

## KAYNAK HATALARI ( I – II – III )

Makina imalâtında olduğu kadar bayındırlık işlerinde de kaynağın baş vurulan başlıca imal yöntemleri arasında yer alması, bunun hata ve kusurlarının asgariye indirilmesi için yoğun çalışmaların her tarafta yürütülmesine neden olmuştur. Gerçekten köprüler, gemiler, hazneler, kazanlar ve benzeri işlerde kaynağın, perçin tekniğini teknikler tarihinin sahifeleri arasına gömmüş olduğu bir vakıadır. Hal böyle olunca da, kaynaktan beklenen "malzemede devamlılık" koşulunun imkân nispetinde eksiksiz olarak yerine getirilmesi gerekir. Bunu temin etmek için çeşitli "hastalıkların önce açıklaması yapılır, sonra bunların teşhisi, önlenmesi ve, olanak bulunursa, tedavisi için yöntemler geliştirilir. Biz bu yazımızda "hastalıkların açıklamasını yapıp nedenlerini sıralamakla yetineceğiz. Tahribatlı ve tahribatsız muayene ile teşhis işlemi, önlenmesinin ve bozuk bir kaynağın tamiri konularının ayrıntılarına şimdilik değinilmeyecektir.

Kaynak hatalarını genel olarak üç sınıfa ayırmak mümkündür:

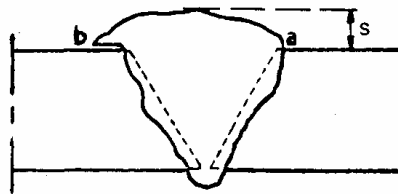
- 1—Şekil ve ölçü hataları
- 2 — Kaynaklı birleşmelerde hatalar
- 3 — Dokusal hatalar.

Her ne kadar şimdiden hata ve kusurlardan söz ediyorsak da önce bunları doğuran faktörleri sırasıyla ele alacağız. Ancak bundan sonra kaynaklarda görülen "hastalıkların ayrıntılarına girip işbu faktörlerin bu kusurların meydana gelmesindeki rollerini inceleyeceğiz, yani her türlü çatlak, gevrek kırılma, lameler yırtılma vs. gibi kusur ve hatalarla bu faktörlerin ilişkilerini göstereceğiz.

### ŞEKİL VE ÖLÇÜ HATALARI

Bunlara OERLIKON neşriyatından "Ark Kaynağı El Kitabı'nda ayrıntıları ile değinildiğinden burada sadece bunları saymakla yetineceğiz.

a) Dikişlerde fazla yükseklik, başka deyimle aşırı ergimiş metal yığılması. Bu fazla yükseklik, birleşmenin statik zorlamalara mukavemetini genellikle azaltmamakla birlikte onun dinamik yüklere dayanma kabiliyetine oldukça zarar verir şöyleki dikişin saçın yüzeyine bir keskin a açısı ya da bir b bindirmesi ile bağlanması çentik etkisi meydana getirir (Şek. 1).

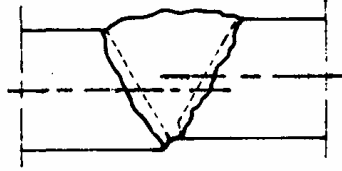


Şekil: 1

b) Metal eksikliği. Bu da çukur dikişler, çok yassı açılı kaynakları, iyice dolmamış krater, keskin köşeleri ergimiş birleşmeler şeklinde belirir.

Yassı açılı dikişlerinde uzayan kısımda kaynama yerine çoğu kez soğuk metal üzerine yapışma olayına tanık olunur. İyi dolmamış bir krater de, ilerde göreceğimiz gibi, çatlaklara yol açabilir.

c) Birleşen parçalar arasında seviye tutmaması, başka bir deyişle parçaların (saçların) nötr hatlarının aynı seviyede olmaması. Bu takdirde konstrüksiyonun yüzeyinde, çalışma esnasında zorlamalara mukavemeti azaltan çıkıntılar hasıl olur (Şek. 2).



Şekil: 2

Bu çıkıntı gerçekten tali eğilme zorlamaları meydana getirir.

d) Çirkin görünümlü dikişler. Bunlar estetik bakımdan mahzurlu olmakla kalmayıp korozyon ve yorulma nedeniyle kopma tehlikelerini artırır. Pürüzler arasına fazla miktarda biriken korozif malzeme, ana malzemenin korozyona mukavemetini yenebilir.

Kazancılıkta bu türden müsaade edilen seviye farkı 0,2 mm olup fark bundan fazla olduğunda kaynak dikişi traşlanıp saçlar baştan ayarlanarak kaynak yeni baştan uygulanır.

### **KAYNAKLI BİRLEŞMELERDE HATALAR**

Bazı hallerde kaynak, kaynaklı konstrüksiyonların kalitesinde bir düşüklük yaratıp bunların çalışma koşullarına cevap veremez hale gelmelerini sonuçlandırabilir. Bu itibarla bir kaynaklı konstrüksiyonun, hizmete alınmadan önce, kaynakla beraber gelebilecek kusurlardan yana emniyette olduğundan, yani bu sonuncuların belli bir sınırı aşmadıklarından emin olunması gerekir. Tahkik işlemi

— şekil değiştirmeler - çarpılmalar,

— mekanik karakteristikler,

— korozyona mukavemet bakımından yapılı.

— Genleşme ve çekmelerden hasıl olan şekil değiştirmeler — çarpılmalar sonucu konstrüksiyon, resimlere tam olarak uymayabilir.

— Standart ve şartnamelerin büyük çoğunluğu, çeşitli tipte kaynaklı konstrüksiyonlar için birleşme katsayısından saptamışlardır. Çekmeye çalışan bir kaynakta birleşme katsayısı, kaynaklı birleşme mukavemetinin kaynaksız, devamlı farzedilen ana metalin mukavemetine oranıdır. Bu katsayılar gerekli emniyet derecesiyle kaynak dikişlerinin kontrol olanaklarına göre değişirler, örneğin tersten kaynak imkânı arzeden bir birleşmede bu katsayı, altına erişilemeyen birleşmeye nazaran daha yüksek olacaktır.

— Gerek ergimiş bölge, gerekse buna komşu bölgelerde ark sıcaklığının meydana getirdiği doku değişimleri bir kaynaklı birleşmenin korozyona mukavemetini azaltabilir.

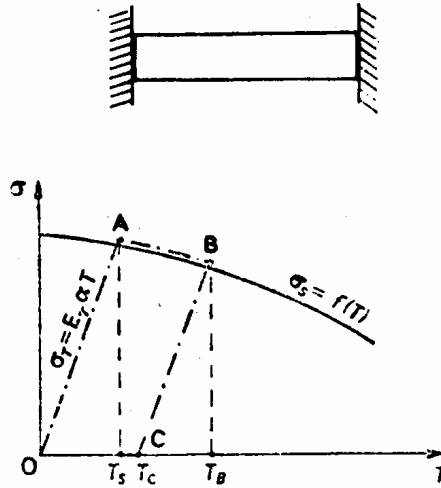
Şekil değiştirme - çarpımların malzemenin bünyesinde hasil olan iç gerilmelerden meydana geldiği bilinir. Şimdi bu gerilmelerin nasıl olduklarını kısaca görelim.

### 1 — Parçanın serbest ve tespit edilmiş durumlarında yeknasak (üniform) ısıtma

Kolaylık bakımından çevre sıcaklığını  $0^{\circ}\text{C}$  farzediyoruz. Dıştan tespit edilmemiş bir çubuğu yeknasak olarak ısıttığımızda, çevre sıcaklığında  $l_0$  olan uzunluğu  $T$  sıcaklığında  $l_T = l_0 (1 + \alpha T)$  olur. Burada,  $\alpha$ , lineer termik uzama katsayısıdır (adi çelikte  $\alpha = 0,000011/^{\circ}\text{C}$ ). Olay geri dönüşlüdür.

Şimdi çubuğu, uzamasına engel olan iki rijid parça arasına sıkışmış farzedelim. Isıtıldığında çubuk bu sabit mesnetleri itecek olup kendisi bir basınca tabi olur. Hook kanunu gereğince  $\sigma_T = E_T \alpha_T$  olur ki burada  $\alpha_T$ ,  $T$  sıcaklığında basınç zorlaması,  $E_T$  de yine bu sıcaklıkta malzemenin elastikiyet modülüdür (adi çelikte, çevre sıcaklığında  $E = 21000\text{hbar}$ ).

$T$  artınca  $\sigma_T$  malzemenin  $\sigma_S$ , elastikiyet sınırı değerine kadar az çok lineer bir kanun gereğince artar (yumuşak çelikte  $\sigma_S = 24\text{ hbar}$ ). Şek.3'teki diyagram,  $T$ 'nin fonksiyonu olarak  $\sigma_T$  ve  $\sigma_S$  'in gidişini gösterir.



Şekil : 3

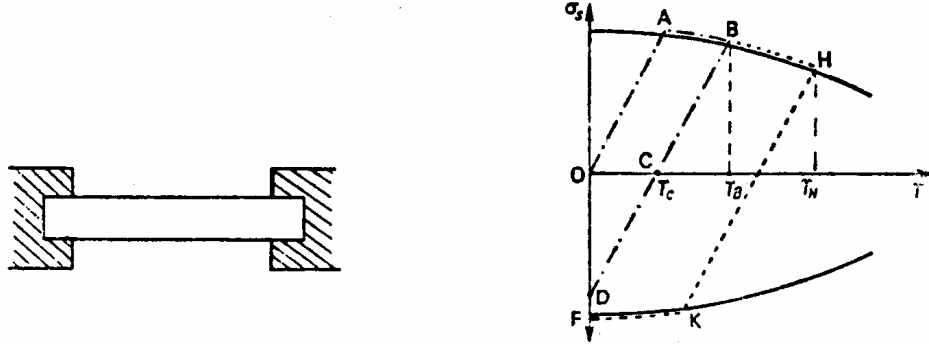
$T_s$  sıcaklığında (A noktası)  $\sigma_T$ ,  $\sigma_s$  değerine varır.  $T_s$ 'e kadar basma elastik ve geri dönüşlüdür.  $T$ 'nin bundan büyük değerlerinde  $\sigma_T$ ,  $\sigma_s = f(T)$  nin değerleriyle orantılı olarak değişir, çubuk da AB boyunca bir plastik ezilmeye uğrar.

$T_B$  sıcaklığına varıldığında (B noktasında) çubuk soğumaya terk edilecek olursa basma zorlaması OA'ya paralel olan BC boyunca lineer olarak azalır ve  $T_c > 0^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında sıfır olur.

Bundan sonra çubuk  $T_c$ 'den  $0^{\circ}\text{C}$ 'a soğutulacak olursa mesnetlere artık dayanmaz ve  $\Delta l = l_0 \alpha T_c$  kadar büzülür ki bu da A ve B arasında plastik ezilme safhası sırasında meydana gelen geri dönüşsüz kısalmayı ifade eder.

Bu kere çubuğu uzamaya olduğu kadar kısalmaya karşı da tespit edilmiş, yani şekil değiştirmez iki çene arasına sıkıştırılmış farz edelim.

$T_B$ 'ye kadar ısıtıldığında her şey evvelce olduğu gibi C noktasına kadar OABC boyunca vaki olur; bundan sonra çubuk, serbestçe büzülebilmek için çenelerden kurtulamadığından CD boyunca bir elastik çekme gösterir (şek. 4).



Şekil: 4

Devirin sonunda elastikiyet sınırının altında bir çekme hali kalmıştır. Isıtma  $T_H > T_B$ 'ye kadar yükseltildiğinde ankastre çubuk, sonraki soğuma sırasında, K noktasında çekme elastikiyet sınırına varacak ve son safhada KF boyunca malzeme yoğurulması ile birlikte bir plastik çekmeye maruz kalacaktır.

## 2— Yeknasak olmayan ısıtma — Kendi kendini tespit hali

Dıştan tespit edilmemiş serbest bir sac alıp merkezi civarında bir bölgeyi mevzii olarak ısıtalım ve bunu d çapında küçük bir dairesel bölgede yaptığımızı farzedelim. Isının etkisiyle bu yüzey, çapını d den d'ne çıkararak genişlemeye meyledecektir. Onu çevreleyen soğuk kitle bu değişmeye karşı koyup bir  $\sigma_r$  radyal basınç icra edecektir. Bu basınç, sıcaklığın artış oranında yüksek olacaktır.

Elastikiyet sınırına varıldığında ısıtılmış daire, radyal yönde liflerin geri dönüşsüz kısılmasıyla birlikte bir plastik ezilmeye uğramaya başlar. Bunu izleyen soğuma sırasında dairesel bölge büzülür, ancak liflerin kısılması kalır ve devir sonunda ısıtılmış kısım gerilmiş bulunur.

Burada bir kıyaslamaya gidebiliriz: metalik dairesel bölge iki ucundan ankastre çubukla aynı durumda olup aradaki fark, buradaki dış tespitlerin (çenelerin) yerini çevredeki soğuk malzemenin zatî tespiti almış olmasındadır. Bir hususa daha dikkat edilmesi gerekir: ankastre çubuk üzerinde mütalaa yürütürken ideal şekil değiştirmez dış tespitleri varsaymıştık. Burada ise dairesel metal kısmını çevreleyen malzemenin, genişirken icra ettiği itme etkisine elastik olarak boyun eğdiğini kabul etmemiz gerekir.

İtmeler eşit ve karşıt olup dairesel kısmın çapı, termik genişlemenin serbest olması halinde görüleceği gibi d den d'ne geçmeye ya da çevresinin rijit olması halindeki gibi d değerini koruması yerine tam ortalama değeri alacaktır:  $(d + d') / 2$ . Böylece

$$\sigma_r = \frac{E\alpha T}{2}$$

olup basmada varılan elastikiyet sınırının sıcaklığı olan T, bu halde, 200°C civarındadır. 200°C'a kadar ısıtmalarda hadise elastik çerçevede geri dönüşlü olarak vaki olur, 200°C'in üstünde ise devir sonunda arkalarında radyal çekme iç gerilemeleri bırakan plastik şekil değiştirmeler hasıl olur. Bütün bunlardan çıkan ve akılda tutulması gereken sonuç, bir parçanın sınırlı bir kesiminin ısıtılması (yeknasak olmayan ısıtma) halinde, plastik şekil değiştirme ve iç gerilmelerin meydana çıkmasını hasıl eden zati (kendi kendini) tespit etkisinin kendini gösterdiğiidir. Bütün kaynak işlemleri termik bakımdan yeknasak olmayan bir ısıtma sürecine benzetilebileceğinden tüm kaynaklı birlemelerin kaçınılmaz şekilde iç gerilme içereceği söylenebilir. Örnek olarak uç uca kaynak edilmiş iki saç alalım.

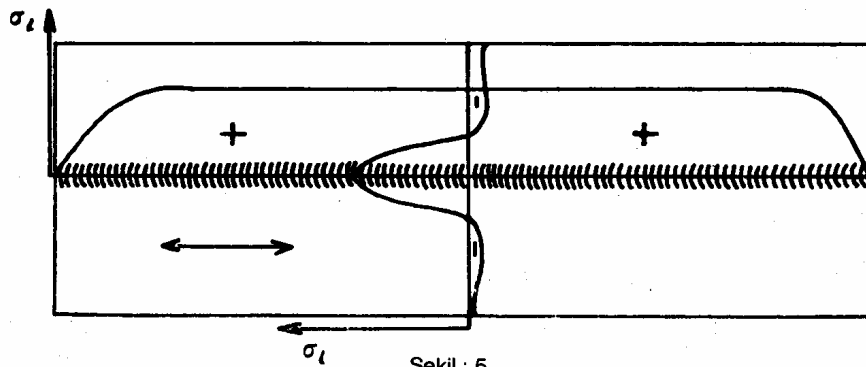
### Uzunlamasına zorlamalar

Isı menbaı yer değiştiren ısınan metal da uzamaya meyleder; ancak bitişiğindeki soğuk metal zati tespit yoluyla uzamalara karşı koyar. Sıcak şerit önce elastik, sonra da plastik bir basmaya uğrar.

Uzunlamasına lifler sıcakta ezilmiş olup soğuma sırasında bitişik metal üzerine bir çekme icra eder. Böylece bitirilmiş birleşme uzunlamasına tamamen gerilmiş bulunacak, gerilmeler sadece uçlarda sıfır olacaktır.

Bahis konusu ısıların yüksek olması nedeniyle bakiye çekme zorlamasının elastikiyet sınırına vardığı ve tıpkı yukardaki ankastre çubukta olduğu gibi soğumanın son safhalarını bir yoğurulma olayının izlediği düşünülebilir.

Bunları dengelemek üzere de ana metalda bir basma zorlaması meydana gelecek olup bu zorlama bu kere çok daha geniş bir kesiti ilgilendirdiğinden gerilmeler daha zayıf olacaktır. Şek. 5, bakiye uzunlamasına gerilmelerin gelişmesini gösterir.



Şekil : 5

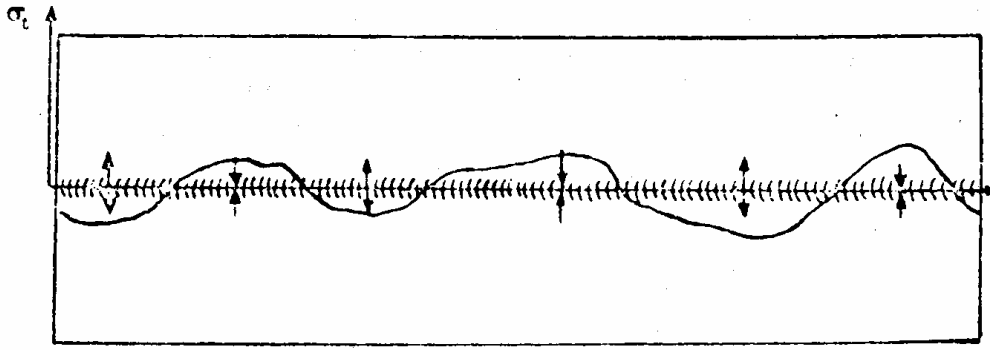
### Genişlemesine zorlamalar

Tek pasoda uç uca bir birleşirmeyi gözönüne alıp sıcaklık menbaının bir P ara noktada bulunması halinde neler olabileceğini görelim.

Kaynak işlemleri ilerledikçe P'deki kaynak banyosu katılaşı ve büzölmeye meyleder; buna,

artık soğumuş olup çekmesine karşı koyan bir önceki banyo mani olur. Böylece P'yi çevreleyen metalde bir genişlemesine çekme hali doğar. Kaynağın ilerlemesi öne doğru, P'de görülen olayın yakından yakına tekrarını meydana getirir; bununla birlikte daha önlerde tedricen yerleşen çekme nedeniyle P'de basma kuvvetlerinin etkisi kesindir. Bu itibarla kaynağın ilerlemesi sırasında genişleme yönünde birbirlerini "kovalayan" bir çekme haliyle bir basma hali görülecektir. Basma, çekmeyi sıfıra getirecek kadar, hatta onu tamamen ters çevirecek kadar etki yapar.

Paso adedi, puntalama, kullanılan kaynak yöntemi, saçların kalınlığı, ilerleme hızı vs. gibi faktörler hadiseyi geniş ölçüde etkilediklerinden son şeklin ne durum arzedeceğini peşinen bilmek pratikte olanak dışıdır. Yapılmış ölçüler uzun birleşmelerde gayri muntazam görünüşlü ve azami 10 ilâ 20 hbar arasında kalan gerilmeli basınç ve çekme bölgelerinin varlığını ortaya koymuştur. Şek. 6, genişlemesine bakiye gerilmelerin mümkün görülen bir dağılımını verir. Birleşmenin gerçekleştirilmesiyle, ancak saçların serbest olmaları halinde hasıl olabilecek bir genişlemesine büzülme meydana gelir. Saçlar dıştan tesbit edilmişlerse bu büzülme meydana gelemez, tespit noktalarındaki reaksiyon zorlamaya eklenir ve toplam bakiye gerilme çok yüksek seviyelere çıkabilir.



Şekil: 6

## DOKUSAL HATALAR

Aslında "Kaynaklı Birleşmelerde Hatalar" geniş ölçüde kaynak sırasında hasıl olan dokusal değişmelerden ileri gelir. Bu itibarla "Dokusal Hatalar"la evvelkileri kesin sınırlarla ayırmak güçtür.

### Yoğurulma ve yaşlanma

Yoğurulma, başka bir deyimle soğukta plastik şekil değiştirme, plastikliği azaltır, kaymalara mukavemeti pekleştirir. İlk zamanlarında sünek olan bir malzeme soğukta mekanik şekil verme işlemleri sırasında şekil değiştirme kabiliyetinin bir kısmını kaybeder; silindirleme, derin çekme, makaslama, zımbalama vs., malzemeyi kırılğan kılan işlemlerdir.

Konstrüksiyon çeliklerinde 450 ile 550 °C arasında bulunan sıcaklıklara ısıtıldıklarında çarpılmış olan taneler tekrardan kristallaşır ve ilk plastik özelliklerine yeniden kavuşurlar. Bu işleme rekristalizasyon tavlama adı verilir.

Yoğurulmuş halde malzemeler, yeni kaymalara mukavemet artışı nedeniyle mukavemet özelliklerini ifade eden değerlerde (elastikiyet sınırı, kopma mukavemeti, sertlik) artış, buna karşılık da plastik özelliklerde (uzama ve reziliens darbeye mukavemet) düşüş arzederler.

Yoğurulmanın fena bir sonucu olarak yaşlanma adı verilen bir başka olay zikredilebilir; yoğurulmuş malzemeler zamanla ve bir nedene bağlanmadan sünekliklerinden kaybederler. Bu yaşlanma, şekil değiştirmiş (çarpılmış) tanelerin dış çevresine yürüyen ve kaymaları kısıtlayan mikrobileşkenlerin (oksitler, nitrürler, doymuş halde karbürler gibi) bir çökmesine bağlıdır.

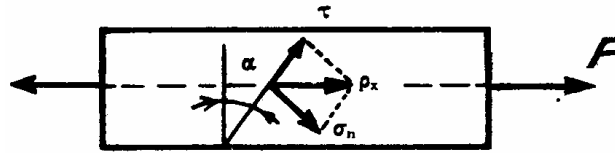
Bir malzemenin dokusunun kabalığı oranında yaşlanmanın daha hissedilir mertebede olduğunu tecrübe göstermiştir. Bu nedenle "ince taneli" çelikler "yaşlanmaya dayanıklı" olarak vasıflandırılırlar. Yoğurulmayı yok edebilen rekristalizasyon ısıl işlemi aynı zamanda yaşlanmayı da ortadan kaldırır.

Büyük kalınlıkta kaynaklı birleşmelerde mekanik özellik heterogenliği (homogensizliği)'nin nedenlerinin bilinmesi, gerek bu özelliklerin mümkün olan en iyi homogenliğini sağlamak üzere optimal kaynak uygulama şartlarının tayini, gerekse kaynaklı birleşmelerin, üzerinde aşağıda uzunca duracağımız gevrek kırılma'ya hassasiyeti bakımından, önemli olmaktadır. Konuya daha fazla eğilmeden önce yine bazı tarifleri vermeye devam edelim.

### Çekme deneyinde kopmanın görünüşleri

Bir çubuğa eksenî yönünde çekme tatbik edildiğinde, aynı yönde ve çubuğun dikey kesitlerine tam dik gelen  $\sigma_x = F/s$  birim gerilmesi hasıl olur. Burada F, uygulanan çekme kuvveti, s'de çubuğun dikey kesit alanıdır.

Bu dikey kesitle bir  $\alpha$  açısı yapan bir yatık kesitin alanı  $S/\cos\alpha$  olur (şek.7).



Şekil : 7

Bu yatık kesit üzerinde, yine çubuk eksenî yönünde olmak üzere  $\rho_x = \frac{F \cos^2 \alpha}{S}$  gerilmeleri dağılır. Bu da yatık kesite dikey  $\sigma_n$  ile ona teğet T gerilmelerine ayrıştırılabilir. Bunların değerleri;

$$\sigma_n = \rho_x \cos \alpha = \frac{F \cos^2 \alpha}{S} = \sigma_x \cos^2 \alpha$$

$$\tau = \rho_x \sin \alpha = \frac{F \sin \alpha \cos \alpha}{S} = \sigma_x \sin \alpha \cos \alpha$$

$\alpha = 0$  için  $\sigma_n$  azami olurken  $\tau$  sıfır olur.  $\alpha = 45^\circ$  için  $\sigma_n = \sigma_x/2$  olup  $\tau$  da, yine  $\sigma_x/2$ 'ye eşit olan azami değerine varır. Tecrübe, şekil değiştirmelerin kristal şebekelerinde atomik

düzlemlerin bir kaymasının belirtileri olup bunu gerçek sorumlusunun işbu  $\tau$  bileşkeni olduğunu göstermiştir.

Kırılğan denem malzemeler (örneğin su almış çelikler) kaymalara ciddi bir mukavemetle karakterize olurlar şöyleki uygulanan yük arttığında şekil değiştirmeler  $\sigma_x$ 'in çok yüksek bir değerinden (yani  $\tau = \sigma_x/2$  değerinden) itibaren başlar ve kopma, önemli olmayan bir kaymadan sonra meydana gelir. Gerçekten kırılğan malzemeler çok az bir uzama arzederler. Fevkalâde kırılğan bir malzeme plastik kaymalara, hiç bir şekil değiştirmesine müsaade etmeyecek kadar yüksek bir mukavemet arzeder ve yük arttığında kopma, doğruca dikey  $\sigma$  gerilmelerinin etkisiyle ve kısımların "ayrılmaları" suretiyle vaki olur. Bu durumda elastikiyet sınırı ile kopma yükü birbirlerine eşit olurlar.

Buna karşılık fevkalâde sünek bir malzeme sadece  $\tau$  'nin etkisiyle, çok belirli şekil değiştirmeleriyle kopmaya varabilir. En genel hal olan orta süneklikte bir malzemede kopmada her iki gerilme şekli, önce  $\tau$  , sonra da  $\sigma$  olmak üzere sorumluluğu paylaşırlar. Kırılma yüzeyi  $45^\circ$  meyilli, pürüzlü ve  $\tau$  tarafından hasıl edilmiş kaymalara delâlet eden bölgelerle, malzemenin  $\sigma$ 'nin etkisine boyun eğdiği düz ve kristalin (billûrî) bölgeler arzeder.

Bu mülâhazalardan şu sonuç çıkar: şekil değiştirmeler önlenebilirse, çok daha yüksek kopma yüklerine erişilebilir. Bununla birlikte bu şekil değiştirmeleri vaz geçilmez faydalar da sağlamaktadırlar. Gerçekten her konstrüksiyonda kuvvet hatlarının bir araya toplandıkları noktalar kaçınılmaz şekilde mevcuttur. Malzeme sünekse en fazla zorlanan noktalar, elastikiyet sınırına vardıklarında, plastik olarak boyun eğerler ve böylece de gerilmelerin mukavemet eden kesitin her tarafına yeknesak olarak yayılmalarını sağlarlar. Malzeme sünek değilse en büyük gerilmelere maruz noktalar, şekil değiştirme suretiyle bundan kurtulma yoluna gitme yerine, komşu kesitler yardıma gelmeden önce kopmaya varırlar.

### **Düşük sıcaklığın süneklik üzerine etkisi**

Sıcaklık düştükçe bir sünek çeliğin plastik özelliklerinin de tedricen düştüğü görülür. Alçak sıcaklık büzülme suretiyle kristal şebekelerinin rijidleşmesini sonuçlandırıp plastik kaymaların başlamasını önler; yani şekil değiştirmelerin harekete geçmeleri için gerekli makaslama gerilmesi değerini artırıp bunun sonucu olarak da elastikiyet sınırı ile kopma gerilmesini yükseltir.

Fevkalade düşük sıcaklıklarda kopma doğruca "ayrılma" suretiyle vaki olur. Artık kopma gerilmesi gerçekten "ayrılma"ya mukavemeti temsil eder; yumuşak çeliklerde bunun değeri, çevre sıcaklığında adi çekme deneyinin verdiği değerin yaklaşık iki mislidir. Sıfırın altında  $200^\circ\text{C}$  civarında fevkalâde düşük sıcaklıkta elastikiyet sınır gerilmesiyle kopma gerilmesi eşitleşir ve kopma doğruca "ayrılma" suretiyle olur.

### **Çentik etkisi**

Her konstrüksiyonun bünyesinde çok eksenli (polyaxial) gerilmeler bulunup bunların Mohr Dairesi ile tayin edildikleri bilinir. Çentikler bir üç eksenli (triaxial) zorlamanın pratikte çok rastlanan örneğini temsil ederler.

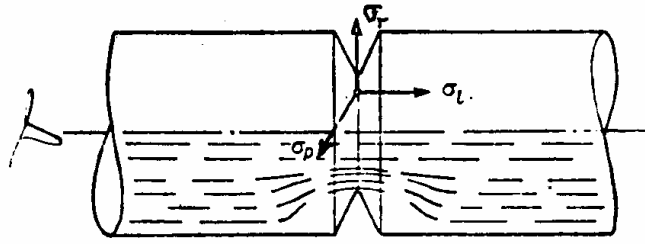


Çentik, genel anlamı ile, kuvvet hattı toplanmalarını sonuçlandıran bütün nedenlere verilen addır. Bunlardan bazı örnekler verelim;

— anî kesit ya da rijitlik değişimleri;

— şekil değiştirebilen bölgeler içinde sert noktalar;

— kaynak kusurları ve genellikle süreksizlikler. Çentiklerle üç eksenli gerilmeler arasındaki ilişkiye en basit örnek olarak V şeklinde dairesel bir boğaz açılmış silindirik bir çubuğu nazarı itibare alalım (şek.8). Buna dıştan tek eksenli bir çekme yükü tatbik edildiğinde şunlar görülür;

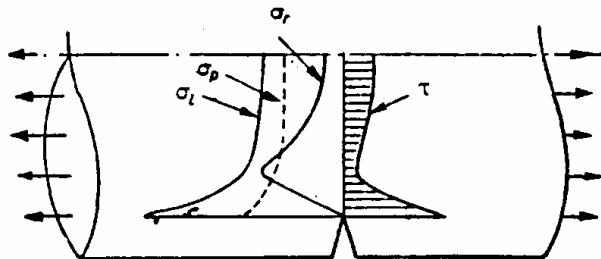


Şekil : 8

1) Uzunluk yönünde, kuvvet hatları yeknasak olmayan bir dağılışla çentiğin dibinde özellikle yüksek bir yoğunluk arzeder. Uzunlamasına  $\sigma_t$  gerilmesi, çentikli s kesitinde ortalama  $F/s$  değerini haiz olmakla beraber çentiğin dibindeki  $kF/s$  maksimum değerine erişir, "k yoğunluk katsayısı", çentiğin keskinlik ve derinliği oranında yüksek olup 10 veya daha yüksek değerlere varabilir.

2) Uzunlamasına gerilmeye maruz çentikli kesit genişlemesine büzölmeye meylerse de kuvvet hatlarının kaçındıkları çentiğin kenarları buna karşı koyup  $\sigma_t$ 'e dikey bir radyal  $\sigma_r$  gerilmesini doğurur.

3)  $\sigma_r$  'in sonucu olarak "çevresel" diye adlandıracağımız ve her ikisine dikey yönde bir  $\sigma_p$  gerilmesi meydana çıkar. Bu üçüncü gerilmeyi canlandırmak üzere içten basınca maruz bir kap düşünülecektir. Bunda içten basınç, bilindiği gibi, kabın kalınlığına dikey bir çekme hali yaratır. Şek. 9, birbirlerine dikey üç gerilme ile bunların sonucu olan  $\tau$  makaslama zorlamasının şeklini gösterir.



Şekil : 9

Netice itibariyle çentikler her zorlama halini, hatta tek eksenli olanını bile, üç eksenli bir zorlama haline mevzii olarak değiştirme etkisine sahiptirler. Üç eksenli hal ile, şekil değiştirmelerin esas nedeni olan makaslama gerilmesinin değerinde bir azalma olur şöyleki malzeme "ayrılma" suretiyle kopmaya daha yatkın hale gelir. Maksimum  $\tau$  gerilmesinin tekabül ettiği en eşit üç eksenlilik,  $\sigma_r$ 'in sıfır olduğu çentik dibinde değil de bundan birkaç milimetre içerde gerçekleşir.

### **Düşük sıcaklık, çentikler ve sair gayrı müsait faktörlerin beraberce etkisi**

Pratikte çentikler tarafından meydana getirilen üç eksenlilik, çentikler ne kadar sivri ve derin olurlarsa olsunlar, hiçbir zaman eşit olmaz şöyleki makaslama kuvveti, sünek malzemelerde, plastik şekil değiştirmeyi başlatmaya yeterli değeri mutlaka muhafaza eder.

Artan derinliklerde çentikleri haiz bir seri silindirik deney çubuğu çekme suretiyle koparılacak olursa çentikli kesite irca edilmiş kopma yükünün tedricen arttığı, uzamanın ise azaldığı görülür. Bununla birlikte sadece çentik etkisiyle ayrılma suretiyle kopmaya varmak olanak dışıdır.

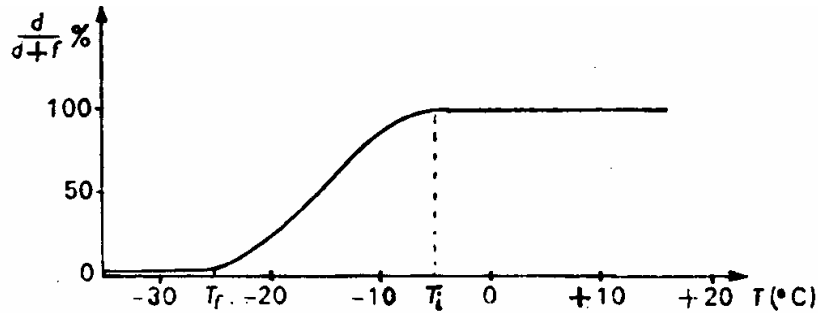
Buna karşılık çentik etkisine düşük sıcaklığın eklenecek olursa, gevrek kırılmayı deneysel olarak elde etmek mümkün olur. Sadece soğğun etkisiyle bu sonuca ancak eksi 200°C civarında varıldığından söz etmiştik. Çentikli deney çubuklarında ise çentiğin sertliği oranında ılımlı bir soğuk buna yeterlidir. Malzemenin sünekliğini bozan doku tanelerinin büyümesi, su verme, yoğurulma ve yaşlanma gibi olgular da gevrek kırılmaya meylettirecek faktörlerdir.

### **Geçiş fasılası ve geçiş sıcaklığı**

Birbirine tamamen eş bir seri çentikli deney çubuğu gittikçe azalan sıcaklıklarda koparılacak olursa, kırılmanın sünek görünüşten gevrek görünüşe doğru geliştiği görülür ki bu durum, yukarıda söylenenlerin bir doğal sonucu olmaktadır.

Daha doğru bir ifade ile sünek halden gevrek hale geçiş, *geçiş fasılası* adı verilen bir sıcaklık aralığı içinde tedrici olarak vaki olur.

Kırılma kesitinde  $f$  gevrek kısmı,  $d$  de sünek kısmı gösterebilir. Absise  $T$  sıcaklıkları, ordonata da  $d$  sünek kısmın kırığın toplam  $d+f$  alanına oranı götürülecek olursa şek. 10'da görülene benzer bir geçiş diyagramı elde edilir.



**Şekil : 10**

$T_i$ 'nin üstünde kopma sünek olup,  $T_f$ 'in altında da gevreklerdir.  $T_i$  —  $T_f$  aralığında kırık kısmen sünek, kısmen gevrek görünüşlüdür.

Bütün çentikli deney çubukları bu geçiş olayını arzederler ancak, deney şekli (çekme, eğme, reziliens vs.), deney çubuğunun ölçü ve çentik şekli gibi faktörlerin değişmesiyle aynı çelikte sınır sıcaklıkları değişir. Bu olgu, pratik yönden bir zorluğu ortaya çıkarıyor: geçiş fasılası deney çubuğuna bağlı ise bu fasıla gemiler, köprüler, depolar vs. gibi büyük konstrüksiyonlarda nerede bulunur? Bunun tayini için düşük sıcaklıklarda çok pahalı deneylere baş vurulmuştur. Örneğin Robertson deneyinde büyük boyutlu kalın bir saca bir ısı gradieni uygulanır, yani bir kenarı çok düşük sıcaklığa indirilir, bu kenardan uzaklaşıldıkça sıcaklık tedrici olarak artar. En soğuk kenara da bir çentik açılır. Buraya vurulan bir darbe saca, çatlama meydana getirir. Çatlak, soğuk bölgeden sıcak bölgeye doğru ilerler ve bir yerde durur. Çatlağın durduğu bu sıcaklığa *Robertson durma sıcaklığı* adı verilir.

Çentikli büyük strüktürel elementlerle Izod çentikli Charpy V reziliens deney çubukları arasında oldukça iyi bir münasebet kurulabileceği sanılmaktadır. Yani Charpy V reziliensinin geçiş fasılası, büyük konstrüksiyonlar için bir referans olarak alınabilir. *Geçiş sıcaklığı*, altına düşüldüğünde belli bir çeliğin gevrek kırılmaya gittiği, üstüne çıkıldığında da sünekleştiği sıcaklık olarak tarif edilir. Böylece tarif edilmiş geçiş sıcaklığının ancak itibari olabileceği derhal anlaşılır. Bu itibarla büyük çoğunluğu Charpy V esasına dayalı bir çok tarif teklif edilmiş olup bunlar arasında en çok kullanılanı şudur: bir çelik için geçiş sıcaklığı *Charpy V reziliensinin 3,5 daJ/cm<sup>2</sup> değerinden geçtiği sıcaklıktır*.

Gelelim şimdi yukarda değindiğimiz bir başka konuya.

### **Kaynaklı birleşmelerde heterogenlik faktörleri**

Özellik heterogenliğinden sorumlu faktörlerin tümü tetkik edildiğinde bunların pratik olarak dokusal kökenli oldukları görülür. Bu itibarla bunlar

— metalürjik kökenli dokusal faktörler,

— tensotermik (gerilme-ısı) kökenli ikinci derecede dokusal faktörler olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu heterogenlikler, tümüyle ele alınan kaynaklı birleşmenin stabilitesi üzerinde çoğu kez önemli etkide bulunabilirler. Bu nedenle bunlar üzerinde biraz duracağız.

Hadise global olarak ele alındığında bir dördüncü heterogenlik menbainın dikkat nazara alınması gerekir. Bu kere heterogenlik dokusal kökenli olmayıp bakiye gerilme alanlarının varlığından ileri gelen bir heterogen davranış bahis konusudur. Metalürjik kökenli heterogenlikler esas itibariyle ikiye ayrılır; bunlardan ilki her kaynaklı birleşmede, aynı zamanda, ana metalde hadde dokularıyla kaynak metalinde, kaynakla tavlanmış brüt döküm dokularının bulunmasından ileri gelir. Diğer kaynak işleminin ısıdan etkilediği bölgelerde hasıl olan değişmelerden doğar.

Kaynak malzemesinin hassas şekilde imali suretiyle bunlardan ilkinin önüne geniş ölçüde geçilebilir. İkincisi ise her özel çelik tipinin kaynaklanabilirliğine (kaynak kabiliyetine) doğrudan bağlıdır. Tensotermik gevrekleşme ve bunun düzeltilmesinin başlıca karakterleri şöyle

özetlenebilir:

Aşağıda bileşim ve mekanik karakteristikleri verilmiş çelikler, bunların deney kaynağında kullanılmış bazik elektrodlar ve uygulanan çekme hızları için tensotermik gevrekleşme derecesi, yaklaşık 250 ilâ 350 °C sıcaklık fasılasında tabi tutulan plastik şekil değiştirme oranına bağlıdır. Bu gevrekleşme optik ya da yansımali elektronik mikroskopta herhangi bir doku değişikliği göstermez. Bu gevrekleşme ısı ilemlerle yok edilebilir.

Çelik	C (%)	Mn (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
I	0,20	1,45	0,26	0,016	0,018	0,22	0,40	0,20
II	0,165	1,18	0,32	0,011	0,013	0,10	0,63	0,38

Bu çeliklerin elastikiyet haddi 47-54 kg/mm<sup>2</sup>  
Kopma mukavemetleri 58-70 kg/mm<sup>2</sup>  
+400 °C'ta asgari elastikiyet haddi 26 kg/mm<sup>2</sup>  
20 kg/mm<sup>2</sup> yük altında Robertson durma sıcaklığı:  
30 mm kalınlıkta : - 25 °C  
100 mm kalınlıkta : + 20 °C

### Kaynakta tensotermik gevrekleşme

Kaynak işleminin, birleşme yeri ile civarlarını az çok ağır termik ve mekanik zorlamalara maruz bırakmakla tensotermik kökenli bir heterogenlik menbaı olabilir. Varılan gevrekleşme derecesi ve bunların yerlerinin tayini bakımından iki uç hal arasında bir ayırım yapmak gerekir. Bunlardan ilki aslında en ağır olup gevrekleşmenin, ya önceden mevcut bir kusur, ya da kaynak sırasında meydana getirilen bir kusurun varlığına bağlı olması halidir. Bu taktirde kusur, şekil değiştirmelerin yoğunlaşmasının bir faktörü oluyor ve bunun sonucunda da onu çevreleyen metal iyice gevrekleşme arz ediyor. Bu durum, sadece mevzi özellikler bakımından değil, aynı zamanda çekmeye maruz kaynaklı birleşmelerin tüm özellikleri bakımından önem arz etmektedir. İkinci halde şekil değiştirmeleri yoğunlaştıracak kusur bulunmayıp hasil olan gevrekleşmenin derecesi pratikte doğruca kaynak işleminin yüklediği faktörlere bağlıdır.

Gerçekten, yukarıda söylenenlerin bir sonucu olarak, terk edilen kaynak metaline en iyi reziliens özelliklerini veren çok sayıda küçük hacimli dikişin aynı zamanda ana metalde önemli bir tensotermik gevrekleşme hasil edebileceği düşünülmektedir.

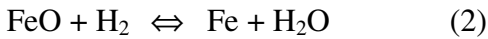
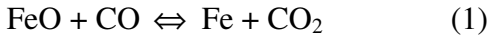
Şek. 11 'de 30 mm saç üzerinde biri 8 tabaka halinde, diğeri 15 tabaka ve 52 paso halinde iki kaynağın bahis konusu ettiğimiz gevrekleşme tipinin sonucu olan heterogenlikleri görülür. Grafikte ordonatta Charpy V reziliensleri, absiste de birleşme bölgesinden itibaren mesafeler gösterilmiştir.

Etüd edilen heterogenliğin değişmiş metalürjik bölgelerin dışında olduğu, en ağır kaynak uygulama şeklinin gerçekten biraz daha belirli ve aynı zamanda daha yaygın bir gevrekleşme



Oksi-asetilen alevinin tesiri iki türlüdür:

— redükleyici bir atmosferle katılaşmakta olan metalin korunması;



reaksiyonlarıyla oksitlerin redüklenmesi.

(1) reaksiyonuna göre alevin redükleyici bölgesinde eser miktarda  $\text{CO}_2$  bulunur; bu itibarla C, % 0,80'den bariz şekilde fazladır.

$$C = \frac{\text{CO}}{\text{CO} + \text{CO}_2} \geq 0,80$$

(2) reaksiyonuna gelince, sıcaklık artığında hidrojenle redükleme çok daha etkilidir. Atomik hidrojenin mevcudiyeti (% 20) oksi-asetilen alevinin redükleme kabiliyetini daha da artırır. Bilindiği gibi oksi - asetilen alevinin  $a = \frac{\text{O}_2}{\text{C}_2\text{H}_2}$  oksijen-asetilen oranının 1,1 ilâ 1,3 arasında olması halinde redükleyici alev elde edilir;

a > 1,5 olursa alev oksitleyici olur; a < 1 ise alev karbürleyicidir. a oranının artmasıyla oksijen, azot gibi mekanik özellikleri azaltan zararlı elementlerin tespiti ile kalınmayıp ergimiş metalin dokusu da değişir.

a, 1 'den 0,80'e düştüğünde ergimiş metal iyice karbürlenir, sertlikle kırılmalık önemli şekilde değişir. Örneğin % 0,155 karbonlu bir çeliğin "nötr" (a = 1) bir alevle karbür kaybı kabili ihmaldir (C = % 0,15), oksijen oranının % 14 artması (a = 1,14) karbonu % 0,055'e düşürür.

Buna karşılık, karbürleyici bir alev (a = 0,82), alevin serbest karbonunu çeliğe % 1,56'lık bir yoğunluğa kadar tespit eder.

b) Ark kaynağında

Ark kaynağında oksijen oranlarına aşağıdaki faktörler etki yapar:

- örtünün cins ve kalınlığı,
- uygulanan akım şiddeti,
- arkın uzunluğu.

Çıplak elektrodla ergitme % 0,30'a kadar oksijen tespit eder ki 1620°C'ta demir içinde eriyebilmenin sınırını temsil eden yaklaşık % 1,4 FeO demektir.

Oksitleyici örtülerle ince örtüler için kaynağın oksijen nispeti yine çok yüksek, % 0,20 mertebesinde kalır. Redükleyici elementli asit örtüler ( $\text{SiO}_2\text{-FeO-MnO}$  sistemi) ve aynı şekilde titan oksit (rutil) esaslı örtüler oksijen yoğunluğunu bariz şekilde düşürürler; bu yoğunluk, örtünün cinsine göre, % 0,05 ilâ 0,10 arasında değişebilir.

Bazik örtülerle oksijen oranı daha da azalır, % 0,05'in altına düşer.

En çok oksijen içeren kaynaklar manganez yoğunluğu en az olanlardır.

### **Azot absorpsiyonu**

Demir ve alaşımlarının kaynağını takibeden en önemli kimyasal olaylardan biri ergimiş metalin,  $\text{Fe}_4\text{N}$  demir nitridi hasıl etmek üzere, azotu tespit etmesidir.

Bu absorpsiyon hem mekanik özellikler (kırılganlık artışı), hem çeliğin su alma kabiliyeti, hem de doku sertleşmesine (yaşlanma) tesir eder. Bu itibarla absorpsiyonun mekanizmasıyla faktörlerinin ve bunun birleşmelerin özelliklerine yansıma şeklinin bilinmesi önemlidir.

Azot, nitürler hasil ederek demire tesir eder. Bu hadise ya alçak sıcaklıkta ve uzun (70 ilâ 100 saat) işlemlerle amonyaksın dolaylı tesiriyle veya azotun çok yüksek sıcaklıkta doğruca metale etkisiyle vaki olur.

Böylece, çeliklerin nitürlenme işleminde ( $N_2 > \% 3$ ) hasil olan nitürler ( $Fe_2 N$ ) çok yüksek sertlikte yüzeyler verirler; bu takdirde azot faydalı bir element olmaktadır. Buna karşılık, çeliğin elde edilmesinde veya, kaynakta olduğu gibi, ergime sırasında vaki değişmelerde meydana gelen çok düşük azot oranları çeliğin şekil değiştirme kabiliyetini (uzamasını, kırılmaya mukavemetini, büzülmesini) azalttığından, azot bu durumda arzu edilmeyen bir element olarak görülür.

Adi sıcaklıkta azot demir içinde çok az erir ( $N_2 < \% 0,001$ ). Erime sonra hızla artar ve  $590^{\circ}C$ 'ta  $\% 0,13$  olur. Bu sıcaklıkta braunit adı verilen  $\alpha$  demiri- $Fe_4N$  ötektoidi teşekkül eder. Bu braunit, perlit gibi lamelli bir dokuyu haiz olup lameller perlitinkilerden daha incedir.

Demir gamma haline geçtiğinde azotun erime kabiliyeti anî olarak artar, fakat bu alanda, sıcaklık  $900^{\circ}C$ 'tan  $1400^{\circ}C$ 'a çıktığında bu erime kabiliyeti azalır.  $1600^{\circ}C$ 'ta sıvı demir  $\% 0,04$ 'e kadar azot massedebilir.

a) Oksi-asetilen kaynağında

Deney sonuçları yumuşak çeliklerin oksitlen - asetilen kaynağında çok az azot ( $N_2 = \% 0,020$ ) massettiğini göstermiştir. Bu itibarla bu usulle yapılan kaynaklarda bu gazın etkisi kabili ihmalidir. Mamafih bu oranın doku sertleşmesini etkilemesi mümkündür.

b) Ark kaynağında

Ark kaynağında azot absorpsiyonu üzerinde şu faktörler etkilidir:

- 1) akımın cins ve karakteristikleri,
- 2) örtünün kalınlığı,
- 3) çıplak elektrodlar için dış çevrenin tabiatı,
- 4) elektrod çekirdeğinin cinsi,
- 5) örtünün cinsi.

Alternatif akım azot absorpsiyonunu teşvik eder gibi görünmektedir. Akım şiddetinin etkisi çok az olmakla beraber geriliminki açıktır: ark gerilimi yükselince azot absorpsiyonu artar. Gerilim yükselmesi ark boyunun büyümesi neticesi olabilir. Diğer faktörler sabit kalarak arkla ergimiş demirin azot absorpsiyonu örtü kalınlığının artmasıyla azalır.

Bildiğimiz gibi örtü, çeşitli metalürjik görevleri arasında ergimiş metalin desoksidasyon ve denitrürasyonunu da temin eder. Bu sonuncu işlem şöyle elde edilir:

a) elektrod telinde bulunan ilâve elementlerle,

b) ya bir gaz atmosferi neşretmek suretiyle veya bir metalürjik cüruf hasil ederek örtü ergimiş metali korur.

c) örtünün kalınlığı ile.

Mo, Zr, Cr, Al, V oranları arttıkça azot absorpsiyonu da artar (bu artış sırasıyla azalarak gider). Si, Mn, Ti, C oranları arttıkça azot absorpsiyonu azalır (bu azalma sırasıyla artarak gider).

Örtüde denitrüran elementlerin varlığı ergimiş metalin azot oranını düşürür, metalik nitür büyük ölçüde cürufa geçer.

FeO-SiO<sub>2</sub> tipinde oksit örtüler ergimiş metali kimyasal reaksiyon olmadan korurlar, denitrürasyon bu taktirde sadece koruyucu cürufun kalınlığına, yani örtü kalınlığına bağlı kalır.

### Hidrojen absorpsiyonu

Oksijen ve azot gibi hidrojen de, kaynak esnasında massedirilir. Oksi-asetilen kaynağı pratik olarak çok az hidrojen kapar (100 gr metalde 2 ilâ 3 cm<sup>2</sup>); buna karşılık ark kaynağında hidrojen yoğunluğu çok daha önemli olup örtünün cinsine göre bu gazın sıvı halde eriyebilme sınırına (100 gr metalde 28 cm<sup>3</sup>) varabilir.

Hidrojen, alt tabakalarda kıl çatlakları gibi kaynağın reddini mucip olabilecek kusurlara götüren bir çok hadisenin kökenini teşkil eder. Aynı zamanda ergimiş metalda gaz gözenekleri ve, aşağıda ayrıntılarını vereceğimiz *balık gözü* (*fish eyes*) denilen kusurları da hasıl eder.

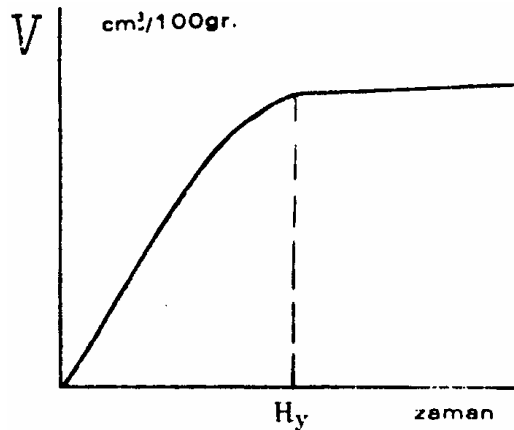
Demir ve çelik içinde hidrojenin üç şekilde bulunduğu kabul edilir:

— taneler arasında, H<sub>2</sub> moleküler gaz girişleri halinde; muhtemelen de gaz boşlukları içinde CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>O bileşiği halinde;

— mozaik dokunun şebeke düzlemleri içine girmiş H<sub>2</sub> moleküler veya H atomik halde;

— demirin şebekesi arasına girmiş H<sup>+</sup> hidrojen iyonu veya proton halinde.

Hidrojenin ilk görüntüsü, adi sıcaklıkta dahi demirin şebekesi arasında kolay difüze olması (yayılması)dır. "Yayılabilen" hidrojen, şek. 12'de görülen sabit sıcaklıkta, zamanın fonksiyonu olarak çelik içinde erimiş hidrojenin yayılmasını veren eğrinin H<sub>y</sub> ile sınırlanmış kısmına tekabül eder. Hidrojenin, demirin şebekesi içinde sadece H atomik veya H<sup>+</sup> proton halinde yürüyebileceği açıktır, zira ancak bu hallerde ölçüleri, demirin atomik şebekesinininkilerden küçük olur.

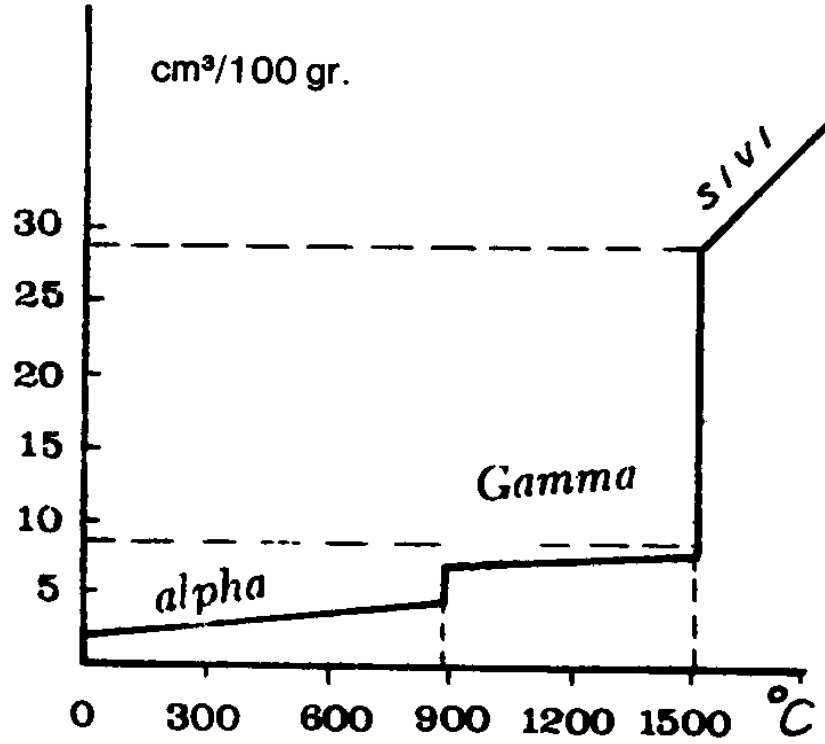


Şekil : 12



Martensitik dokuda hidrojenin yayılması perlitik doku içindekinden daha yavaş olur. Saf demir içinde ilâve elementlerin bulunması hidrojenin havaya çıkmasını geciktirir; ferrit içinde kolaylıkla eriyik haline gelen krom ve silisyumun varlığı ile demirin hidrojeni geçirgenliği azalır.

Gamma demiri alpha veya delta demirlerinden bariz şekilde fazla hidrojen eritir. 1530°C'ta katı halde hidrojenin eriyebilme sınırı 100 gr demirde 8 cm<sup>3</sup>, yani % 0,0007 olarak bulunmuştur. Katı halden sıvı hale geçişte bu oran birden artıp 28 cm<sup>3</sup>'ü, yani % 0,0025'i buluyor (şek. 13).



Şekil : 13

Ark kaynaklarında hidrojen yoğunluğu zamanın fonksiyonu olarak değiştiğinden bu gazın dozajı güçleşir. Gerçekten hidrojen bütün katılma süresi içinde ve aynı zamanda adi sıcaklıkta açığa çıkar ve ancak uzun bir zaman sonra denge halini alır. Sıcaklık ne kadar düşükse hidrojenin yayılması da o kadar yavaş olur. 20°C'ta bakiye hidrojenin % 20'sinin açığa çıkması için 4000 saat beklemek gerekir. Buna karşılık 620°C'ta bu açığa çıkma birkaç saatta vaki olur. Kaynakta, adi sıcaklıkta açığa çıkan hidrojenin bilinmesi ilginçtir. Bu nedenle 20 veya 45°C sıcaklığında hidrojenin dozajına geçilir, sonra toplam hidrojen 600°C'ta vakum altında ekstraksiyonla ölçülür.

Bu yolda ASTM ve ISO Standard metotlar geliştirmişlerdir.

Deneylemlerden aşağıdaki genel mülâhazalar çıkar:

1) Hidrojenin azamisini tespit eden Selülozik elektrodlerde sıvı halde hidrojen doymuşluğuna, yani 100 gr metalde 27 cm<sup>3</sup>'e varılır.

Oksit ve rutil örtülerde, toplam hidrojenin nispeti doymuşluk nispetinin yarısı mertebesinde, yani 100 gr'da 12 ilâ 15 cm<sup>3</sup>'dür. Bazik örtülerde toplam hidrojen 100 gr'da 8

cm<sup>3</sup>'ü geçmez.

2) "Yayılabilen" hidrojenin toplam hidrojene nazaran yüzdesi Selülozik ve rutil elektrodalarda yaklaşık % 50, oksitlerde % 10, baziklerde % 20-25 mertebesindedir.

Kaynak sırasında hidrojenin ergimiş bölgeden geçiş (ısıdan etkilenmiş) bölgesine yayılması ancak ergimiş bölgenin ana metalden daha yumuşak olması halinde mümkündür. Gamma-alpha değişmesinin önce ana metalda, sonra ergimiş bölgede vaki olması halinde ise hidrojen "yürümesi" olanaksızdır, örneğin su alan çeliklerin austenitik elektrodlarla kaynağında ergimiş bölge hep gamma halinde kalır ve böylece de bütün hidrojeni tutar, onun ana metal yönünde istenmeyen "yürümesini" engeller.

Böylece kaynak kusurlarına neden olan faktörleri kısaca gözden geçirmiş olduk. Şimdi de bu hata ve kusurların ayrıntılarına girip gerek sözü edilen faktörlerin gerekse sairlerinin bunlardaki paylarını göstermeye çalışacağız.

## **KAYNAK HATALARI (2)**

Hata ve kusurlar eninde sonunda kırılmaya götürür. Bu itibarla yukarda sözü edilmiş olan faktörlerin etkilerinin daha iyi anlaşılması için metallerin "kırılma" olayının biraz derince incelenmesi gerekir. Biz bunu şimdi uzun ayrıntılara girmeden özetlemeye çalışacağız. Kırılma üzerine yapılmış çalışmaların tarihçesi de bu olaya ışık tutacak mahiyette görünmektedir.

Hook'un 1676'daki "zorlama, hasil ettiği şekil değiştirme ile orantılıdır"sözünden birbuçuk yüzyıl sonra, 1822 de Londra'da Tredgold, "Dökme Demir ve Sair Metallerin Kuvveti" adlı ünlü yapıtını yayınlıyordu. Bunun giriş kısmında "bir konstrüksiyonun stabilitesi, imalcisinin bilimi ile ters orantılıdır" demekte duraksamıyordu : bilim sahibi imalci, "ince hesaplar" sonucu makinasını ince yapıyor, o da kırılıyor! Bu söz etkisini gösteriyor. Herkes kendini emniyete alma yoluna gidiyor, şu kadar ki 1830'da inşa edilmiş Sphinx vapur (*vapour*) unun makinasının ağırlığı beygir başına 800 kiloyu buluyor... Young daha evvel, Hook kanunundan hareket ederek, elastikiyet modülünü tarif etmişti ve adı da keyfiyete yapışık kalmıştı. Bundan başka da zorlamanın muayyen bir değerinden itibaren deney çubuğunun, zorlamaya son verildikten sonra, ilk şekline dönmediğini kaydetmişti Ortada bir *sürekli bozulma* vardır. Tredgold bunu şöyle yorumlamıştı: "bir sürekli bozulma kısmî bir kırılmadır, bu itibarla bunun meydana çıkması gerçek sınır mukavemetini ifade eder". Aslında Tredgold zorlamanın bu değerini, tekrarlanarak uygulandığında kırılmaya götüren zorlamanınki ile, yani yorulma sınırı ile bir tutmakta idi. Bütün bunlar bugün bize hayli safdil görünüyor: yorulma sınırı ile elastikiyet sınırının ayrı şeyler olduğunu biliyoruz. Bütün bunların yanısıra da 1822'de Cauchy, Fransız Bilimler Akademisine bir bildiri sunuyordu. Bunda elastikiyet teorisinin temelini koruyor, şekli değiştirmeleri, problemi lineer olarak irdelemek olanağını sağlayacak kadar küçük kabul etme; malzemenin devamlılığı, homogenliği, isotropi ve elastikiyeti; sadece yakından yakına" birbirlerine karşı etkilerini gösteren malzeme elemanları kavramlarını devreye sokuyordu.

Bizim bugünkü çekme mukavemeti, büyük dedelerimizin *metalin kuvveti*, her geçen gün daha çok gözden uzak tutulur oldu, etüd bürolarında. Müsaade edilen çalışma gerilmelerini bir taraftan tedricen yükseltirken imalatçılar başka başka problemlerle karşılaşmakta gecikmediler: yorulma nedeniyle tedrici çatlama, gözle görünür şekil değiştirme olmadan ani kırılma, gerilim altında korozyon, yüksek sıcaklıklarda gevrekleşme ve kırılma vs...

Tredgold'a göre, yukarda söylediğimiz gibi, *bozulmaya mukavemet, metalin kuvveti* işbu *bozulmaya mukavemet*'i çok aşsa dahi, neticede kırılma vaki olmadan tekrarlanabilir şekilde aşılamayan sınır zorlamayı ifade ediyordu. Gerçekten, bugün yorulma dediğimiz olay o devrin mühendislerini hayli meşgul etmiş, tekerrür eden zorlamalar altında yorulma kırılmaları gözle görülür şekil değiştirme hasıl etmeden vaki olup kırılma kesitinin genellikle parlak ve ince taneli bir görünüm arzemesi bunların tecüssüslerini kamçulamıştır. Ve aralarından birçoğu mükerrer zorlamaların etkisiyle malzemede değişme olduğu varsayımını ileri sürmüşlerdir. Bu varsayım haylıca yaygınlaşmış, 1850'de İngiltere'de Institution of Mechanical Engineers'in toplantılarında bahis konusu edildiğinde, o sırada başkan bulunan Robert Stephenson (The Rocket lokomotifinin ünlü imalcisi Georges'un oğlu) bu fikre karşı çıkmıştı. Buna rağmen beyinlerden sökülüp atılmadı, şu kadar ki 1926'da Amerikan National Bureau of Standards LC 204 No.lu genelgesiyle "metaller titreşimlerin etkisiyle kristalleşmezler" bildirisinde bulunmak zorunluğunu duyuyordu.

Peşin hükümlerle hareket etmeyen gözlemciler yorulma kırılmalarının önce hasıl olan kıl çatlaklarının ilerlemesi sonucunda meydana geldiğini görmüşler, bu kırılmaların makroskopik karakterini daha geçen yüzyılın ortalarında saptamışlardı: bir genel şekil değiştirmenin yokluğu; çatlağın, parçanın ömrünün sonuna kadar görünür hale gelmesi; çatlağın tedricen gelişmesi; burada kırık yüzeyinin ince taneli ve bölgeleşmiş olması ve nihaî kırılma bölgesinin görünümünden kesin olarak farklı bir görünüm arzemesi.

Bunun dışında yorulma suretiyle kırılmalar üzerinde bir yandan çalışma yüklemelerinin, diğer yandan da şekil kusurlarının etkileri meydana çıkarılmıştı. Ancak o devirlerde elastikiyet teorisi henüz yeterli derecede gelişmemiş olduğundan gerilme yoğunlaşması katsayısı aracılığı ile bu iki faktörün birbirleriyle ilişkileri saptanamamıştı. Daha 70 sene kadar, Darmstadt'ta Thum ve arkadaşlarının çalışmalarını beklemek gerekmiş, *form* (şekil) *mukavemeti* (Gestaltfestigkeit) kavramının yorulma'nın sahasına kesin olarak yerleşebilmesi için : malzeme cinsinin tabiatı düz deney çubuğu üzerinde sadece yorulmaya mukavemet değeri ile değil, aynı zamanda bir çentiğe hassasiyet katsayısı ile etkisini gösterir. Bu katsayı, şekil kusuru nedeniyle yorulmaya mukavemet azalmasının, tekabül eden gerilme yoğunluğu katsayısının altında kalması keyfiyetini hesaba katar.

Bu itibarla daha 1840'lardan itibaren yorulma suretiyle kırılma, kâfi derecede sistematik bir karaktere bürünmüştü ve mühendisler mekanik faktörlerini araştırılmasına koyulmuşlardı. Aynı devirlerde, belirli şekil değiştirme arzemediği ani kırılmalara da arasına rastlanıyordu : 30 Ağustos 1857'de Dormans (Fransa) da "La Turquie" lokomotifinin kazanı patladı. Bu münferit kazalar üzerine yapılan araştırmalar bunların şekil hatalarıyla, bununla birlikte de makinanın

yapıldığı metalin sınırlı bir şekil değiştirebilme kabiliyeti ile ilişkili olduklarını çoğu kez gösteriyordu. Ortaya 1884'de Tetmajer tarafından düşünülen çentikli deney çubuğu üzerine eğilme deneyleri çıktı. Bu deneyler, metalin kırılma eğilimini daha emin şekilde meydana çıkarma olanağını sağlıyordu. Ve gelindi Charpy aletine ve ilk standardlaşması 1936'da yapılan *kırılma deneyi*'ne.

Fakat kırılma deney çubuğunun deney sırasındaki mekanik davranışlarının etüdü henüz tam olarak bilimsel yoldan yapılmamıştı. Bu etüd ancak son senelerde gerçekleşebildi ve kırılma deney çubuğunun sırasıyla birçok olayın yuvası olduğunun ve bu çubuk için genellikle kabul edilen boyutların bu olayları ayrı ayrı belirtmeye yetmediğinin farkına varıldı : bu karşılıklı çapraşık durum nedeniyle kırılmanın arzettiği global sonucun yorumu kaçınılmaz şekilde ihtiyatla ele alınacaktır.

Bu itibarla kırılma deneyinin tek başına, imalat uygulamalarında, gözle görülür şekil değiştirme olmadan ani kırılmaları ortadan kaldırmayı başaramadığına şaşmamak gerekir. Bunun tam aksine, son onyıllar içinde, bununla ilgili kazalar giderek artmıştır. Buna neden olarak, hergün daha yüksek elastikiyet sınırlı malzemenin kullanılmasına bağlı olarak emniyet gerilmelerinin yükseltilmesinin etkisinin yanısıra kaynağın kullanılmasıyla önemli bakiye gerilmelerin yuvalandığı bölgelerin genişlemesi, ya da tek parça kaynaklı konstrüksiyonların boyutlarının büyümesi gösterilir.

Esasen metalürji yönünden makroskopik ölçüde ani kırılma aynı ve tek bir mikroskopik mekanizmaya tekabül etmez. Çok yüksek elastikiyet sınırını haiz çeliklerde mikrofraktografik görünüm, sünek kırılmanın tipik yüksüğünü arzedebilir. Bu görünüm, geri dönüşlü tavlama kırılma eğilimi bahis konusu olduğunda ya da bazı yoğurulmuş austenitik çeliklerde taneler arası duruma girer. Bu sonucuna örnek olarak 1954'te, Toronto santralında patlayan alternatörün rotor sıkma çemberi gösterilebilir. Fakat en çok görülen (ve de konstrüktörler arasında en çok şaşkınlık yaratan) hal, nispeten yumuşak tipte çeliklerde gözlenen hâkim kırılma klivajlı (teflik düzlemlili) kırılmalara tekabül eder: bu tip kırılma 1936'da Berlin hayvanat bahçesinin köprüsünün, 1938'de Rudersdorf köprüsünün, Hasselt (1938) köprüsünden başlamak üzere Belçika'da Albert kanalının köprülerinin, Kanada'da Trois Rivieres'de batı köprüsünün (1951) ve daha nicelerinin çökmesine neden olmuş, İkinci Dünya Savaşı sırasında Amerika'da inşa edilmiş yük gemilerinin önemi bir miktarının sulara gömülmesi sonucuna götürmüştür. Bunlardan en ünlüsü, demirli bulunduğu mahalde 1943 Ocak'ında ikiye bölünen Schenectedy gemisi olmuştu. Bunu aynı yıl içinde yine birçok hasar izledi. Amerikan National Bureau of Standard'ın raporuna göre, Nisan 1946'ya kadar 127 ağır, 739 tehlikeli hasar tespit edilmiştir. Aralık 1949'a kadar ağır hasar adedi 197'ye varıp 11 gemi tamamen kırılmıştır. Bu arada başka yerlerde de gevrek kırılma olayları yaşanmaktaydı. Washington Mail gemisinin de Mart 1956'da ikiye bölünmesinden sonra on bin tonluk Liberty tipinde İtalyan Fides kargosu da 1962'de kırılıyordu, karaya oturduktan sonra. Kanada Department of Mines and Technical Surveys'in 1957 tarihli bir raporu kullanılması süresi içinde gevrek kırılmış 85 palpaş olayı kaydediyor. 22 Şubat 1953 gecesi bir gaz tankı aynı şekilde kırılıyor, 1959'da da bir başka tank Danimarka'da parçalanıyordu.

Yukarıda kırıldıklarını anlattığımız konstrüksiyonlar şu müşterek hususları arz ediyorlardı:

- a) Köprülerde hesapça gerilme önemsiz olup olayın vukuu sırasında köprüler genellikle yüksüzdürler. Keza gemilerde de emniyet gerilmesi yüksek değildi.
- b) Kırılmalar önceden herhangi görünür bir şekil değıştirme arzetmeden vaki olmuştur.
- c) Bu konstrüksiyonlarda kullanılmış çelikler normal çekme deneyinde beklenen şekil değıştirmeyi arz etmişlerdir.

Hasselt köprüsünün çöküşü başka özellikler de gösteriyordu. Kırılma kalın kuşaklarda değil de bir Vierendel makasında olmuş, çatlak, enine ve uzunlamasına büzölmelerden hasıl olan kaynak gerilmelerinin kümelendiği köşe noktalarında meydana çıkmıştır. Malzeme 42—50 kp/mm<sup>2</sup> mukavemetli, 22 kp/mm<sup>2</sup> akış sınırını haiz ve % 20-24 uzamalı bir Thomas çeliğı idi. Fosfor ve kükürt oranı nispeten yüksek olup çentik darbe mukavemeti de 1,5 ilâ 2,4 cmkp/mm<sup>2</sup> olarak düşüktü. Schenecktedy tankerinin varıldığı akşam dış sıcaklık —5°C, deniz suyunun sıcaklığı da + 14°C idi. Böylece, aşağıda yine döneceğimiz gevrek kırılma konusunun hikâyelerini şimdiden anlatmış olduk.

Mesele üzerine eğilinmesi doğaldı. Bu kırılma tipinin ana hatları tedricen meydana çıkmaya başlamıştır: Mrs Tipper, yırtılmanın bitim noktasının ilerisinde, özellikle ferrit tanelerinde, şu anda yırtıkla henüz temasta olmayan klivaj yoluyla kırıkların meydana çıktıklarını saptadı. Yırtık bu kırılmalarla birleştiğinde kendiliğinden gelişmiş oluyor. Bundan sonra Carlsson ile Van Elst bu gelişmenin almaşık sıçrama ve durmalar suretiyle olduğunu, bunların büyüklük ve sürelerinin dış koşullara, özellikle sıcaklığa bağlı bulduklarını, ortalama hızlarının saniyede kilometre mertebesinde bulunduğunu ortaya çıkarıyor. Yumuşak çeliklerin klivajlı ani kırılmalarının bir zincirleme reaksiyonu andırdığı, bu bakımdan cam gibi tümden kırılğan malzemelerin kırılmasına benzer bir görünüm arzettiğı tespit edilmiş oluyor. Ama her şeye rağmen, makinacının kullandığı malzemelerde belli bir plastiklik mevcut olup artık klasik hale gelmiş *G çatlağın ilerlemesine mukavemet* ve *K gerilme şiddeti katsayısı* kavramları yerleşti.

Şimdi de gerilim altında korozyon yoluyla çatlama üzerinde kısaca duralım. Bunun ilk örneğine A.Porvein 1917'de zehirli gazla dolu bir 75'lik mermide rastlıyor.

Hadise, yorulma kırılmasında olduğu gibi çatlakların, sonunda tüm kırılmaya götürebilen tedrici gelişmesiyle karakterize olur. Bunda süreç farklı olabilir. Burada yükler yorulmada olduğu gibi devrî olmayıp ya dıştan uygulanan sabit bir zorlama, ya da yine sabit ve denge haline gelmiş bir bakiye gerilmeler sistemi halindedir. Aynı zamanda malzemenin yüzeyi bir korozif maddenin etkisine maruzdur.

Eskiden sabit yük altında çeşitli çatlama süreci biliniyordu; kazan saçlarının kostik gevrekleşmesi ile pirinç boruların "*season-cracking*"i bunlardandı. Ancak bu olayların yorumlanmasında mekanik faktörlerle kimyasal faktörlere dengeli birer rol atfedilmiyordu, Örneğin, kostik gevrekleşme metalin korozyon yoluyla bozulmasına bağlanıyor, bindirmeli birleşmelerde saçların eğilmesi ile perçin delikleri etrafında gerilme yoğunlaşmaları dikkat nazara alınmıyordu. "*Season-cracking*" ise sadece bakiye gerilmelerin etkisiyle vaki bir gecikmiş kırılma süreci olarak irdeleniyor, atmosferde bulunan korozif maddelerin rolü görölmüyordu.

Örnekler çoğaltılabilir: basınç altında havagazı naklinde kullanılan çelik şişeler; gemilerde bulunan nefes alma aletlerini besleyen % 7 Mg'lu alüminyum-magnezyum alaşımından basınçlı hava şişeleri bunlardandır. Birincilerde aynı anda bulunan siyanhidrik asitle oksijenin etkisiyle iç cidarlar her an derinleşir şekilde çatlıyor, mevcut basınç sonunda bunları yırtılmaya götürüyor. Berikilerine ise deniz havası yaramıyor...

Bilindiği gibi kimyasal maddeler homogen olmayan malzemelere karşı çok daha etkili olmaktadır, zira bu malzemelerde değişik bileşimli noktalar arasında galvanik akımlar meydana gelmekle tahribat hızlanmaktadır. Fakat bunun yanısıra iç gerilmeleri haiz homogen malzemelerde de korozif etki baş gösterebilir: bu durumda çekmeye çalışan bölgelerle basınca çalışan bölgeler elektroşimik düzeyde farklı bileşimi haiz değişik noktalar gibi davranırlar.

Gerçi daha başka kırılma süreçleri de varsa da yukarda zikrettiklerimiz bizi aşağıdaki sonuçlara götürdüğünden bunların üzerinde durmayacağız.

Bir taraftan, aynı bir malzeme için, malzemenin içinde bulunduğu koşullara göre, çeşitli ve birbirlerinden iyice ayrılmış süreçler bulunabilir.

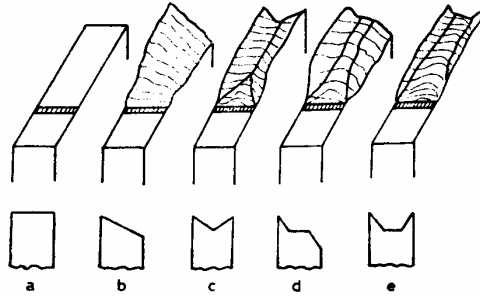
Diğer taraftan, verilmiş koşullar altında kırılma bakımından benzer şekilde davranan iki malzeme, başka koşullar altında çok farklı şekilde davranabilirler.

Bütün bunlardan sonra, konstrüktörlerin ihtiyaçlarına cevap verip metalürjistlere konstrüktörlerin sorunlarına daha elverişli malzeme araştırmasında yardımcı olabilecek bir kırılmanın mekaniği'nden, sadece konunun boyutları hakkında bir fikir verebilmek için, çok özetle bahsedeceğiz.

## KIRILMANIN LİNEER MEKANİĞİ

Biz burada sadece kırılmalar üzerindeki genellemelerden kısaca söz edeceğiz. Gözün görebildiği ölçülerde kırılma yüzeyleri iki ana şekle ayrılabilir düz kırılma ve yatık kırılma. Bunların her ikisi de Şek. 14'te gösterilmiştir. Burada a, düz kırılma; b, yatık kırılma; diğerleri de ikisini içeren karışık kırılmanın görünümleridir.

Düz kırılma, azami ana gerilmenin yönüne dikey bir kırılma yüzeyine tekabül eder. Buna çoğu kez az bir plastik şekil değiştirme ile vaki kırılmalarda rastlanır (örneğin sünek-kırılğan geçiş arzeden çeliklerin gevrek kırılmaları). Kırılma yüzeyinin yatık olması halinde ise kırılma büyük bir plastik şekil değiştirmeden sonra meydana gelir. Çoğunlukla kırılma, bu iki tipin bir bileşimi şeklini arzeder (şek. 14: c. d ve e). Geçen sayımızda kısaca açıkladığımız bazı hususlara (sayfa 7) başka bir açıdan yeniden yaklaşıyoruz.



Şekil. 14

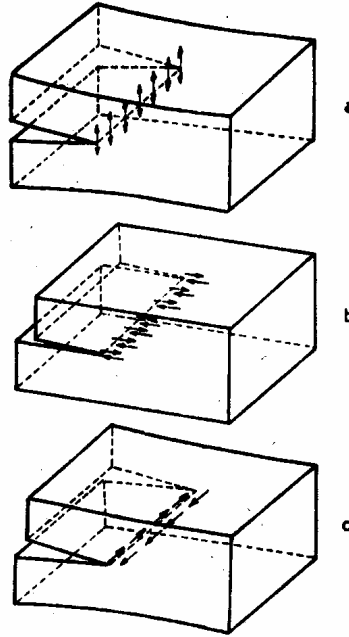
## Kırılma şekilleri

Düz bir çatlağın bir kuvvetler sistemine maruz bulunduğu bir ilk hali düşünelim; bundan başka bir çatlağın ilerlemesinin kendi düzleminde vaki olduğunu farzedelim. ilerlemenin en genel şeklinin üç basit halin üst üste gelmesine indirgenebileceği gösterilir:

—I.ci şekilde (açılma yolu şekli) çatlağın yüzeyleri birbirlerine dikey olarak yer değiştirirler (şek. 15, a);

—II.ci şekilde (düz kayma) çatlağın yüzeyleri aynı düzlemde ve çatlağın bitim hattına dikey yönde yer değiştirirler (şek. 15, b);

—III.cü şekilde (helezoni kayma) çatlağın yüzeyleri aynı düzlemde ve çatlağın bitim hattına paralel yönde yer değiştirirler (şek. 15, c).



Şek. 15

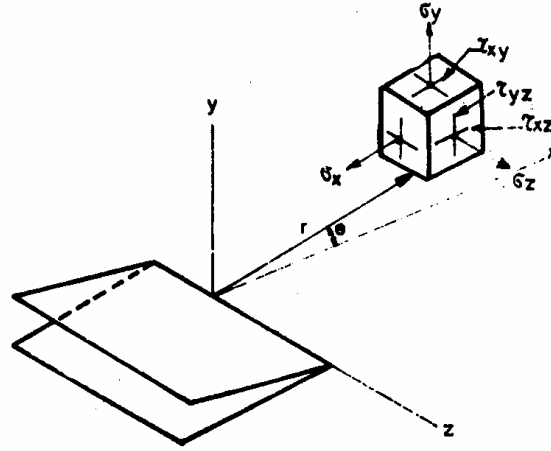
Yukarda sözünü ettiğimiz düz kırılma buradaki I.ci şekle tekabül eder; aynı şekilde, bir yatık kırılma II ve III.cü şekillerin üstüste binmiş haline tekabül eder.

Şek. 15 'te oklar, çatlamış yüzey noktalarının yer değiştirmelerini temsil eder. Her üç halde de çatlak soldan sağa ilerlemektedir.

Tehlikeli kırılmaların genellikle I.ci şekil kırılmaları olduklarını belirtmek gerekir. Bu nedenledir ki, bütün kırılma mekaniği etüdüleri bu kırılma şekli üzerinde yoğunlaşmıştır. Esasen geçen sayımızın 7.ci sayfasında, "Çekme deneyinde kopmanın görünüşleri" bahsinden konuya oldukça açıklıkla değinmiştik. Buna bazı tamamlayıcı bilgileri ekleyelim.

Çekmede kopmuş bir çatlak deney çubuğunu düşünelim. Çoğunlukla çubuğun ortasında I.ci şekle uygun bir düz kırılma bulunur, zira ana zorlama çatlamış yüzeye o anda dikeydir. Aslında, dikey zorlamanın bir kritik değeri aşması çatlağın I.ci şekilde yayılmasından sorumludur. Kuvvetli üç eksenlik (triaxialité) her türlü şekil değiştirmesini önler. Deney

çubuğunun yüzlerinde II ve III.cü şekil yayılmalarının bir üst üste binmiş haline tekabül eden bir yatık kırılma gözlenir; bu bölgelerde üç eksenlilik çok zayıftır ve böylece de çatlağın makaslama suretiyle yayılması mümkün olur.



Şek. 16 — Bir çatlağın nihayeti civarında gerilmeler.

Gerilmelerin durumunu bir daha ele alıp tariflere daha açıklık getireceğiz. Günlük uygulamalarda, tecrübî olarak gözlenenleri iyice temsil eden iki basit hal göz önüne alınır:

— Şek. 16'daki ifadelerle

$$\sigma_z = \tau_{xy} = \tau_{yz} = 0$$

olursa bir düz gerilme halinde bulunduğu söylenebilir. Böyle bir hale meselâ kendi düzleminde ve paralel zorlamalara maruz çok ince bir saçta rastlanır.

$$\varepsilon_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$$

olursa aynı şekilde bir düz şekil değiştirme halinde bulunduğu söylenir. Bu hal, bir kalın saçın orta bölgesinde elde edilir (o ise ki yan yüzlerde bir düz gerilme hali mevcuttur). Yukarıda sözünü ettiğimiz çekmede kopmuş çatlak deney çubuğunu tekrar ele alacak olursak, orta bölgede düz şekil değiştirme halinde bulunması çatlağın düzleminde

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y) = 2\nu\sigma_x$$

olmasını (zira çatlağın düzleminde  $\sigma_x = \sigma_y$  dir) sonuçlandırır. Bu takdirde başlıca üç gerilme

$$\sigma_x, \quad \sigma_y = \sigma_x, \quad \sigma_z = 2\nu\sigma_x$$

olur. Deney çubuğunun yüzlerinde, düz gerilme halinde bulunulma nedeniyle  $\sigma_z$  dir. Bu takdirde başlıca üç gerilme

$$\sigma_x, \quad \sigma_y = \sigma_x, \quad \sigma_z = 0$$

şeklini alır. Üç eksenliliklerin ve aynı zamanda makaslama gerilmelerinin farklı oldukları görülür. Bu itibarla kırılma şekilleri de aynı değildir.

Çatlakların yayılmasının enerjetik yönü üzerinde, bizi bu yazının çerçevesinin dışına sürükleyecek matematik mülâhazalara götüreceğinden, durmayıp bir çatlağın ani yayılması konusuna kısaca değineceğiz ve bazı kavramları zikretmekle yetineceğiz.



### **Bir çatlağın ani yayılması**

Anlatımı basitleştirmek için 1.ci şekilde bulunduğumuz farzedilecektir. Kırılmanın çatlağın dibinden, dikey gerilmenin azami olduğu düzlemde başladığını kabul ediyoruz. Kırılma, K, gerilme şiddeti katsayısının bir  $K_{Ic}$  kritik değerine vardığında vaki olur. Bu  $K_{Ic}$  değeri nicelik olarak bir malzemenin, bir çatlağın 1.ci şekilde ve düz şekil değiştirmede yayılmasına mukavemetini karakterize eder.  $K_{Ic}$  çentiğin ve deney çubuğunun geometrisinden bağımsızdır. Bu kırılma kriteri gerilmelerin çatlak dibinde bir kritik dağılımına tekabül eder.

Fiziksel olarak, bir çatlağın yayılabilmesi için malzemeye muayyen bir enerjinin verilmesi gerekir (bir yüzey enerjisi artışına tekabül eden atomik bağların kopması, plastik şekil değiştirmeler vs...)

W, potansiyellerinden türeyen dış F, kuvvetler sistemine maruz ve 2a uzunluğunda bir çatlağı haiz bir katı cisimi düşünelim. Çatlak uzunluğunun a kadar uzaması halinde kalınlık birimi başına  $W_p$  global potansiyel azalması hasil olur.

$$\Delta W_p = w_{p2} - w_{p1} = -G\delta a$$

Burada G, yaratılan yüzey birimi başına bir enerjidir. Kinetik enerjinin değişmesini ihmal ederek denklem

$$G\delta a = -\left[\Delta \sum w_i + \sum \Delta w_e\right]$$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $-\sum \Delta W_i$ ,  $F_i$  kuvvetinin kalınlık birimi başına iş'i,  $\sum \Delta W_e$ , cismin kalınlık birimi başına elastik enerji değişmesi, G de, çatlağı ilerletmek için eldeki enerji'dir. Bu sonuncusunu yukarda çatlağın ilerlemesine mukavemet tarifi altında görmüştük ki bunların aynı anlama geldikleri aşağıda anlaşılacaktır. G'ye İngilizce "Strain energy release rate" adı verilmektedir.

Bir yüzey enerjisi, yani  $\frac{FL}{L^2}$  olan G'nin boyutu ele alındığında bunun  $\frac{F}{L}$  şeklinde de yazıldığı görülür: bu uzunluk birimi başına bir kuvvettir.

Böylece  $\delta a$  kadar yayılma sırasında serbest kalan potansiyel enerjinin  $G\delta a$  olduğunu görmüştük. Çatlak nihayetinin uzunluk birimi başına bir F *fiktif* kuvvetinin varlığı farzedildiğinde, yayılma sırasında bu kuvvetin iş'i  $F\delta a$  olur.

Bu itibarla enerjetik bakımdan, çatlağı  $\delta a$  kadar uzatabilmek için elde bulunan enerji  $G\delta a$  ya da bir fiktif kuvvetin  $F\delta a$  iş'idir. Burada  $F = G$  oluyor. Anglo-Saxon terminolojisinde F'e "Crack extension force" adı verilmiştir.

### **Çatlakları içeren bir parçada plastik şekil değiştirmeler**

Çatlağı haiz parçaların yüklenmesini izleyen plastik şekil değiştirmelerin etüdü birçok konunun aydınlatılmasına yardımcı olmaktadır. Ezcümle:

— kırılma şekillerinin tahliline ve özellikle düz ve yatık kırılma arasındaki intikallerin tahliline yardımcı olur; bu intikaller levhalarda plastik şekil değiştirme için sırasıyla düz şekil değiştirme ve düz gerilme koşullarının gelişmesine bağlıdır;

— çatlak ucunun plastik şekil değiştirme bölgesinin hangi koşullarda kırılmanın lineer mekaniğinin kullanılmasını haklı çıkaracak kadar küçük olduğunun saptanmasına ve gerekli görülebilecek düzeltmelerin hesabedilebilmesine olanak sağlar;

— tenasite (malzemenin metaneti), çatlak ucunun açıklığı ve plastik bölgenin şeklinin karakteristik boyutları arasında sayısal bağlantıların kurulmasına imkân verir;

— ani kırılmanın başlamasının koşullarını açıklığa kavuşturur;

— malzemelerin tenasitesi ile bunların İtibarî mekanik özellikleri arasında bağ kurar;

— plastik şekil değiştirme bölgesi önemli hal aldığı anda kırılma kriterlerini tarif etmek üzere kırılmaların lineer mekaniğini devreye sokar.

Biz burada konuları saymakla yetiniyoruz. Bunları derinleştirmek isteyen okuyucularımıza yazımızın sonunda vereceğimiz ayrıntılı bibliyografyaya başvurmalarını salık veririz.

Şimdi de gevrek kırılmada kaynağın sorumluluğuna geçmeden önce bu kırılma türünü, buraya kadar gördüklerimizin ışığında genel olarak yorumlayacağız.

### **GEVREK KIRILMA**

Hikâyesini ettiğimiz köprü ve gemi saçlarının, kendilerinden normal olarak yüksek süneklik beklenen yumuşak çeliklerden olması, bütün bu gibi konstrüksiyonlarda bu sünekliğin bilinmeyen ve hesaba katılmayan çeşitli faktörlere karşı bir emniyet payı gibi irdelenmesi, buna karşılık bunların felâkete götürecektir şekilde özelliklerini kaybetmesi, büyük şaşkınlığa neden olmuştu.

Her ne kadar "gevrek" ve "sünek" tabirleri mühendislerce malzemenin kırılma tipini tarif etmekte kullanılmakta iseler de aslında bunlar malzemenin, iki kısmın birbirlerinden ayrılmasından önceki davranışını anlatırlar. Bildiğimiz gibi sünek kırılmada parçalar birbirlerinden ayrılmadan önce önemli plastik şekil değiştirmeye vaki olur, gevreklik de sünekliğin tersi olarak, kırılmadan önce hiçbir plastik şekil değiştirmeye olanak sağlamaz. Gerçekte, bahis konusu olan yumuşak konstrüksiyon çeliklerinde bir miktar plastik şekil bozulması vaki olursa da bu şekil bozulması, malzemenin sünek davranışının yanında küçük kalmaktadır.

Çoğu kez başka terimler de bu iki hali ifade etmek için kullanılmaktadır. Bunlardan örneğin "klivaj" ile "kesme" ("shear") ya da "kristalli" ile "elyafı" ("fibrous"), çeliklerin gevrek ya da sünek kırılma hallerinin sair tarifleridir. Klivaj ile kesme, malzemedeki münferit kristal veya tanelerin kopma mekanizmasını tarif eden kristallografik tabirlerdir. Klivaj kırılması kristallerin özgül düzlemler boyunca ayrışması şeklinde vaki olup kırılma yüzeyinde parlak façetalı veya kristallin bir görünüş bırakır. Kesme kırılmasında ise, kristaller distorsiyona uğrayıp elyafı bir kırılma yüzeyi gösterecek ve dışarı taşıyacak şekilde, çeşitli düzlemler boyunca kaymalar bahis konusudur.

Bir sünek kırılma malzemenin esas kristal dokusunu hiçbir surette arzemez. Buna karşılık gevrek kırılma tane mikrostrüktürünü açıkça ortaya koyar. Bu da yukarıda hikâye ettiğimiz yanlış kavramların nedeni olmuştur.

Gevrek kırılma, karakteristik bir görünümle kendini belli eder (şek. 14,a). Kırık yüzeyi hayli değişik olabiliyor : parlak ve tanecikli olmakla birlikte pürüzsüz ve az çok şekilsizden kaba ve pürüzlüye kadar farkedebiliyor. Çoğu kez çok belirli bir V motifi görülür; V'nin sivri tarafı kırılmanın başladığı yöne dönük oluyor: Kırılma yüzeyinin kenarları boyunca hasıl olan küçük, 45° lik kesme dudaklarının varlığı, muayyen bir süneklik ya da akmanın bulunduğu delil teşkil eder. Bu dudaklar birdenbire büyüyüp kalınlıkta tam bir 45° lik şev arzedebilir ki, bu da kırılma şeklinin düz'den yatık'a dönüştüğünü gösterir. Bu dönüşümün nedenlerini aşağıda izah edeceğiz. Ancak şimdiden bir kere harekete geçmiş bir kırılmanın durup duramayacağını saptanması bakımından bunun özel bir önem taşıdığını belirtelim. Bunun geniş ölçüde bir strüktürde bulunan enerjiye ve kırık ilerledikçe bu enerjinin dağılma hızına bağlı bulunduğu gösterilecektir. Yani evvelce söylediklerimize (G) dönmüş olacağız.

Bir gevrek kırılmanın harekete geçebilmesi için en az malzemenin akış sınırına eşit bir gerilmenin varlığının şart olduğu genellikle kabul edilir. Bu, kırılmanın vaki olması için bir konstrüksiyonda gerilmelerin genel seviyesinin akış sınırı mertebesine varmış olmasının gerektiği anlamında değildir. Ancak, anlatacağımız gibi, bazı koşulların durumu bu hale indirgemesi bahis konusudur.

Hemen izah edelim:

Önce, bir gevrek kırılmanın, daha evvel mevcut bir çatlak veya sair kusurdan hareket ettiğini önemle belirtelim (çentik etkisinin anlamı hemen meydana çıkar). Bir yeknasak (üniform) çekme gerilmesine maruz bir elementi nazarı itibare alalım. Bu elementin içinde bir çatlak bulunsun (çatlağın nedeninin şu anda önemi yok). Çatlağın varlığı kesitte devamlılığı engellediğinden herhangi bir gerilme bu çatlağı aşamaz ve dolayısıyla yüzeyin taşımak zorunluluğunda bulunduğu yük, çatlaktan geri kalan kesite dağılacaktır. Ancak, bu dağılım, önceden tahmin edildiği gibi üniform şekilde olmayacak, çatlak yüzeyinin hissesine düşen gerilim miktarı çatlağın sınırlarında kümelenecek, buralarda yüksek bir mevzî gerilme hasıl edecektir ki işte bu gerilme, yukarda sözünü ettiğimiz akış haddini geçmiş, ya da en azından ona varmış olacaktır. Çatlak ne kadar uzun olursa kenarında biriken gerilme ve bunun hasıl ettiği şekil bozulması da o nispette fazla olur. Çatlak ucundaki mevzî gerilme aynı zamanda, uygulanmış nominal gerilmenin bir fonksiyonu olup uygulanan nominal gerilme artınca, mevzî gerilme de artıp hızla malzemenin akış sınırına varır.

Bu noktada, normal sünek davranış altında çatlak ucunda küçük bir malzeme hacmi plastik olarak şekil değiştirmeye başlar, böylece mevzî gerilmenin ciddî bir artışını sınırlar, çatlak yüzeyleri de birbirlerinden ayrılmaya başlar. Yükleme arttıkça bu süreç devam eder ve plastik bölgenin boyutları, akışa kadar, artar ve net kesitin tümü üzerinde daha üniform bir gerilim dağılımı hasıl olur. Nihâî kırılma normal plastik uzamadan sonra meydana gelir.

Şimdi de evvelce gördüğümüz üç eksenli çekme gerilmesi sistemini pratik yönüyle açıklayalım. Akışın vaki olabilmesi için kesit yüzeyinde bir azalma meydana gelmelidir; ilk çatlak ya da sair kusur burada diğer etkisini gösterir. Çatlağın alt ve üst yüzeylerine komşu bulunan malzeme, çatlak arasından hiçbir yük geçmediğinden, uygulanmış yük yönünde bir

gerilmeye maruz bulunmamaktadır. Bunun sonucu olarak, bu malzeme kısmı herhangi bir yüzey azalmasına gitmeye niyetli değildir ve çatlak ucundaki küçük alan akmaya yeltendiğinde işbu sözünü ettiğimiz malzeme kısmı, nispeten gerilimden arınmış bulunduğundan, buna engel olur. Bu engelleme, uygulanmış nominal gerilme yönüne dikey yönlerde, çatlak ucu çizgisi boyunca ve çatlak yüzeylerine paralel tali gerilmeler hasıl eder. Böylece de çatlak ucunda, küçük bir hacim içinde, baştan beri görmüş olduğumuz üç eksenli çekme gerilmesi sistemi meydana çıkmış olur. Malzemenin kalınlığı yönünde büzülme ya da şekil bozulmasına müsaade etmeyen üç eksenli (triaxial) hal, düz şekil bozulma için gerekli koşul olarak bilinir.

Özetlemek gerektiğinde, aşağıdaki sonuç çıkarılabilir: bir çentik ya da çatlak bir üç eksenli çekme gerilmesi sistemini ortaya çıkarır, bu sistem de çentik ya da çatlağın ucundaki küçük hacimde akma gerilmesini yükseltir ve bunun sonucunda da bu hacmin sünekliği azalır.

Bir çatlağın ucunda düz şekil bozulma koşullarının hasıl olması burada mutlaka gevrek kırılma vaki olacak demek değildir. Ancak, bunun vaki olma ihtimali çok artmaktadır. Kesit ne kadar kalın olursa, sözünü ettiğimiz düz şekil bozulma koşuluna götüren gerilmelerin teşekkülü o kadar kolaylaşır. Böylece de gevrek kırılmanın daha çok kalın kesitli konstrüksiyon çeliği profillerinde görülmesi izahını bulmuş olmaktadır. Yüksek mukavemetli ve sünekliği az çeliklerde bu koşula çok daha ince kesitlerde erişilir.

Yükleme hızı da fazla olacak olursa normal kayma süreci vaki olabilmek için yeterli zaman bulamaz, malzeme elastik olarak çalışmaya devam eder ve gerilmenin akış sınırının üstüne çıkmasına olanak sağlar. Darbe veya ani yüklemelere maruz konstrüksiyonlara uygulanabilecek şekil bozulma derecesi yine bir çentik ya da kusurun varlığında anlam taşır: nominal gerilme ve şekil bozulma konstrüksiyon içinde mevziî olarak çentik ucunda arttığından şekil bozulma hızı da bu bölgede artar ve sonuç olarak da süneklik azalır.

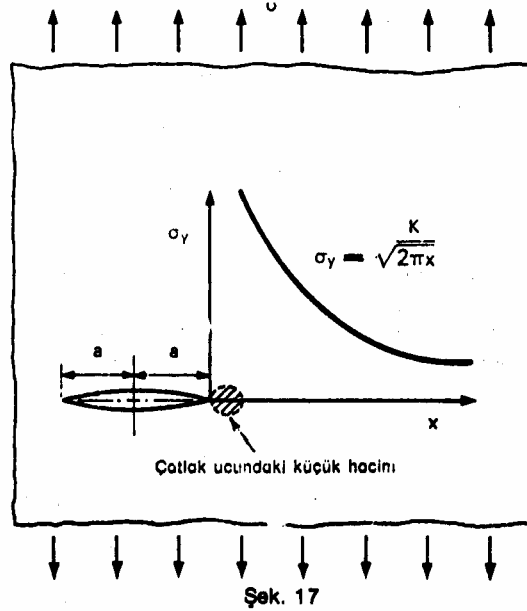
Konstrüksiyon çeliklerinde bu hadise, bir kere başlamış gevrek kırılmanın nispeten kolaylıkla yayılabilmesini izah eder : çentik veya çatlak ucundaki küçük hacim dayanamayıp kırılınca hasıl olan yeni çatlak ucu da aynı duruma düşecektir. Konstrüksiyon büyük hızla felâkete sürüklenir.

Geçen sayımızda, malzemenin kırılmaya dayanıklılığı ve geçiş sıcaklığı üzerinde mikrostrüktürün etkilerinden yeterince söz etmiştik. Bu mikrostrüktür, çeliğin bileşimine olduğu kadar imal yöntemine de bağlıdır. Çeliğin tabi tutulduğu ısıl işlem, mekanik şekil verme vs. sünekliğin azalıp artmasını etkileyen faktörlerdir.

Bir gevrek kırılmanın başlayıp yayılması için gerekli enerji, bir çatlak veya sair kusurla birlikte etki yapan bir çekme gerilmesinden türer. Çekme gerilmesi ya dıştan bir yük, ya konstrüksiyonun içinde kalmış bakiye gerilme sistemi, ya da bunların müşterek etkisinden hasıl olur. Kaynak işleminin nasıl iç gerilmeler meydana getirdiğini geçen sayımızda görmüştük. Konuya yine döneceğiz.

Sözü, kırılma mekaniğine tekrar değinerek özetleyeceğiz. Şek. 17, sonsuz boyutta bir  $\sigma$  gerilme alanına dikey yönde ve  $2a$  uzunluğunda bir çatlağın ucundaki  $\sigma_y$  gerilmesinin, çatlak ucuna  $x$  mesafesinin fonksiyonu olarak değişmesini gösterir, İfadedeki  $K$ , evvelce sözü geçen

gerilme şiddeti katsayısı'dır. Şu K parametresi önemli olup kırılma karakteristiklerini tarifte kullanılır. Kendisi uygulanan gerilme ve çatlak geometrisinin bir fonksiyonu olup bahis konusu durumda, yani  $2a$  uzunluğunda çatlak ile sonsuz boyutta levha halinde  $K = \sigma\sqrt{\pi a}$  ifadesiyle gösterilir. Gömülü veya yüzeydeki çatlak tipleri, belli sınırları olanları da içine alan çeşitli gerilme alanlarına göre de K için başka ifadeler verilmiştir.



Kırılmaya dayanıklılığın ölçüsü olarak da çatlak aralığı yer değiştirmesi (COD-Crack opening displacement) kavramı vardır. Görmüş olduğumuz gibi çatlak ucunda plastik şekil değiştirme vaki olduğunda, çatlağın yüzeyleri birbirlerinden açılırlar fakat bu sırada çatlak ilerlemez, İşte çatlağın bu hareketi COD adını almıştır ki bu, kırılmadan önce akan malzemelerde kırılmaya dayanıklılığın ölçüsü olmaktadır.

Önümüzdeki yazıda kırılmalara götüren çatlak, iç gerilme ve sair kusurların meydana gelmesinde kaynağın rollerini tahlil edeceğiz.

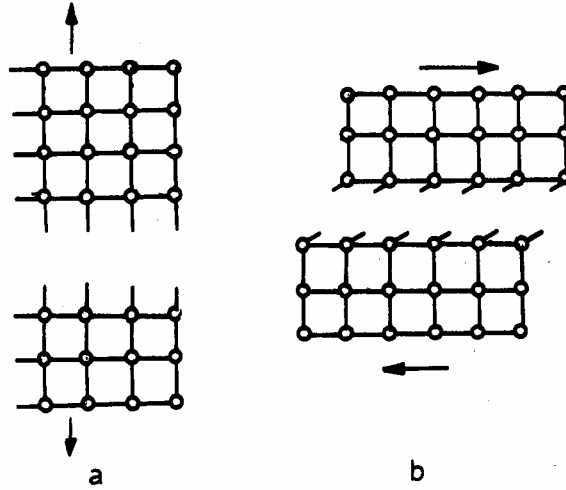
### KAYNAK HATALARI (3)

Kaynağın, kırılmayla sonuçlandırılan çatlak, iç gerilme ve bunlar gibi kusurların meydana gelmesindeki rolünü iyice kavrayabilmek için kırılmanın fiziksel mekanizmasını biraz tetkik edip bunun mekaniği hususunda da bazı tamamlayıcı bilgiler vereceğiz.

#### ATOM DÜZEYİNDE KIRILMA

Bilindiği gibi metaller genellikle basit ağırlı bir şebekenin düğüm noktalarında bulunan atomlardan oluşurlar. Atom düzeyinde kırılma, atomlar arasındaki bağlantıların kopması demektir. Bu kırılma iki şekilde olabilir: İki atomik düzlem birbirinden uzaklaşır; buna klivaj

kırılması denir. Veya iki düzlem birbirine paralel olarak yer değiştirir ki bu da makaslama kırılması adını alır (Şek. 18). Klivajlar mutlaka en uzak atomik düzlemler boyunca meydana geleceklerdir. Bu düzlemler en yoğun olanlardır. Klivaj, gevrek tipte bir kırılma olup önemli bir plastik şekil değiştirme tarafından meydana getirilen makaslama kırılmaları sünek kırılma sınıfına girerler.



Şek. 18 Atomik düzeyde a) klivaj; b) makaslama kırılmasını gösterir şema

Bir metali klivaja tabi tutmak için gerekli zorlama kuramsal olarak hesaplanabilir. Young modülünün onda biri mertebesinde çıkan çok yüksek değerler bahis konusu olur. örneğin çelikte, teorik kırılma zorlaması  $2000 \text{ kg/mm}^2$  mertebesinde olacaktır. Oysa ki  $200 \text{ kg/mm}^2$  lik bir kopma mukavemetinin elde edilmesi bile güçtür. Bu nedenle taneler içinde, teorik kopma mukavemetine erişmek için çok heterogen (homogen olmayan) plastik şekil değiştirmelerin yeteri kadar kuvvetli yoğunlaşmalar meydana getirdiğini düşünmek gerekir. Bu şekil değiştirmeler (deformasyonlar) kaymalar ya da aynı cinsten olup da farklı şekilde yönelmiş ve kısmen birbirine girmiş iki veya daha fazla kristallerden ileri gelir. Çoğu kez böyle bir yapının başında klivaj çatlağına rastlanır. Bu itibarla klivaja heterogen plastik deformasyon arzeden metallerde rastlanır. Merkezli kübik (Fe, V, Mo, Nb..) ve altı köşeli metallerde (Zn, Be..) alçak sıcaklıkta görülür.

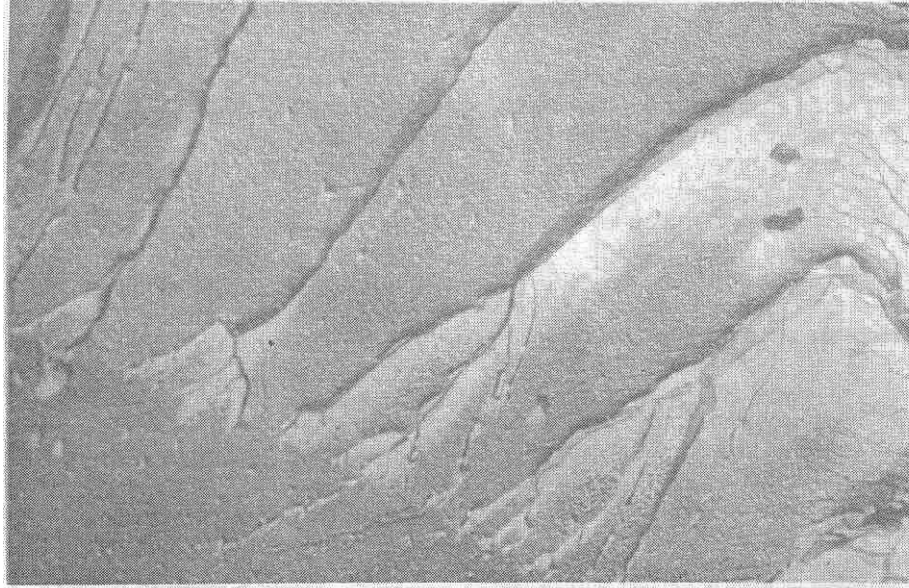
Buna karşın merkezli yüzeyli kübik metallerde (Al, Cu, Au, Ag, Ni..) mikroskopik deformasyon klivajı olanaksız kılacak kadar homogenidir. Klivaj, gevrek kırılma tipinde bir şekil olup önemli plastik şekil değiştirme tarafından meydana getirilen kırılma, sünek tipte bir kırılmadır.

## MİKROSKOPİK DÜZEYDE KIRILMA

### Klivaj yoluyla kırılma

Bir klivaj çatlağı, bir birleşme noktasına varmaya kadar tane içinde ilerler. Daha ileriye yürüyebilmek için bundan böyle yön değiştirmek zorundadır, zira komşu tanenin yönü aynı

değildir. Bu düzlemler arasında bağlantı, basamaklar teşkilini gerekli kılar. Bunlar kırılma yüzeyinde, klivajın gelişme yönünde akan derelere benzer bir karakteristik şekil arz ederler. (Şek. 19)



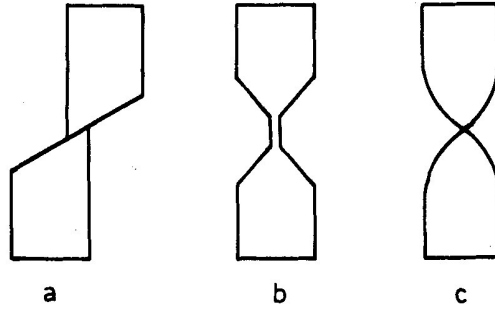
Şek. 19 Bir klivaj yüzeyini gösteren mikrofraktografi. Dereler, çatlakın ilerleme yönünde birbirlerine yaklaşır. (çalışma sırasında kopmuş çelik) x 5250

### **Sünek Kırılma**

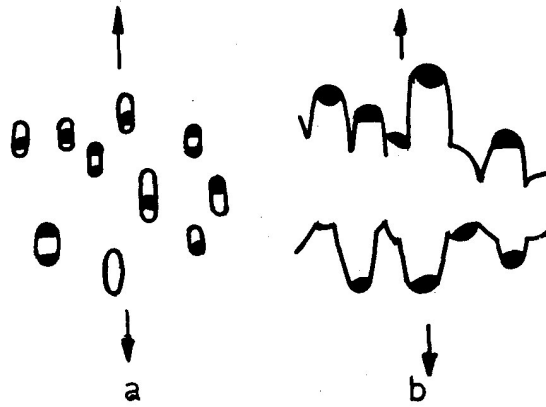
Çekmeye zorlanmış merkezli yüzeyli kübik bir metalin tek bir kristalini göz önüne getirelim. Klivajlar meydana gelemez, bu itibarla kristal en kuvvetli ayrılmalara maruz düzlemler üzerinde kaymalarla plastik olarak şekil değiştirir. Sonuçta deney çubuğunun orta kısmında bir boğulma vaki olup kırılma (kopma), Şek.20'de görüldüğü gibi, kesit sıfıra indiğinde, makaslama yoluyla meydana gelir.

Şimdi de çok saf polikristalli bir deney çubuğunu düşünelim (yukarda bahis konusu edilen kaymalar bu kez taneler içinde meydana gelecek ve tam boğulma ile kopmaya götürecektir (Şek. 20c) Bununla birlikte bu hal nadirdir ve metale genellikle bazı yabancı madde girmesi vaki olur. Deformasyon sırasında bir boğulma meydana çıkar, deformasyon da bu bölgede yoğunlaşır. Bu takdirde çatlaklar bu yabancı maddeler üzerinde belirir. Nedeni de bunların gevrek olmalarıyla klivaja uğramaları ya da ana metalle bağlantının kendini bırakması şeklinde izah edilir (Şek. 21).

Plastik deformasyon devam ettiği için çatlaklar yuvarlaklaşır ve oluşan delikler uzar. Bu delikler arasında kalan kısım bir küçük deney çubuğu gibi davranır ve kopma da mevzii boğulmayla meydana gelir.



Şek. 20- Tam boğulma ile kopmayı gösteren şema. a) Tek bir düzlem üzerinde kayan bir monokristalin; b) iki düzlem sistemi üzerinde kayan bir monokristalin; c) Polikristalli bir deney çubuğunun.



Şek. 21 - Yabancı madde girişlerinin üzerinde oluşmuş deliklerin iç boğulmalarıyla meydana gelen sünek kopmanın şeması.

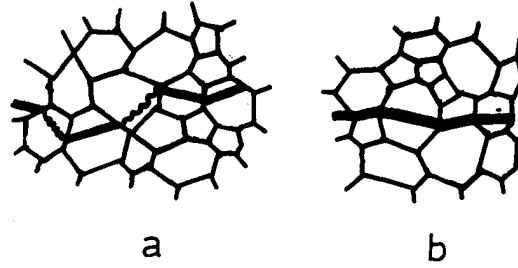
### Taneler arası arası Kırılma

Bazı hallerde tane birleşme yeri tanenin kendisinden daha gevrek olur ve çatlak da birleşme yerini takibeder. Taneler arası kırılma ya bir gevrek klivaj mekanizmasıyla, ya da yabancı madde girişleri ve aradaki bölümlerin deformasyonuyla vaki olur.

### Yukardaki kırılma tiplerinin beraberce bulunması

Tek bir nedene bağlı kırılmaya sık rastlanmaz. Genellikle birçok neden beraberce bulunur, Örneğin kırılma bazı tanelerde klivaj, bazılarında da makaslama yoluyla meydana gelir; bundan ayrı olarak da çatlak kısmen taneler içinde, kısmen de bunların birleşme sınırlarında gelişir (Şek. 22).





Şek. 22 - Mikroskopik düzeyde çok şekilli çatlakları gösterir şema. a) Klivajlar ve makaslamalar. b) Taneler içinde ve arasında kopma

## KIRILMA ENERJİLERİ

Çatlağın ilerlemesi sırasında bir taraftan atomik bağlantıların koparılmasının, öbür taraftan da çatlağın civarındaki metale plastik olarak şekil değiştirtilmesinin gerektiğini gördük. Bu süreçler enerji sarfederler ve plastik şekil değiştirmeye tekabül edeni, en önemli bölümü oluşturur. Bu enerji kabaca elastik sınırla plastik deformasyonun çarpımı ile orantılıdır. Çatlak başında plastik olarak deformasyon bölgesinin yaygınlığı oranında bu enerji önemli olur. Bundan bazı sonuçlar çıkarılabilir.

### Süneklik ve Çentiğe duyarlılık

Önemli bir boğulma fakat ılımlı bir kopma uzaması arzeden bir metal, boğulması az, fakat uygun bir uzama arzedenine göre çentik etkisine daha az duyarlı olabilir. Gerçekten, birinci metal, ikincisine göre kopmak için daha çok enerji sarfeder: boğulma bölgesinde büyük ölçüde plastik deformasyon olmuştur.

Elastik sınır ne kadar yüksek olursa çatlak başına plastik olarak deformasyon bölgesi o kadar az yaygın olur. Bu nedenle de yüksek elastik sınırı haiz alaşımlar, çatlakların ilerlemesine özellikle az dayanırlar. Ani kırılma bu metaller için ciddi bir sorundur.

### Tane büyüklüğünün etkisi

Tane boyutu büyüdükçe şekil değiştirmenin heterogenliği de artar. Bu nedenle küçük taneli bir metal büyük taneliden daha sünek olup bunun bir gevrek-sünek geçiş sıcaklığını haiz olması halinde, bu sıcaklık tane boyutuyla aynı yönde artar.

Sonuç olarak denebilir ki kırılma şekli esas itibariyle çatlakların civarında hasıl olan plastik şekil değiştirmenin bir fonksiyonudur. Tane büyüklüğü düzeyinde bu şekil değiştirme ne kadar çok heterogen olursa o kadar klivaj meydana getirir. Parçanın boyutları düzeyinde de plastik olarak şekil değiştirme bölgesinin yaygınlığı sünekliği tayin eder.

Endüstrinin çeşitli dallarında, uygulanan zorlamalara daha büyük mukavemet gösteren, fakat buna karşılık da daha az sünek malzeme kullanılmasıyla mühendis, işletme sırasında ani kırılmalarla karşılaşmaktadır; her ne kadar parça tümüyle elastik olarak yüklenmişse de (tek yönlü çekme ile saptanmış mekanik karakteristikler), ilk halini korumaz.

Bu olayın anlaşılması ve çaresinin bulunması için mühendisin elindeki alet işte bu "kırılma mekaniği"dir. Bu kuram, malzemenin "tenasite"si kavramını ortaya çıkarmış olup kusurların

kabul edilebilir boyutları hakkında bilgi verir. Gerçekten, bütün önlemlere rağmen, imalâta kullanılan malzemeler birçok kusuru da beraberlerinde taşırlar: yabancı madde girmeleri, mikro çukurluklar, mikro çatlaklar vb...; başka kusurlar da kaynaktan sonra, zor altında korozyon ya da yorulma suretiyle meydana çıkar. Birçok parametrenin olayda rolü vardır. Bunların ayrıntılarına girmeyip daha fazla bilgi için bu yazı serisinin sonunda vereceğimiz bibliografyaya müracaatı salık veririz.

## **KAYNAKLI STRUKTÜRLER VE DÖKME PARÇALARDA GERÇEK SÜNEKLİK**

Kaynaklı ve dökme parçaların plastik davranışı geniş ölçüde uygulanan zorlama ve genellikle var olan heterogenliğin cinsi tarafından etkilenir. Bu tür parçalar nadiren homogen olurlar. Dökme parçalarda sık sık boşluklar, metalik olmayan yabancı madde girişleri ve kimyasal mikro ya da makrosegregasyonlar (bazı homogen bölümlerin kısmî ayrılması) görülür. Kaynaklı parçalarda da, özellikle kaynak ya da sert lehim birleşmelerinin içinde veya civarında strüktür, bileşim, özellik gradienleri, yani süreksizlik vardır. Ayrıca bu parçalar, nitelikleri saptanırken genellikle vaki olan zorlanma hali olmasına rağmen nadiren işletmede uniaksiyal (tek eksenli) gerilmeye maruzdurlar.

Gerçek gereksinim, heterogen malzemeye karmaşık gerilme alanları uygulandığında bunun akıştan sonraki davranışı hakkında veri ve bilgi edinebilmektir. Böylece de sert lehimliler gibi yeknasak metal parçalar içinde kusurların etkisinin daha gerçekçi bir değerlendirmesine olanak sağlanmış olur.

Çoğu kez ne kadar sünekliliğin gerektiğini saptamak da zordur. Uygun bir süneklik derecesinin tayini ister istemez bu sünekliliğin nasıl ölçülebileceğinin, heterogenliğin beklendiğinin ve işletmede parçanın maruz bulunduğu gerilme durumunun bilinmesine götürür. Çok eksenli (multiaksiyal) gerilim alanlarında plastik akış çoğu kez boşluk ve yabancı madde girişleri yakınında yoğunlaşır. Bu, gerilim durumunun biaksiyal (iki eksenli) ya da triaksiyal (üç eksenli) olması halinde mutlaka doğrudur. Bu koşullarda bir metalik parçada mukavemeti sınırlayıcı faktör, kırılma başlangıcı olmadan müsaade edilebilecek yerel plastik akıştan ibarettir.

Boşluklar içeren bir sünek malzeme triaksiyal gerilme altında harabolana kadar yüklenirse kırılma, hiç değilse kısmen gevrek klivaj şeklinde olur. Başat sıcaklık yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde ise bir boşluğun yüzeyindeki malzeme, triaksiyal çekme uygulandığında meydana gelen yerel (mevzii) makaslama gerilmesine uzun süre karşı koyamaz. Dolayısıyla boşluk büyür.

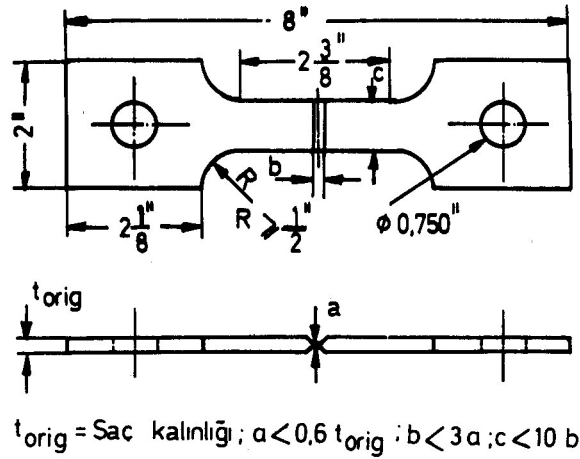
### **Biaksiyal gerilmeye maruz malzemelerin plastik davranışı**

Levha ve yassı malzeme ürünlerinde başat gerilim durumu çoğu kez biaksiyal gerilme halidir. Bu nedenle bu tür gerilmeye maruz kaynak malzemesinin davranışı özellikle ilginçtir.

Bu davranışın saptanması için Şek.23'te görülen deney çubuğu meydana getirilmiştir. Bunda iki taraflı çentik açılmış olup malzeme ister istemez bu çentiğin dibinden plastik akışa uğrayacaktır, bu bölgenin plastik hale gelmesine yeterli yüklemeye varıldığında gerilme durumu

biaksiyal gerilme şekli olup bunda yükleme yönündeki (yani çentiğe dikey) gerilim, çentiğe paralel yöndekinin iki katıdır. 2:1 biaksiyal gerilme durumunun sadece aşağıdaki çentik ölçülerinde meydana geldiği deneyle saptanmıştır:

- Çentiğin dibindeki kalınlık orijinal levha kalınlığının %60'dan az olacak,
- Çentiğin genişliği çentik dibi kalınlığının üç katından az olacak,
- Çentiğin uzunluğu, genişliğinin on katından büyük olacak. Bu üç koşulun yerine getirilmesi halinde çentik dibindeki malzeme yanal büzülmeden alıkonulmuş olur, dolayısıyla burada çentiğe paralel yönde bir çekme gerilmesi meydana gelmiş olur.



Şek.23 - Biaksiyal gerilim koşullarında mukavemetin saptanması için deney çubuğu.

Azami distorsiyon-enerji kuramına göre 2:1 biaksiyal gerilim durumu akış sınırını %15 kadar artırması gerekir ki deneysel veriler bunu kanıtlamışlardır. Gerçekten, önemli işleme sertleşmesi arzeden nispeten yumuşak malzemeler dışında, ısıl işleme tabi tutulmuş çelikler ve alüminyum alaşımları dahil birçok iyice izotropik malzeme üzerinde uygulanmış bu deney, %15 kadar bir nihayi mukavemet artışının meydana geldiğini göstermiştir.

Bu yüzde mukavemet artışı, özellikle yüksek mukavemet düzeylerinde çelik kaynak metalinin iyice farketilici bir niteliği olmaktadır. Birkaç örnek aşağıdaki tabloda verilmiştir. AISI 4340 çeliğinde, kısa devreli ark kaynağı (OERLIKON-ARK KAYNAĞI EL KİTABI, Şek. 14'e bakınız) biaksiyal kuvvetlenme bakımından ana malzeme ile aynı mertebelerde bir kaynak metali vermektedir. TIG kaynağı ise biraz daha aşağı sonuç verir gibidir. H11 takım çeliğinde (Osborn Steel Ltd.-1.2343 - x 38 CrMoV 51) elektron huzme kaynağı TIG'den açıkça üstün görünmektedir.

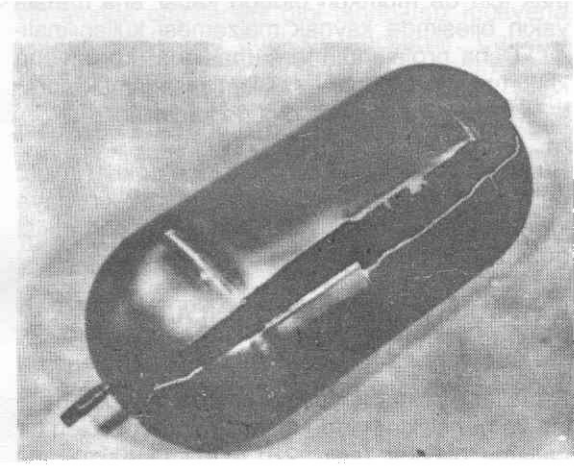
Keza 18 Ni-8 Co maraging çeliğinde kısa devre ark kaynağı TIG kaynağına üstün gibi görünmektedir; her ikisi de az çok ana metalinkine yakın biaksiyal güçlenme arzemektedir.

Bu deney sonuçları ince cidarlı kaynaklı basınçlı kapların patlama davranışlarına yansır. Bazı tipik sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir. En yüksek patlama mukavemetleri genellikle biaksiyal güçlenme için yüksek olanak sağlayan kaynak usulüne bağlıdır. Patlamış basınçlı

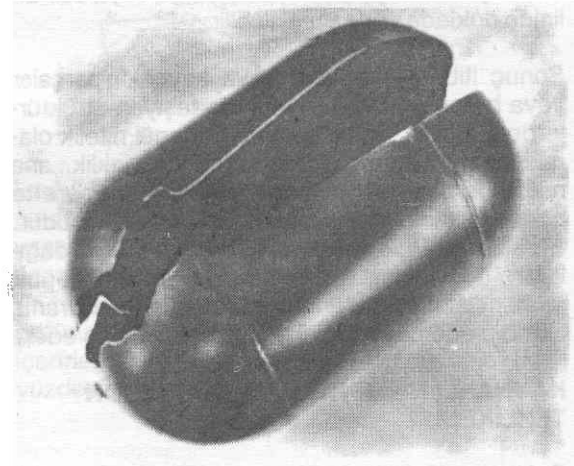
kapların bazıları Şek. 24 ilâ 27'de görülür. Şek. 24'te 4340 çeliğinden basınçlı kabın uzunlamasına kaynağı kısa devre ark kaynağı olup kırılma ne uzunlamasına, ne de çevre kaynaklarıyla ilgilidir. Şek. 24 ile 25'in hali arasındaki fark doğruca kaynak metalinin bir biaksiyal güçlenme kabiliyetine bağlıdır.

Kaynakların biaksiyal özellikleri				
Alaşım	Kaynak Şekli	Nihayi çekme mukavemeti kg/mm <sup>2</sup>	Biaksiyal nihayi çekme mukavemeti kg/mm <sup>2</sup>	Biaksiyal güçlenme %
4340	Ana metal özelliği	178	206	15
	TIG	171	187	10
	Kısa devre ark	176	203	16
H11	TIG	202	216	7
	Elektron hüzme	190	230	21
	Elektron huzme	185	252	36
18 Ni-8 Co	Ana metal özelliği	172	187	9
	TIG	167	181	8
	Kısa devre ark	163	180	10

Biaksiyal güçlenme ve patlama çemberi gerilimi			
Alaşım	Kaynak şekli	Biaksiyal güçlenme (%)	Patlama çemberi gerilimi kg/mm <sup>2</sup>
4340	TIG	10	153
	Kısa devre ark	16	173
H11	Elektron huzme	36	180
	TIG	7	87

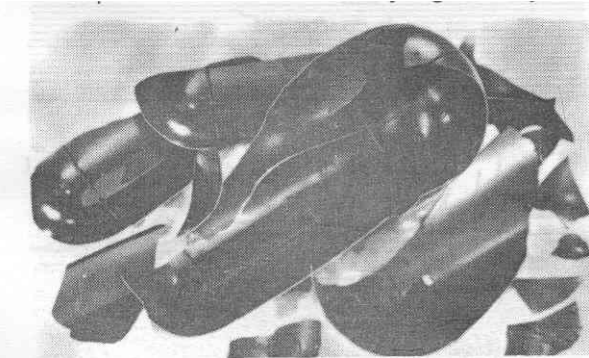


Şek. 24- TIG Kaynağı ile uzunlamasına dikiş (4340 çeliği)

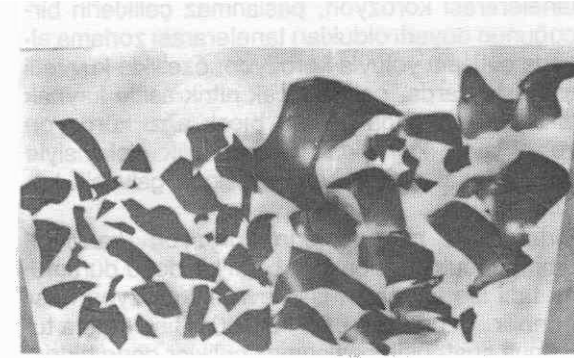


Şek. 25- Kısadevre ark kaynağı ile uzunlamasına dikiş (4340 çeliği)

Bu kabiliyeti klasik uniaksiyal genişlemesine çekme deneyi vermez. Şek. 26'da çok yüksek bir mukavemet düzeyine ısıl işleme tabi tutulmuş ve TIG kaynağı ile kaynak edilmiş H11 takım çeliğinden bir basınçlı kabın kırılması görülür. Burada kırılma iyice alçak gerilim düzeyinde olup kaynak metalinde başlamıştır. Yine H11 'den bir başka kap da elektron huzme kaynağı ile kaynak edilmiş, bu kere çok daha yüksek mukavemet düzeyince patlamıştır (Şek. 27). Her ne kadar bu sonucusu muhakkak bir gevrek kırılma ise de kırılmanın kaynaktan başlamadığı tespit edilmiş olup böylece elektron huzme kaynak metalinin yüksek biaksiyal mukavemeti bir kez daha belirmiş olur.



Şek. 26- TIG kaynağı ile uzunlamasına dikiş (H11 takım çeliği)



Şek. 27- Elektron huzme kaynağı ile uzunlamasına dikiş (H11 çeliği)

Çeşitli kaynak yöntemlerini kıyaslamak üzere biaksiyal deneyin başarı ile kullanılması boşluk ve/veya metalik olmayan girmelerin adet, şekil ve dağılımına duyarlılığı ile kaynak metalinin bu süreksizlikleri sünek şekilde ayarlama kabiliyeti itibariyle dikkat nazara alınmaktadır. Bu anlamda, biaksiyal güçlenme, her ne kadar plastik akışın doğruca ölçülmesine değil de sadece mukavemetin saptanması üzerine oturuyorsa da, bir bakıma bir süneklik ölçümü olarak kabul edilmektedir. Daha doğrusu, biaksiyal çekme deneyi bir malzemenin kaynaklı

konstrüksiyon veya dökümde daima mevcut küçük süreksizliklerinden etkilenmeyecek kadar süneklik arzedip etmediğini tefrik eder. Pratik yönden bu tertip kaynak özelliklerini tetkikte bilhassa faydalıdır zira akış ile kırılma çentiğinin dibindeki malzemeye inhisar ettirilmiş olup çentik, dizayn itibariyle, kaynak metali ya da ısıdan etkilenmiş bölge veya sair bir ilginç noktada yerleşmiş olabilir.

Sonuç itibariyle dökme veya kaynaklı parçalar veya heterogenliği bünyesinde taşıyan strüktürlerde süneklik hiç bir zaman bir özgül nitelik olarak tarif edilemez. Aksine, etkili süneklik, ana malzeme özelliklerini içeren fakat hiç bir surette bununla sınırlı olmayan koşulların bir sonucudur. Süreksizlikler ve yeknesak olmayan özellik dağılımları, uygulanmış gerilme durumu ile birlikte, bir mühendislik mamulünün faydalı sünek davranış arzedip edemeyeceğini geniş ölçüde tayin eder.

### **KAYNAKLI KAZANCILIKTA KOROZYON TEHLİKESİ**

Çelik ve özellikle paslanmaz çelikten kaynaklı birleşmelerde korozyon tehlikeleri üzerine yeterince eğilinmesi gerekir. Gerçekten çeşitli faktörler korozyon hadisesini meydana getirir ya da bunu hızlandırır. Bunlar arasında pislik veya cüruf girmeleriyle metalin doku ve kimyasal bileşimi, mekanik zorlama ve sürtünme etkileri, ısı değişimleri, yüzey durumu vs. vardır. Buna bir de kaynağın kendi tutumu eklenir. Hal böyle olunca genel korozyon dışında karşılaşılabilen korozyon tipleri şunlardır: süngerli veya oyuklu korozyon, taneler arası korozyon, paslanmaz çeliklerin birçoğunun duyarlı oldukları taneler arası zorlama altında çatlama yoluyla korozyon; özellikle kuvvetli asit ortamlarda, çokça sıcak nitrik asitle kaynak dikişinin hizasında beliren bıçak ağzı korozyon ve nihayet kaynakta heterogenlik dolayısıyla veya kaynakla ana metal arasında galvanik korozyon.

Birleştirilen malzemelerin korozyon kabiliyeti tabii tutuldukları işlemlere bağlı bir doku durumuna tabii ise kaynağın ısı devresi korozyon hasıl edebilir. Uzun süre 600 ile 900°C sıcaklıkta tutulmuş austenitik paslanmaz çelikler dane birleşme yerlerinde veya içerisinde krom karbürü çökeltebilirler. Bu taktirde çok düşük karbonlu çeliklerin kullanılması çok önemlidir. Az bir mekanik zorlama ile çatlaklar meydana gelebilir, korozyon da taneler arasında veya içinde veya her ikisinde ilerleyebilir.

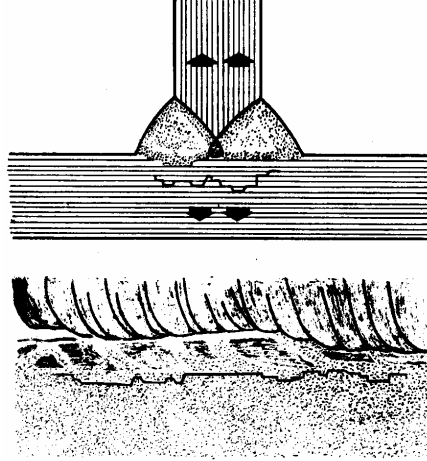
Oyuklu korozyon :fena doldurulmuş bir dikiş, intizamsızlıklar, oksitlenmiş yüzey üzerinde dikiş bu tip korozyona sebep olabilir.

Ayrıntılarına girmediğimiz her durumda, çözülmesi mümkün bir sorun çıkar. Zorlama etkisi de sık görülen kusurlara yol açar. İç gerilmeler, ısı çekme ve şekil değiştirme gerilmeleri sonunda çatlak meydana gelebilir, buralarda da korozyon özellikle faal olur. Galvanik korozyondan kaçınmak için de mümkün olduğu kadar ana metala yakın bileşimde kaynak malzemesi kullanılmalıdır. Daha projelendirme safhasında, korozyonu kışkırtmayan birleşme şekilleri tasarlamak suretiyle bu kusurdan geniş ölçüde kaçınılabılır.

Bu arada yüksek mukavemetli ince dokulu imalat çeliklerinin kaynak kabiliyeti ve gevrek kırılmaya karşı koymaları bakımından Mn/C oranının etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

## KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA LAMELLER YIRTILMA

Lameller yırtılma kaynağın altında meydana gelen ve genellikle hadde mamüllerinde görülen bir çatlama olayıdır (şek. 28). Yırtılma daima ana metal içinde, çoğu kez görülebilir ısıdan etkilenmiş bölge dışında ve genellikle kaynak ergime sınırına paralel olarak vaki olur.

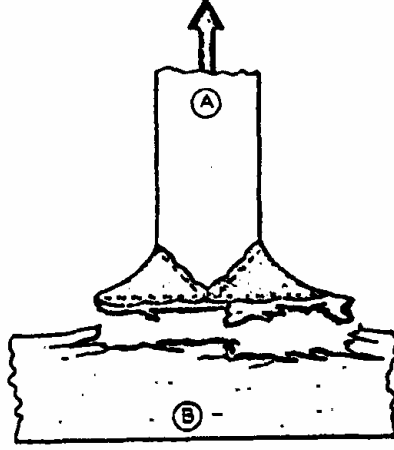


Şek. 28

Bunun için de üç koşulun gerçekleşmesi gerekir: a) Şekil bozulmaları levhanın dar eni yönünde gelişecektir. Bu şekil bozulmaları birleşme yerinde kaynak metalinin ısıl çekmesinden meydana gelmekle birlikte tespit edilmiş strüktür içinde diğer birleşmelerle etkiden dolayı geniş ölçüde artabilir; b) kaynak yönü, şekil bozulması levha kalınlığı arasından etkili olacak şekilde, yani ergime sınırı levha yüzeyine kabaca paralel olacaktır; c) malzeme yırtılmaya müsait, meselâ şek. 28'deki yatay levhanın dar en yönündeki sünekliği zayıf olacaktır.

Çatlak, uzun yatay kısımlı ve kısa dikey basamaklı kademeli bir şekil arzeder. Tamamen yüzeyin altında olabileceği gibi tahribatsız muayene yöntemleriyle bile güçlükle seçilebilir. Çatlağın yüzeyleri elyaftı, pürüzlü olup alçak sünekli kırılmalara özgü bir görünüme sahiptir. Her zaman, hidrojen difüzyonuna bağlı ısıdan etkilenmiş bölge çatlağı ile birlikte bulunmaz. Bazı hallerde çatlak hayli uzun olup saçın kenarlarından görülebilir. Bazen de "çekip koparma" tipi kırılmaya götürebilir (şek. 29).

Konstrüksiyonun şekli itibariyle hareket sınırlamasının dışında lameller yırtılmanın en önemli sorumlusu haddelenmiş saçın dar en yönünde sünekliğinin zayıflığıdır. Bu sonucuna neden olarak da levhanın içerdiği yabancı madde girmeleridir. Her zaman kaynaklı konstrüksiyon ve basınçlı kap imalinde kullanılan bütün çelikler önemli sayıda bu girmelerden içerir; bunlar manganez sulfit, manganez silikat ve oksit tipindedirler.



Şek. 29

Levha haline getirilmek üzere ingot haddelendiğinde bu girmeler saçın yüzeyine paralel olarak yassılırlar, bazıları da bu arada kırılabilir, işte bu uzamış ve/veya parçalanmış girmeler bu süneklik zayıflığını meydana getirip lameller yırtılmaya götürürler. Her ne kadar bütün çelikler bunlardan içerirlerse de ancak çelik levhaların çok küçük yüzdesi lameller yırtılmaya müsaittir.