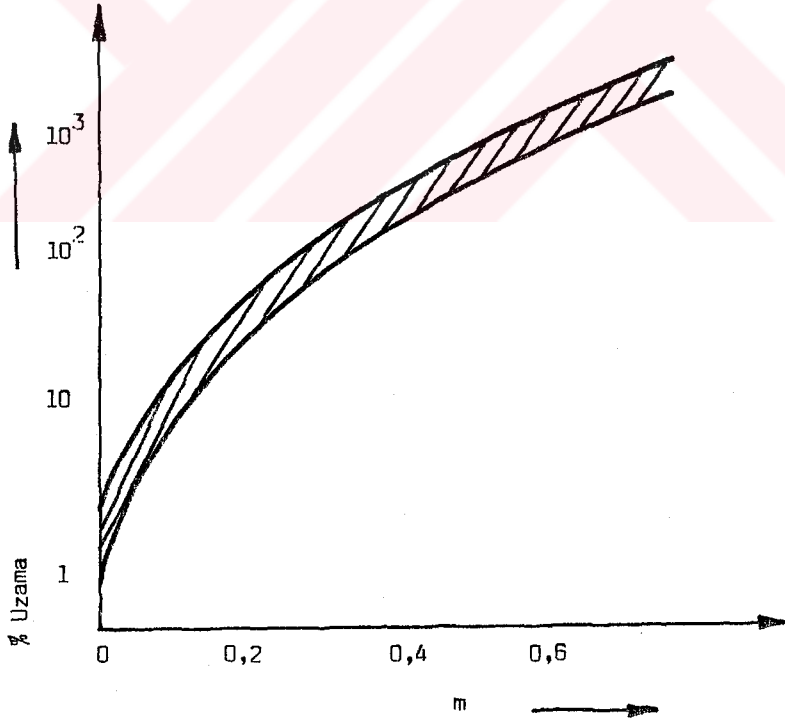
fakat Toplam birim şekil değiştirmenin deformasyon hızıyla azaldığı görülmektedir. Deformasyon hızının etkisi düşük sıcaklıkta az iken sıcaklık artar. Deformasyon hızı duyarlılığı üssü (m) çekme deneylerinden faydalanılarak log - log grafiğinden hesaplanmaktadır. Çeşitli malzemelerde mühendislik toplam % uzama miktarının deformasyon hızı duyarlılığı üssü ile artışı Şekil 14 de görülmektedir.



Şekil 12. Çeliklerde akma gerilmesine bağlı olarak deformasyon sertleşmesi üssünün değişimi.



Şekil 13. Derin Çekilebilirlik oranının deformatiyon sertleşmesi üssüyle değişimi.



Şekil 14. Deformasyon hızı duyarlılığı üssü ile Toplam % uzama miktarının değişimi.

3.3. ÇEKME DENEYİ İLE ANİZOTROPİ KATSAYISININ (R) TAYİNİ

Yassı metalik malzemelerde mekanik özelliklerin yöne göre değişmesi malzemenin anizotropik olduğunu belirtmektedir. Böyle malzemelerde anizotropinin bir ölçüsü olarak anizotropi katsayısı tanımlanmıştır.

Anizotropi katsayısı (R) :

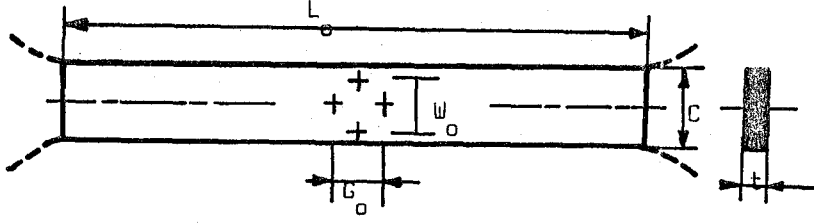
$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t}$$

Burada;

$$\epsilon_w = \text{Genişlikteki gerçek uzama oranı} = \ln (W_s/W_o)$$

$$\epsilon_t = \text{Kalınlıktaki gerçek uzama oranı} = \ln (t_s/t_o)$$

R, Malzemenin kalınlığındaki deformasyonun (yassı malzeme yüzeyine dik yöndeki) genişlikteki deformasyondan az veya çok olduğunu belirtir ve R dikey anizotropi katsayısı olarak isimlendirilir. İzotropik bir malzemedeki dikey anizotropi katsayısı, R = 1 dir. Çekme deneyi ile dikey anizotropi katsayısının tayini için standartlara uygun olarak hazırlanmış yassı çekme numunesinin ölçü uzunluğu L_o içindeki bölgede veya düz bir şerit halinde kesilmiş numunede numune genişliği yönünde ve numune boyu yönünde birbirine eşit W_o ve G_o uzunlukları işaretlenir. Şekil 15'de görüldüğü gibi.



Şekil 15. Normal anizotropi katsayısının tayini için, çekme numunesinin ölçü boyunda gerekli uzunlukların (G_0 ve W_0) işaretlenmesi.

l_0 = Numune ölçü uzunluğu

C = Numune genişliği

t = Numune kalınlığı

W_0 = Genişlik yönünde işaretlenen uzunluk

G_0 = Numune boyu yönünde işaretlenen uzunluk.

Çekme numunesinin ölçü uzunluğunda Şekil 15'de gösterildiği gibi W_0 ve G_0 uzunluklar işaretlendikten sonra numune çekme cihazında homogen plastik deformasyon bölgesi içindeki herhangi bir P_1 yüküne kadar çekilir. Bu P_1 yükü, akma yükünden P_{akma} büyük, malzemenin çekme dayanımının hesaplandığı maksimum yükten de $P_{maksimum}$ küçük olmalıdır. Numune P_1 yüküne kadar çekilip homogen bir deformasyon yapıldıktan sonra Çekme cihazından çıkarılır, W_0 ve G_0 olarak işaretlenmiş olan uzunluklar hassas olarak ölçülüp W_s ve G_s olarak kaydedilir.

Dikey anizotropi katsayısının hesaplanabilmesi için genişlikteki ve kalınlıktaki gerçek uzama oranlarının (w ve t) hesaplanması gerekmektedir. Yapılan homogen deformasyon sırasında kalınlıkta meydana gelen değişimi hassas olarak ölçmek zor olduğundan, kalınlıktaki gerçek uzama oranı aşağıdaki bağıntıdan faydalanılarak daha doğru olarak hesaplanabilir. Deformasyon sırasında malzemenin hacmi sabit kalır kabulünden faydalanarak;

$$\text{Hacim (v)} = G_o \cdot W_o \cdot t_o = G_s \cdot W_s \cdot t_s$$

yazılabilir, Buradan=

$$\frac{t_s}{t_o} = \frac{G_o \cdot W_o}{G_s \cdot W_s}$$

$$\epsilon_t = \ln \left(\frac{t_s}{t_o} \right) = \ln \left(\frac{G_o \cdot W_o}{G_s \cdot W_s} \right)$$

elde edilir.

$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\ln \left(\frac{W_s}{W_o} \right)}{\ln \left(\frac{G_o \cdot W_o}{G_s \cdot W_s} \right)}$$

olarak yazılabilir. Yukarıdaki bağıntıda negatif işarettten kurtulmak için

$$R = \frac{\ln \left(\frac{W_o}{W_s} \right)}{\ln \left(\frac{G_s \cdot W_s}{G_o \cdot W_o} \right)}$$

olarak yazılabilir.

Bu bağıntıdan dikey anizotropi katsayısı (R), W_o ve G_o boyutlarının çekme deneyi öncesi ve sonrası değerlerinden hesaplanabilir.

Burada;

W_o = ilk genişlik

W_s = Son genişlik

G_o = İlk uzunluk

G_s = Son uzunluk

Yassı malzemeden numunenin alındığı yöne göre dikey anizotropi katsayısının değeri değişebilir. Bu sebeple yassı malzeme yüzeyinde farklı yönlerde ölçülen R değerlerinin ortalamasını almak gerekir. Dikey anizotropi katsayısının ortalaması \bar{R} :

$$\bar{R} = \frac{R_o + R_{90} + 2R_{45}}{4}$$

şeklinde tanımlanır. Burada ;

R_o = Yassı malzemenin uzunluğu yönünden hazırlanan çekme numunesinin dikey anizotropi katsayısı,

R_{90} = Yassı malzemenin uzunluğu yönünden hazırlanan çekme numunesinin dikey anizotropi katsayısı,

R_{45} = Yassı malzemenin uzunluğu yönü ile 45° lik açı yapan yönden hazırlanan çekme numunesinin dikey anizotropi katsayısıdır.

Saçlarda dikey anizotropi değerleri (R), deney numunesinin haddelendirme yönünün konumuna bağlıdır. R değeri çekilebilirlik oranı olarak ta adlandırılmaktadır.

$R < 1$ ise derin çekilebilirlik az,

$R = 1$ ise Malzeme izotrop

$R > 1$ ise derin çekilebilirlik fazla demektir.

Ortalama dikey anizotropi değeri, \bar{R} , ortalama çekilebilirlik oranı olarak adlandırılır ve saçın derin çekilebilirliği hakkında daha sıhhatli bir fikir verir. Muhtelif metaller de ortalama dikey anizotropi katsayısına bağlı olarak derin çekme oranı sınırının değişimi Şekil 16 da gösterilmiştir. Çeliklerde derin çekilebilirlik, \bar{R} , değerlerine göre şöyle sınıflandırılır.

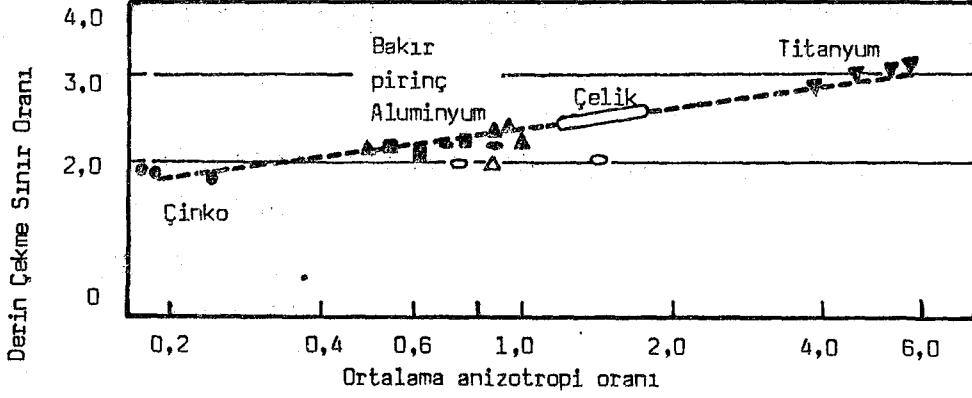
$\bar{R} < 1$ ise derin çekilemez,

$1 < \bar{R} < 1,3$ ise az derin çekilebilirlik

$1,3 < \bar{R} < 1,6$ ise iyi derin çekilebilirlik

$\bar{R} > 1,6$ ise çok iyi derin çekilebilirlik sağlanır.

Saç yüzeyinde değişik yönlerden alınan numunelerin farklı dikey anizotropi değeri veya çekilebilirlik oranı R göstermeleri; düzlemsel anizotropi olarak adlandırılır.



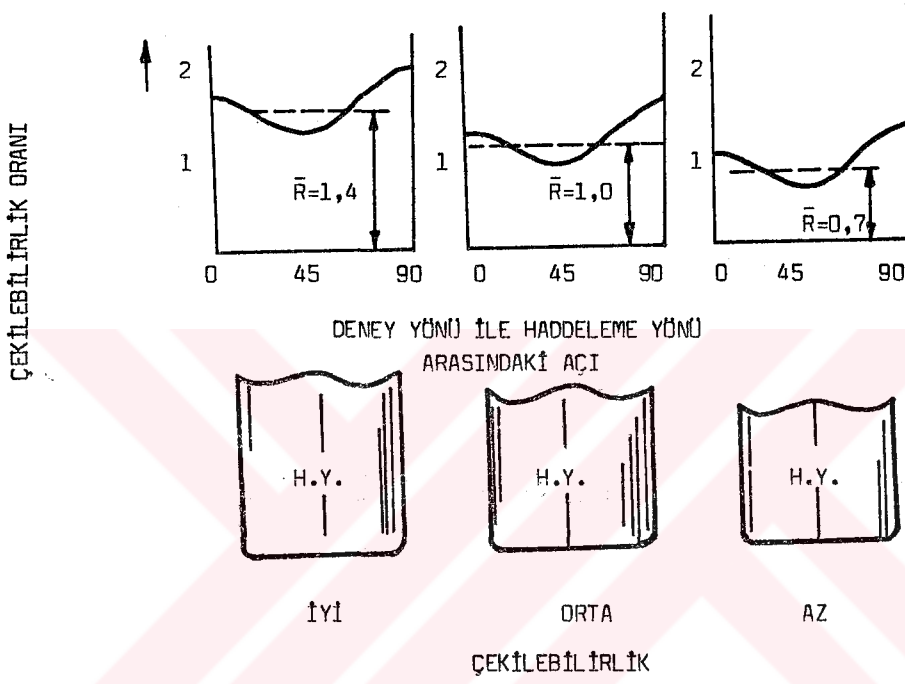
Şekil 16. Metal saçlarında derin çekme oranı sınırının ortalama dikey anizotropi katsayısına göre değişimi.

Düzlemsel anizotropinin R ölçüsü ise aşağıdaki bağıntıya göre yapılmaktadır.

$$\Delta R = \frac{1}{2} (R_0 + R_{90} - 2R_{45})$$

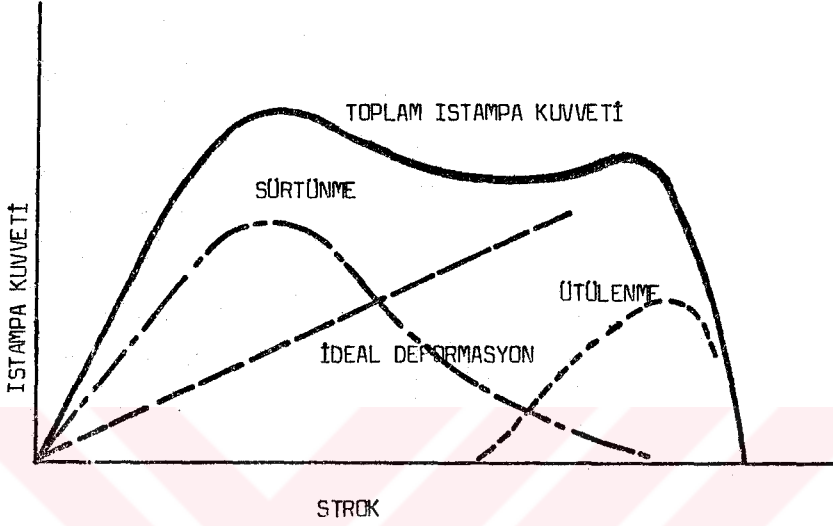
ΔR değeri sıfıra yaklaştıkça, malzemede kulaklanma denilen hadise azalır, aksine ise artar. Kulaklanma, derin çekme işleminde saçların kenarlarındaki farklı uzamalar sonucu ortaya çıkan dalgalanmadır. Bu dalgalanan kısım kullanılamaz ve malzeme kaybına sebep olur. \bar{R} ve ΔR parametreleri malzemenin derin çekme davranışlarını görmektedir. Şekil 17'de düşük karbonlu bir çelikte çekilebilirlik oranının

(R) deney numunesi yönüne bağlı olarak değişimini göstermektedir. R değeri arttıkça, derin çekilebilme kaabiliyeti artmaktadır.



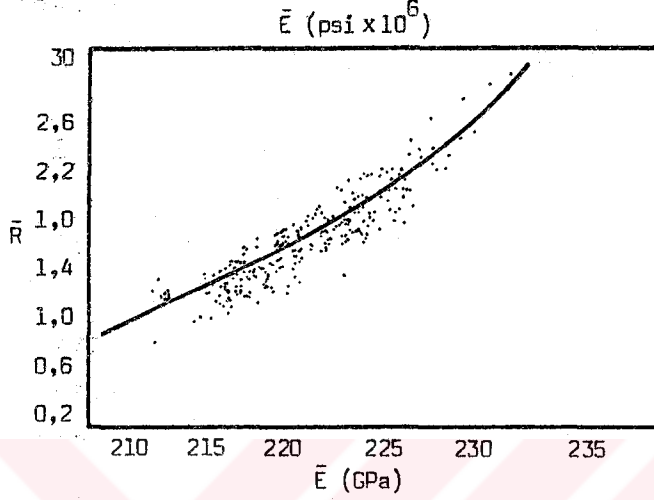
Şekil 17. Düşük karbonlu bir çelikte çekilebilirlik oranı ile deney numunesi yönü değişimi.

ΔR değerindeki sıfırdan sapmalar ise daha öncede belirtildiği gibi kulaklanmayı oluşturmaktadır. Şekil 18 de düşük karbonlu bir çelikte çekilebilirlik oranı (R) ve hadde yönü değişimine göre kulaklanma oluşumu görülmektedir.



Şekil 18. Çekilebilirlik oranı ve hadde yönü de-
ğişimine göre kulaklanma oluşumu.

Kulaklanma derin çekme işleminde deformasyon miktarının Maximum olduğu doğrultularda, çekilebilirlik oranlarının farklı yönlerde farklı değerlerdeolmasından dolayı oluşmaktadır. Eğer malzemenin haddeleme yönündeki ve haddeleme yönüne dik doğrultulardaki çekilebilirlik oranı, haddeleme yönü ile 45° lik açı yapan doğrultudaki çekilebilirlik oranından büyük ise, $\Delta R > 0$ olur. Bu durumda kulaklanma haddeleme yönüne göre 0° ile 90° lik doğrultularda meydana gelir. Şekil 18'de bu durum görülmektedir. Eğer $\Delta R = 0$ ise, bu durumda kulaklanma olmamaktadır. Şekil 19'da görüldüğü gibi. Malzemenin ΔR değeri negatif ise ($-\Delta R$) kulaklanma haddeleme yönüne göre 45° lik doğrultularda oluşur.



Şekil 19. Çelik saçlarda ortalama dikey anizotropi katsayısı ve ortalama elastisite katsayısı arasındaki ilişki.

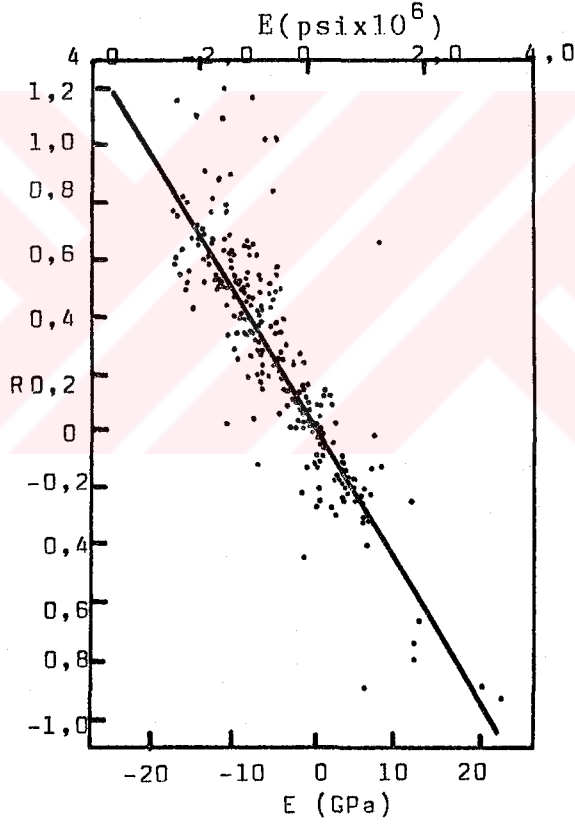
Çelik saçlarda elastisite katsayısı yönler göre değişim göstermektedir. Ortalama elâstisite katsayısı (\bar{E}) ve düzlemsel elâstisite katsayısı (\bar{E}) dikey anizotropi ve düzlemsel anizotropi katsayısı gibi deneysel olarak hesaplanabilmektedir.

$$\bar{E} = (E_0 + 2E_{45} + E_{90}) / 4$$

$$\Delta E = (E_0 - 2E_{45} + E_{90}) / 2$$

bu formüllerde verilen sayılar deney numunesinin haddelene doğrultusu ile yaptığı açısal yönlenmeyi göstermektedir. Şekil 19 ve 20'de \bar{R} ve \bar{E} ile ΔR ve ΔE arasındaki ilişki-

ler gösterilmiştir. Bu diyagramlar deneysel olarak çizilmiştir. Ortalama elastisite modülü yüksek olan çelik saçlarda çekilebilirlik oranı ve dolayısıyla derin çekme oranı sınırı yüksek olmaktadır. ΔE ise ΔR ile ters orantılıdır. Yani düzlemsel elastisite katsayısı azaldıkça kulaklanma azalmaktadır.



Şekil 20. Çelik saçlarda düzlemsel anizotopi katsayısı ve düzlemsel elastisite modülü arasındaki lineer bağlantı.

3.4. ERİCHSEN ÇÖKERTME DENEYİ

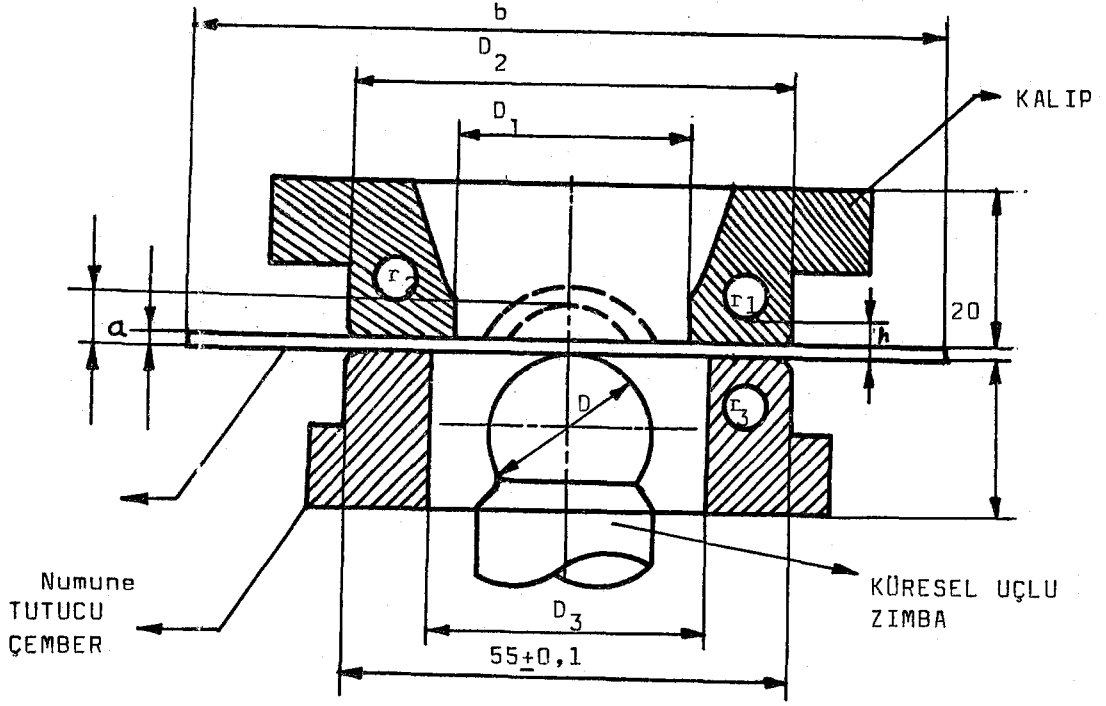
Metalik saç ve bantların plastik şekil değiştirme yeterliliğini tayin eden deneydir. Erichsen çökertme değeri, belirli çapta küresel uçlu bir zimba yardımıyla deney numunesinin çökertilen kısmının yırtılması anında milimetre olarak derinliğidir, Deney sonuçları malzemeleri standardize etmek için kullanılmayıp daha ziyade her malzemenin kendi standardındaki değerlerle mukayese imkanı veren değerler olarak incelenir.

Bu deney özellikle preste şekil verme, sıvama, derin çekme Vs gibi imalat işlemlerinde kullanılan saç ve bantlarda arzu edilen bir deneydir.

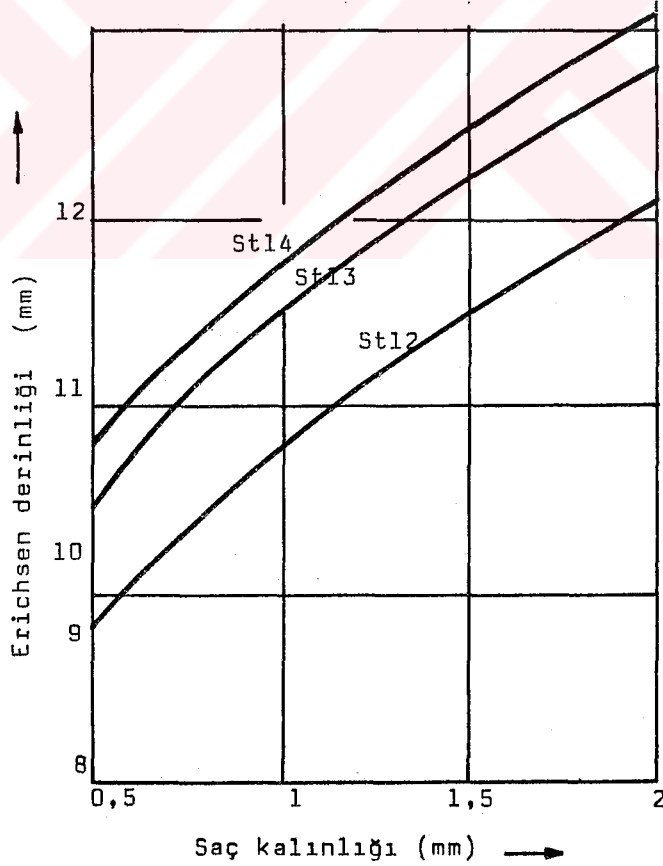
Çökertme deney cihazı genel olarak, numuneyi tesbit etmek için tutucu bir çember ve kalıp ile numuneyi kalıbın içine doğru zorlayan küresel uçlu bir zimbadan ibarettir. Deney cihazında numune kırılması başladığı anda çökertilen kısmın en büyük derinliğini ölçmeye imkan veren gösterge mevcuttur. Deneyde kullanılan numuneler, temsil ettiği saç kalınlık ve genişliğine bağlı olarak boyutlandırılır. Bu boyutlar Şekil 21'de ve Tablo III de verilmiştir.

Numune % 25 Grafit ihtiva eden Gres ile yağlandıktan sonra, kalıp ile tutucu çember arasında 1000 kg kuvvetle sıkıştırılır. Üç deney ortalaması alınarak Erichsen derinlik değeri tesbit edilir.

DIN 1623 e göre düşük karbonlu çelik saçlarda, saç kalınlığına göre minimum Erichsen, derinlik değerleri Şekil 22'de gösterilmiştir.



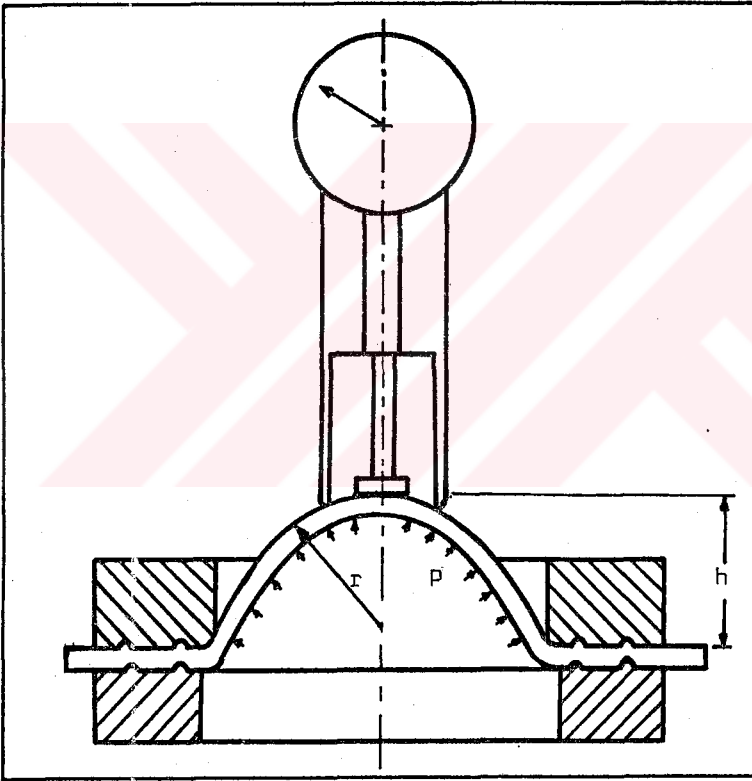
Şekil 21. Saç çökertme deneyinde kullanılan ana parçaları ve numunenin görünüşü.



Şekil 22. DIN 1623 e göre düşük karbonlu çelik saçların kalınlığına göre minimum Erichsen derinlik değeri.

3.5. ŞİŞİRME DENEYİ

İki kalıp arasında yassı malzeme sıkıca çenelerde yakalandıktan sonra sıvı basıncıyla Şekil 23'de gösterildiği gibi deformasyon yapılmaktadır. Bu engellenmiş iki eksenli gerilme ve şekil değiştirme durumundaki metallerin temel özelliklerini incelemeyi mümkün kılmaktadır. Kırılma ba-

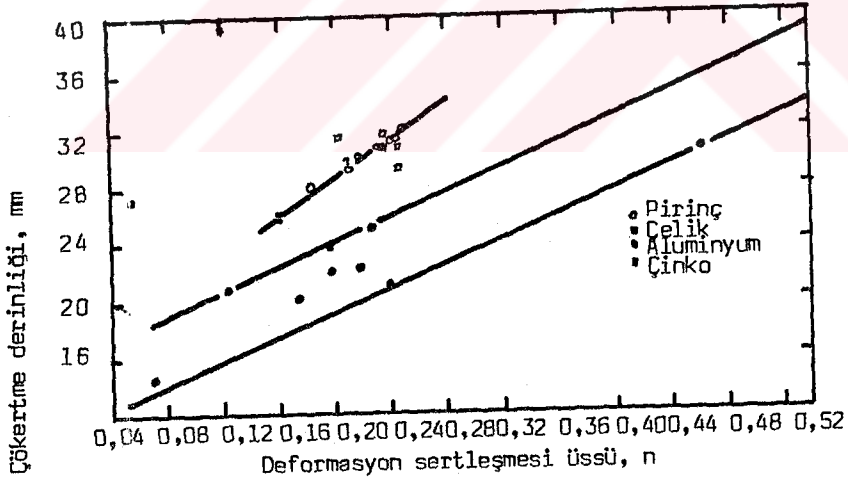


Sekil 23. Şişirme testi.

sıncı ve elde edilebilen (h_{maksimum}) maksimum yükseklik malzemenin şekillenme kabiliyeti limitini ifade etmekte-

dir. Hidrolik basınç metal zımbaya nazaran tercih edilmektedir. Çünkü hidrolik basınç sürtünmeden doğan problemleri tamamen yok etmekte ve daha Uniform deformasyon yapmaktadır. Bu testin diğer bir avantajıda levhanın anizotropi özelliğinden önemli miktarda etkilenmektedir. Yönlenmenin şiddeti yırtılmadan sonraki ölçümlerle tesbit edilmektedir. Bu durum tek ve basit bir deneyle anizotropi hakkında bilgi edinmeyi mümkün kılar.

Erichsen derinlik yüksekliği malzeme deformasyon sertleşme üssü ile bağıntılıdır. Şekil 24'de gösterildiği gibi çelik ve diğer metallerde n değeri arttıkça Erichsen



Şekil 24. Bazı metal saçlarda Erichsen derinliğinin deformasyon sertleşmesi üssüne bağlı olarak değişimi.

değeri artmaktadır. n değeri yükseldikçe metalin deformasyon

sertleşmesi artacak ve dolayısıyla boyun verme direnci artma gösterecektir. Yani şekillendirme kabiliyeti ve Erichsen değeri yüksek olacaktır.

2.6. BİÇİMLENDİRME LİMİT DİYAGRAMI

Metal şekillendirme operasyonlarında deformasyon limiti saçın sünekliği ile sınırlıdır. Deformasyon oranı bu sınırı aşınca hasar meydana gelir. Saç malzeme şekillendirme kabiliyeti araştırmaları üç ana doğrultuda ilerlemiştir. İlk olarak plastik anizotropi oranı (R), deformasyon sertleşmesi üssü (n) ve üniform uzama (e_u) gibi şekillendirme kabiliyetini tayin eden saç temel ana mekanik özellikleri tayin etmek ve bunların etkilerini açıklamak olmuştur. İkinci grup çalışmalar ise derin çekme ve Erichsen testi gibi gerçek deformasyonu simüle eden deneyleri geliştirmek olmuştur. Üçüncü ve son çalışma ise biçimlendirme sınır diyagramını geliştirme olmuştur.

Temel mekanik malzeme özelliklerinden faydalanılarak şekillendirme sırasında saç malzemesinin davranışını önceden tahmin etmek kısmen başarılı olmuştur. Derin çekmenin hakim olduğu deformasyon işlemlerinde derin çekilebilme ve plastikanizotropi oranı arasında çok iyi bir korelasyon kurulmuştur. Plastik anizotropi oranının germe yönteminin hakim olduğu şekillendirmede şekillendirilebilme kabiliyeti hakkında yok sayılacak derecede etkin olduğu görülmüştür. Bu şekillendirme yöntemiyle deformasyon sertleşmesi üssü ve üniform uzama özellikleri arasında daha önceden tahmin edildiği gibi çok iyi bir korelasyon görülmüştür. Endüstriyel saç şekillendirme operasyonlarında germe ve derin çekme tesiri parça geometrisiyle değiştiğinden çekme deneyinde bulunan temel mekanik özellikler ile her deformasyon için

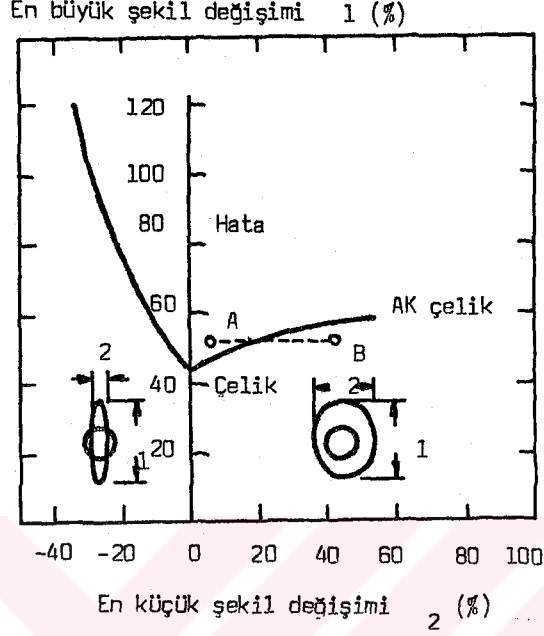
saç malzemenin davranışını tahmin etmek mümkün olmamıştır. Temel parametrelerin muhtelif Kombinezasyonlarını kullanarak saç şekillendirme kabiliyetinin önceden tahmin etmek için çalışmalar yapılmışsada çok sınırlı bir başarı elde edilmiştir.

Saçların temel mekanik özelliklerinden o saça ait şekillendirme kabiliyetini tahmin etme gayretiyle başarısız kalınca derin çekme, Erichsen ve benzeri simülatif testler geliştirilmiştir. Bu simülatif testler kalite kontrol ve malzeme geliştirme hususlarında önemli rol oynamıştır. Bu testler esas olarak tahmin etmekten ziyade mukayese yapmak için faydalı olmuştur. Belli bir şekillendirme operasyonunda alternatif saçlar arasında doğru seçim yapmayı mümkün kılmışlardır. Belli bir saçın belli bir endüstriyel parça üretiminde başarıyla kullanılıp kullanılmayacağı hakkında bir bilgi edinmek bu deneylerden mümkün değildir. Veya bir saçın başarısız kaldığı operasyonlarda şekillendirmede nasıl değişiklik yapılacağı hakkında bir bilgi sağlanamamaktadır.

Ana metal ve simülatif deneylerin saç şekillendirmede çok sınırlı kullanımından dolayı biçimlendirme limit diyagramları hazırlanmıştır. Saç metal şekillendirmesinde hasar kontrolü için en ekonomik ve pratik teknik biçimlendirme limit diyagramı (B.L.D) olmaktadır.

Şekil 25'de Alüminyumla söndürülmüş az karbonlu bir çeliğe ait BLD görülmektedir.

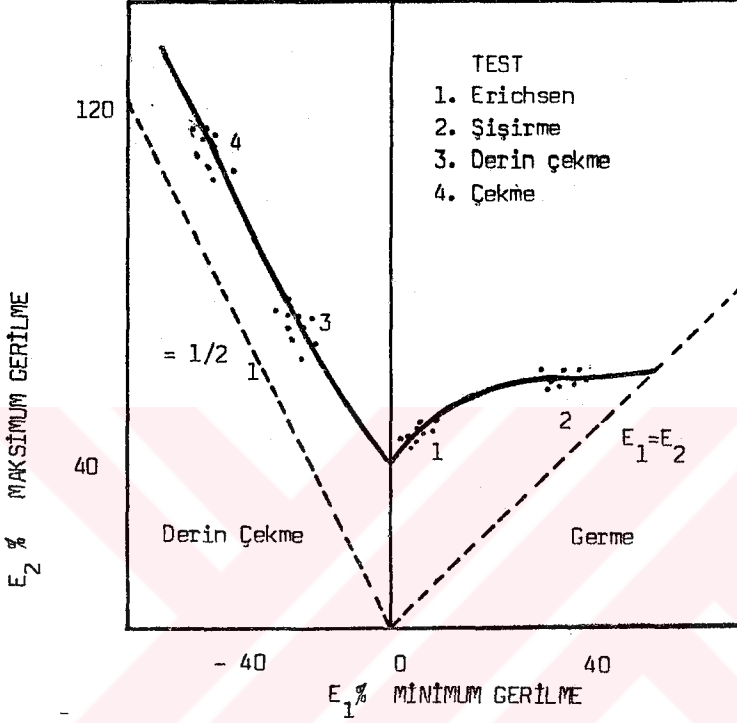
Şekillendirme sırasında deformasyon, eğrinin altında kalırsa hasar meydana gelmemektedir. Deformasyon durumu eğrinin üzerine taşarsa çatlama meydana gelmektedir.



Şekil 25. Alüminyum ile söndürülen az karbonlu çeliğin şekillendirme limit diyagramı.

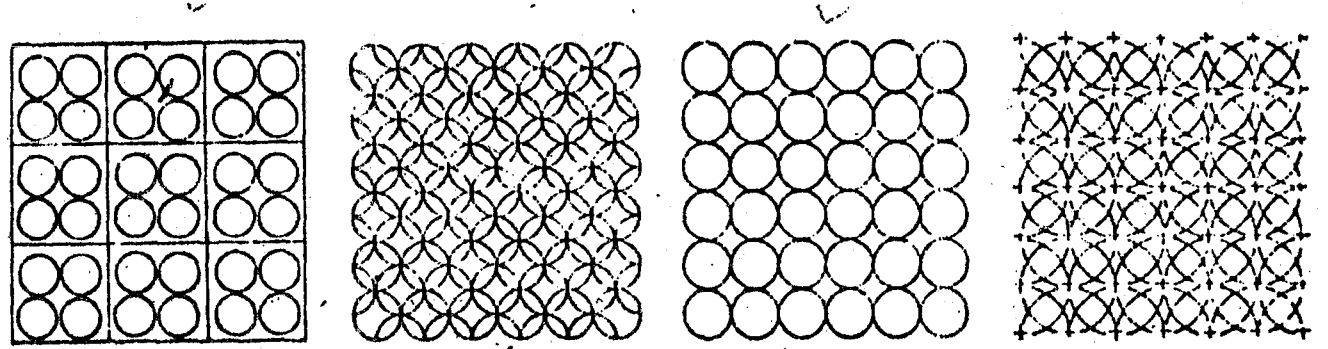
B.L.D. genellikle deneysel olarak tesbit edilmektedir. Bir sac malzemenin Erichsen, derin çekme, çekme ve şişirme testleri yapıldıktan sonra deney sonuçlarına dayanarak diyagram çizilmektedir. Bu deneylere bağlı olarak çizilmiş bir diyagram Şekil 26 da görülmektedir.

Malzeme üzerine elektrokimyasal işaretleme veya dağlamalı foto baskısıyla deney çizgileri çizilir. Deney çizgileri dairesel olup muhtelif şekillerde bulunurlar. En fazla kullanılan iki deney çizgi türü Şekil 27'de görülmektedir.



Şekil 26. Diğer testlere dayanarak BLD'nin çizilmesi.

Deney numunesinin boyutları, yağlama yöntemi ve yağlayıcı türü değiştirilerek, çekmi Erichsen veya benzeri deneylerle, plastik şekil değiştirme için farklı gerilme durumları oluşturulur. Bu gerilme şartları altında malzeme boyun verme veya çatlama gerçekleşinceye kadar plastik şekil değiştirme işlemi sürdürülür. Deney sonrası değerlendirme için boyun verme bölgesindeki, çatlak bölge-



Sekil 27. Metal sa yüzeyine çizilen deney iz-
gi türleri.

sindeki, veya çatlağın bitişindeki komşu daireler seçilir. Ancak bu seçim başlangıçta kesin yapılır ve tüm analizler için hep aynı bölgedeki daireler değerlendirilir.

Plastik deformasyon sırasında daireler bozulur ve elips şekline girer. Elipisin büyük ve küçük eksenleri deney numunesinin temel şekillendirme doğrultularını ifade eder. Başlangıçta d_0 çapında olan dairenin en büyük eksenini d_1 ve en küçük eksenini d_2 mikrometrelilik mikroskopda ölçü-
rek en büyük (e_1) ve en küçük (e_2) birim şekil değiştirme miktarları bulunur.

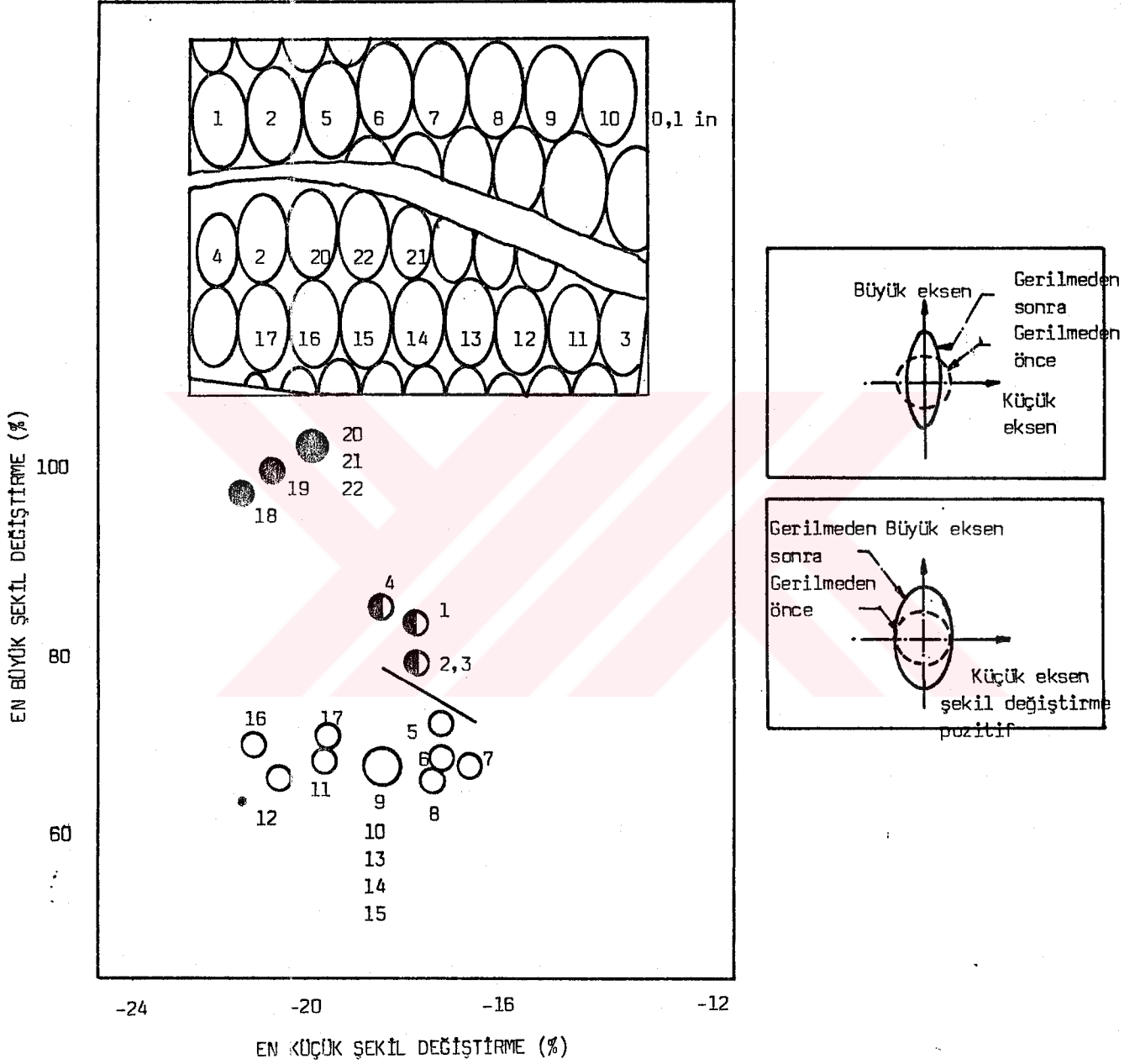
$$e_1 = \frac{d_1 - d_0}{d_0}$$

$$e_2 = \frac{d_2 - d_0}{d_0}$$

Değişik deneylerde, değişik şartlar için bulunan değerler bir diyagram üzerinde gösterildiğinde Şekil 26 da gösterilen diyagram elde edilir.

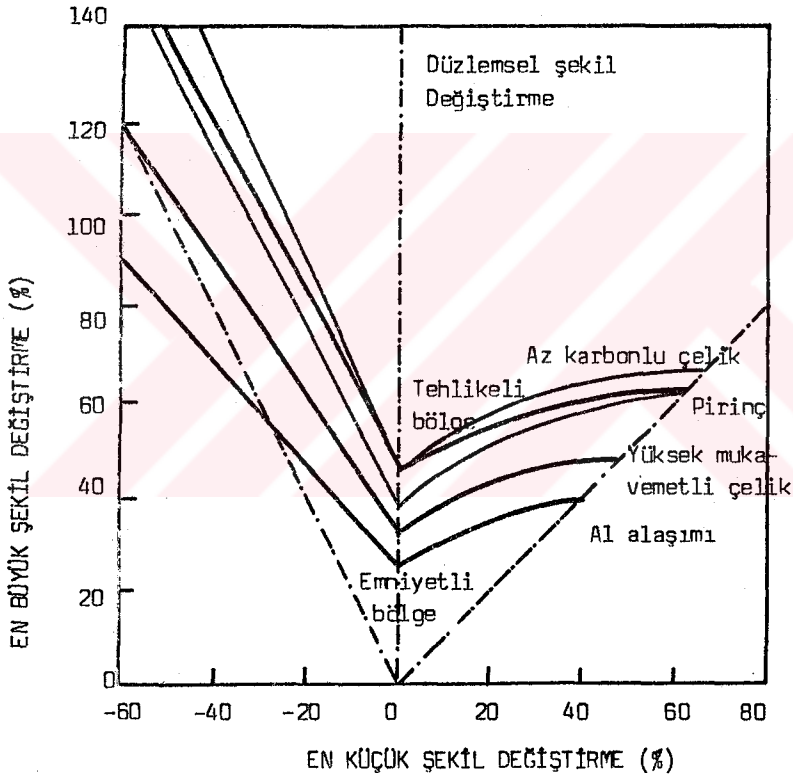
Çekme deneyinde bu diyagramın çizilmesi için ölçümlerin nasıl yapıldığı Şekil 28'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 28'deki küçük şekillerde en küçük şekil değiştirmenin nasıl pozitif veya negatif olduğu gösterilmektedir. Çatlak bölgesinde ve çevresinde ölçüm yapılarak çatlama sınır şekil değiştirme durumu diyagrama çizilmiştir. Sağlam kalan daireler ile çatlayan daireler arasında sınır çizilmiştir.

Biçimlendirme limit diyagramının üst bölgesi tehlikeli bölge, alt bölgesi emniyetli bölgedir. Diyagram ayrıca çekme-çekme ve Çekme-Basma tipi şekil değiştirme türlerinin bulunduğu iki bölgeye ayrılır. Çekme-Çekme (Germe) bölgesinde en büyük ve en küçük eksenler dğrultusundaki başlangıç daire çapından daha büyük olur. Bu bölge Erichsen ve şişirme deneylerinden faydalanılarak çizilir. Bu bölgede en küçük şekil değiştirme pozitifdir. Bu bölgeye ait ilk çalışmalar Keeler tarafından gerçekleştirilmiştir. Çekme-Basma bölgesinde birim şekil değiştirmeler, çekme ve derin çekme deneylerinden elde edilir. Bu bölgede en küçük birim şekil değiştirme negatif işaretlidir. Bu bölge ile ilgili ilk çalışmalar Godwin tarafından yapılmıştır. Biçimlendirme limit diyagramı Keeler-Goodwin diyagramı olarakta adlandırılır. Biçimlendirme sınır diyagramında e_2 nin sıfır olduğu nokta, düzlemsel şekil değiştirmeyi belirleyen noktadır. Farklı malzemelerin birbiriyle mukayesesinde bu noktaya ait değerler kullanılır. Farklı metallere ait biçimlendirme li-



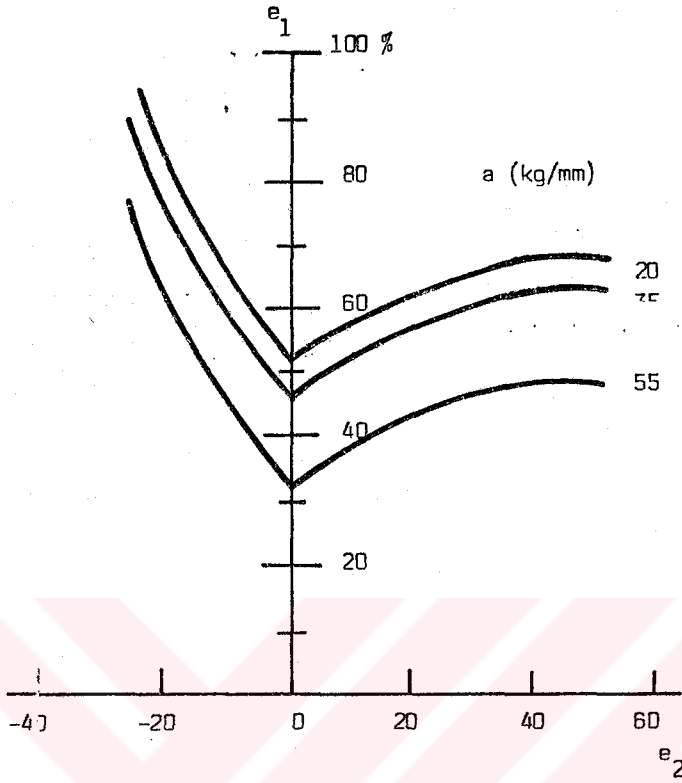
Şekil 28. Çekme deneyi kırılmış numunesinden birim şekillendirme oranının tesbiti.

mit diyagramları Şekil 29'da gösterilmiştir. Aynı çelik malzemelerde, malzeme mekanik özelliklerinin değişmeside BLD'yi etkilemektedir. Şekil 30'da aynı kalınlıkta olan fakat akma gerilmeleri farklı az karbonlu çeliklere ait BLD görülmektedir. Akma mukavemetinin yükselmesiyle şekil değiştirme kaabiliyetinin azaldığı açıkça görülmektedir.



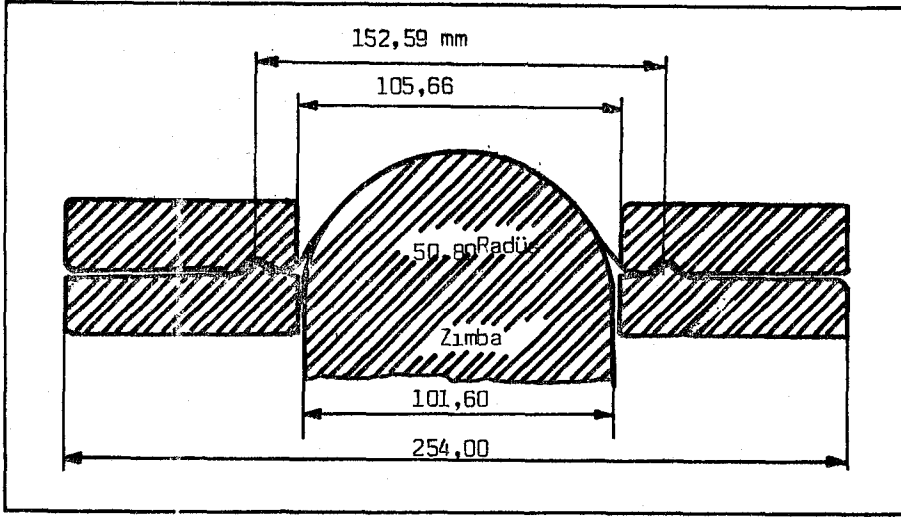
Şekil 29. Farklı metal saçlara ait biçimlendirme limit diyagramları.

Hecker BLD diyagramı çizimi için Şekil 31'de gösterilen aparatton faydalanarak yeni bir teknik geliştirmiştir. Bu yöntemde aynı saçtan farklı genişlikte numuneler kesilmektedir. Numune yüzeylerine deney çizgileri çizilmek-



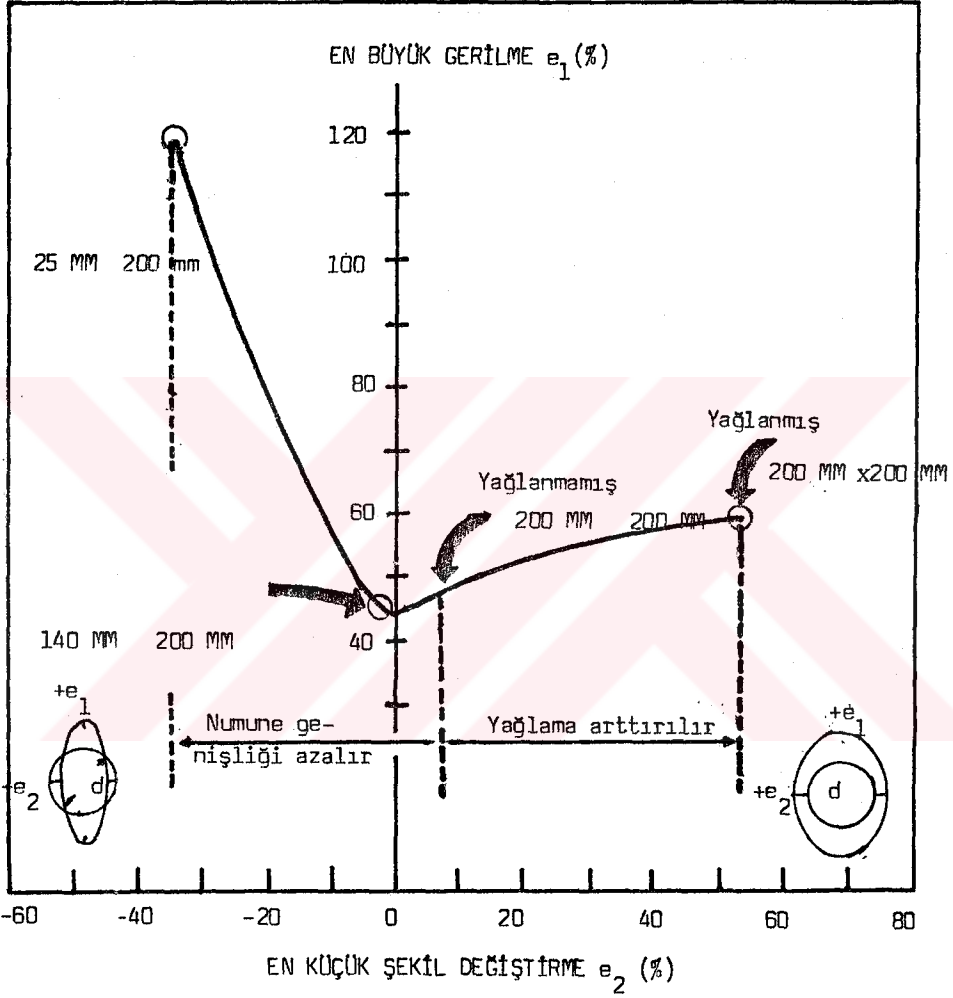
Şekil 30. Aynı kalınlığa sahip az karbonlu çelikte, akma gerilmesi ile biçimlendirme limit diyagramının değişimi.

tedir. Deney sırasında yağlama şartları değiştirilmektedir. Numune genişliği ve yağlama şartlarına bağlı olarak çökertmeye uğrayan numunelerde farklı deformasyon durumu teşekkül etmektedir. Kırılan numunelerde daha önce anlatılan yöntemler ile en küçük ve en büyük birim şekil değiştirmeler tesbit edilir. Bu yöntemle çizilmiş BLD Şekil 32'de gösterilmiştir. Numune genişliği küçüldükçe en küçük şekil değiştirme negatif olmaktadır. Yağlama şartı iyileştikçe en küçük şekil değiştirme değeri artmaktadır.



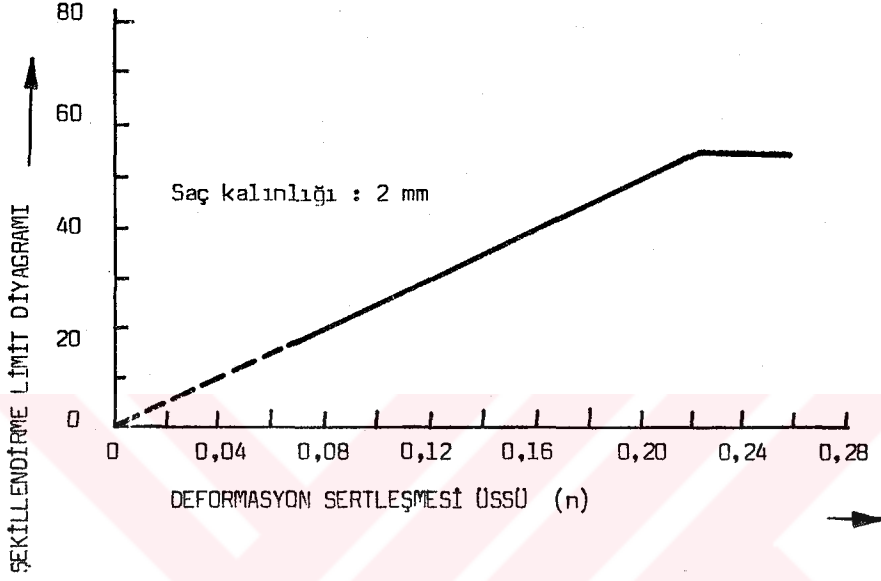
Şekil 31. Hecker deney aparatı.

Şekillendirme limit diyagramında eğrinin ordinatı, en küçük şekil değiştirmenin sıfır olduğu noktadan geçen eksen, kestiği nokta düzlemsel şekil değişim noktasını verir. Bu nokta malzemenin düzlemsel şekil değişimi sırasında en büyük uzama değerini gösterir. Bu noktanın değeri saç kalınlığına ve malzemenin deformasyon sertleşmesi üssüne bağlıdır. Çelik saçlar için şekillendirme limit diyagramındaki düzlemsel şekil değişimi noktasının malzeme n değerine göre değişimi Şekil 33 de gösterilmiştir. Deformasyon sertleşmesi üssü değeri 0.22 ye yükselene kadar şekillendirme limit diyagramı artış göstermektedir. Bu değerden sonra şekillendirme limit diyagramı sabit kalmaktadır. Saç kalınlığının şekillendirme limit diyagramı üzerinde benzer bir etki yaptığı Şekil 34 de görülmektedir. 4.5 mm kalınlığına kadar şekillendirme limit diyagramı lineer olarak artış göstermekte ve bu kalınlıktan sonra basit kalmaktadır.



Şekil 32. Hecker yöntemiyle BLD çizimi.

Kalıp aşınmasını incelemek için ara kontrol işlemlerinde yeni bir malzeme partisinin, yeni bir yağlayıcı partisinin davranışını belirleme işlemlerinde veya şartlarda değişiklik yapmak gerektiğinde, plastik şekil değiştirme

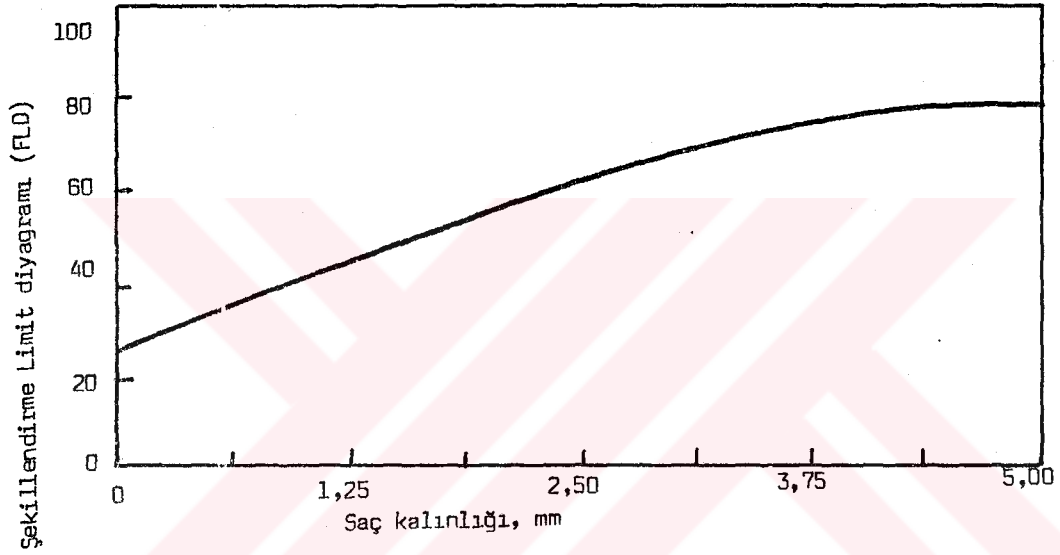


Şekil 33. Çelik saçlar için şekillendirme limit diyagramındaki düzlemsel şekil değişimi noktasının deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerine göre değişimi.

analizi ve B.L.D.den yararlanma yoluna gidilir.

Keeler-Goodwin diyagramı genelde gererek biçimlendirme ve derin çekme işlemleri için geçerlidir. Diğer biçimlendirme işlemleri için plastik şekil değiştirme analizleri yapılarak farklı sınır diyagramları çizilebilir.

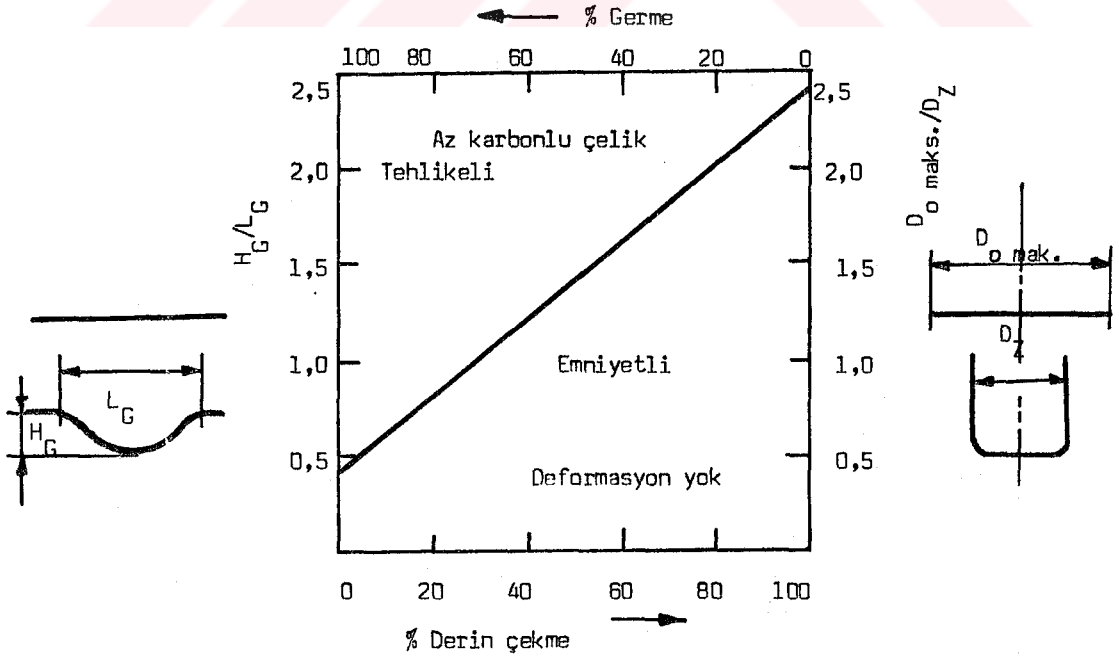
Taşıtların saç aksamalarında olduğu gibi bazı parçalar şekil alarak oldukça karmaşıktır. Bu parçaların üre-



Şekil 34. Çelik saçlar için şekillendirme limit diyagramındaki düzlemsel şekil değişimi noktasının saç kalınlığına göre değişimi.

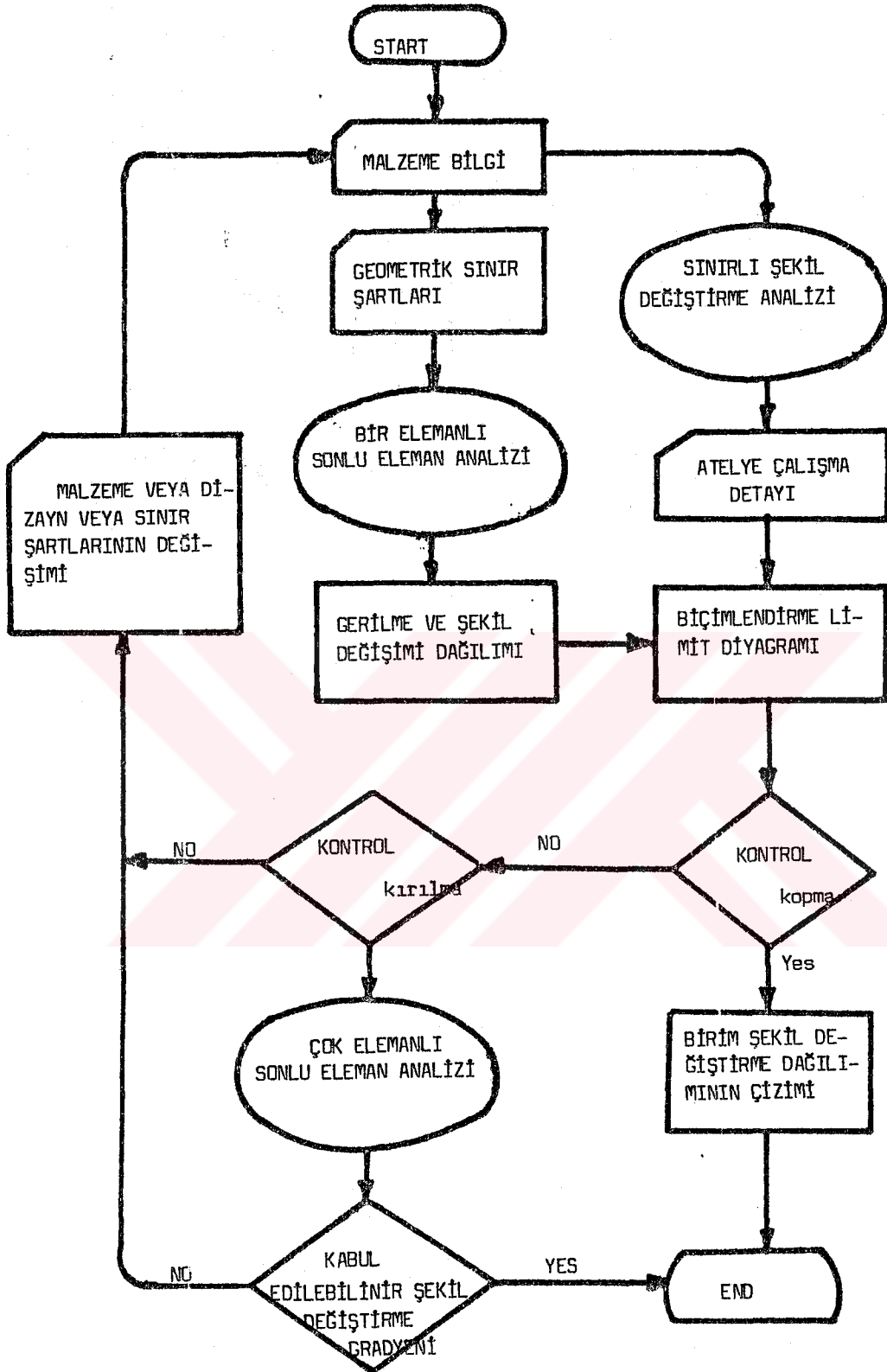
timi için tamamen derin çekme ne de tamamen gererek biçimlendirme işlemi şartları uygulanır. Örneğin biçimlendirme işleminin başlangıcında gererek biçimlendirme işlemi şartları, daha sonra derin çekme işlemi şartları uygulanarak parça elde edilir. Başlangıçta taslak tamamen bağlıdır,

Biçimlendirme malzeme kalınlığının azalması ile sağlanır. Daha sonra sıkıştırma kalıbı gevşetilerek, taslağın uygun bir şekilde kalıp içine çekilmesi sağlanır. Çoğu kez biçimlendirme sınırına yakın bölgelerde çalışılır. İşlem sıkı kontrol altında yapılmazsa, çatlama olayı ile karşılaşılabilir. Böyle durumlarda gererek biçimlendirme oranı sınırı ve derin derin çekme oranı sınırı değerleri uç noktalar olarak kullanılır. Şekil 35'deki gibi birleşik sınır diyagramı çizilir. Burada inceleme konusu olan bölgedeki şekil değiştirme miktarının % kaç gererek biçimlendirme, % kaç derin çekme işlemi ile gerçekleştiğini bilmek gerekir. Karmaşık şekilli parçaların oldukça pahalı olan kalıp imalatına başlamadan önce plastik şekil değiştirme analizlerinden yararlanarak işlemin başarılı olup olamayacağını tahmin etmek gerekir. Bu aşamada kalıp tasarımında alınacak önlemlerle sağlam parça üretimi daha kolay olarak gerçekleştirilebilir.



Sekil 35. Az karbonlu çelik saçların birleşik sınır diyagramına ait örnek.

Computer kontrollü saç metal şekillendirme yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Dizayn safhasında preslenen saçta belli bir malzemenin başarılı olup olamayacağını tayin etmek için bir program geliştirilmiştir. Bu programın en önemli hususu şekillendirilecek parçanın kritik noktalarında en büyük ve en küçük birim şekil değiştirmelerin hesaplanmasıdır. Hesaplanan birim şekil değiştirmeler kullanılacak malzemenin biçimlendirme limit diyagramıyla karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonunda müsbet sonuç alınmazsa konstrüktör dizaynı veya üretim yöntemini veya şekillendirme değişkenlerini (Geometri, malzeme cinsi, yükleme metodu, sınır şartları, kalıp dizaynı vb.) değiştirme suretiyle müsbet sonuca ulaşabilmektedir. Böyle bir program Şekil 36 da görülmektedir.



Şekil 36. Şekillendirme analizi için kullanılan komputer programının akış diyagramı.

4. ŞEKİLLENDİRME KAABİLİYETİNE TESİR EDEN FAKTÖRLER

Çelik saçların şekillendirme kaabiliyetine tesir eden faktörlerin başlıcaları malzeme temel özellikleri, kimyasal bileşim, mikroyapı, saç üretim yöntemi, taslak hazırlama, kalıp geometrisi ve şekillendirme şartlarıdır. Bu faktörler birbirleriyle yakından bağlantılıdır. Bu faktörlerin tesirleri aşağıda tek tek açıklanacaktır.

4.1. MALZEME TEMEL ÖZELLİKLERİNİN TESİRLERİ

Şekillendirilecek saçın kalınlığı önemli özelliklerin başında gelir. Saç kalın oldukça şekillendirme sırasında kalınlık incelemesi daha fazla olacağından germe ve derin çekme oranı artacaktır. Saç kalınlığının Erichsen deneyi üzerindeki tesirleri ve şekillendirme limit diyagramı üzerindeki tesirleri sırasıyla Şekil 22 ve Şekil 34 de görülmektedir. Her iki şekilde de saç kalınlığına bağlı olarak şekillendirme kaabiliyeti artmaktadır.

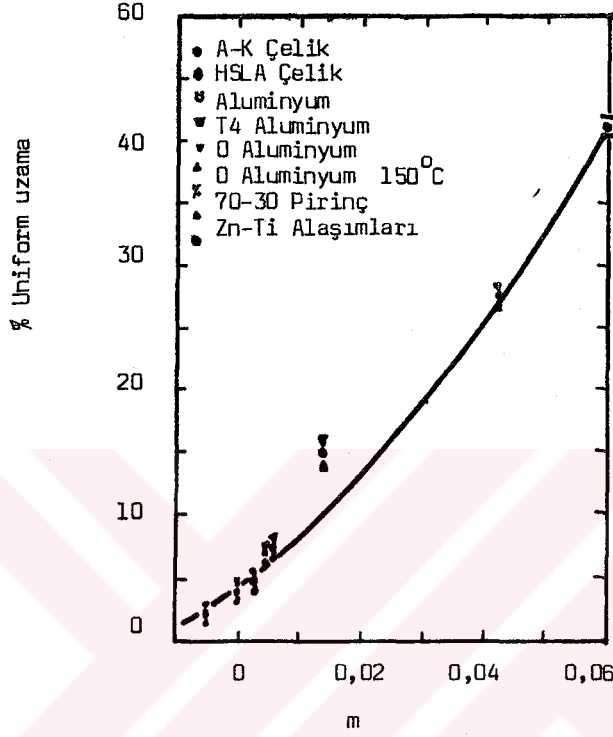
Matematik hesapları göstermiştir ki deformasyon sertleşmesi üssü (n) değeri çekme deneyindeki boyun vermenin başladığı gerçek üniform uzama değerine eşittir. n değerinin yüksek olması malzemenin boyun vermeye olan direncinin yüksek olduğunu gösterir. Deformasyon sertleşmesi üssünün esas tesiri, germe şekillendirilmesinde görülmektedir. n değerinin biçimlendirme limit diyagramındaki nasıl artırdığı Şekil 33 de görülmektedir. Bir çelik saçın deformasyon üssü değeri arttıkça germe şekillendirme kaabiliyeti veya gererek biçimlendirme oranı sınırı artış göstermektedir. n değerinin derin çekme şekillendirme işlemi üzerindeki tesiri çok azdır.

Deformasyon sertleşmesi üssü değerinin artması halinde deformasyon sırasında saç daha fazla şekillendirme sertleşmesine maruz kalacağından şekillendirilen parçada, birim şekillendirme gradyeni azalır. Zira daha fazla şekillenen bölge daha fazla sertleşeceğinden bu bölgenin sertleşmesi için daha yüksek gerilmelere ihtiyaç vardır. Yüksek gerilmeyi sağlamayan dış şekillendirme yükleri uygulandığında bu yük komşu elemanlara intikal eder.

Bu yükün tesiri altında komşu elemanlarda şekillendirmeye maruz kaldığından iş parçasında şekil değiştirme gradyeni azalmış olur. Yani deformasyon sertleşme üssü değeri yüksek olan saçlarda şekil değiştirme dağılımı daha homogen olmaktadır. Bunun sonucu olarak derin, kompleks şekilli parçalar yüksek (n) değerli malzemelerden üretilmektedir.

Malzemenin deformasyon hızı duyarlılığı üssü değeri şekil değiştirme gradyeni dağılımı üzerinde önemli rol oynar. Preste zimba ile germe işleminde şekil değiştirme konsantrasyonuna bağlı olarak hemen şekillendirme gradyeni teşekkül eder. Bu nedenle zimba ile germe işleminde deformasyonun başlamasıyla birlikte m değeri önemli olur. m değeri arttıkça zimba ile germe işi kolaylaşmaktadır. Şekil 37 de muhtelif metallerin m değeri ile çekme deneyinde ölçülen % de üniform uzamanın nasıl değiştiği görülmektedir. m değeri arttıkça üniform uzama artmakta ve dolayısıyla saçın germe ile şekillendirme kabiliyeti artmaktadır. Metalik saçlarda şekillendirme gerilmesi ve deformasyon hızı duyarlılığı üssü arasında aşağıdaki bağıntı mevcuttur :

$$\sigma = C \cdot \dot{\epsilon}^m$$



Şekil 37. Metal saçlarda deformasyon hızı duyarlılığı üssü değerine bağlı olarak % de üniform uzama değerinin değişimi.

σ = Deformasyon gerilmesi

C = Malzeme sabitesi

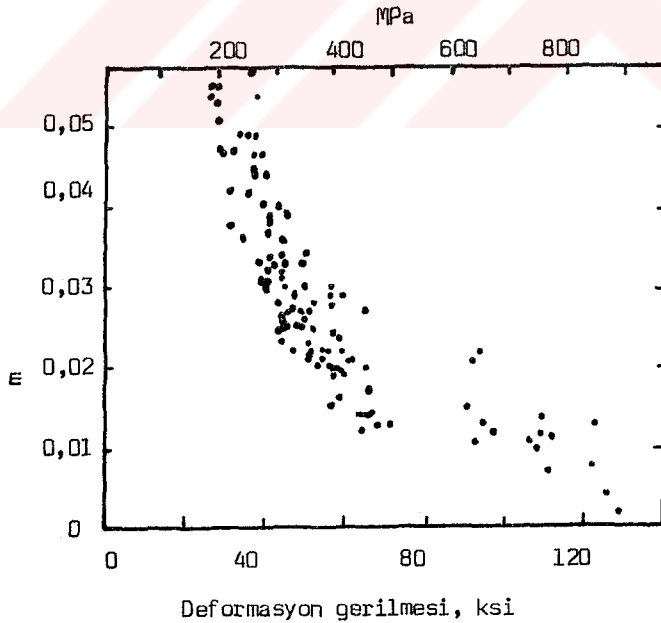
$\dot{\epsilon}$ = Deformasyon hızı

m = Deformasyon hızı duyarlılığı üssü.

Çelik saçlarda m değerinin deformasyon gerilmesi üzerindeki tesiri Şekil 38'de görülmektedir m değeri arttıkça gerilme azalmaktadır. Yani deformasyon hızı duyarlılığı üssü arttıkça şekillendirme kolaylaşmaktadır bu kolaylık germe şekillendirmesinde pozitif rol oynamaktadır.

Deformasyon sertleşmesi üssü n ve deformasyon hızı duyarlılığı üssü m değerlerinin yüksek olması derin çekme işlemini olumlu yönde etkilemelerine rağmen, etkinlikleri azdır.

Derin çekme kabiliyetini etkileyen en önemli mekanik özellik R dikey anizotropi katsayısıdır. Dikey anizotropi katsayısı ise malzemenin kristallografik yapısına ve kristallografik yönlenmesine bağlıdır. Saç üretim şart-



Şekil 38. Çelik saçlarda deformasyon hızı duyarlılığı üssü değerine bağlı olarak, deformasyon gerilmesinin değişimi.

larına bağlı olarak sa içerisinde metalik yönlenmeler te-
ekkl etmektedir. Dikey anizotropi değerinin (\bar{R}) yüksek
olduğu saçlarda düzlemsel anizotropi değeri (ΔR) de yüksek
olmaktadır. ΔR 'nin yüksek olması Şekillendirilen parçada
fazla kulaklanma olacağını gösterir. Kulaklanma ise, kulak-
ların parçadan kesilmesi gerektiğinden, hem operasyon sayı-
sı artmakta, hemde malzeme sarfiyatı fazlalaŖmaktadır. Bu
dezavantajı ortadan kaldırmak için elik üreticileri \bar{R} de-
ęeri yüksek ve ΔR değeri sıfır olan sa üretimi üzerinde
araŖtırmalar yapmaktadırlar. Dikey anizotropi katsayısının
germe ile Şekillendirme üzerinde tesiri hemen hemen yok gi-
bidir.

Tablo 4 ve 5 de bazı elik saçların mekanik özel-
likleri verilmiŖtir. Tablo 4 de çeliklerin kimyasal bile-
Ŗimi ve üretim özelliği belirtilmiŖ olup, kalınlıkları ve
mekanik zellikleri Tablo 5'de gsterilmiŖtir. Bu elikler
piyasada en fazla kullanılan alaŖımsız elik sa türleridir.

Tablo : 4

En fazla kullanılan az karbonlu alaşımsız çelik saçların kimyasal bileşimi.

No.	Çelik Turu	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cu	N(ppm)	% Al
1.	Kaynar tavlı ¹	0,033	0,32	0,01	0,008	0,010	0,005	24	0,002
2.	Al söndürülmüş tavlı ²	0,052	0,35	0,01	0,004	0,018	0,009	16	0,052
3.	Al söndürülmüş tavlı ²	0,050	0,30	0,01	0,003	0,016	0,022	113	0,047
4.	Kaynar ^{1,2}	0,041	0,31	0,01	0,004	0,009	0,006	18	0,003
5.	Kaynar ^{1,4}	0,046	0,31	0,01	0,003	0,008	0,040	64	0,001
6.	Kaynar ^{2,4}	0,047	0,42	0,01	0,003	0,006	0,009	26	0,001
7.	Al söndürülmüş ^{2,4}	0,008	0,31	0,01	0,006	0,019	0,028	67	0,043
8.	Al söndürülmüş ^{2,5}	0,023	0,31	0,01	0,003	0,010	0,028	73	0,057
9.	Kaynar ^{2,5}	0,032	0,23	0,01	0,003	0,005	0,074	55	0,006

(1) Ticari kalite

(3) Temper haddelenmiş

(5) Kalay kaplanmış

(2) Derin çekme kalite

(4) Sıcak daldırma galvanizlenmiş

Tablo : 5

Tablo 4'de kimyasal bileşimi verilen saçların mekanik özellikleri.

Çelik no.	Akma gerilmesi MPa	Çekme gerilmesi MPa	n	$\bar{\sigma}$	Uniform uzama %	Toplam uzama %	m	Kalınlık mm
1	217	299	0,250	1,22	26,9	44,3	0,010	0,86
2	178	311	0,235	1,68	26,6	44,1	0,011	0,86
3	175	298	0,231	1,22	25,2	44,9	-	0,89
4	210	302	0,207	1,26	25,0	45,6	-	0,84
5	319	364	0,160	1,19	18,4	29,0	-	0,89
6	246	314	0,210	1,05	23,6	40,0	-	0,89
7	225	293	0,217	0,89	25,5	40,8	-	0,97
8	255	336	0,180	0,88	20,0	32,3	-	1,08
9	273	338	0,181	0,94	20,8	35,3	-	0,81

4.2. KİMYASAL BİLEŞİMİN TESİRLERİ

Çelik bileşimine üretim sırasında geçen ve temizlenmesi zor olan bazı elementler saçların kalitesine çeşitli etkiler yapmaktadır. Derin çekme kalite saçların bileşiminde P,S,N,CU,Sb,As,Cr gibi elementlerin mümkün olduğu kadar azalması istenir.

C, miktarı soğuk şekil değiştirmeden dolayı % 0,08 i pek geçmemeli ve bilhassa söndürülmemiş çeliklerde kabataanelerin ortaya çıkması tehlikesinden dolayı % 0,05 in altına düşürülmemelidir.

Mn, sertliği sertliği arttıcı yöndeki eğiliminden dolayı, metalurjik hadde tekniği açısından gerekli olan sınırın, % 0,35 i üzerine pek çıkmamalıdır.

Si, çeliğin şekillendirilmesine kötü etkisinden dolayı gayet düşük (% 0,010 maksimum) olmalıdır.

P, söndürülmemiş çeliklerden üretilen saçların çekilebilirlik oranı R değerini yükseltirse de, soğuk şekillendirme için önemli olan mekanik özellik değerlerini düşürür, kırılganlık yapar.

Sb, söndürülmemiş çeliklerden en iyi haddeleme ve tavlama şartlarında üretilen saçların çekilebilirlik oranı R değerini yükseltir.

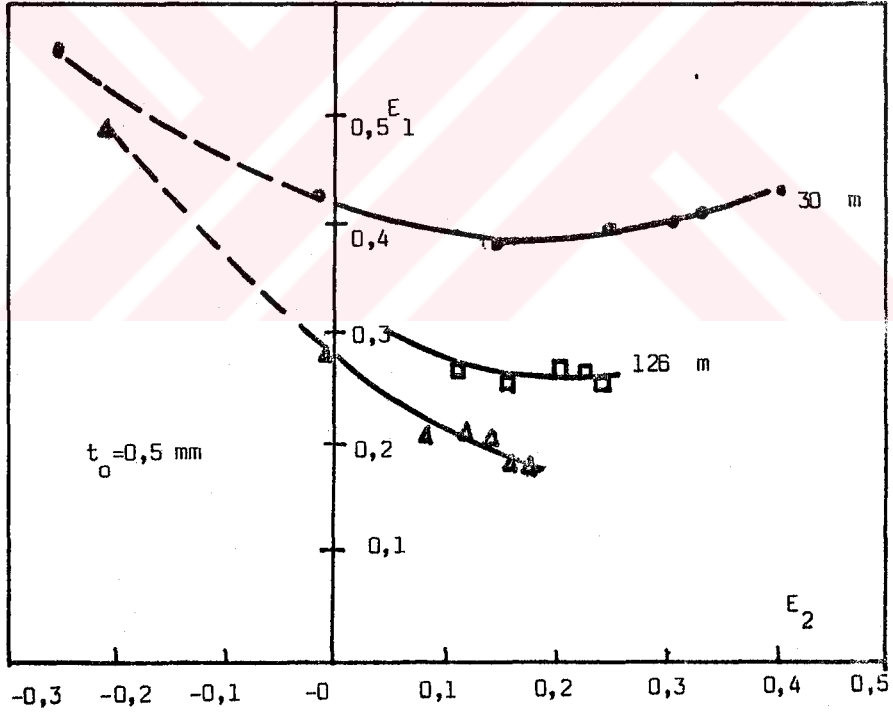
CU, söndürülmemiş çeliklerden üretilen saçların çekilebilirlik oranı R değerini yükseltirserde deformasyon sertleşmesi üssünü n azaltacağından düşük olması istenir. CU, % 0,15-0,20 civarında bulunur.

N, azot çeliklerde süreksiz akma olayına (akma uzamasına) sebep olduğundan mümkün olduğunca düşük olması istenir. Azot atom boyutu demir atomlarına nazaran çok küçük olduğundan oda sıcaklığında bile çelik içerisinde yayınabilmektedir, diffüze olabilmektedir. Çelik saçlar istenilen kalınlığa soğuk haddelendikten sonra tavlansarak sünek hale getirilir. Tavlama sonrası temper haddesi (% 0,5 deformasyon yapan haddelendirme işlemi) yapılarak piyasaya verilir. Temper haddesi yapılan çelik saçlarda akma gözükmez. Kaynar çelik (deokside, edilmemiş) saçlar oda sıcaklığında dört hafta kadar bekletildiğinde yaşlanma gösterirler. Çelik içerisinde bulunan empürüte azot atomları dislokasyonlar çevresine yayılarak dislokasyon hareketini engellemekte ve bunun sonucu olarak saçta akma olayı meydana gelmektedir. Bu süreksiz akma olayı şekillendirilen saç yüzeyinde Lüders bantları adı verilen çizgilerin teşekkülüne sebebiyet vermektedir. Lüders bantları hem germe ile şekillendirilen hemde derin çekilen parçalarda görülmekte ve parça yüzey kalitesini bozmaktadır. Azotun bu negatif tesirini azaltmak için azot oranını Minimuma indirmemiz gerekir.

Al, derin çekme kalite saçların üretiminde deoksiasyon için kullanılır. Alüminyum ile söndürülmüş (sıvı haldeyken Al ilave edilmiş) çeliklerde Alüminyum oksijen Atomlarının yanı sıra azot atomlarının da bağlar. Böylece alüminyum azotun alumsuz tesirini azaltmaktadır. Alüminyum ile söndürülmüş çelik saçlar temper haddesinden sonra oda sıcaklığında altı ay bekletilseler bile, süreksiz akma olayı göstermezler. Alüminyumun diğer bir avantajı da tane boyutunun küçük olmasını sağlamasıdır. Alüminyumla söndürülmüş çelik saçların mukavemeti, sünekliliği, germe ve derin çekme kabiliyeti artmaktadır.

4.3. MİKRO YAPININ TESİRLERİ

Çelik tane boyutunun şekillendirme ve yüzey kalitesi üzerinde tesirleri mevcuttur. Tane boyutu küçüldükçe süneklik arttığından şekillenme kabiliyeti artmaktadır. Şekil 39'da tane boyutunun biçimlendirme limit diyagramı üzerindeki tesiri görülmektedir. Tane boyutu küçüldükçe Şekil 39'da görüldüğü gibi, şekillendirme kabiliyeti artmaktadır.



Şekil 39. Kartuj pirincinde tane boyutunun biçimlendirme limit diyagramı üzerindeki tesirleri.

Presle şekillendirilen saçların deformasyon bölgelerindeki yüzey pürüzlülüğü tane boyutunun bir fonksiyonudur. Tane boyutu küçüldükçe yüzey pürüzlülüğü azalır. Tane boyutu arttıkça yüzey kalitesi düşer ve deforme olmuş bölgeler portakal kabuğu gibi pürüzlü bir yüzey arz eder. Bu yüzeylerin boyanması veya kaplanması çok zor olmaktadır bu nedenle şekillendirilecek malzemelerin tane boyutu küçük olması gerekir.

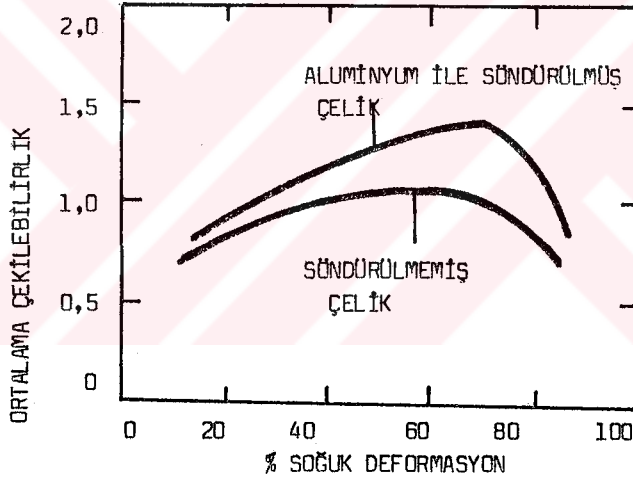
Çelik saçlarda inkuluzyonlar, segregasyonlar, porozite (gözenekler noktasal boşluklar) gibi mikro yapı hataları yönlenme gösterirler. Bu mikro yapı hataları haddeme doğrultusuna paralel uzama gösterirler. Bu hatalar mikro yapının içerisindeki sürekliliği bozar ve gerilme altında boşluk gibi davranırlar. Bu hataların içerisinde bilhassa inkülüzyonlar çok önemlidir. İnkülüzyonlar metalik olmayan kalıntılardır. İnkülüzyonların hacim oranı arttıkça malzemenin mukavemeti ve bilhassa sünekliği, şekillendirme kabiliyeti azalır. Bu nedenle inkülüzyonların azaltılması gerekir. Çelik içerisinde istemediğimiz halde bulunan kü-kürt ve oksijen atomlarının miktarının azaltılması gerekir. Sıvı çeliğe deoksidasyon ve kükürt giderme işlemleri uygulanarak kükürt ve oksijen oranı minimum seviyeye indirilir.

4.4. SAÇ ÜRETİM ŞARTLARININ TESİRLERİ

Yapılan araştırmalar sonucu, anizotropinin sıcak ve soğuk haddeme ile değiştiği tesbit edilmiştir. Yeniden kristalleşme tavlama öncesi yapılan soğuk işlem miktarının, son sıcak haddeme ve sargı sıcaklıklarının da çekilebilirlik oranını etkileyen birer faktör oldukları tesbit edilmiştir.

Yapılan deneylerde, soğuk deformasyon ve tavlama sonunda elde edilen malzeme yapısının, soğuk deformasyon miktarının artışı ile derin çekmeye uygun bir şekilde değiştiği görülmüştür. Yapıdaki değişim \bar{R} ve R değerlerine de yansır.

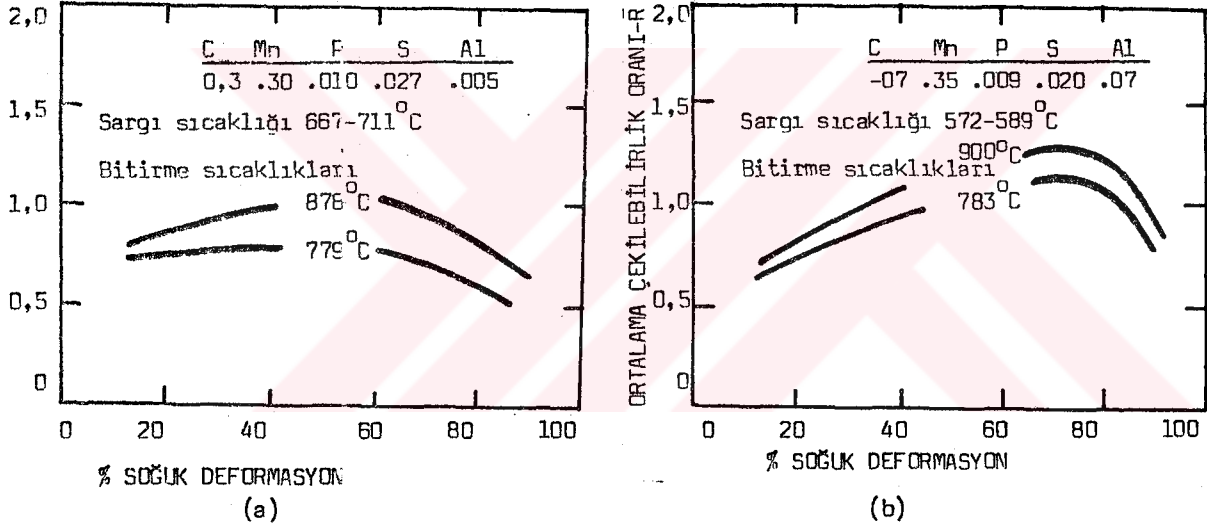
Şekil 40'da söndürülmemiş ve Al ile söndürülmüş bir çelikte soğuk haddeleme miktarının ortalama çekilebilirlik oranına \bar{R} etkisi görülmektedir.



Şekil 40. Tavlama öncesi yapılan soğuk deformasyon miktarının ortalama çekilebilirlik oranına etkisi.

Şekil 40'da görülen % 50-70 soğuk deformasyon ve tavlama sonucu çekilebilirlik oranında meydana gelen artma, söndürülmemiş ve Alüminyum ile söndürülmüş bir çok çelikte de görülmüştür. Çekilebilirlik oranı belirli bir değere kadar arttıkça derin çekilme kabiliyeti iyileşeceğinden de-

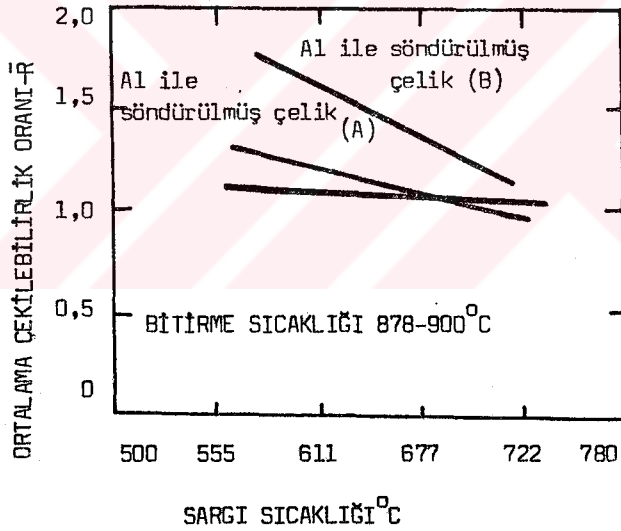
rin çekme işlemlerinde kullanılacak çeliklerde soğuk haddeleme miktarı % 60 civarında olmalıdır. Ayrıca Alüminyum ile söndürülmüş çeliğin çekilebilirlik oranının daha yüksek oluşuda dikkate değerdir. Alüminyum tane küçültücü etkisi çekilebilirliğin artmasının nedenidir. Şekil 41'de soğuk haddeleme öncesi yapılan sıcak haddelemede, son haddeleme sıcaklığının ortalama çekilebilirlik oranına etkisini, söndürülmüş ve söndürülmemiş çeliklerde göstermektedir. Genel olarak



Şekil 41. Söndürülmemiş (a) ve söndürülmüş (b) bir çelik için farklı son sıcak haddeleme sıcaklığı ile soğuk deformasyon miktarının ortalama çekilebilirlik oranına etkisi.

son sıcak haddeleme sıcaklığı azaldıkça, iç yapıda bantlaşma olmakta ve çekilebilirlik oranı düşmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta tavlanan saçlarda soğuk deformasyon sonrası uygun tavlama rejimi uygulanmazsa tane büyümesi sonucu çekilebilirlik oranında tekrar düşme görülür.

Sargı sıcaklığının da çekilebilirlik oranına R etkisi vardır. Çelik sıcak sarıldığında soğuk sarılmaya nazaran daha düşük bir \bar{R} değerine sahip olmaktadır. Bunun nedeni de yine tane boyutu ile ilgilidir. Eğer son haddeleme sıcaklığı yeterince yüksekse, sargı sıcaklığının söndürülmemiş çeliklerde çekilebilirlik oranına etkisi azdır, ancak Alüminyum ile söndürülmüş çeliklerde, bobin sargı sıcaklığı önem kazanır. Şekil 42'de Alüminyum ile söndürülmüş çelikte sargı sıcaklığı arttıkça ortalama çekilebilirlik oranı azalmaktadır.



Şekil 42. Bir söndürülmemiş ve iki Alüminyum ile söndürülmemiş çelikte bobin sargı sıcaklığının \bar{R} değerine etkisi. Söndürülmemiş ve Alüminyum ile söndürülmemiş A çeliği Şekil 41'deki bileşimi sahiptir, B çeliği ise (% olarak), C=0,06 Mn=0,33, P = 0,009, S=0,027, Al = 0,36 bileşimindedir.

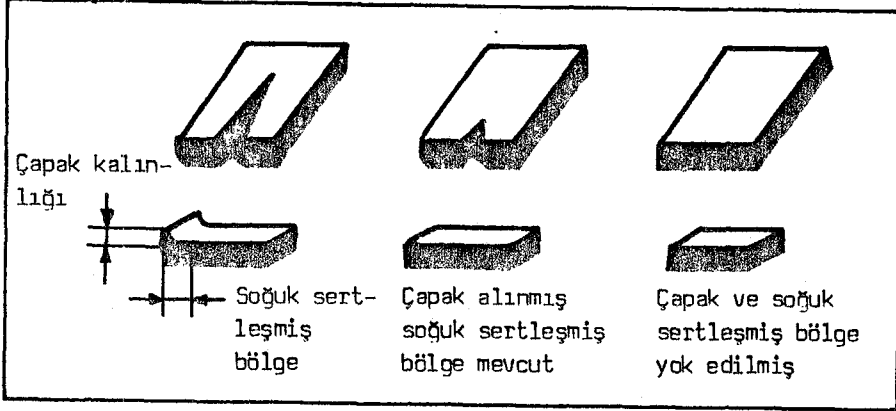
4.5. TASLAĞIN TESİRLERİ

Saç preslemesinde önemli faktörlerden bir tanesinde taslaktır. Üreticilerin büyük bir kısmı saç tabakasından en fazla sayıda taslak üretmeyi kendilerine hedef almışlardır. Ancak saç malzemesi özelliklerinin yönlere bağlı olarak değişmesinden dolayı taslak sayısı kadar bitmiş parça üretmek mümkün olmamaktadır. Taslağın uygun olmayan yöünden şekillendirme yapılması halinde parçada hasar meydana gelmektedir.

Taslakta dikkat edilmesi gereken ikinci bir uzunlukta taslağın kenar uzunluklarıdır. Taslak kenarı pürüzlü veya çapaklı ise şekillendirme kabiliyeti genellikle azalır. Bilhassa pürüzlü kısım şekillendirilmiş kısım dış kısımlarına raslar ise hasar ihtimali daha fazla büyür. Kesilen kenar boyunca şekillendirme sırasında çekme kuvvetleri teşekkül ederse çoğu kez çatlamlar ve yırtılmalar meydana gelmektedir. Bu problemlerin çoğu kesme bıçaklarının körlüğünden veya kesme boşluğunun uygun seçilmemesinden ileri gelir. Kesme çapağı yüksek oranda şekil değişimine maruz kalırsa Şekil 43'de görüldüğü gibi çatlak teşekkül etmektedir. Çapak kısmının çevresinde soğuk şekillenmeyle sertleşmiş dar bir bölge vardır. Bu bölgenin şekillendirme kabiliyeti düşük olduğu için deformasyon sırasında buradan çatlamaktadır. Çapağın ve bu soğuk şekillendirilmiş bölgenin kaldırılmasıyla çatlak ihtimali kısmen veya tamamen giderilir.

4.6. KALIP GEOMETRİSİNİN ETKİSİ

Kalıp geometrisi açısından derin çekme kabiliyetini etkileyen önemli parametreler kalıp eğrilik yarıçapı (R_K), Zimba eğrilik yarı çapı (R_Z) ve zimba ile kalıp ara-



Şekil 43. Çapak ve çapak bölgesindeki soğuk sertleşmiş bölgenin çatlama ihtimali üzerindeki etkileri.

sındaki boşluk (e) mesafesidir. Derin çekme işleminde çatlama-ya karşı en zayıf bölge parça yan duvarının tabana yakın olan bölgesidir. Bu bölgedeki gerilme zımbanın uygulandığı kuvvete doğrudan bağlıdır. Dolayısıyla zımbanın uygulayacağı kuvveti azaltıcı önlemler, parçanın çatlama ihtimalini de azaltır.

Malzemenin kalıba girişindeki kalıp eğrilik yarı-çapının (R_K) seçimi önemlidir. $R_K=0$ durumunda malzeme rahat hareket edemez, kesme işlemine benzer bir durum söz konusu

olur. Belirli derin çekme kuralları için R_K değerinin artması, derin çekme kuvvetini azaltır, dolayısıyla derin çekme oranını artırır. Ancak R_K değeri sınırsız olarak artırılamaz, Çünkü aşırı durumda sıkıştırma kalıbının etki alanı azalacağından taslak çevresinde veya ürünün yan duvarlarında kırışıklık ve erken hasar görülür. Tecrübelerin ışığı altında kalıp eğrilik yarı çapı tayini :

$$\text{Çelik malzemelerde : } R_K = 0,8 \quad (d_o - d_z) t_o$$

$$\text{Aluminyum ve alaşımlarında: } R_K = 0,9 \quad (d_o - d_z) t_o$$

bağıntıları kullanılmaktadır. Burada t_o malzemenin orijinal kalınlığıdır. İkinci ve daha sonraki yeniden derin çekme işlemlerinde,

$$R_K = \frac{d_{n-1} - d_n}{2}$$

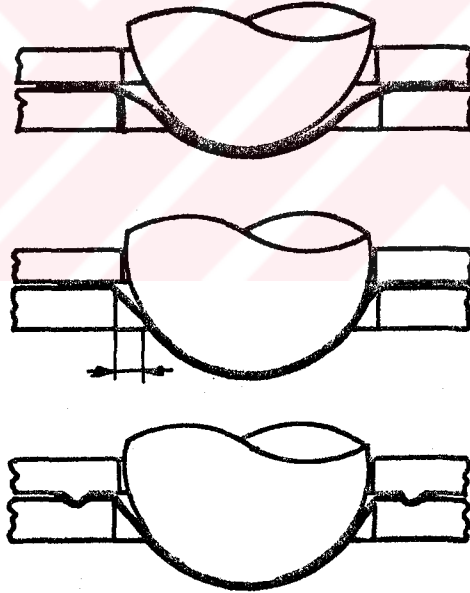
bağıntısından kalıp eğrilik yarıçapı tayin edilir. Bu bağıntıda d_n parçanın son yarı çapı, d_{n-1} ise parçanın bir önceki yeniden derin çekme işlemindeki çapıdır. Saçın zımba tarafından hasara uğratılmaması için zımba taban kenarının yuvarlatılması gerekir. Zımba eğrilik yarıçapının artması derin çekme kuvvetini azaltır, derin çekme oranını da artırır. Genel olarak zımba eğrilik yarıçapı (R_Z) Malzeme kalınlığına (t_o) bağlı olarak seçilir.

Deney Cihazının Ana Parçaları ile Numunelerin Boyutları

İşareti	Parçanın Adı	Anlamı	Genişliği 90 mm den fazla olan saç ve bandlar için		Genişliği 90 mm den az olan saç ve bandlar için	
			Boyutu mm	Boyutu mm	Boyutu mm	Boyutu mm
a	Numune	Numune kalınlığı	0,2-2,0	2-3	0,2-1,0	0,2-2,0
b		Numune genişliği	90 -100	90-100	30-55	55-90
l		Numune uzunluğu (min) (üç çöktürme yapmak için)	270	400	270	270
D	Küresel uçlu zamba	Küresel ucun çapı	20 ± 0,05	20 ± 0,05	8 ± 0,02	15 ± 0,02
D ₁		Kalıbın delik çapı	27 ± 0,05	40 ± 0,05	11 ± 0,02	21 ± 0,02
D ₂		Kalıbın dış çapı	55 ± 0,1	70 ± 0,1	55 ± 0,1	55 ± 0,1
r ₁		Kalıbın iç tarafındaki köşe yarıçapı.	0,75 ± 0,05	2 ± 0,05	0,75 ± 0,05	0,75 ± 0,05
r ₂		Kalıbın dış tarafındaki köşe yarıçapı.	0,75 ± 0,05	1 ± 0,05	0,75 ± 0,05	0,75 ± 0,05
h		Kalıbın delik derinliği.	3 ± 0,1	6 ± 0,1	3 ± 0,1	3 ± 0,1
-		Kalıbın kalınlığı (min)	20	20	20	20
D ₃		Tutucu çemberin delik çapı	33 ± 0,1	33 ± 0,1	10 ± 0,1	18 ± 0,1
-	Tutucu çember	Tutucu çemberin dış çapı	55 ± 0,1	55 ± 0,1	55 ± 0,1	55 ± 0,1
r ₃		Tutucu çemberin dış tarafında köşe yarı çapı	0,75 ± 0,1	1 ± 0,1	0,75 ± 0,1	0,75 ± 0,1
-		Tutucu çemberin kalınlığı (min).	20	20	20	20

$$R_Z \approx (5 \text{ ilâ } 10) t_0$$

parça tabanının keskin köşeli veya küçük eğrilik yarı çapına sahip olması istenirse, malzeme önce eğrilik yarı yarı-çapı büyük olan zımba ile biçimlendirilir, daha sonra uygun bir zımba ile istenen boyutlara getirilir. R_Z değeri, Malzeme kalınlığının 10 katını geçmemelidir, aksi halde elde edilen ürünün yan duvarlarında kırışıklık görülür. Küresel şekilli parçaların biçimlendirme işleminde derin çekme ve gererek biçimlendirme yöntemleri beraberce uygulanır. Bu durumda malzemenin kırışmasını önlemek için Şekil 44 de görülen önlem alınır.



Şekil 44. Küresel tabanlı bir parçanın biçimlendirme işlemine ait örnek.

Malzeme önce en üst şekilde görüldüğü gibi çevresi boyunca iyice sıkıştırılarak hareket etmesi önlenir. Bu arada gererek biçimlendirme yoluyla kalınlık % 10-15 oranın-

da inceltilir ve parçanın ön biçimlenmesi sağlanır. Daha sonra ortadaki şekilde görüldüğü gibi, zımba ilerledikçe, sıkıştırma kuvvetinin azaltılıp malzemenin kalıp içine doğru hareketine müsaade edilmelidir. Ancak bu durumda oklarla belirtilen bölgede malzeme serbest kalacağından kırılmaya uğrayabilir. Kırışmanın önlenmesi için malzeme bir yandan kalıp içine hareket ederken bir yandan da iyice gerdirilmelidir. Bu gerdirme işleminde, kalıplarda değişiklik yapılarak, Malzemenin belirli kavisler yaparak kontrollu bir şekilde kalıba girmesi sağlanır.

Zımba ile kalıp arasındaki boşluk (e) yine tecrübelere bağlı olarak seçilir.

$$e \approx (1,07 \text{ ilâ } 1,15) t_0$$

bağıntısıyla hesaplanır. Ancak sürtünme kuvvetlerini ve kalıp aşınmasını azaltmak için yan duvar kalınlığının önemli olmadığı durumda :

$$e \approx (1,15 \text{ ilâ } 1,20) t_0$$

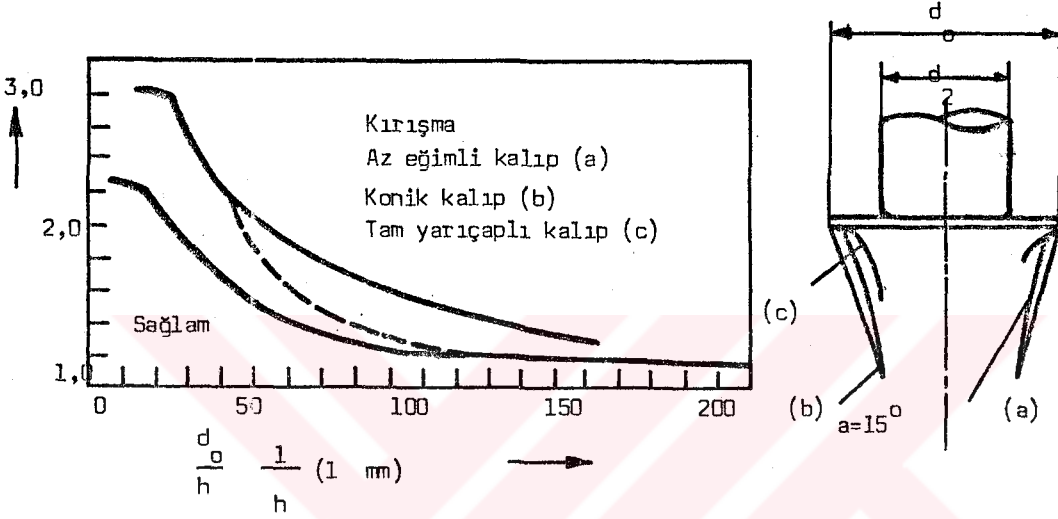
alınır. Parça yan duvar kalınlığının homogen olarak istendiği durumlarda (e) mesafesi daha küçük değerlerde tutulur. İkinci ve daha sonraki yeniden derin çekme işlemlerinde ise;

$$e = \frac{d_{n-1} - d_n}{2}$$

bağıntısından faydalanılır.

Burada, yine d_n parçanın son çapı d_{n-1} parçanın bir önceki yeriden derin çekme işlemindeki çapıdır.

Derin çekme işleminde malzeme radyal çekme kuvvetleri ile kalıp içine çekilirken, taslağın kalıp içine henüz girmemiş bölgesinde çevresel basma kuvvetleri oluşur. Çevresel basma kuvvetleri malzemenin büzülerek kalınlaşmasına ve önlem alınmaz ise malzemenin kırışmasına neden olur. Kırışma olayı taslağın kalıp içine henüz girmemiş bölgelerinin uygun bir kalıp yardımıyla sıkıştırılması sonucunda önlenir. Şayet sıkıştırma kalıbı kullanılmadan derin çekme işlemi uygulanacak ise Şekil 45 (a) de kırışmayı önlemek için derin çekme oranı (d_o/d_z) .1,2 değerinden küçük olmalıdır. Kalıp geometrisine bağlı, taslağın yeterince kalın olması durumunda da sıkıştırma kalıbına gerek olmayabilir. Şekil 45'de Bu sınır koşulları dışında derin çekme işleminde genellikle taslağa ön sıkıştırma işlemi uygulanmalıdır. (Şekil 45 a ve b). Sıkıştırma kuvveti öylesine uygulanmalıdır ki taslak çevresi veya parça yan duvarlarında kırışıklık olmamalıdır. Sıkıştırma kuvvetinin çok fazla uygulandığı durumlarda malzeme kalıplar arasında hareket edemez ve radyal çekme kuvvetlerinin etkisiyle malzeme kalınlığı hızla azalır ve sonuçta erken hasar görülür. Sıkıştırma basıncı olarak önce malzeme türüne göre yardımcı tablo ve bağıntılardan seçilen basınç uygulanır. Daha sonra deneme yanılma yöntemiyle uygun olan basınç tesbit edilir.



Şekil 45. Düşük karbonlu çeliklerde sıkıştırma kalıbı kullanılmadan değişik kalıp geometrisine bağlı olarak derin çekme oranı sınırının değişimi.

4.7. ŞEKİLLENDİRME ŞARTLARININ ETKİSİ

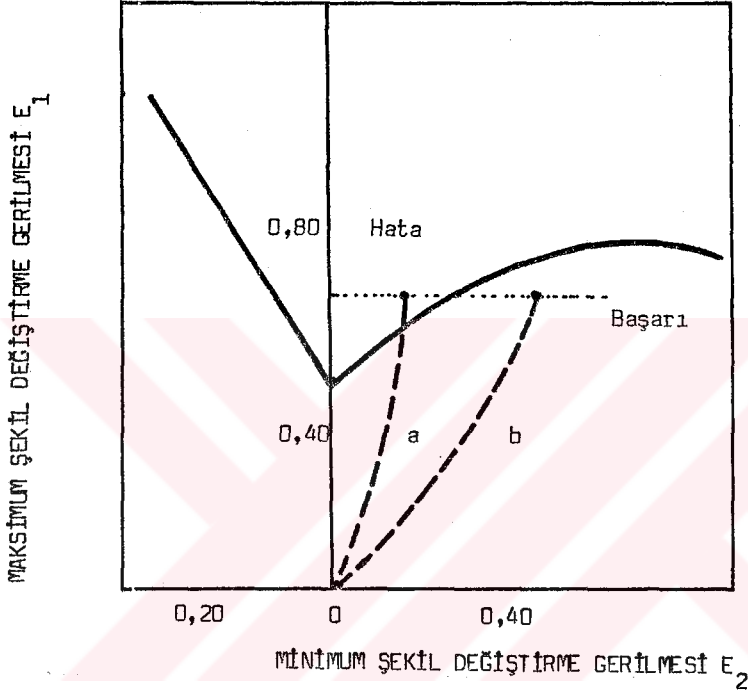
Daha önce belirtildiği gibi sıkıştırma basıncının uygun seçilmesi derin çekme işleminin başarılı olarak sürdürülmesi için önemli bir faktördür. Bu arada taslağın bazı bölgelerinin uygun bir yağ ile yağlanması, sürtünme kuvvetlerini önemli derecede azaltacağından, erken hasar olayını

önler ve derin çekme oranını artırır. Taslağın sadece sıkıştırma kalıbı ve biçimlendirme kalıbı ile temas eden yüzeyleri yağlanmalarıdır. Zimbanın tabanı ile temas eden yüzeyin yağlanması olumsuz etki gösterir. Zimba tabanının yağlanması halinde, Zimbanın parça tabanına uygulandığı kuvvet olduğu gibi parça yan duvarlarına iletilmiş olur. Bu durumda parçanın yan duvarında erken hasar görülebilir. Zimbanın taban bölgesinde, malzeme ile zimba yüzeyi arasında sürtünme kuvvetlerinin oluşması derin çekme kabiliyetine olumlu etkide bulunur. Çünkü zimbanın parça tabanına uygulandığı kuvvet sürtünme olayının etkisi ile kısmen tekrarı zimbaya iletilmiş olur. Parçanın taban bölgesindeki iç yüzeyi ile zimba yüzeyi arasındaki sürtünmeyi arttırmak için zimba yüzeyi zararsız olacak şekilde pürüzlendirilir.

Yağlama ayrıca deformasyon sırasında meydana gelen şekil değiştirme miktarını da etkiler. Geliştirilmiş yağlama yöntemi parçadaki birim şekil değiştirme oranını değiştirir. Mesela şekil 46'da a harfiyle gösterilen şekillendirme yöntemi hasar ile sonuçlanmaktadır. Diğer bütün şartlar aynı iken yağlama şartını geliştirmek suretiyle, birim şekil değiştirmede değişiklik yapılarak b harfiyle gösterilen başarılı şekillendirme gerçekleştirilmiştir.

Soğuk biçimlendirme işlemlerinde sürtünme kuvvetlerinin etkisi ile malzeme sıcaklığı 80°C civarına yükselerek malzemede gevreklik oluşturulabilir. Bu nedenle, işlemi sürekli oda sıcaklığında tutabilecek soğutma önlemlerini almak yararlı olur.

Derin çekme işlemi esnasında üretilecek parçanın tabanına dışardan uygulanacak hidrostatik basınç kuvvetleri malzemede çatlama olayını geciktireceğinden, derin çekme



Şekil 46. Deformasyon yöntemlerinde yağlamanın birim şekil değiştirme üzerindeki tesiri.

kaabiliyetine olumlu katkıda bulunur. Hidrostatik basınç kuvvetleri, derin çekme işlemi esnasında kalıp tabanına yerleştirilecek kauçuk bir blok veya içi sıvıyla dolu lastik diafram yardımıyla uygulanabilir.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında değerli bilgi ve gürüşlerinden yararlandığım, konunun yararlı bir şekilde araştırılması için beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen tez yöneticisi Yard.Doç.Dr. A. İrfan YÜKLER'e ve görüşlerinden yararlandığım Yard.Doç.Dr.Osman YAZICIOğLU'na teşekkür ederim.

5. REFERANSLAR

1. E.S. Kayalı, C. Ensari, Metallere Plastik Şekil Verme İl-
ke ve Uygulamaları, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi
İST. 1986
2. E.S. Kayalı, H. Çimenoğlu, Malzemelerin yapısı ve Mekanik
Davranışları, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, İs-
tanbul, 1986
3. E.S. Kayalı, C. Ensari, F. Dikeç, Metalik Malzemelerin
Mekanik Deneylemleri, İTÜ Kütüphanesi Sayı 1262, İs-
tanbul, 1983
4. G.E. Dieter, Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, Tokyo,
1976
5. J.A. Schey, Introduction to Manufacturing Processes, Mc
Graw Hill, New York, 1977
6. M. Meyers, P. Chawla, Mechanical Metallurgy, Prentice
Hall, London, 1984
7. J.N. Harris, Mechanical Working of Metals, Pergamon
Press, London, 1983
8. W.H. Hosford, R.M. Caddell, Metal Forming, Prentice
Hall, London, 1983
9. S. Kalpakjian, "Manufacturing Processes for Engineering
Materials", Addison-Wesley company, 1984, Chap-
ter 7.

10. G.W. Rowe; Elements of Metalworking Theory, Edward Arnold Ltd. London, 1979.
11. B. Avitzur; Metal Forming, Mc Graw-Hill Comp., New York, 1968.
12. E.S. Kayalı, C.Ensari, S. Silahtaroglu; Derin Çekme Kalitesindeki saçlarda özellikleri Etkiliyen Faktörler, 3. Ulusal Metalurji Kongresi Ankara, Aralık 1979.
13. S. Altıntaş; Biçimlendirme Sınır Diyagramı ve kullanımı, 8. Metalurji Sempozyumu, İstanbul Ekim 1984.
14. Metalik Malzemelerin Çekme Muayenesi T.S. 138, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. Metalik saç ve Bantların Çökertme Muayenesi (Erichsen Muayenesi), T.S. 271, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
16. "The Testing of Sheet Metal", Sheet Metal Industries, Year Book, 1973-1974.
17. K. Yamaguchi, P.B. Mellor, Thickness and Grain size Dependence of limit Strains in sheet Metal Stretching", International Journal of Mechanical Science, 18, 1976, 85-90.
18. D. Lee, Computer-Aided Control of sheet Metal Forming Process, Journal of Metals, November 1982, 20-28.
19. T.C. Lee W.B.Lee, C.D. Irwing, The Application of Forming Limit Curves in Cup Drawing, Sheet Metal Industries, July 19874, 410-413.

20. U.S. Rao, R.C. Chaturvedi, Method For Analysing Press Shop Failures, Sheet Metal Industries, June 1984, 356-358
21. Z. Morciniak, K. Kuezynski, T.Pokora, Influence of the Plastic Properties of a Material on the Forming Limit Diagram for Sheet Metal in Tension, International Journal of Mechanical science, 15, 1973, 789-805.

