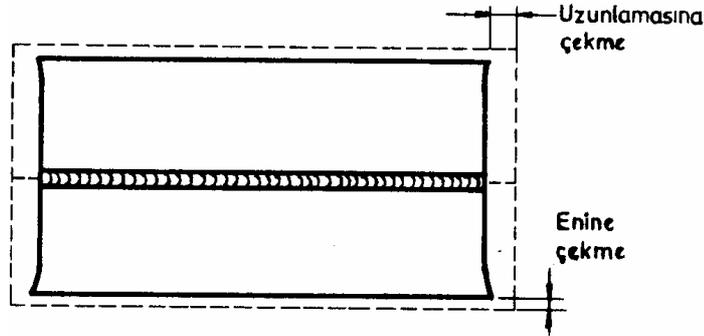


## XVIII — DİSTORSİYONUN ÖNCEDEN TAHMİNİ VE DENETİMİ

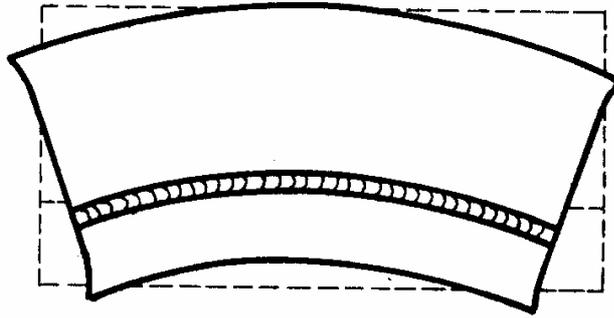
Isıl kaynak ve kesme süreçlerini takip eden büzülme ve distorsiyonlar, özellikle ince saçtan konstrüksiyon yapanların önüne çok sayıda sorun çıkarabilirler. Bunun temel nedeni, bu süreçlere bağlı uniform olmayan ısı alanıdır. Bunun sonucunda ortaya çıkan ısı şekil bozulma farkları elastik sınır aşılmadan biçimlenemez ve ısı menbaı konstrüksiyon üzerinden geçip gittikten sonra arkasında kalıcı şekil bozulmaları ve gerilmeler bırakır. Başlıca güçlük, belli ilk boyutlardan hareketle imalâtın nihaî boyut ve şeklini önceden tahmin etmektedir. Talaş kaldırarak kaynak sonrası distorsiyon düzeltilmesi boş yere bir uğraş olur şöyle ki gerilmiş malzemenin kaldırılması iç dengeyi bozup konstrüksiyonun sonra da yine distorsiyona uğramasına götürür.

Tipik kaynak distorsiyonlarının nitel görünüşleri, ısı menbaının hareket yönüne paralel ve dikey yönlerde ileri ölçüde ısıtılmış bölgenin kendini çekmelerinin etkisi göz önüne alınarak anlaşılabilir. Bu, öncelikle, *düzlem içinde çekmeler* hasıl eder (şek. 254).



Şek. 254 — Düzlem içinde çekmeler.

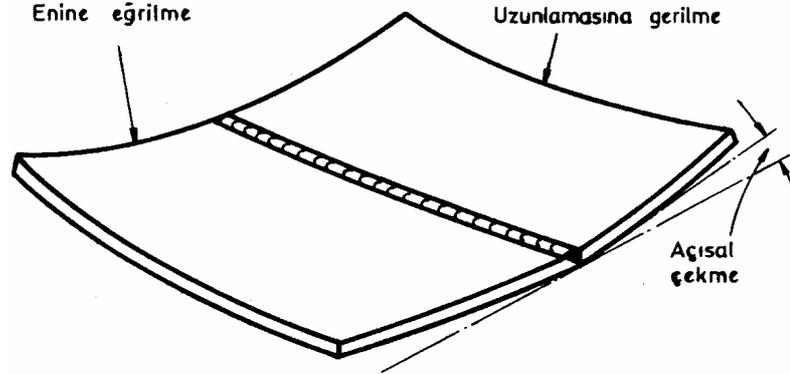
Kaynak hattının eğme için nötr eksenine tekabül etmemesi halinde, *düzlem içinde eğrilme* hasıl olacaktır (şek. 255).



Şek. 255 — Düzlem içinde eğrilme.

Keza, konstrüksiyonun nötr eksenine göre kalınlık içinde sıcaklık dağılımı simetrik olmazsa enine ve uzunlamasına *düzlem dışına çıkmış eğrilmeler (peçleme)* meydana gelecektir (şek. 256). Enine eğrilme çoğu kez kaynak alanında sınırlı kalır ve daha uygun olarak yukarıda gördüğümüz *açısal çekme* olarak ifade edilir. Bu düzlem dışına çıkmış distorsiyonlar burkulma eğilimi açısından özel anlam taşırlar ve gemiler gibi rijitleştirilmiş levha konstrüksiyonların "aç beygir"

görünümünün nedeni olurlar. Çekme ve distorsiyonun bütün şekilleri, ergimiş bölgenin, öbür her şey eşit kalmak kaydıyla, kesit alanıyla artma eğiliminde olurlar; dolayısıyla uygulamaların çoğunda, amaç distorsiyonu azaltmak olduğunda, kaynak birim uzunluğu başına ısı girişi asgaride tutulacaktır.



Şek.256 — Düzlem dışına çıkmış distorsiyonlar (peçleme).

Aşağıda, distorsiyonları telâfi edecek pratik uygulamalara ayrıntılarıyla değineceğiz. Ancak çekme ve distorsiyonların sayısal olarak önceden hesaplanması, çeşitli kaynak sıra ya da süreçlerinin göreceli değerlerinin saptanması hususunda yardımcı olacak yeterli bilgi mevcut değildir. 1955'te Okerblom bir basit analiz takımı ortaya koymuş olup bunlar bir miktar alışlagelmiş distorsiyon türlerini kapsamaktadır. Her ne kadar bu analizlerin deneysel doğrulanması henüz yeterli değilse de bunlar çekme ve distorsiyonun sayısal peşin tahmini için faydalı bir çerçeve oluşturuyorlar.

Okerblom'un kuramı, bir iki boyutlu ısı akışı işlemi ile birlikte bir tek boyutlu gerilme analizine dayanıyor. Malzeme için bir elastik/mükemmelen plastik gerilme - şekil bozulma ilişkisi varsayılmış ve belli bir "yumuşatma" sıcaklığının üstünde sıfır akma mukavemeti arz ettiği kabul edilmiştir. Keza genleşme katsayısının da bütün sıcaklıklarda sabit olduğu varsayılmıştır.

#### *Isı alanları*

Bir hareketli ısı menbana bağlı ısı dağılımı, birbirlerinden bağımsız olarak Rosenthal ve Rykalin tarafından saptanmıştır. Bu çözümlerin önemli buluşu, sıcaklığın ısı menbandan sabit mesafelerde sabit oluşudur; ancak konstrüksiyonun belli bir noktasında sıcaklık, ark geçtikçe, yukarı aşağı çıkar iner. Böylece belli malzeme ve kaynak parametreleri için ısı akışı çözümü bir sabit isoterm dairesi terimleriyle ifade edilebilir; burada levha ısı alanı içinde, kaynak ilerleme hızına tekabül eden bir sabit hızla hareket etmektedir. Yüksek enerjili, hızlı hareketli ısı menbaları için, izotermal çevrelerin başlıca aşağıdaki parametrelere bağlı olduklarını göstermek üzere, çözümler basitleştirilebilir:

$q$  = ısı giriş oranı, arkta tüketilen güç, eksi kayıplar (W veya J/sn)

$v$  = kaynak hızı (m/sn)

$t$  = levha kalınlığı (m)

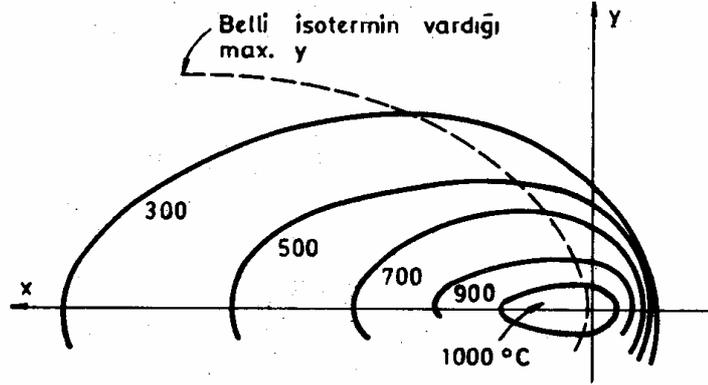
$K$  = malzemenin ısı iletkenliği

$c\rho$  = hacimsel ısı kabiliyet ( $J/m^3 \text{ } ^\circ C$ )

Bu son iki nitelik bazen, bir üçüncüsünü vermek üzere, bileştirilir:

$$\lambda = K / c\rho$$

Buna *difüzibilite* adı verilip bir ısı alanının yayılma temposunun ölçüsü olmaktadır. Şek. 257, böyle bir ısı alanına örnektir.



Şek. 257. — İki boyutlu az çok statik sıcaklık alanı (Rosenthal'dan)

En çok kullanılan metallerin ısı nitelikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

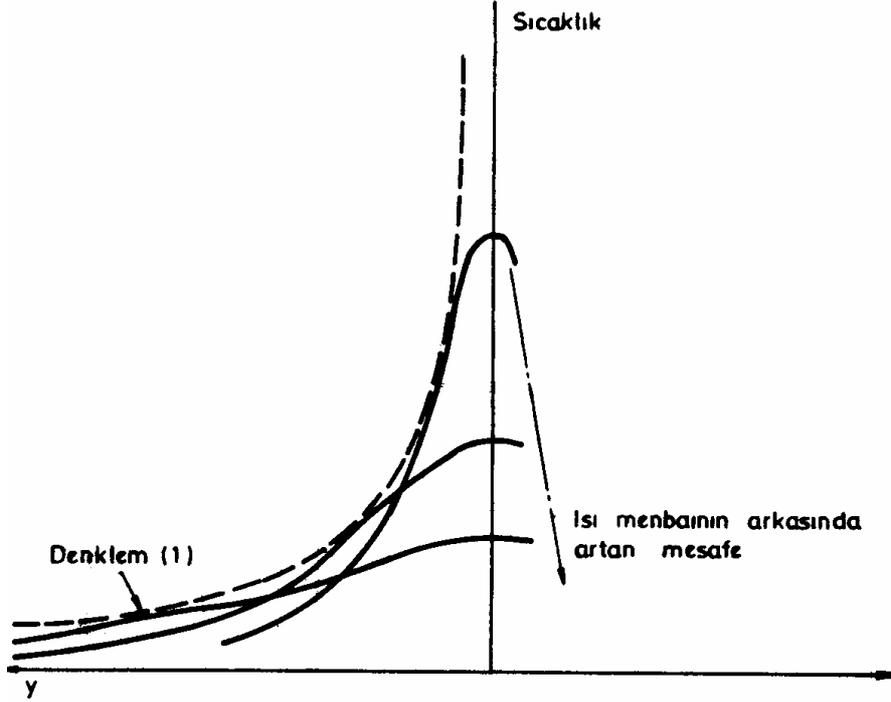
	$\alpha$ genleşme katsayısı ( $^\circ C^{-1}$ ) $\times 10^{-6}$	Hacimsel ısı kapasite ( $J/m^3$ $^\circ C$ ) $c\rho$ $\times 10^{-6}$	Yaklaşık distorsiyon katsayısı ( $m^3/j$ ) $\alpha/c\rho$ $\times 10^{-12}$	Difüsivite $\lambda=K/c\rho$ ( $m^2/s$ ) $\times 10^{-6}$	Ergime noktası ( $^\circ C$ )
Alüminyum	23-27	2,7	8,5-10	85-100	660
Karbon çeliği	14	4,5	3,1	9,1	1400
%9 Ni'li çelik	13	3,2	4,1	11	1400
Östenitik çelik	17	4,7	3,6	5,3	1500
Inconel 600 (%75 Ni,%15 Cr)	14	3,9	3,6	4,7	1400
Titanyum alaşımı	17	3	5,7	9	1650
Bakır	17	4	4,3	96	1050
Monel 400	16	4,4	3,7	8	1300

Kuramsal sıcaklık modellerinin bazı görünümleri kaydedilmeye değer: Isıtılmış bölge normal olarak bir dar şerit şeklini alır şöyle ki levha üzerinde ısı - mekanik etki, bir dar şeritin aynı anda ısıtılma ve sonradan soğutulmasıyla meydana gelecek olan etkiyle (örneğin  $300^\circ C$  izoterm tarafından tanımlandığı gibi) eş olacaktır. Her bir izoterm azami genişliği, uzunluk birimi başına ısı girişinin kalınlıkla çarpımına ( $q/vt$ ) yakından bağlıdır; gerçekten tipik yüksek

enerji ısı menbaları için bir isotermin  $T$  sıcaklığında maksimum  $w$  genişliği yaklaşık olarak

$$\omega = \frac{1}{2} \frac{q}{vt} \frac{1}{c\rho} \frac{1}{T} - \frac{4\lambda}{5v} \quad (1)$$

ifadesiyle verilir. İkinci terim, alçak difüze edilebilir malzemeye uygulanmış hızlı hareketli yüksek ısı girişi oranlı yöntemler için anlam taşımayacaktır. (Okerblom bunu çeliğin kaynağında tamamen ihmal ediyor). Keza (1) denklemi, menbadan değişik mesafelerde kaynak çizgisinin enine sıcaklık profillerinin zarfını karakterize eder (şek. 258).

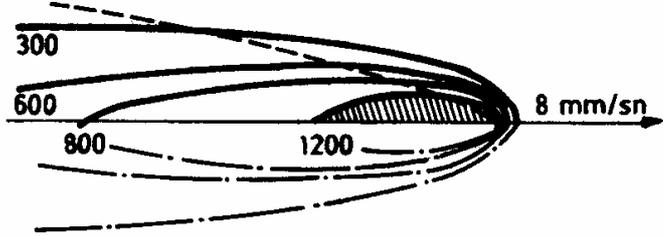
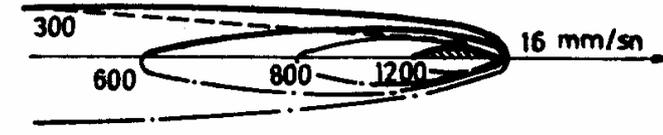


Şek. 258 — Kaynak çizgisinin enine sıcaklık profilleri.

Bununla birlikte, aynı kaynak parametrelerine tabi farklı difüze edilebilir malzemelerle ilişkili ısı modellerinde geniş farkların bulunduğu (şek. 259) da kaydedilecektir.

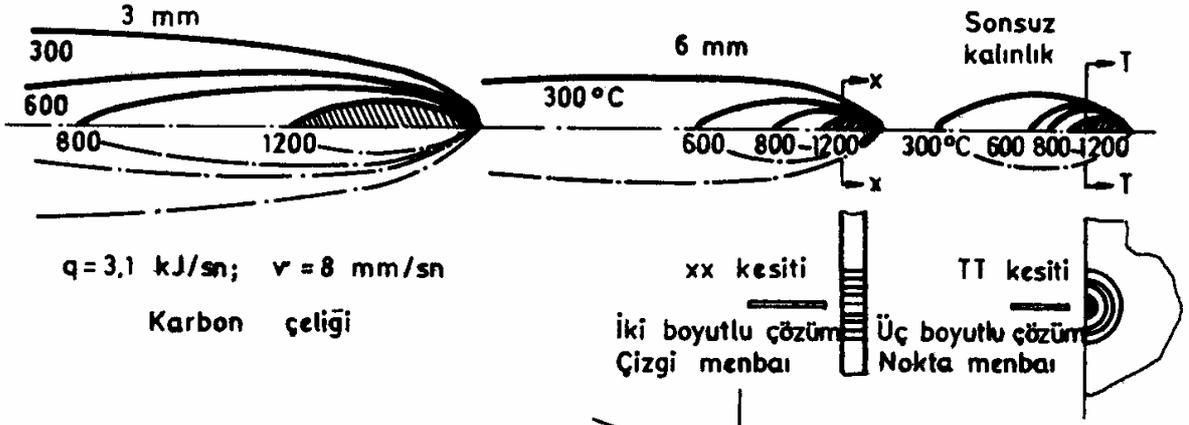
#### *Tek bir kaynak pasosundan ileri gelen uzunlamasına çekme*

Isıl gerilme ve şekil değiştirme modellerin hesabı, sıcaklıklarınkinden çok daha güç olup Okerblom konuyu basite irca ediyor şöyle ki sıcaklık alanının içinden geçen bir enine malzeme şeridinde vaki olabilecek sadece elastik/plastik şekil bozulma saykını dikkate alıyor, yani "tek boyutlu" gerilim analizine gidiyor. Ayrıca da enine kesitlerin düz kaldığını (düzlem içindeki kesitlerin düzlem içinde kaldığını) ve hiçbir dış yük ya da momentin bulunmadığını varsayıyor. Benzer varsayımlara dayanan ve aynı sonuçlara götüren daha basit bir yaklaşım da Wickramasinghe ve Gray tarafından veriliyor. Buna göre ısı sayklarının bir sonucu olarak gelişen dengelenmemiş uzunlamasına çekme kuvveti



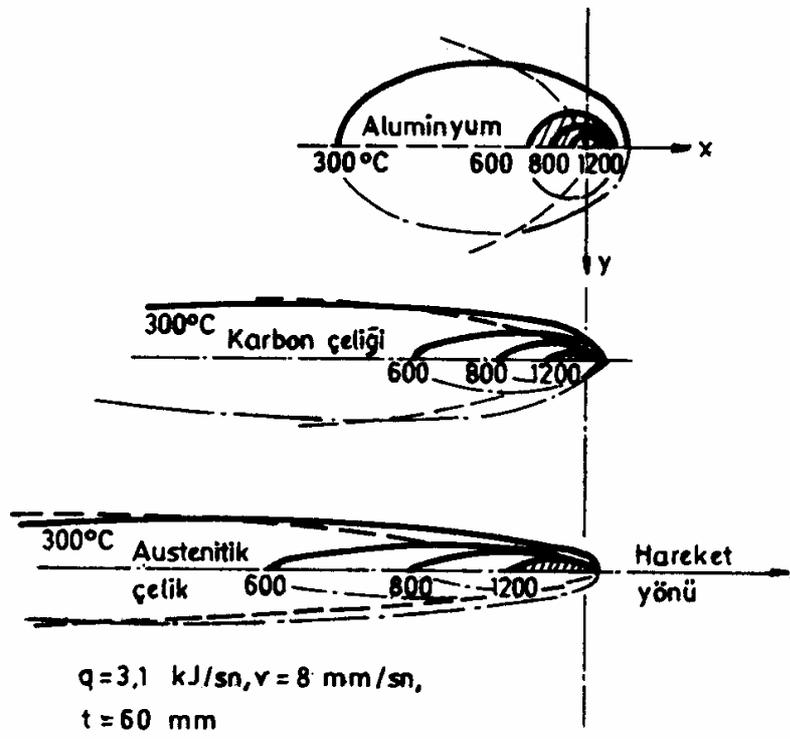
$q=3,1 \text{ kJ/sn}; t=3 \text{ mm}$   
Karbon çeliği

Artan kalınlık



$q=3,1 \text{ kJ/sn}; v=8 \text{ mm/sn}$   
Karbon çeliği

iki boyutlu çözüm Çizgi menbaı Üç boyutlu çözüm Nokta menbaı



$q=3,1 \text{ kJ/sn}, v=8 \text{ mm/sn},$   
 $t=60 \text{ mm}$

Şek. 259 — Isıl parametre ve kaynak değişkenlerinin etkisi.

$$F_l = \frac{1}{2} E \frac{q}{v} \frac{\alpha}{c\rho} \ln 2 \quad (2)$$

ifadesiyle veriliyor. Burada  $E$  Young modülü olup difüzibilite düzeltme terimi ihmal edilmiştir; hasıl olan uzunlamasına çekme şekil bozulması da

$$\varepsilon_i = 0,35 \frac{q}{v} \frac{\alpha}{c\rho} \frac{1}{A} \quad (3)$$

olmaktadır ki burada  $A$ , çekmeye mukavemet eden toplam kesit alanıdır. Difüzivite düzeltme faktörü ithal edilecek olursa

$$0,8 \frac{\lambda}{v} \frac{t}{A} \varepsilon_{akma}$$

gibi bir terim (3)'den çıkarılır. Analizin talihli bir sonucu, "yumuşama" sıcaklığına bağlı serbest ısıl şekil bozulmasının, akma şekil bozulmasının iki katından büyük olması itibariyle, bu sıcaklıkla akma mukavemetinin, her ne kadar bu sonuncusu nihaî bakiye gerilim durumunu etkilerse de, hesap dışında kalmasındadır. "

Kaynak çizgisinin konstrüksiyon kesitinin nötr ekseninden kaymış olması halinde (2) denkleminin verdiği çekme kuvveti, kesiti egecektir ki düzlem içindeki eğilme

$$1/R = \varepsilon_l Z A / I \quad (4) \text{ ile verilecektir.}$$

Burada,  $R$ , eğilme yarıçapı;  $z$ , kaynak çizgisinin nötr eksene mesafesi ve  $I$  de bütün kesitin (kaynaktan sonra) ikinci alan momentidir.

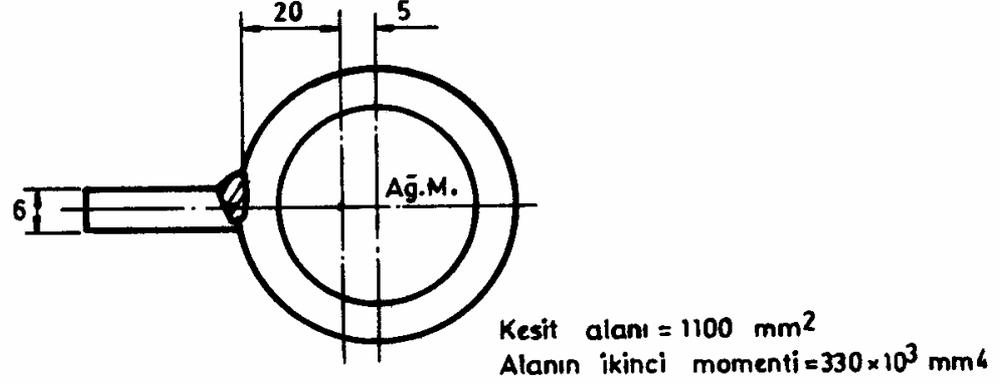
Deneysel çalışmalar, yukarıdaki denklemlerin merteye olarak doğru sonuç verdiklerini göstermiş olup iki başlıca terimin önemini vurgulamaktadır. Bunlar  $q/v$ , kaynak birim uzunluğu başına ısı girişi ile  $a/c\rho$ , ısıl distorsiyon katsayısıdır. Bu sonuncusu, çeşitli metallerin distorsiyon eğilimine çabuk bir rehber olmak üzere yukarıdaki tabloda verilmiştir. Bununla birlikte, elle TIG kaynağında olduğu gibi yavaş ilerleme hızlarında Difüzivite katsayısının önem kazanıp muhtemelen östenitik çelikle karbonlu çelik arasındaki distorsiyon eğilim farkında rol oynadığı kaydedilecektir.

Aşağıdaki örnek tek bir kaynak pasosundan doğan düzlem içinde çekmelerle eğilmelerin hesap yöntemine açıklık getirmeye yardımcı olacaktır.

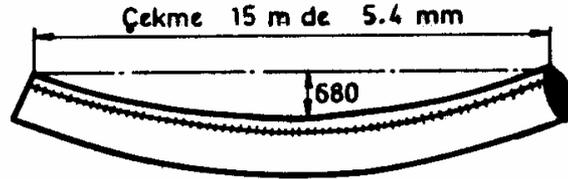
### Örnek 1.

15 m uzunlukta bir çelik boruya CO<sub>2</sub> derin nüfuziyet kaynağı ile bir kulak kaynak edilmiştir (şek. 260). Kaynak parametreleri 24 V, 160 A ve 8 mm/sn'dir. % 80 bir ısı transfer verimi farz edilerek, hasıl olan distorsiyonlar bulunacaktır.

### Örnek 1



### Yanıt



Şek. 260.

Yanıt:

$$\frac{q}{vA} \times \frac{\alpha}{c\rho} = \frac{24 \times 160 \times 0,8}{8 \times 1100} \times \frac{3,1}{10^{12}} \times 10^9 = \frac{1086}{10^6}$$

(1) denkleminde  $\varepsilon_l = 362 \times 10^{-6}$  olup dolayısıyla

toplam çekme =  $1515 \times 362 \times 10^{-6} = 5,4$  mm ve

eğrilme de

$$\frac{1}{R} = \frac{\varepsilon_l A z}{I} = \frac{362}{10^6} \times \frac{1100 \times 20}{330 \times 10^3} = 24,2 \times 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

Sığ eğrilmenin geometrisinden,  $1/r$  kadar eğrilmiş  $l$  uzunluğunda bir çizginin uçlarına göre merkezi enine sapması

$$\delta = \frac{1}{R} \frac{l^2}{8} = \frac{24,2}{10^6} \times \frac{15^2 \times 10^6}{8} = 680 \text{ mm' dir.}$$

### Enine çekmeler

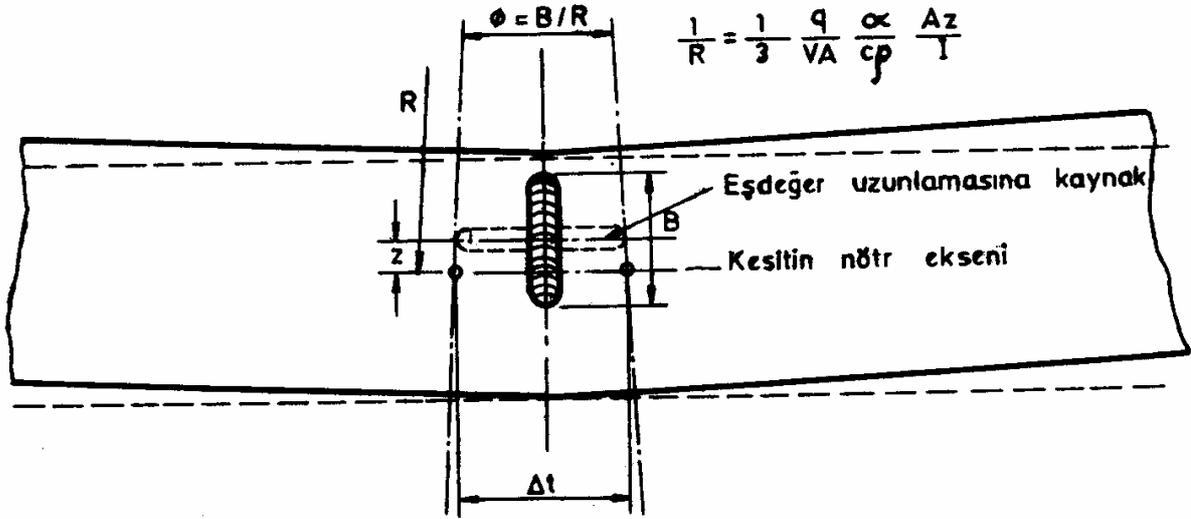
Kaynağın enine çekmelerini hesabedebilmek için enine şeridin kaynak çizgisine dikey yönde göreceli şekil değiştirmesini dikkat nazara almak gerekir. Bununla birlikte, her bir elementin serbest ısıl şekil bozulması bütün yönlerde eşit olduğundan kaynağın enine net çekmesi, uzunlama yönü için hesabedilenle aynı olması gerekir ancak şu farkla ki bu durumlarda çekme kaynak bölgesinde yoğunlaşmış olup genişlik üzerinde ortalananmamıştır. Bu itibarla yeterince uzun bir kaynak durumunda *salt* enine çekme

$$\Delta_z = 0,35 \frac{q}{vt} \frac{\alpha}{c\rho} - 0,8 \frac{\lambda}{v} \varepsilon_{akma} \quad (5) \quad \text{ile verilir.}$$

$B$  genişliğinde bir kesiti tamamen kat eden bir kaynak durumunda (5) denkleminde enine salt çekme (düzeltme terimi ihmal edilerek)

$$\Delta_z = 0,35 \frac{q}{v} \frac{\alpha}{c\rho} \frac{B}{tB} \quad \text{şeklinde yazılabilir ki}$$

bu, (3) formülünde  $B$  uzunluğunda bir kaynak için uzunlamasına çekmede gösterilen aynı salt çekmedir. Bu buluş Okerblom'u, kısa bir enine kaynağın yerine, şekil değiştirmelerin analizinde, aynı uzunlukta eşit değerlerde bir uzunlamasına kaynağın alınabileceğini ileri sürmeye götürmüştür (şek. 261). Bu husus aşağıdaki örnekte açıklanmıştır.

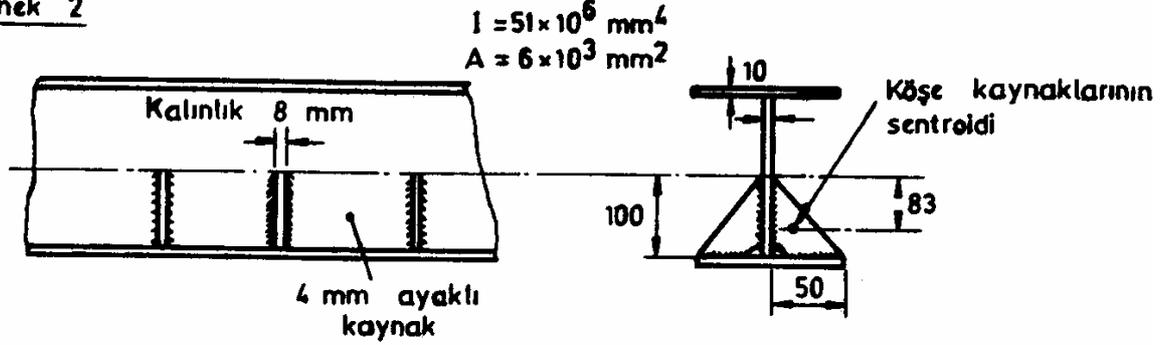


Şek. 261 — Bir tek pasolu enine kaynağın meydana getirdiği düzlem içinde eğrilme.

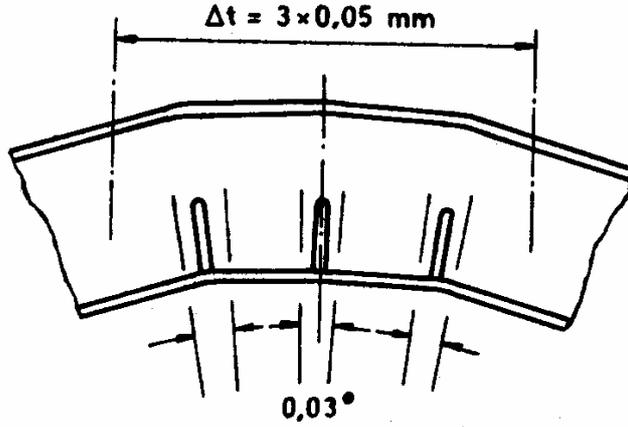
Örnek 2:

Şek. 262'de gösterilmiş biri putreline bayrakların kaynak edilmesiyle meydana gelen distorsiyonun değerlendirilmesi

**Örnek 2**



**Yanıt**



Sek. 262

Yanıt:

Dört köşe kaynağının aynı anda uygulandığını kabul ederek  $q/v$  ısı girişi, köşe kaynağı boyutundan  $q/v = 4 \times 0,8 \text{ kJ/mm}$  olarak tahmin edilebilir. Mafih bu ısının tümü ısıtmada etken olup putrelere çarpıtmaya yardımcı olmaz. Isı akışının, ısı menbaya arz edilen malzemenin kalınlığına göre orantılı olduğu kabul edilebilir şöyle ki putrelere akan ısı oranı  $10/(10 + 8) = 0,56$  ile verilmiştir. Dolayısıyla bayrak başına uzunlamasına çekme

$$\Delta_l = -0,35 \frac{q}{v} \frac{\alpha}{c \rho} \times 150 = -0,35 \times \frac{4 \times 0,8 \times 3,1}{6 \times 10^3} \times 150 \times 0,56 = 0,05 \text{ mm olur.}$$

Eğrilme de

$$\frac{1}{R} = 0,35 \frac{q}{v} \frac{\alpha}{c \rho} \frac{Az}{I} = 0,35 \times \frac{4 \times 0,8 \times 10^3 \times 0,56}{6 \times 10^3} \frac{3,1}{10^3} \frac{6 \times 10^3 \times 83}{51 \times 10^6} \text{ (ihmal edilebilir).}$$

Dönme açısı

$$\phi = \frac{1}{R} l = \frac{3}{10^6} \times 150 \times \frac{180}{\pi} = 0,03^\circ$$

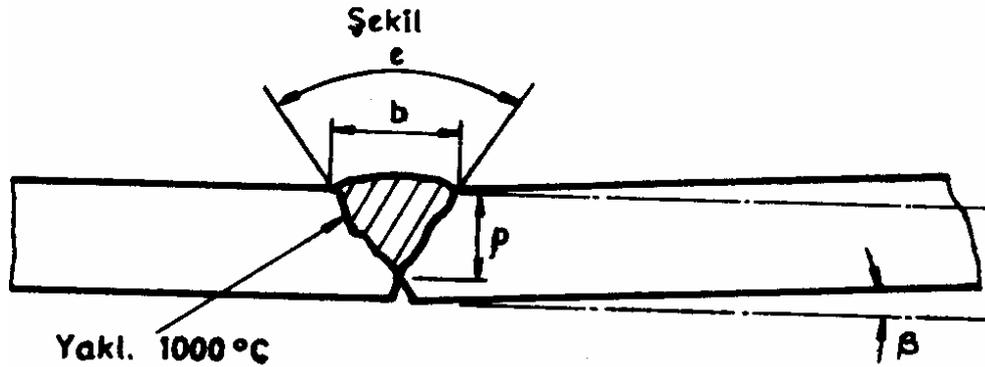
denkleminin bir kesin doğrulanması bulunmayıp enine çekmelerin büyük ölçüde işkenceye

alınmış olma ya da kontrüksiyonun öbür bölümleri tarafından tespit durumunun etkisinde olduğu hususu belirtilmelidir. Denklemleri bir "büyüklük mertebesi" göstergesi olarak almak daha gerçekçi olacaktır.

#### *Açısal distorsiyon*

Açısal distorsiyonun gelişmesi uzunlamasına ya da enine çekmeye göre daha yerleşmiş bir süreç olup açısal hareketlerle ilgili üç boyutlu görünüşlerde önceki ısı/şekil bozulması analizinden yürüme mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte açısal çekmenin basit ama faydalı betimlenmesi ortaya konabilir.

Açısal çekmenin her şeyden önce isotherm modelde kalınlık içindeki farklardan ileri geldiğini iddia etmek akla yakın düşer. Daha sonra öbür süreçlerde çekmenin isothermlerin genişliğiyle orantılı olduğu kabul edilip isotherm modelinin kalınlık içinde her noktada bu düzeydeki ergime bölgesinin kalınlığı ile ilintili olduğu farz edilerek, açısal çekmenin sadece şekle ve ergime bölgesinde farklı düzeylerde soğuma çekmesine bağlı olduğu sonucunda varılır. Böylece de tespit edilmemiş, tek pasoda yapılmış bir V alın kaynağı için beta çekme açısı (şek. 263 a) V'nin tepe ve dibinde salt çekmeler arasındaki farklardan çıkacaktır:



Şek. 263 a — Açısal distorsiyon.

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left( \frac{\alpha T b}{p} \right)$$

veya ergime bölgesi şeklinin bir  $\theta$  açılı hazırlık ağzı terimiyle tamamlanmış olması halinde

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left( \alpha T \times 2 \text{tg} \frac{\theta}{2} \right) \quad (6) \quad \text{olur.}$$

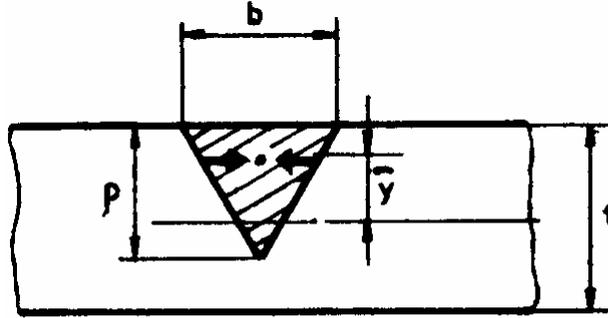
Böylece açısal distorsiyon, ya bir uygun yöntemin kullanılması, ya da kaynak hazırlığı seçimi ile bir derin nüfuziyetli dar açı kaynak bölgesi meydana getirilmesi halinde, daha az olur. Buna karşılık yüzey köşe kaynakları ( $\theta = 90^\circ$ ) durumunda, açısal distorsiyon çok daha fazla olacaktır (bu sonuç gerçekten deneye tekabül etmektedir)

O halde burada tasarımcının tutacağı bir yol vardır. Kuşkusuz (6) denklemi, soğumadan önce  $T$  sıcaklığının değeri olmaksızın sınırlı ölçüde uygulanabilir; Okerblom, deneylerine

uygunluğu itibariyle 1000°C'i öneriyor.

Bununla birlikte (6) denkleminin, açısız harekete herhangi bir engelin bulunması halinde, değiştirilmesi gerekir; örneğin levhanın bir rijit aparata kenetlenmesi veya daha önceden bir miktar enine eğme kuvvetini haiz bir birleşmeye kısmî nüfuziyetli bir kaynağın eklenmesi. "Engellenmiş" açısız distorsiyonda önemli etkilerin bir yaklaşık modeli şöyle geliştirilebilir: önce enine çekme kuvvetlerinin bileşkesinin ergime bölgesinin sentroidine uyduğu ve akma noktası büyüklüğünde gerilmelerin meydana geldiği varsayılacak. Böylece bir üçgen kesitli kaynak durumunda (şek. 263 b), açısız çekmeyi hasil eden moment

$$M = \sigma_y p \bar{y} \quad \text{olur.}$$



Şek. 263 b — Açısız distorsiyon için model.

Kesitin bir lineer elastik kiriş gibi davranması halinde, distorsiyona uğrayan bölgede eğrilme

$$\frac{1}{R} = \frac{\varepsilon_y}{I} p \bar{y} \quad \text{ile verilecektir;}$$

burada  $I$ , kesit alanının ikinci momentidir. Eğrilmenin yer alacağı enine genişliğin saptanması güç olmakla birlikte bunun, kaynağın  $b$  yüzey genişliğiyle orantılı olduğu kabul edilebilir. Malzemenin ( $2\varepsilon_y$ ) maksimum elastik alanına tekabül eden bir "serbest" ısıl çekme şekil bozulması veren izotermal çevre, mümkün bir boyutsal seçim gibi gelmektedir. Bu çevrenin maksimum genişliği ile  $b$  ergime genişliği arasındaki oran böylece  $\alpha T_m / 2\varepsilon_y$  ile verilir ki burada  $T_m$ , ergime sıcaklığıdır; dolayısıyla distorsiyon açısı da

$$\beta = p b \bar{y} \alpha T_m / 2I \quad (7) \quad \text{olur.}$$

Bundan önceki distorsiyon denklemlerinde görünen bazı ısıl niteliklerin (7) denkleminde hemen görünür olmadıklarına dikkat edilecektir. Bu, ısıtılmış alanın bu kez doğrudan ısıtılmış bölgenin derinliği terimleriyle tanımlanmış olmasından ileri gelmektedir. Okerblom, çelik kaynaklarında ısı girişiyle ergime alanı arasında bir deneysel ilişki kurmuştur:

$$pb = 1,5 \times 10^{-6} \frac{q}{v} c \rho \quad (\text{J, metrik birim})$$

bunun (7) denkleminde sıkıştırılması halinde açısız distorsiyonun da  $\frac{q}{v} \cdot \frac{\alpha}{c \rho}$  ile orantılı olduğu

görülür. Bu itibarla açısal distorsiyonu azaltmada önemli önlemler

- 1- (yukarıdaki gibi) birim uzunluk ya da kaynak metal hacmi başına ısı girişini azaltmak;
- 2- ergime bölgesini mümkün olduğu kadar dar açılı tutup bunun sentroidini, olabildiği kadar kestin sentroidine yakın tutmaktır.

*Örnek 3.*

Simetrik olmayan bir çift V alın kaynağı (1/3:%; 60° ağız açısı) iki pasoda bir çelik levhada yapılmıştır (önce küçük taraftan başlanmış). Distorsiyonun hesaplanması.

Yanıt:

Birinci paso, konstrüksiyon tespit edilmeden (distorsiyon engellenmeden) yapılmışsa, çekme açısı  $\alpha T_m \text{tg} 30^\circ$  (6 denklemleri) ile yerilir. İkinci pasodaki çekme ilkinde mukabil yönde olacak olup

$$\beta = \frac{2}{3} t \left( 2 \times \frac{2}{3} t \cdot \text{tg} 30^\circ \right) \left( \frac{1}{2} t - \frac{1}{3} \times \frac{2}{3} t \right) \alpha T_m / \left( 2 \times \frac{1}{12} t^3 \right) = 1,48 \alpha T_m / \text{tg} 30^\circ \quad \text{kadardır.}$$

Bu itibarla geriye kalan açı, birinci yönde olacaktır:

$$0,52 \alpha T_m \text{tg} 30^\circ = 0,52 \times 14 \times 10^{-6} \times 1000 \text{tg} 30^\circ \times \frac{180}{\pi} = 0,24^\circ$$

Bu örnek bir genel prensibi açıkça ortaya koymaktadır: *birinci pasoda daha büyük olma eğilimindedir.* Bunun levha önceden ayarlanıp ya da bunları tespit ederek önlenmesi halinde nihai distorsiyonun büyük bölümünden kaçınılmış olur.

Keza bazen bu tür simetrik olmayan hazırlık şekli üç ya da dört paso süreçlerinde kullanılıp birinci paso, kesit sentroidine yakını olarak "büyük" tarafa çekilir; bundan sonrakiler, kaynağı "dengelemek" üzere, bir alttan bir üstten çekilir.

Sair pratik uygulamalar aşağıda verilecektir.

*Birden fazla kaynak*

Birçok konstrüksiyon, ya aynı anda, ya da birbiri ardında yapılmış birkaç kaynağı içerir ve burada önemli olan, daha önce tek pasolu kaynaklar için yapılmış peşin tahminlerin burada da geçerli olup olmadığıdır.

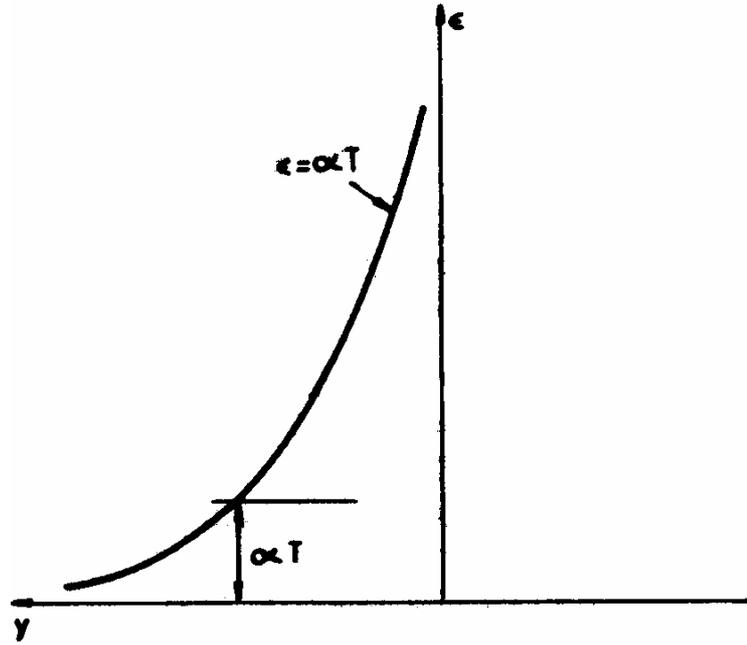
Bu birkaç kaynağın aynı anda ve aynı hızla yapılmış olması halinde etki basitçe özgül ısı girişinin artmış olması olup dolayısıyla toplam ısı girişi, ısı menbalarının sentroidine konmuş bir eşdeğer kaynak sağlamaya indirgenir.

Öbür yandan, kaynakların birbirlerinin ardından yapılmış olmaları halinde, ikinci kaynağın daha önce gerilmiş bulunan bir komponente eklenmiş olduğu ve bunun daha sonraki şekil değiştirmeleri değiştireceği düşünülecektir. Keza bu prensip, plastik şekil verme gibi başka işlemlerden geriye kalmış gerilmeleri içeren bir parça üzerine kaynak edildiğinde uygulanır.

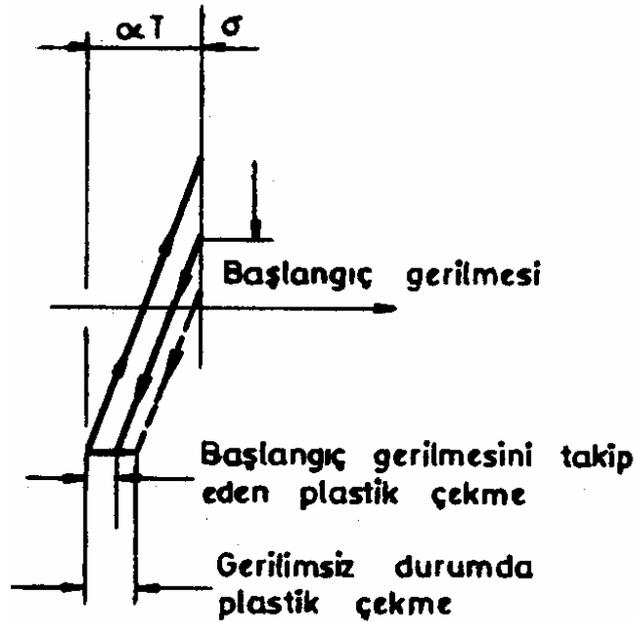
Önce bir kaynağın, daha öncekilerle ilintili olan bakiye akma noktası gerilme bölgelerinin dışında kalacak kadar uzakta (yani  $q/vt \times \alpha/cp \times \epsilon_y$  den büyük mesafede) yapıldığı hali ele alalım. Bahis konusu kaynak alanında *ilk* gerilme çekme gerilmesi ise, plastik çekme (büzülme), gerilmesiz durumdan düşülür (şek. 264). Buna karşılık ilk gerilme basma gerilmesi ise, nihai distorsiyon daha büyük olacaktır. Okerblom bunun için

$$\varepsilon'_l = \varepsilon_l \left( \frac{\varepsilon_y - \varepsilon_i}{\varepsilon_y + 0.7\varepsilon_i} \right) \quad (8)$$

formülünü veriyor; burada  $\varepsilon'_l$  ilk şekil bozulmasının  $\varepsilon_i$  olduğu bir yerde normal olarak  $\varepsilon_l$  çekmesini verecek olan bir kaynak uygulamaktan ileri gelen şekil bozulmasıdır. Bu itibarla eşit ısı girdili kaynak dikişleri mutlaka eklenen ya da birbirini yok eden distorsiyonlar vermezler. Bu keyfiyet, aşağıdaki örnekte görüleceği üzere, düzlem içinde ve düzlem dışında eğilmelerin yok edilmesi açısından büyük anlam taşır.



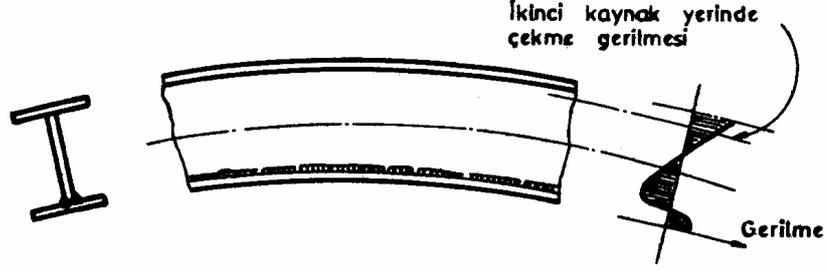
(Şek. 264'ün üst bölümü)



Şek. 264.

Örnek 4.

Şek. 265'deki geniş tabanlı simetrik putrel yüksek ısı girdili birbiri ardın uygulanmış köşe kaynakları ile imal edilmiştir. Putrelin nihaî şekli ne olacaktır?



Şek. 265 — Putrelde birinci kaynaktan sonra eğrilme.

Baştan beri putrelin tam eğrilme rijitliğini arzettiği farz edilerek bir birle meye bir kaynak uygulanması bu kaynaktaki bir

$$\varepsilon_l = 0,35 \frac{q}{v} \cdot \left( \frac{q}{v} \cdot \frac{\alpha}{c\rho} \frac{1}{A} \right) \text{ kadar çekmeye götürecektir.}$$

Ayrıca öbür kaynağın yerinde

$$\varepsilon_l = \varepsilon_l (Az^2 / I - 1)$$

bir bakiye çekme şekil bozulması hasil olacaktır. İlk eğrilme  $epA/I$  olacaktır (şek. 265)

İkinci kaynağın uygulanmasında, bu kaynaktaki  $\varepsilon_l$  çekmesi, (8) denklemi tarafından verilecek. Çeliğin kaynağı için  $l$  aşağıdaki tipik parametreler farz edilerek

$$\frac{\varepsilon_y}{0,35(q/v)(\alpha/c\rho)} = 460 \text{ m}^{-2}$$

kesit boyutları  $A = 6,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2; I/z^2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$   
 $\varepsilon_l = 0,33 \varepsilon_y$

şunlar bulunur:

$$\varepsilon_l = 0,33 \varepsilon_y \left( \frac{6,6}{5} - 1 \right) = 0,106 \varepsilon_y$$

ve ikinci kaynak için

$$\varepsilon'_l = 0,832 \varepsilon_l$$

Keza, ikinci kaynağın hasil ettiği mukabil eğrilme, birincisinin hasil ettiğinden az olacak, putrel, kaynaklarının simetrik tertibine rağmen düz hale gelmeyecektir.

Birbiri ardında yapılmış kaynakların merkez çizgileri arasındaki mesafe  $1/2 (q/vt) (\alpha/c\rho)$  ( $1/2\varepsilon_y$ )'den küçük ise bakiye akma sınırı ile çekme gerilme sistemleri birbiri üzerine biner ve sınırdaki, bunların hep eş olarak binmeleri (aynı pasonun yeniden ergitilmesine eşdeğerde) halinde birinci yaklaşıklıkla daha ileri bir çekme vaki olmayacaktır.

Böyle bir durumu ele almanın güçlüğüne rağmen birden fazla pasolu kaynak, bakiye akma noktası gerilmesinin ergimiş bölgede ve ısı girdisi derecesine göre az çok her iki tarafta hasıl olduğu farz edilerek yeterince makul şekilde ele alınabilir.

#### *Burkulma*

Her ne kadar kaynak tarafından hasıl edilmiş bakiye basma gerilmesi genellikle küçük ise de ince saç konstrüksiyonlarda burkulmaya götürmek için yeterli olabilir; bu, basma yüklerinin uygulanması halinde, kaynak sırasında veya lıradan vaki olabilir. Belli bir durumda burkulma olasılığı, bakiye uzunlamasına basma ( $\varepsilon_1 \times E$ ) gerilmesini, verilen levha konstrüksiyonunu burkmak için gerekli uniform basma gerilmesiyle kıyaslayarak, değerlendirilebilir.

Örneğin  $a$  uzunluğunda bir kare levha, dört yanından basitçe tutulmuş olarak,

$$\sigma = \frac{1}{3} \pi^2 \frac{E}{1 - \nu^2} \frac{t^2}{a^2}$$

yükü altında burkulacaktır. Böylece, kaynak sırasında burkulma

$$0,35 \frac{q}{vat} \cdot \frac{\alpha}{c\rho} \cdot E = \frac{\pi^2 E}{3(1 - \nu^2)} \frac{t^2}{a^2}, \text{ yani}$$

$$\frac{q\alpha}{vc\rho} = 0,95 \frac{\pi^2}{1 - \nu^2} \frac{t^3}{a}$$

olduğu zaman meydana gelecektir.

#### DİSTORSİYONUN DENETİMİ

Yukardaki bölümde verilmiş olan sayısal analizlerin yaklaşık olmalarına rağmen bunların, çeşitli denklemlerde kendilerini gösteren parametrelerle ilintili olarak kaynak distorsiyonunun önemli görünüşlerini yansıttıkları» da bir gerçektir. Bununla birlikte sayı ve formüllerle uğraşmanın» tasarımcıya imalâtı kolaylaştırmada yardımcı olabilecek olan bazı basit çözümleri unutturması, talihsizlik olacaktır. Bu itibarla, doğru hesaplamaların uygulanamaması halinde bile ortaya çıkabilecek güçlükleri peşinen görmek tasarımcıya düşer. Onun aklından çıkarmayacağı belit, *ergime kaynağında distorsiyondan tamamen kaçınılamayacağı'dır*.

İlk ve en önemli nokta, distorsiyonun bütün şekillerinin özgül ısı girdisiyle, yani birleşmeyi tamamlamak için gerekli birim uzunluk başına ısıyla arttığıdır. Bu itibarla ısı girdisini ve aynı zamanda genellikle ergimiş metal kesit alanı» asgaride tutan yöntemler daha az distorsiyon hasıl edeceklerdir. Böylece elektron hüzme yöntemi alçak distorsiyonun bir ucunu, geniş açılı bir hazırlık üzerine uygulanan oksijen - asetilen veya tozaltı kaynağı da yüksek distorsiyonun öbür ucunu oluştururlar.

Keza kaynak edilecek malzeme de, özellikle yaklaşık  $\alpha/c\rho$  distorsiyon katsayısı itibariyle,

önemli olup tasarımcı, örneğin ince alüminyum konstrüksiyonlarda büyük güçlükler beklemelidir. Yavaş kaynak hızlarında difüzyonun etkisi önemlidir ve yüksek difüzyonlu malzemelerin (alüminyum ve bakır) distorsiyonu, alçak kaynak hızında göreceli olarak daha az olur.

Bir kaynakta hasıl olan çekme kuvvetini azaltmak için her şeyin yapılmış olmasından sonra konstrüksiyonun bu kuvveti çekebilip çekemeyeceğinin saptanması gerekir. Uzunlamasına çekme durumunda aksel rijitlik önemlidir (kesit alanıyla orantılı); ama her yönüyle imalat ve montajda güçlük çıkaran düzlem dışı distorsiyonlar için eğilme rijitliği azamiye çıkarılıp kaynağın sentroidi mümkün olduğu kadar konstrüksiyonun nötr eksenlerine yakın getirilecektir. Açısal distorsiyon da, yüzey köşe kaynaklarından kaçınarak azaltılabilir.

Keza distorsiyon, kaynağın, bakiye basma gerilmeleri içeren bir bölgede uygulanması halinde çok daha büyük olur; buna karşılık, bakiye gerilmenin çekme gerilmesi olması halinde, distorsiyon azalır.

Çubuklar ve borular gibi hazır satın alınan birçok malzemede, şekillendirme, doğrultma ve ısıtılardan ötürü bakiye gerilme sistemleri mevcuttur ve bu gerilmelerin daha sonraki kaynak işlemleriyle karşılıklı etkileşimleri beklenmeyen distorsiyon olaylarının menbaı olabilir. Bu tartışmanın bir başka önemli mesajı da simetrik yada "dengeli" ve sırasına uygun olarak yürütülmüş kaynak süreçlerinin mutlaka bir simetrik sonuç hasıl etmeyecekleridir.

Distorsiyonun etkilerini asgariye indirmek için tasarım ve planlama açısından her mümkün olan yapıldıktan sonra imalat süreci sırasında bunun dikkatle denetimi önerilir söyle ki gelişmekte olan distorsiyon kontrol altına alınıp uygun önlemlere başvurulacaktır.



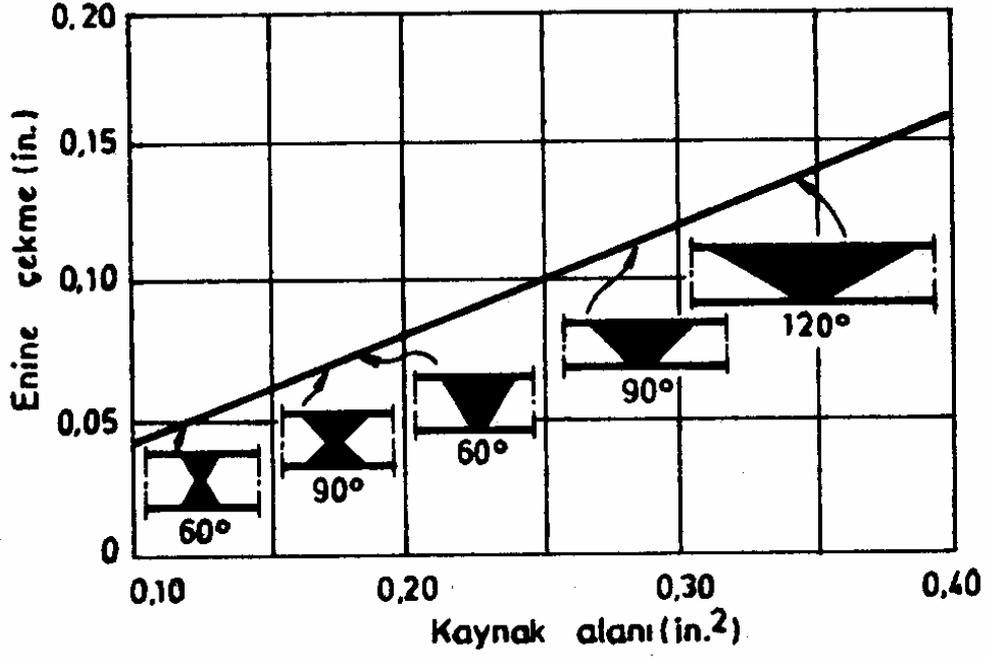
Buraya kadar, akademik çalışma yapacaklara bir ışıklıdır; örneğin bir büyük binanın uzunluğu veya eni boyunca giriş - kolon bağlantıları bu türdendir. Genellikle, kaynaktan sonra çekeceği miktar kadar birleşmede bir peşin aralık bırakarak çekmeye müsaade edilmemesi halinde, çok sayıda giriş - kolon bağlantısının biriken çekmesi, bina boyutlarını ciddi şekilde kısıltacak boyutlara varabilir.

$$A = (1/4)(3/4) + (1/2)(3/4)(3/4) + (2/3)(1/8)(1-1/8) - 0,563 \text{ in}^2$$

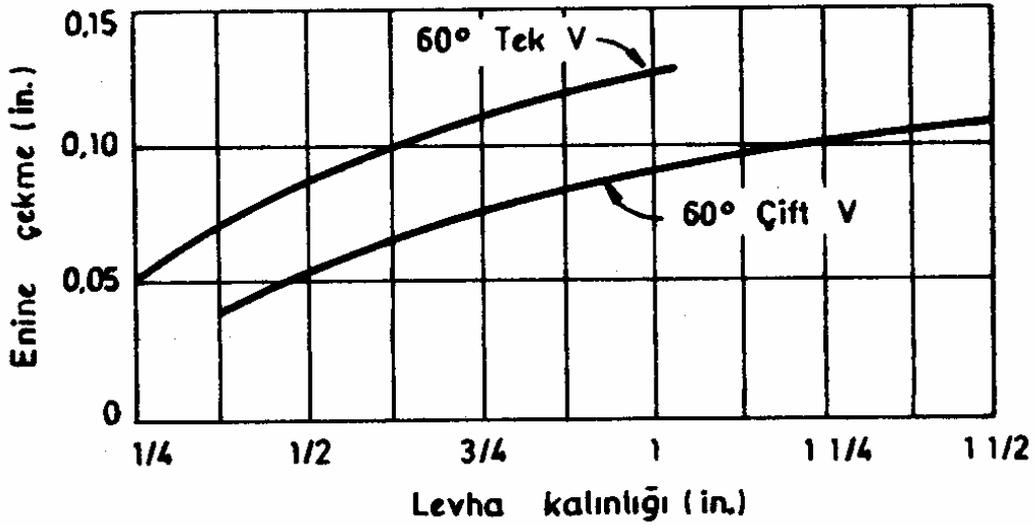
$$Enine çekme = 0,10 \frac{A}{t} = 0,10 \frac{0,563}{0,875} = 0,064 \text{ in.}$$

Belli bir kaynak kalınlığı için enine çekme, kaynak kesit alanıyla doğru orantılı olarak artar. Şek. 266 a'da, 1/2 in kalınlıkta levha için bu ilişki görülür; grafikte görülen geniş iç açılar sadece temsili olarak verilmiştir zira 60°den büyük açılar nadiren kullanılır. Çeşidi levha kalınlıklarında 60° tek ve çift V birleşmelerinin çekmesi şek. 266 b'de görülür.

Başka kaynak ağız açıları veya boyutlar için yaklaşık enine çekme  $0,10(A/t)$  formülü ile önceden hesaplanabilir. Burada A, kaynağın  $\text{in}^2$  .cinsinden kesit alanı, t'de yine in. olarak kaynak kalınlığıdır.



(a)

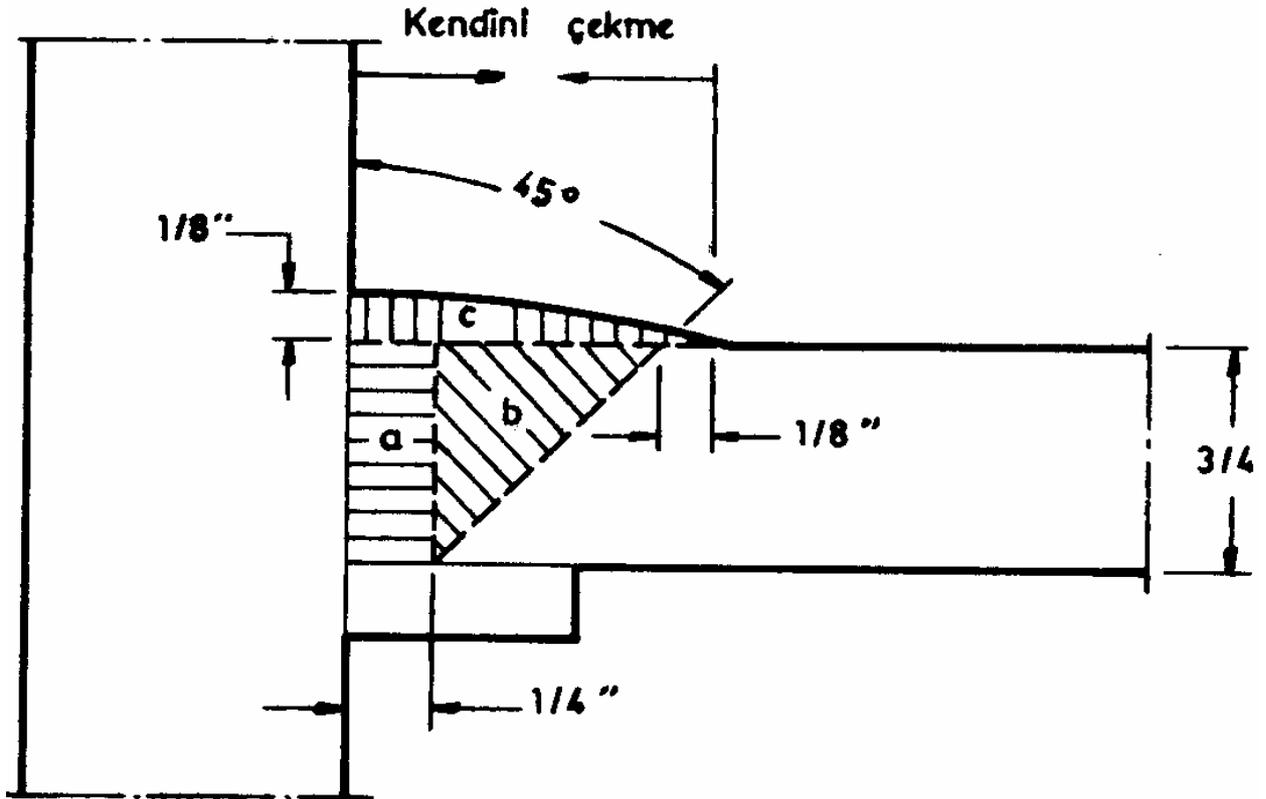


(b)

Şek. 266 — Belli bir kaynak kalınlığı için enine çekme, kaynağın kesit alanıyla artar. (a)'daki geniş iç açısı sadece temsilî amaçla verilmiştir.

Bu ilişkiyi ifade etmenin bir başka yolu da enine çekmenin, kaynak alanının ortalama genişliğinin onda biri olduğu şeklindedir.

**Önemli:** Derin nüfuziyetli bir kaynak yönteminin (örneğin tozaltı kaynağı) kullanılması halinde, sadece terk edilen kaynak metal alanı değil, birleşmenin tüm ergime bölgesinin kesit alanı kullanılacaktır.



Şek. 267 — Enine çekme, kaynağın kesit alanı saptanıp bunun enine çekme formülüne uygulanmasıyla hesaplanır.

Açısal distorsiyon (şek. 268), W flanş (tabla) genişliği ve  $\omega$  kaynak boyutu ile doğruca, flanş kalınlığı  $t$  ile de ters orantılı olarak değişir:

$$\text{Açısal distorsiyon} = \frac{0,02W \cdot \omega^{1,3}}{t^2} \text{ in.}$$

$\omega^{1,3}$  in değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

$\omega$ (in.)	$\omega^{1,3}$
3/16	0,114
1/4	0,165
5/16	0,220
3/8	0,280
7/16	0,342
1/2	0,406
9/16	0,474
5/8	0,543
3/4	0,688
7/8	0,841
1	1,000

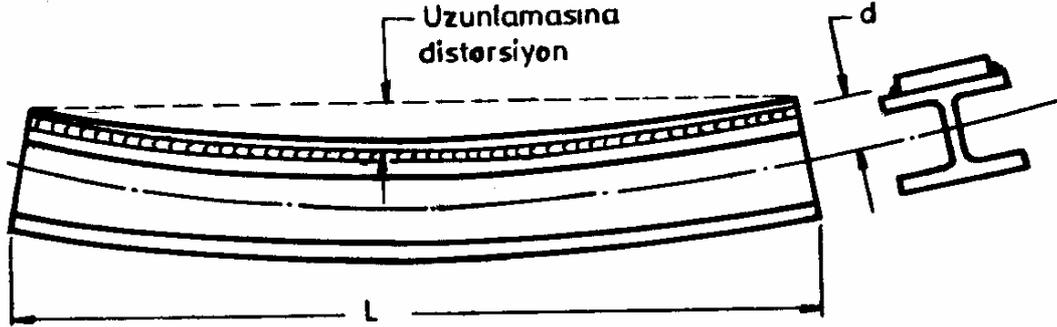
Değişik flanş ve dikme tertipleri için hesaplanmış ve fiilen ölçülmüş açısız distorsiyon değerleri birbirlerine yakın çıkmakla denklemin geçerliliğini ispatlamıştır. Yapılmış sekiz ölçümden sadece bir tanesi AWS'in müsaade ettiği sınıra yaklaşmış bir açısız distorsiyon arz etmiştir ki burada fazla kaynak bir gerçektir.

AWS'in müsaade ettiği açısız distorsiyon, flanş genişliğinin % l'i veya (hangisi daha büyükse) 1/4 inç.'tir.

*Uzunlamasına eğilme*, bir elementin nötr ekseninden belli bir mesafede uygulanmış bir kendini çekme kuvvetinden ileri gelir. Distorsiyon miktarı, kendini çekme momenti ile atalet momentinin tayin ettiği elementin eğilmeye mukavemetine bağlıdır. Gayri tabii peşin gerilmelerin mevcut olmadığı farz edilerek aşağıdaki denklem, bir elementin uzunlamasına kaynaktan ileri gelen distorsiyonunu hesabetmede kullanılabilir:

$$\text{Uzunlamasına distorsiyon} = \frac{0,005 AdL^2}{I}$$

Burada A, kaynak metali ile ergimiş ana metalin toplam kesit alanı (in.<sup>2</sup>); I, elementin atalet momenti (in.<sup>4</sup>); L ve d, şek. 269'da görülen uzunluk ve mesafedir (in). A alanı, ω kaynak boyutundan değerlendirilebilir.



Şek. 269 — Uzunlamasına distorsiyon kaynak metalinin kesit alanı, kaynak ağırlık merkezinin nötr eksene mesafesi, elementin uzunluğunun karesiyle doğru orantılı, ve elementin atalet momentiyle de ters orantılı olarak değişir.

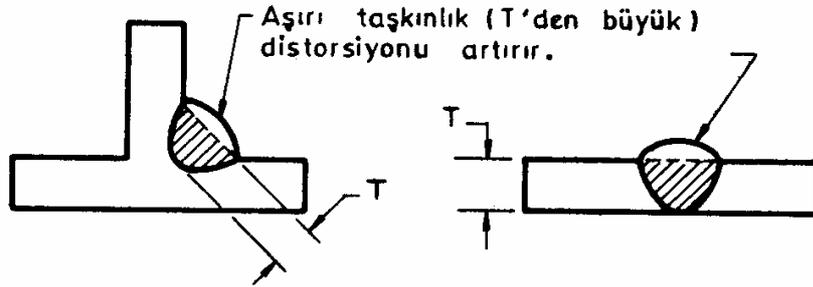
Bu formülün de verdiği sonuçlar, deneylerde fiilen ölçülenlere çok yakın çıkmaktadır.



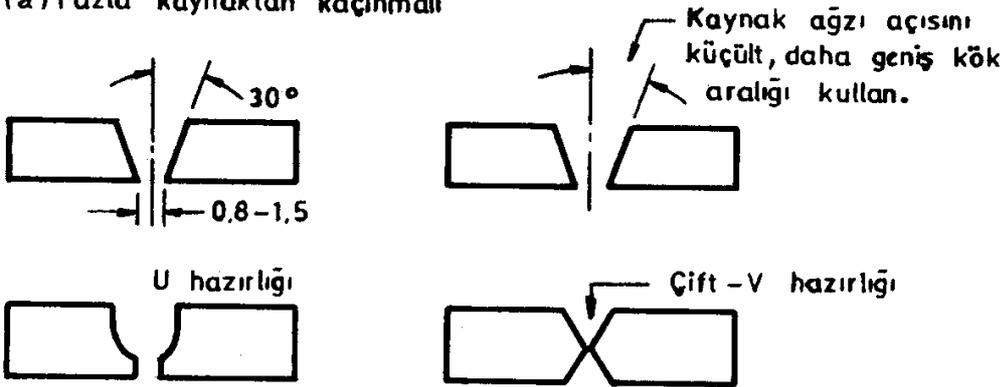
Yukarda da söylendiği gibi, distorsiyon önlenemez ama denetim altında tutulabilir. Bunu asgariye indirmek için aşağıdaki hususlara uyulacaktır.

*Fazla kaynak edilmeyecek.* Bir birleşmeye ne kadar fazla metal konursa, çekme kuvvetleri de o kadar fazla olur. Birleşmenin çalışma gereklerine uygun şekilde bir kaynağı doğru boyutlandırmak sadece distorsiyonu asgariye indirmekle kalmaz, ayrıca kaynak metali ve zamandan da iktisat eder. Bir köşe kaynağında kaynak metali miktarı bir düz ya da hafifçe dışbükey dikiş, alın birleşmesinde de uygun ağız hazırlık ve ayarı ile elde edilir. Sadece fiilî boğaz, şek. 270'deki T boyutu, bir kaynağın mukavemetinin hesabında kullanılabilir. Aşırı

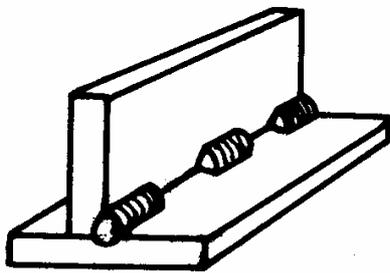
dışbükey bir dikişteki kaynak metali fazlası, müsaade edilebilir mukavemeti artırmaz, sadece çekme kuvvetlerini artırır.



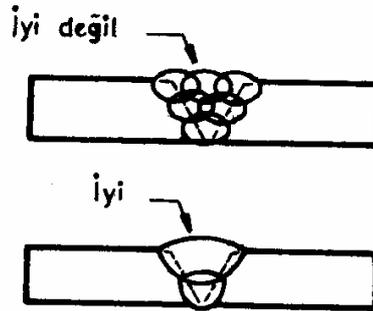
(a) Fazla kaynaktan kaçınmalı



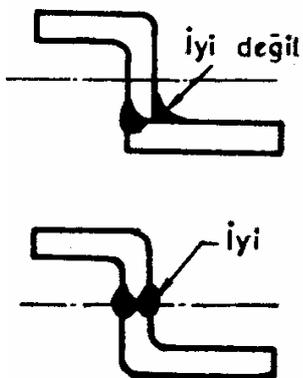
(b) Kenar hazırlığı ve alıştırma



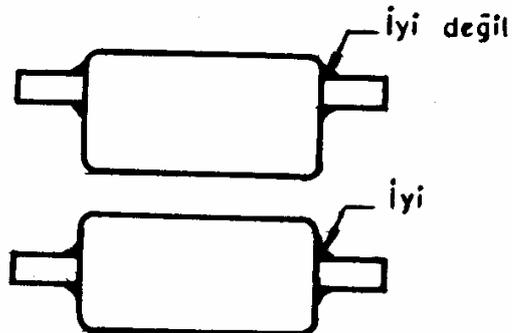
(c) Aralıklı kaynak



(d) Asgari paso sayısı

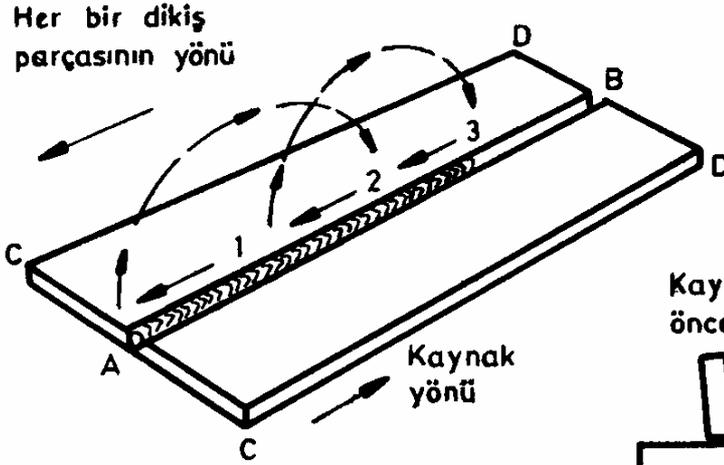


(e) Nötr eksene yakın kaynak

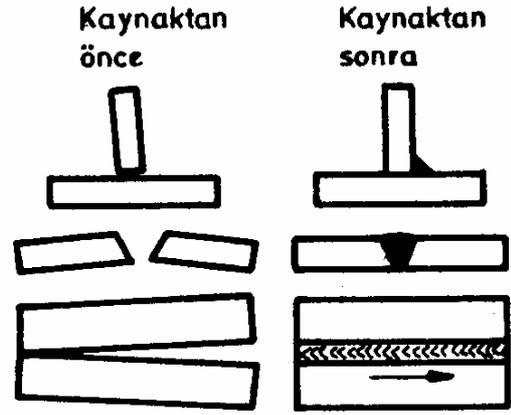


(f) Nötr eksenini etrafında kaynakların dengelenmesi

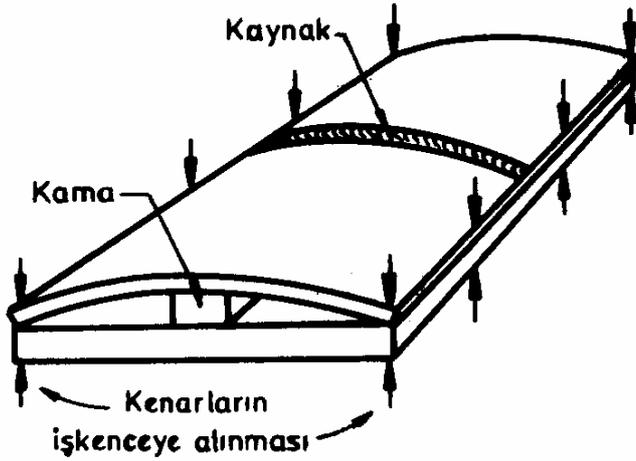
Şek. 270



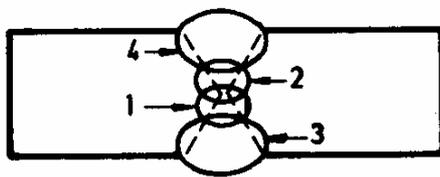
(g) Geri adım kaynağı



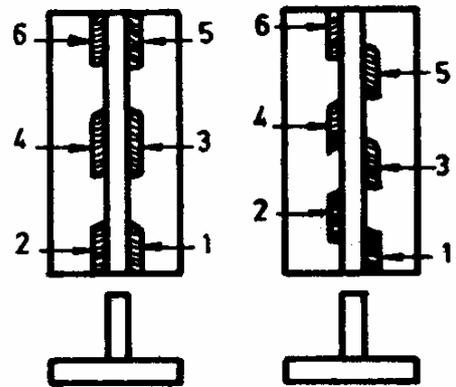
(h) Önceden tertiplenmiş parçalar



i) Ön eğme



(j) Kademeli kaynaklar



(k) Kademeli kaynaklar

Şek. 270.

*Aralıklı kaynak kullanılacak.* Kaynak metalini asgaride tutmanın bir başka yolu da, mümkün olan her yerde sürekli kaynak yerine aralıklı kaynak kullanmaktır (şek. 270 c). Örneğin levhalara bayrak ve guşelerin bağlantısında aralıklı kaynak, kaynak metali miktarını % 75'e kadar azaltabilir, bununla birlikte gerekli mukavemeti verir.

*Mümkün olduğu kadar az paso kullanılacak.* Enine çekmelerin sorun yarattığı durumlarda kalın elektrodla daha az paso, ince elektrodla daha çok sayıda pasoya yeğlenir (şek. 270 d). Her pasonun meydana getirdiği çekme, birikme eğiliminde olup çok paso kullanıldığında toplam çekmeyi artırır.

*Kaynaklar nötr eksene yakın olacak.* Çekme kuvvetlerine, levhaları hizadan saptıracak çekme kuvvetlerine daha küçük bir manivela kolu sağlayarak distorsiyon asgariye indirilebilir (şek. 270 e). Bunun için tasarımda mümkün olan değişikliğe gidilmeli, kaynak sırasına önem verilmelidir.

*Kaynaklar nötr eksenin etrafında dengelenecek.* Şek. 270 f de görülen bu uygulama bir çekme kuvvetini ötekiyle telâfi etme olanağını sağlar ve etkin olarak distorsiyon azaltılır. Burada da konstrüksiyonun tasarımı ve kaynak sırası önemli etmenler olmaktadır.

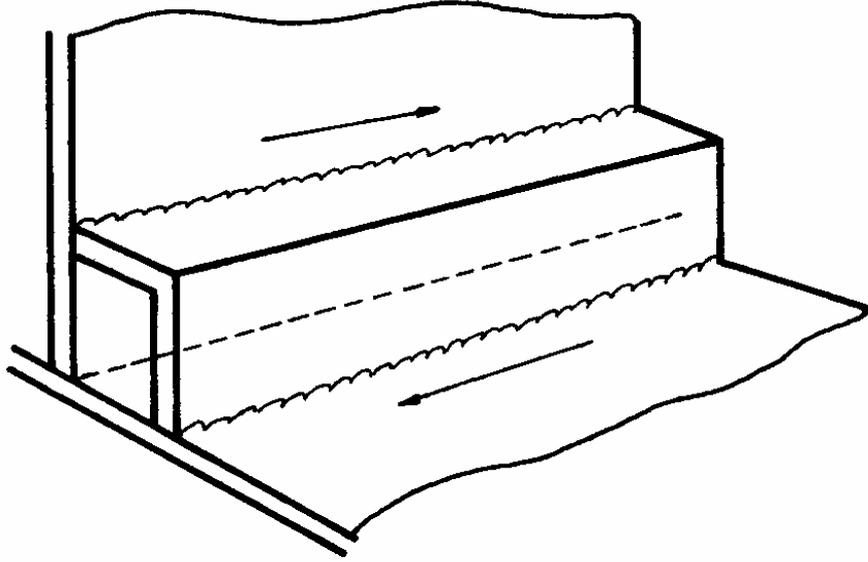
*Geri adım kaynağı kullanılacak* (şek. 270 g). Her bir dikiş parçası çekildiğinde, ısıtılan kenarlar genişir ve levhaları B'de geçici olarak açar. Ancak ısı levha içinde C'ye ilerledikçe, CD dış kenarlar boyunca genişir, levhaları yine eskisi gibi yanyana getirir. B'de görülen açılma, ilk dikiş parçası çekildiğinde en fazla olur. Müteakip dikişlerle, levhaların genişmesi giderek azalır zira daha önceki kaynaklar buna engel olurlar. Geri adım kaynağı her uygulamada etkin olmayabilir ve otomatik kaynakta ekonomik olarak kullanılamaz.

*Kendini çekme kuvvetleri olumlu yönde kullanılacak.* Parçalar kaynaktan önce pozisyon dışında tertiplenerek çekme kuvvetlerinin bunları istenilen konstrüksiyon şekline getirmesi sağlanabilir (şek. 270 h). Birkaç deneme kaynağın gerekli pozisyon dışı tertip miktarını saptayabilir.

Parçaların önceden eğilmesi ya da yaylandırılması (şek. 270'i), kaynaktan ileri gelen distorsiyonu telâfi etmek için karşıt mekanik kuvvetlerin kullanılmasına bir basit örnek oluşturur. Levhalar yaylandırıldıklarında kaynak ağzının üst kısmı uzar ve böylece de tamamlanan kaynak, bunun düz levha üzerine yapılmış olanına göre hafifçe daha uzun olur. Kaynaktan sonra işkenceler çıkarıldığında levhalar düz hale dönerler ve böylece de kaynak, düz çizgiye kısalarak uzunlamasına kendini çekme kuvvetlerini giderme olanağını sağlar. Her iki etki üst üste biner ve kaynaklı levhalar istenilen düzlüğü iktisap ederler.

Paralel dikişlerin birbirlerine ters yönde kaynak edilmeleri, distorsiyonu asgariye indirebilir (şek. 271). Bayrak, guse gibi takviyeler mümkün olduğu kadar en sonra kaynak edilecektir.

*Kaynak sırası planlanacak.* İyi planlanmış bir kaynak sırasında kaynak metalinin, konstrüksiyon bir yerde çektiğinde, bir başka yerdeki daha önce yapılmış çekme kuvvetlerini telâfi edecek şekilde, değişik yerlere dağıtılması bahis konusudur. Buna bir örnek, bir alım kaynağında nötr eksenin iki tarafında almaşık kaynaktır (şek. 270 k). Başka örnekler de şek. 270 l'de verilmiştir. Bunlarda 1 kaynağındaki çekme 2 kaynağı tarafından dengelenir...



Şek. 271.

Parçaları istenilen pozisyonlarda tespit eden ve kaynak bitene kadar onları bu durumda tutan işkence, aparat vs., küçük konstrüksiyon veya parçaların kaynağında distorsiyonu denetlemede en çok kullanılan araçlardır. Daha önce de söylendiği gibi bu tespitlerin sağladıkları engelleyici kuvvet, kaynaklı konstrüksiyonda kaynak metalinin akma sınırına varılana kadar iç gerilmeleri artırır. Alçak karbonlu çeliklerde bu gerilme düzeyi yaklaşık  $32 \text{ kg/mm}^2$  'dir. Bu gerilmenin işkenceler söküldükten sonra önemli bir hareket yada distorsiyon yaratması beklenir. Bununla birlikte bu, vaki olmaz şöyle ki bu gerilmenin hasil ettiği şekil bozulması (birim çekme), kaynak sırasında hiçbir tespit yapılmamış olması haline göre çok düşüktür. Örneğin

$$\text{Elastikiyet modülü } E = \frac{\text{gerilme}(\sigma)}{\text{şekil bozulması}(\varepsilon)}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_{\text{çelik}}} = \frac{32}{21000} = 0,0015 \text{ mm / mm}$$

*Kaynaktan sonra (çekme kuvvetleri giderilecek. Çekiçleme, bir kaynak dikişi soğurken onun çekme kuvvetlerini telâfi etmenin bir yoludur. Esas itibariyle dikişi çekiçleme onu gerer ve inceltir ve böylece de metal soğurken çekmesinden hasil olan gerilmeleri plastik deformasyon yoluyla giderir. Ancak, bu yöntem büyük dikkatle kullanılacaktır. Örneğin bir kök pasosu hiçbir zaman çekiçlenmeyecek-tir zira ya bir çatlak gizlemeye yardım eder, ya da doğruca çatlak hasil eder. Genellikle son pasoda çekiçlemeye müsaade edilmez şöyle ki burada da bir çatlak kapatılarak muayeneyi şaşırtabilir, ayrıca da istenmeyen işleme sertleşmesi hasil edebilir. Böylece de her ne kadar pasolar arasında çekiçlemenin distorsiyon veya çatlama sorununun tek çözüm yolu olduğu birçok durum varsa da, bu tekniğin kullanılma sınırı dardır. Bir işte çekiçlenmeye başvurmadan önce, kaynak mühendisinin onayı alınacaktır.*

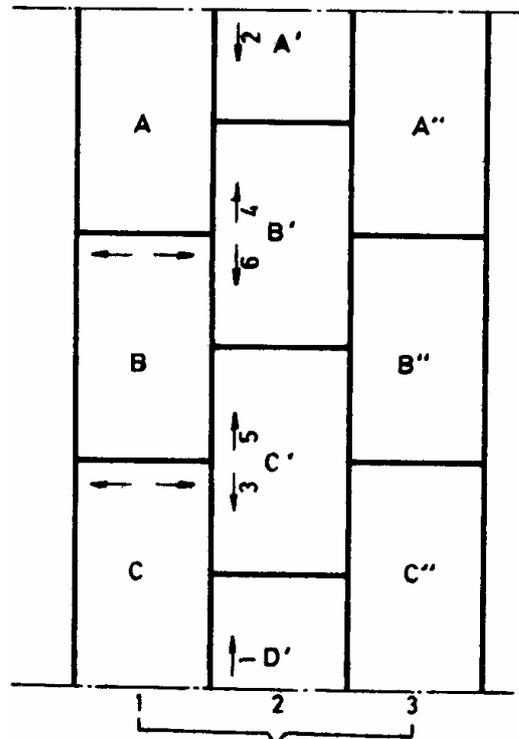
Çekme kuvvetlerinin giderilmesinin başlıca yolu, daha önce gördüğümüz gerilim giderme tavlamasıdır.

*Kaynak süresi asgaride tutulacak.* Kaynak sırasında çapraşık ısınma ve soğuma devreleri yer aldığından ve ısı intikalinin de zamanı gerektirmesi itibarıyla, süre faktörü distorsiyonu etkiler. Genellikle kaynağın hızla, onu çevreleyen büyük metal hacmi ısınıp genişmeden bitirilmesi istenir (bkz. şek. 251). Gerçekten kullanılan kaynak yöntemi, elektrodun tip ve çapı, akım şiddet» ve kaynak hızı bir kaynaklı konstrüksiyonun çekme ve distorsiyon derecesini etkiler. Elle demir tozlu elektrod veya otomatik kaynak teçhizatı kaynak süresini ve ısıdan etkilenen metal miktarını ve dolayısıyla de distorsiyonu azaltır. Örneğin kalın levha üzerinde 175 amp, 25 V ve 75 mm/dak hızla yapılmış bir kaynak, kaynak santimetresi başına 35000 joule gerektirir. Aynı kaynak 310 A, 35 V ve 200 mm/dak hızla yapıldığında bu miktar 32500 joule'a düşer. Aradaki fark, çevredeki metali gereğinden fazla genişletiren "aşırı" ısıyı temsil eder.

### DİSTORSİYON DENETİMİNE ÖRNEKLER

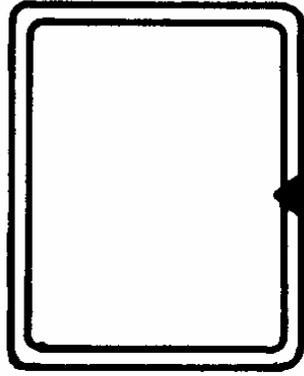
Kesişmelerle kaynak birikmelerinden kaçınmak için büyük yüzeyli düz, silindirik ve sair işlerde saçlar mümkün olduğu kadar şaşırtmaca konacaktır. Bunlarda önce *uç uca* kaynaklar yapılarak (şek. 272'de A, B, C, A', B', C'...) bir uzun pano serisi meydana getirilir. Bu panolar sonradan aralarında yanal olarak birleştirilir.

Bunun için yukarıda betimlenmiş kaynak yöntemleri, özellikle "geri adım" yöntemi, kullanılabilir (şek. 272'deki sıraya göre). Bu gibi kaynaklarda dikişin anî yön değiştirmelerinden mutlaka kaçınılacaktır. Dikişler mümkün olduğu kadar birbirlerine dikey olmalı ve aralarındaki açı 30°'nin altına düşmemelidir.

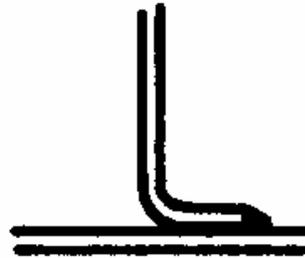


Panoların birleştirme sırası  
Şek. 272

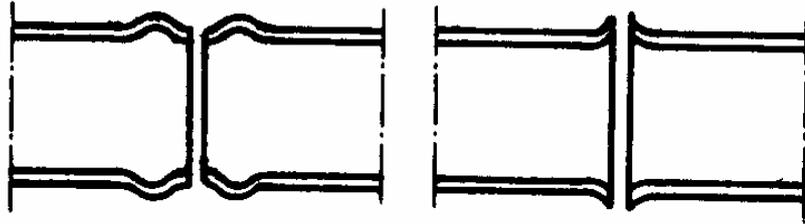
İnce saçlarda dış köşe dikişleri sonradan düzeltilmesi çok güç olan şekil değişimleri hasıl eder. Bu itibarla birleşme, köşenin ilerisinden olacaktır (şek. 176 ve 273). İnce saçlarda ayrıca kıvrak üzerine bindirme kaynağı önerilir.(şek. 274). İnce cidarlı boruların uç uca kaynağında şekil değişmelerini yutabilecek elastik bölgeler oluşturulmalıdır (şek. 275 ve 203).



Şek. 273.

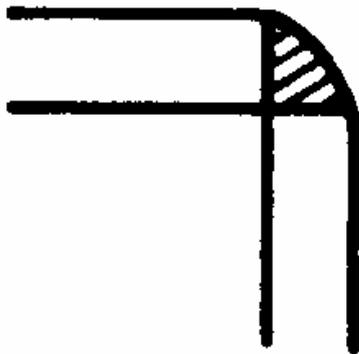


Şek. 274.



Şek. 275.

Kalın saçlar üzerinde kaynak yapıldığında, eşit bir nüfuziyetle asgari hacimde elektrod metali gerektiren hazırlık şekillerine gidilecektir. Örneğin şek. 276 yerine şek. 277'daki hazırlık tercih edilecektir.

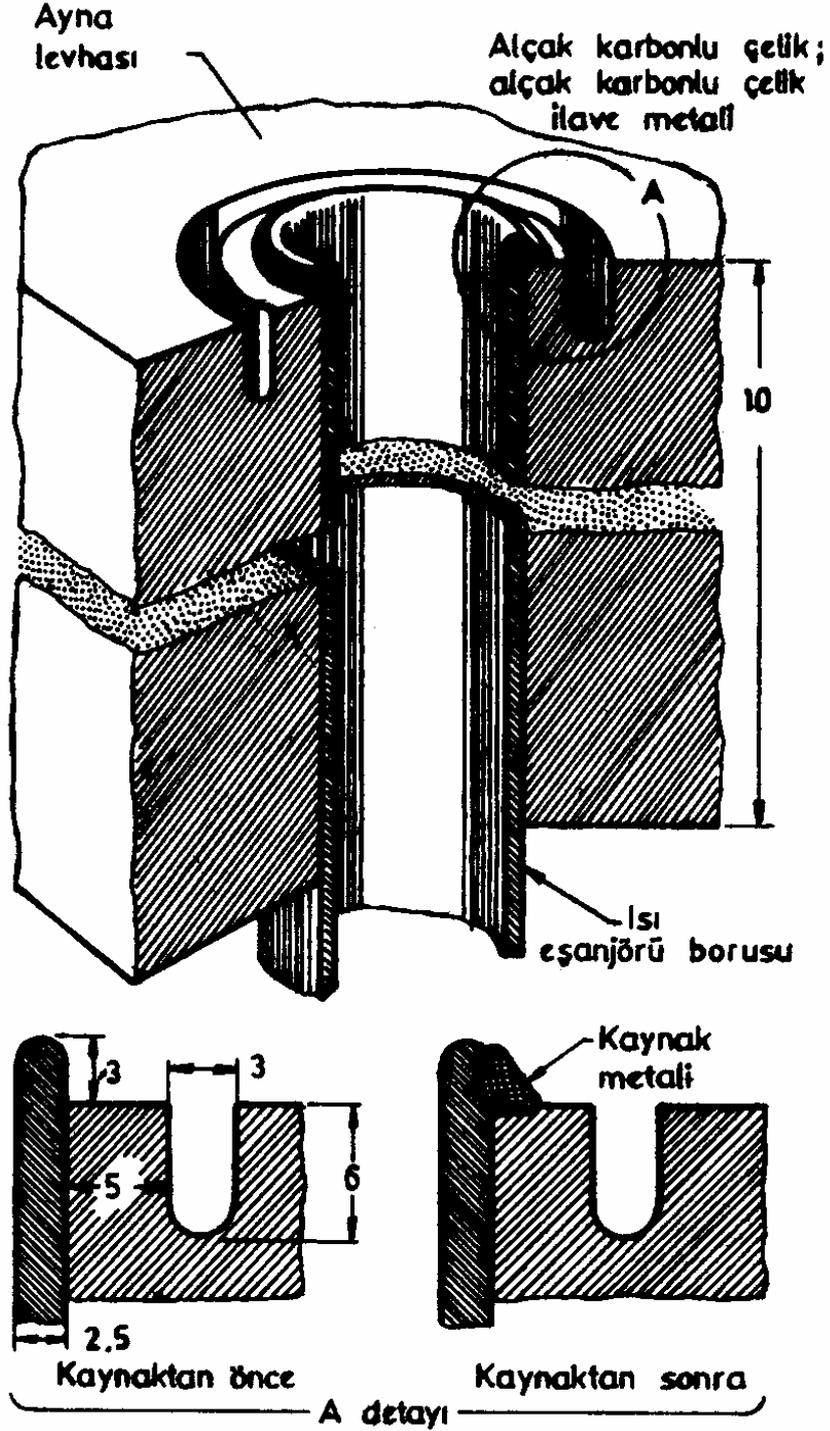


Şek. 276.



Şek. 277.

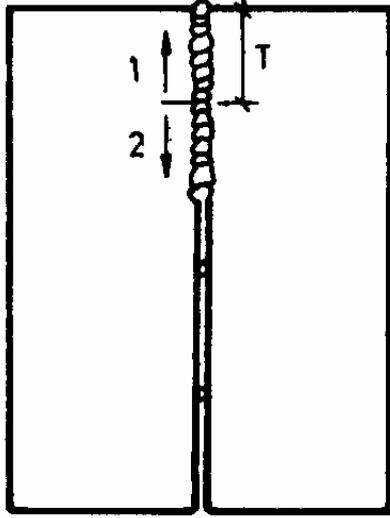
İnce boruların kalın saçlara, örneğin ince ısı eşanjörü borularının kalın aynalara kaynağında, ayna deliğine eş merkezli boğazlar açılır. Böylece ısı gradieni daha ılımlı olur ( şek. 277a )



Şek. 277a

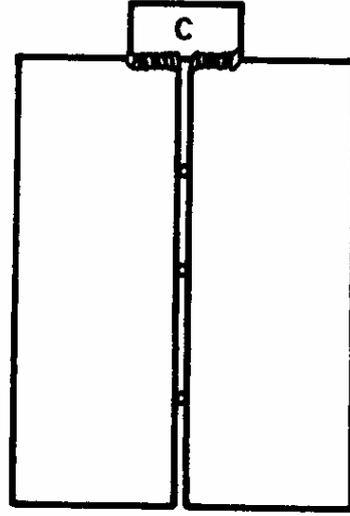
*Uç ökçeli kaynak'ta* işlem ökçe kısmında başlar (şek. 278); böylece sıkma etkisi büyük ölçüde azaldığı gibi bunun sonucunda doğabilecek olan sıcak çatlama tehlikeleri de sınırlandırılmış olur.

*Uç kulaklı kaynak'ta* (şek. 279) ökçe, önceden kaynak edilen bir kulakla teşkil edilir, birleşmenin bitiminde bu kulak kesilip atılır. Böylece de dikiş sonu krateri ile birlikte, her türlü çatlak ihtimali yok edilmiş olur.



C

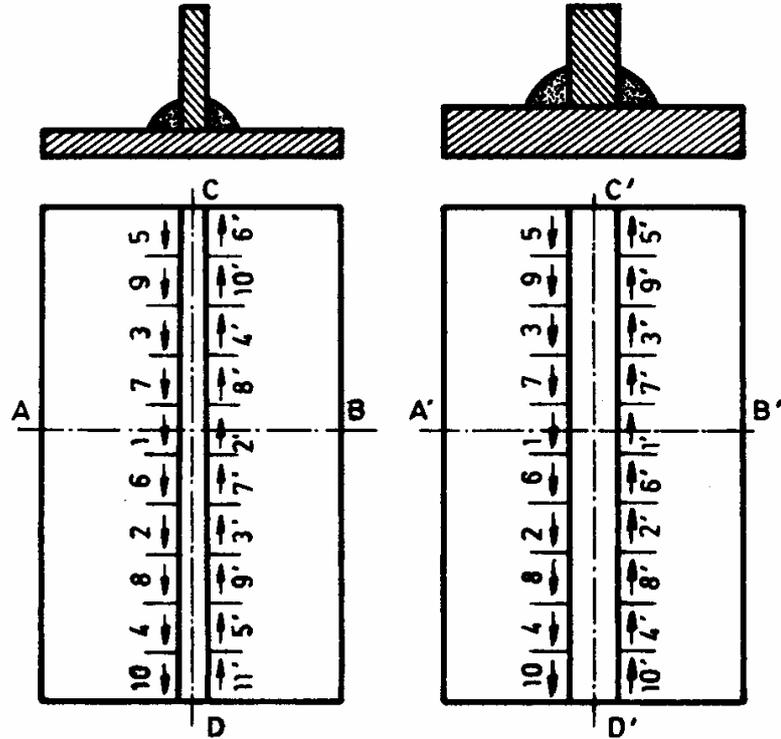
Şek. 278.



D

Şek. 279

Aynı anda simetrik kaynaklar (şek. 280). Kaynakların simetrik durumda olup az çok eşit çekme etkileri yapmaları halinde, aynı anda çalışmak ya da simetrik olarak dağılmış kısımlar halinde kaynak etmek faydalıdır. Bunda, şek. 280'de gösterilen sıraya göre çalışacak iki kaynakçıya gerek vardır.



İnce saçlar

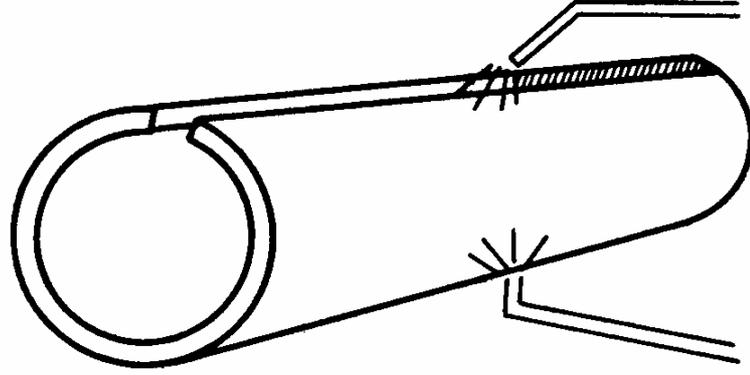
Orta ve yüksek kalınlıkta saçlar

A-B A'-B' Enine simetri eksenleri

C-D C'-D' Uzunlamasına simetri eksenleri

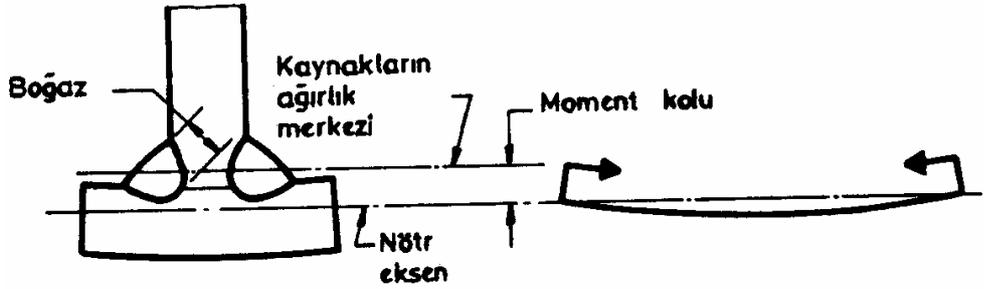
Şek. 280.

Saçı kıvrılarak bir silindirik parça teşkilinde, onu ters yönde ısıtarak hasıl ettiği çekmeye mukabil bir çekme meydana getirilir (şek. 281). Yukardan elektrod ilerledikçe aşağıdan bir üfleç paralel olarak parçayı ısıtır.

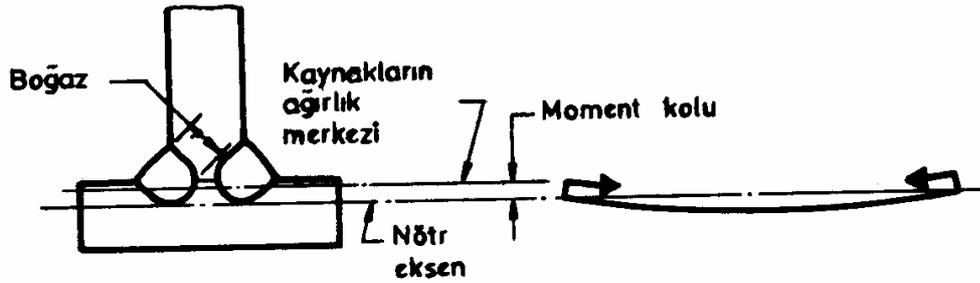


Şek. 281.

Elle kaynak edilmiş bir T birleşmesinde (şek. 282), köşe kaynak boyutlarının uygun olmasına rağmen, yanal distorsiyon görülmesi üzerine yapılan tetkik sonunda iki kaynağın ağırlık merkezinin nötr ekseninin hayli üzerinde olduğu görülmüş (şek. 282 a). Kaynak derin nüfuziyetli otomatik tozaltı kaynağına dönüştürülünce, kaynakların ağırlık merkezi aşağıya inmiş ve böylece de çekme momenti ciddi miktarda azalmış (şek. 282 b). Kaynağın derinliği veya boğazı aynı kalmış olmakla birlikte bu kez kaynak metali nötr eksene daha yakın gelmiştir. Buna ek olarak otomatik kaynağın daha yüksek hızı da distorsiyonu azaltmıştır.



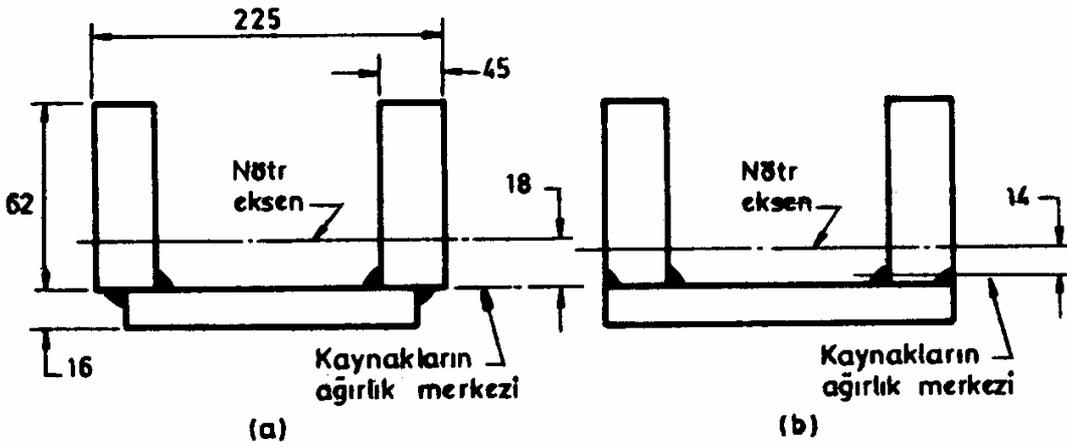
(a) Elle kaynak



(b) Otomatik tozaltı kaynağı

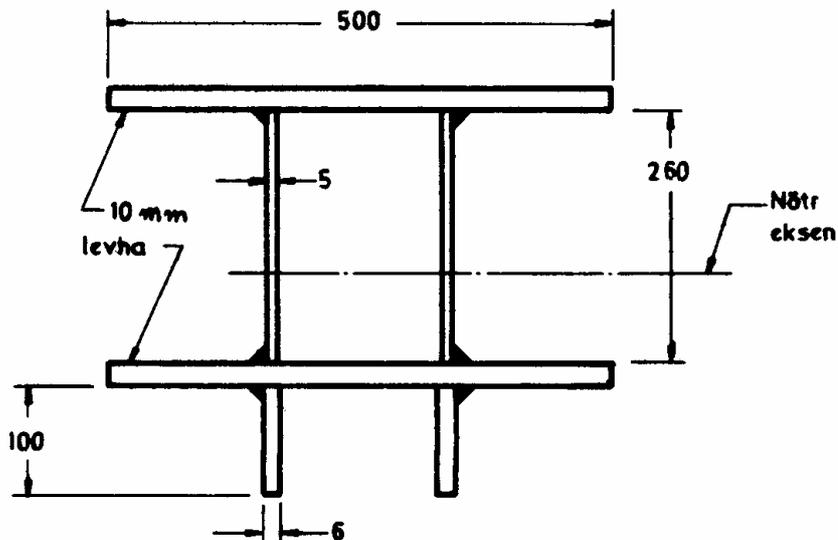
Şek. 282.

Şek. 283'de görülen üç parçadan oluşmuş bir kaldırıncının kaynakları dengelenmiş olup bunlar yerde elle, kaldırıncıyı sadece bir kez çevirerek yapılabilir. Ancak distorsiyon buna rağmen fazla olmuş: 2,5 uzunlukta aşın 10,6 mm. Tetkikler burada da kaynakların ağırlık merkezinin nötr eksenenden fazla uzak olduğunu (17,2 mm) göstermiş. Bunun üzerine bir tasarım değişikliğine gidilmiş (şek. 283 b) ve bu mesafe 14 mm'ye indirilmiş. Böylece de aynı uzunlukta distorsiyon 8,1 mm'ye düşmüştür. Bu distorsiyon miktarının kabul edilmemesi halinde sistem kaynaktan önce yaklaşık 8 mm kadar ters yöne eğilebilir. Bu takdirde kaldırıncı kaynaktan sonra aç çok düz olur.



Şek. 283 — Bir tasarım değişikliğiyle kaynakların ağırlık merkezinin nötr eksenine mesafesi 17,2 mm'den (a) 14 mm'ye (b) inmiş, böylece de 2,5 m uzunlukta distorsiyon 10,6 mm'den 8,1 mm'ye düşmüştür.

Şek. 284'de görülen kutu kesiti, distorsiyonu asgariye indirmede birleştirme (toplama) yönteminin önemini vurgular.



Şek. 284 — Kutu kesitine alttaki guselerin, kutunun kaynağının bitiminden sonra eklenmesi halinde uzunlamasına distorsiyon, bütün sistemin önceden puntalanıp kaynak edilmesinde hasil olandan çok daha fazla olacaktır.

Bir toplama yöntemi, kaynaktan önce bütün parçaları yerlerine puntalayarak, çekmenin hasıl edeceği kuvvetlere karşı koyabilecek rijitlikte bir sistem oluşturmaktır. Tetkikler, kaynak metalinin ağırlık merkezinin kesitin nötr ekseninden 28 mm mesafede olacağını göstermiştir. 160 cm uzunlukta

$$\text{Uzunlamasına distorsiyon} = \frac{0,005 AdL^2}{I}$$

denkleminde hesaplanan distorsiyon 0,1 mm'dir.

İkinci yöntem kutu kesitini önceden kaynak edip alt guseleri sonradan eklemektir. Kutu kesitinin kaynağında kaynak metalinin ağırlık merkezi, nötr eksenine tam olarak intibak ettiğinden hiçbir distorsiyon vaki olmayacaktır. Tek şekil bozulması, iki 6 mm'lik gusenin eklenmesinden hasıl olacaktır. Guse kaynaklarının ağırlık merkezinin sistemin nötr eksenine mesafesi 100 mm olup aynı şekilde 160 cm uzunlukta hesap edilmiş distorsiyon 0,15 mm, yani bundan öncekinin 1 1/2 katı olacaktır.

*Kaynak sırası.* Bir imalatçı çeşitli uzunluk ve kalınlıkta, Abant preste kıvrılmış yumuşak çelikten U profilleri ve levhaları kaynak ederek çerçeveler imâl ediyormuş. Önce, şek 285 a'da görülen sıraya göre çalışmış ve daha başka bir sıranın daha az distorsiyon hasıl edip etmeyeceğini bilmek istemiş.

Sorunun analizinde, kaynak metali ve komşu metalin çekmesinin kendilerini çekmesinin, çekme kuvveti yaratacağı akılda tutulacaktır. Eğer sonunda hasıl olan basma gerilmesi akma mukavemetini aşmaz veya kalıcı bir durum yaratacak kadar büyük olmazsa, kaynak kesitlerinin sistemin geri kalan kısmının kesitine göre büyük olmamaları, kesitin simetrik ve kaynakların da nötr eksen etrafında dengelenmiş olmaları halinde kaynak sırasının bir rolü olmaz. Ancak bu örnekte sorun, mümkün olan kaynak sıralarının herhangi birinde akma sınırının basmada aşılp aşılmayacağındadır.

Birinci kaynak bittikten sonra (şek. 285 b) kaynak ve komşu metalden bir bölüm çekme halinde olur. Sistemin gerisinde basma kuvvetleri mevcuttur; sistem, bir merkezden kaçık olarak yüklemiş bir sütun olarak telâkki edilebilir. Kaynağın yeterince büyük olması halinde, sonuçlanan gerilme sistemin akma sınırını aşacak olup kalıcı deformasyon hasıl edecektir. Bu, akma sınırının aşılmamış olması haline göre daha büyük bir eğilme meydana getirecektir.

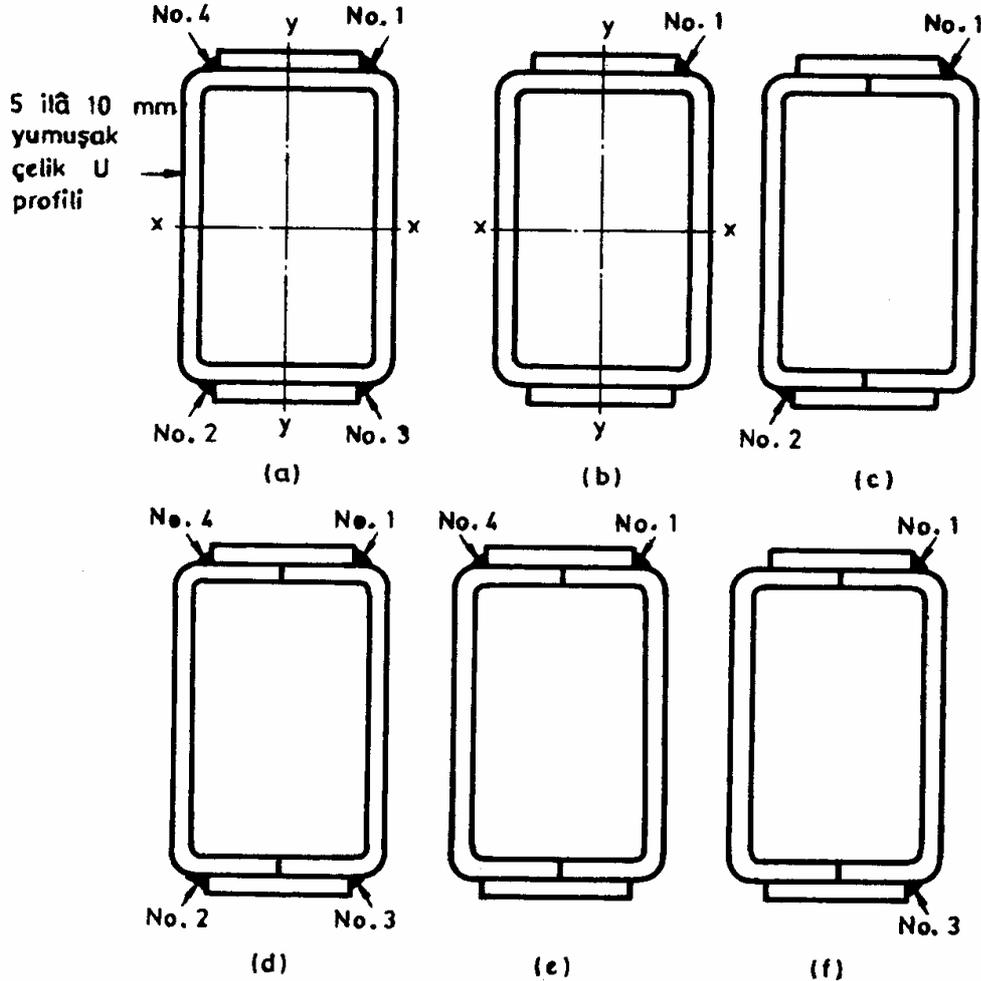
2 No.lı kaynak yapıldığında (şek. 285 c), aynı fakat mukabil gerilme dağılımı oluşacaktır. Bununla birlikte, birinci kaynak bir kalıcı durum yaratmışsa, ikinci kaynak bunu eski düz haline geri getiremez.

Her iki kaynak aynı anda yapılırsa bir uniform gerilme dağılımı olur ve bir hareket yada eğme etkisi olmaz. Keza, gerilme çok daha düşük olup bunun akma sınırını aşma olasılığı çok az olur. Bu itibarla son iki kaynak da aynı anda yapılacak olursa (şek. 285 d) gerilme dağılımı daha da uniform olacak ve her hangi bir eğme etkisi olmayacaktır.

İki kaynak yatay pozisyonda aynı anda yapılacak olursa (şek. 285 a'da No. 1 ve 4) akma sınırı muhtemelen aşılmış olacağından bir miktar eğilme olacaktır. Geri kalan iki kaynak kirişe

herhalde eski düzlüğünü iade edemeyecektir.

Bunun yerine uzun boyut uçlarındaki iki kaynak çift olarak seçilirse (şek. 285 f) eğme, y-y eksenini etrafında olacaktır. Böyle bir kirişin hiçbir teknolojik kullanımı olmaz.



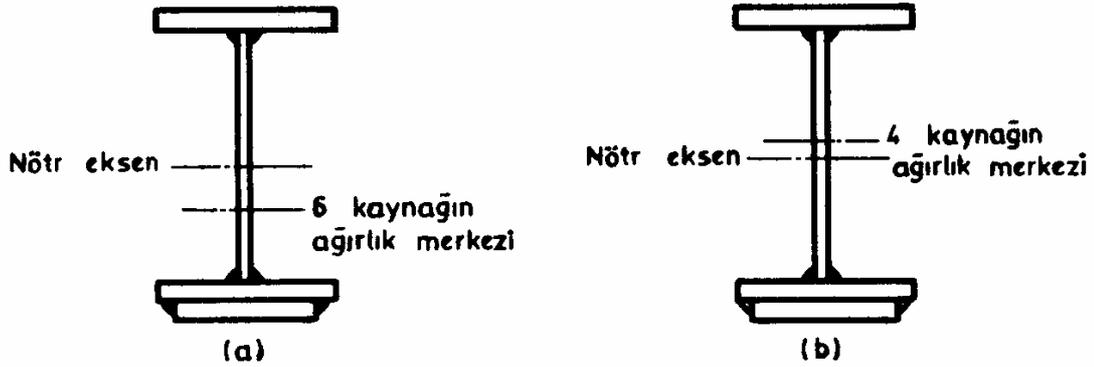
Şek. 285.

Bu itibarla iki komşu kaynak ayarlanacak şekilde kirişi pozisyona getirmek gerekiyorsa, dar boyuttaki iki kaynak aynı anda yapılacaktır. Bunun sonucunda x-x eksenini etrafındaki eğilme hafif olacağı gibi bu yönde bir kemerlenme de çoğu kez arzu edilir.

En az distorsiyon miktarı önce aynı anda 1 ve 2, sonra da 3 ve 4 No.lı dikişlerin yine aynı anda çekilmesiyle elde edilir. Ancak birçok durumda bunun mümkün olamayacağı düşünülerek, bundan sonra gelen en iyi süreç, yani 1, 4, 2, 3 sırasına göre kaynakları yapmaktır; bir miktar kemerlenme kalır.

Yüksek mukavemetli çelikten yapılmış, şek. 286'daki kirişin alt tablo kesit alanını genişletmek gerekmiş. Bu çelikte, mukavemet ve müsaade edilen gerilme, artan kalınlıkla azalmaktadır. Bu nedenle alt tabloyu tek parçadan meydana getirmeyip bunu iki 20 mm kalınlıkta levhadan oluşturma yoluna gidilmiş, böylece de tek bir 40 mm'lik levhadan daha yüksek müsaade edilebilir gerilmeden faydalanılmıştır.

Klasik atölye yöntemi kirişin bütün parçalarını birbirlerine puntalayıp tümünü kaynak etmektir. Bununla birlikte kirişin alt bölümünde 4, üst bölümünde de 2 kaynak olacaktır ki bu, dengesiz bir durum yaratmaktadır. Bu örnekte altı kaynağın ağırlık merkezi, kirişin nötr ekseninin hayli altında olup kaynak sonunda kirişin iki ucu aşağıya sarkacak, ortada bir kamburluk kalacaktır.



Şek. 286 — İlâve levhayı alt tablaya önce kaynak etmek (b'de olduğu gibi) ve kirişi puntalayıp kaynak etmeden önce bunları doğrultmak suretiyle, hepsini bir arada puntalayıp kaynak etmede ortaya çıkacak distorsiyonun yaklaşık üçte biri kadar bir eğilme elde edilir.

Oysa ki daha iyi bir yöntem ilâve levhayı alt tablaya önceden kaynak etmektir. Distorsiyon hasil olacak olursa, bu alt montaj grubunu düzeltmek güç olmayacaktır. Böylece alt montaj grubu ile üst tabla dikey gövdeye kaynak edildiğinde sadece dört kaynak distorsiyonu etkileyecek ve bunların ağırlık merkezi nötr eksene daha yakın olacaktır. Kaynaktan hasil olan sapma, kaynak metali miktarı ve ağırlık merkezi ile nötr eksen arasındaki mesafeyle doğruca orantılı, kesitin eğilme mukavemeti (atalet momenti) ile de ters orantılı olacaktır.

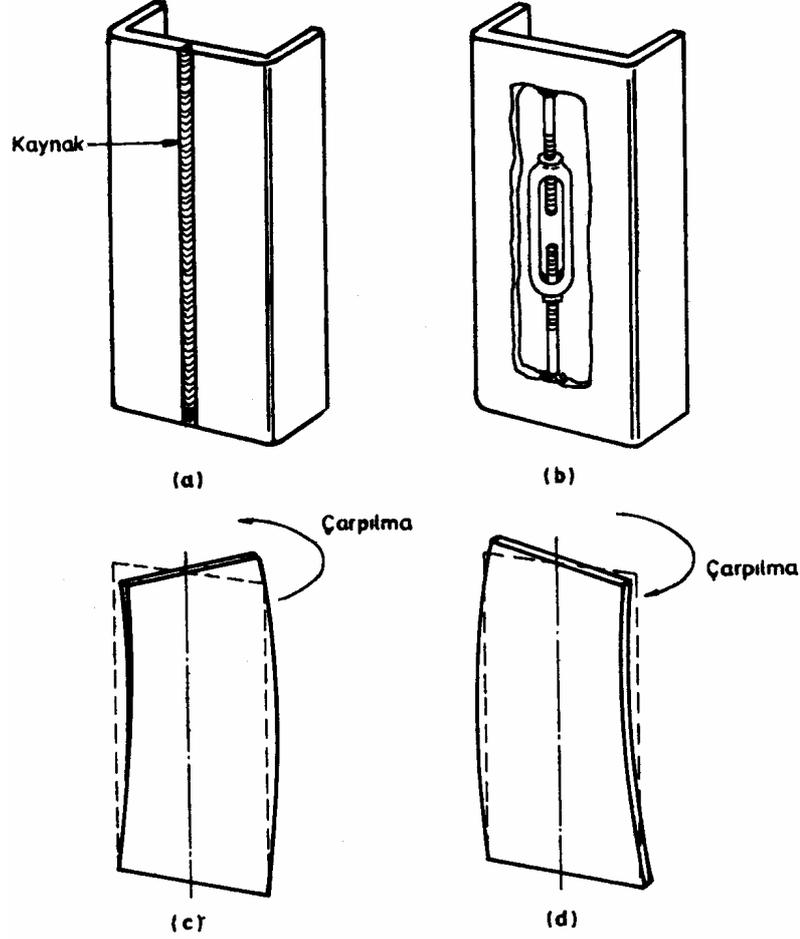
Bununla birlikte ilk yöntemle meydana gelen distorsiyon fazla büyük değilse, bir düzeltme işlemini gerektirecek ikinci yöntemle geçmeye geçmeyebilir. Bu hususun peşinen araştırılması gerekir.

Buraya kadar söylediklerimizde dikkate değer bir husus da Amerikan uygulamalarında simetrik kaynakların deformasyona götürmediği prensibinin hâkim olup daha önce anlatmış olduğumuz bu simetrik kaynaklardan ilk yapılanların hasil ettikleri distorsiyonu öbürlerinin tam olarak telâfi etmediği hususunun dikkate alınmamasıdır (bkz. 265).

*Burkulma ve çarpılma.* Kaynağın kendini çekme kuvveti malzeme kalınlığının karesinin bir fonksiyonu olup burkulmaya mukavemet de kalınlığın kübünün fonksiyonu olduğundan, bir panonun kaynaktan ötürü burkulması, kalınlık azaldıkça, doğruca artar.

Çarpılma da ince malzemeyle bir sorun olabilir şöyle ki bunun burulmaya mukavemeti zayıf olur. Bir kaynak bir elementin merkezinde yapıldığında (şek. 287 a) kaynak alanı kendini çekme eğiliminde olur ve kısalır. Bu, sanki şek. 287 b'de görülen parçaya tutturulmuş germe âletinin elementin üst ve altını birbirine yaklaştırmaya çalışması gibidir. Bir merkeze sınırlanmış, gerilme altında düz bir dikdörtgen mevcut olamaz. Dış kenarları merkez çizgisinden

daha kısa olan bir element mutlaka çarpılacaktır (şek. 287 c). Bu çarpılmayı bertaraf etmek için bir karşıt kuvvet uygulamak tamamen faydasızdır şöyle ki bu kuvvet ilk düzlemi geri getirmeye yetecek dereceye vardığında malzeme aksi yönde bir çarpılmaya geçecektir! (şek. 287 d).



Şek. 287.

*Kemerlenmenin denetimi.* Kaynak çekmesi, istenilen bir kemerlenmeyi haiz bir kiriş imalinde faydalı olarak kullanılabilir. Örneğin birçok gezer köprü (kreyn) imalcisi, ağır yüklü kirişlere, gezer köprü arabasının (şaryosunun) hareketini güçleştirecek fazla sehimi önlemek, hatta arabanın ortaya gelmesiyle tamamen düz hale gelecek bir peşin kemer verirler (gezer köprülerde, maksimum gerilme emniyet gerilmesinin altında kalsa bile maksimum sehim, gezer köprü açıklığının 750'de birini geçmeyecektir -DIN 120-);

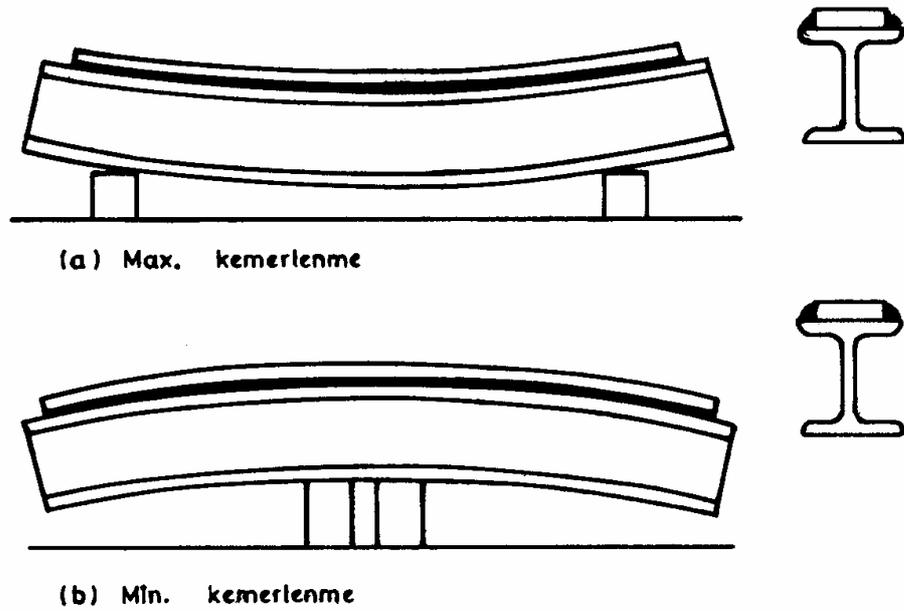
Kemerlerime miktarının kontrolü için kaynak çekmesi ile yer çekiminin (ağırlığın) etkileri birleştirilebilir. Bahis konusu teknik, her iki etkinin istenen yönde çalışmasını sağlayacak desteklemeden ibarettir. Gerçekten bu destekleme tertibinin şekli kirişin kendi ağırlığının (yer çekiminin) etkisini azamiye çıkarır ya da asgaride tutar.

Kirişin uçlarına yakın yerden desteklenmesi onun ortadan bel vermesini sonuçlandırır; buna karşılık ortadan desteklenip uçlarını boştta bırakma, göreceli olarak düz bir kiriş hasil eder.

Örneğin, alt tablasına bir kapağın kaynak edilip belli bir kemerlenmesi istenen (uçlar

aşağıda) bir kirişte (şek. 288) sadece kaynağın yeterince bel vermeyeceği anlaşılmıştı;tablardan daha dar olan kapağın kaynağı kirişin altını üste getirerek yapılmak zorundaydı. Şek. 288 a'daki gibi kirişi uçlarından desteklemekle ağırlığından oluşan sehim, kaynak çekmesine eklenip kemerlenmeyi artırmıştır.

Öbür yandan, kaynağın çok fazla kemerlenme hasıl etmesi halinde, kaynak sırasında kiriş ortadan desteklenebilir (şek. 288 b).



Şek. 288.