

## VI — KAYNAKLARIN ÇATLAMASI

Bir metalin kaynaklanabilme kabiliyeti (kaynak kabiliyeti) ni sınırlayan en önemli husus ana metalin kaynak civarında çatlama hassasiyetidir. Çoğu zaman birbirlerine bağlı olmayan çeşitli erle meydana gelen bu çatlaklar ya ergimiş metal içinde veya ana metal içinde vaki olur. Böylece iki ana gruba ayrılan bu çatlaklar, genişliklerine göre de mikroçatlak (ancak 200 ilâ 1000 büyültmeli mikroskop altında görülebilen), fal çatlağı (göz veya büyüteçle görülebilen), çatlak (gözle rahat görülebilen) ve kırık (parçanın tam tahribine tekabül eden) olmak üzere sınıflandırılır.

### A — ERGİMİŞ BÖLGENİN ÇATLAMASI

Birleşmenin ergime bölgesinde gerilmelerin veya uzama ve büzülmelerin etkisi ile çoğu zaman kıl çatlağına dönüşen mikroçatlaklar, genellikle kaynak çubuğu veya elektrodun özelliğine, kaynağın yapılış şekline ve kusurlarına bağlı olup yüksek sıcaklıkta ve çoğu zaman katılma sırasında meydana gelir. Bu çatlamanın çok rastlanan karakteristik şekli kaynak sonu kraterinde görülür.

Kaynak çubuğu veya elektrodun iyi seçilmemesi, fazla ikarbon veya oksijen tespiti suretiyle metalin sünekliğini azaltan alev ayarı hatası, yani sırasıyla alevin karbürleyici veya oksitleyici oluşu, kırılma eğilimine neden olan azotun varlığı, boşluklar, oksit girmeleri v.s. gibi kusurlar işbu çatlakların adî nedenlerini oluştururlar.

Çatlakların metalürjik nedenleri de üç esasa bağlanır:

a) Sıvı halden itibaren soğuma koşulları:

Kaynakta çatlak, sıvı halden katı hale geçişte metalin büzülmesi ile hasıl olur. Bu kusur özellikle kaynak dikişinin sonunda elektrodu anî olarak kaldırarak küçük bir boşluğu haiz az çok derin bir kraterin teşkili ile meydana gelir. Kraterde çoğu zaman kıl çatlağı bulunur.

Soğuma esnasında yoğunluk artışı, yani metalde hacim azalması olur ki bu hal, kraterdeki boşluğu izah eder. Katılma sırasında kraterin gerisindeki dikiş kısmı hayli soğumuş durumda olup kraterin halâ sıvı haldeki metaline etki yapan büzülme kuvvetleri meydana çıkar. Diğer taraftan kraterin ucunda ana metal genişler ve kaynak ağız açıklığını açmaya meyleder; soğuma esnasında da bu açıklık ilk pozisyonuna döner.

Herhangi bir önlemin alınmamış olması halinde aşağıda zikredeceğimiz üç sebebin müşterek etkisi kaçınılmaz şekilde bu çatlağı meydana getirecektir:

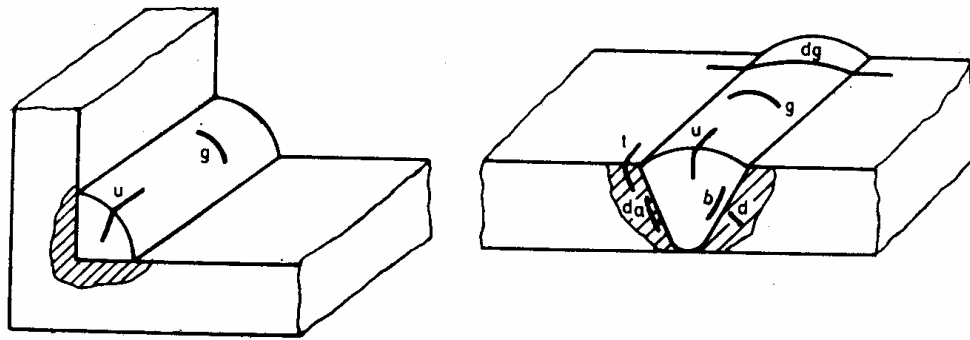
- Bir kuvvetler yoğunlaşma noktası teşkil eden çekme boşluğunun oluşması;
- Kraterin gerisinde katılmış dikiş kısmındaki büzülme gerilmeleri;
- Isınma sırasında kraterin önünde ağız aralığının açılmasına bağlı gerilmeler.

Kaynak ağız açıklığı ne kadar fazla olursa kıl çatlakları o kadar önemli olur; bu açıklık 4-5 mm'yi geçince kıl çatlağının hasıl olma ihtimalleri çok artar. Keza elektrod anî olarak kaldırılıp sonda yığılan metal miktarı kaynak ağızı hacmine oranla çok az olursa yine bu çatlaklar

kolaylıkla meydana gelir.

b) Ergimiş bölgede doku değişimleri:

Bu değişimler çoğu zaman kimyasal yapı değişmesinden ileri gelir. Kaynak çubuğu veya elektrodun cinsine göre meydana çıkabilen yarı-kırılğan veya kırılğan dokular, dikişte hasil olan kıl çatlaklarının kökenini teşkil eder. Bu çatlaklar, ister uç uca, ister köşe kaynağı olsun (Şek. 37), ya u tipinde uzunlamasına veya g tipinde genişlemesine olur. 'Ana metalin kalitesi bu kırılma başlangıçlarını durdurmaya müsait değilse genişlemesine çatlaklar iki yana, ana metalin içine devam edebilir (tip dg, Şek. 37 sağ). Yüksek kükürt ve fosforlu çeliklerde bu hale sık rastlanır.



Şek. 37

Su alan veya yan su alan yüksek karbonlu veya hafif alaşımlı çeliklerin kaynağı, gerilmelerin önemine göre kıl çatlağı ile sonuçlanabilir. Köşe kaynaklarında, üç eksenli gerilmeler daha fazla olduğundan, çatlama hassasiyet de daha büyüktür.

c) Çeliklerin sıcakta özellikleri:

Ergimiş metalin sıcakta özellikleri bu bölgenin çatlama meylini etkiler. 18 Cr - 8 Ni gibi bazı austenitik çelikler, krom ve nikelden yana daha zengin refrakter (ateşe dayanıklı) çeliklerin sıcakta özellikleri yetersiz olup bazı hallerde dendritler arası kıl çatlakları hasil olur. Bunların meydana çıkıp çıkmamasının, az çok önemli miktarda bir ikinci ferritik fazın meydana çıkmasına bağlı olduğu bilinir. Yüksek krom ve nikelli refrakter çeliklerden iki tip termik âletlerde kullanılır : 25 Cr-12 Ni ve 25 Cr-20 Ni. Bunlardan ikincisi daha austenitik karakterli olduğundan çatlama daha müsaittir. Bu konulara ilerde ayrıntıları ile döneceğiz.

Keza, C ve Mn gibi gamma fazını geliştiren elementlerin kaybı veya difüze olmasa nedeniyle austenit taneleri etrafında bir martensit şebekesinin oluşması, dolgu elektrodu halinde kullanılan % 13-14 manganezli austenitik çeliklerin de çatlama hassasiyetini olumsuz yönde etkiler. Bu sebepten aşırı su almayı teşvik- etmek üzere pasolar arasında su püskürterek hızlı soğutmaya başvurulur. Karbon ve manganez oranının azlığı nispetinde çatlama meyli fazla olur. Kıl çatlaklarını azaltmak veya önlemek için % 0,9-1,2 C ve % 12-14 Mn gereklidir. Keza, mikro-

çatlakları önleme yolunda, austenitleşmeyi teşvik eden nikel ilâvesi de iyi sonuç veren bir çözüm yoludur.

Birleşme bölgesinde ergimiş metale doğru b tipi kıl çatlakları (Şek. 37, sağ), sünekliği az ara alaşımlarının oluşmasına atfedilir. Çok farklı iki çeliğin heterogen (homogen olmayan) kaynağında ana metal elementlerinin ergimiş bölge içine yayılması (difüzyonu) mikroçatlaklar hasıl edebilir.

## B — ANA METALİN ÇATLAMASI

Değişme veya birleşme bölgesinde hasıl olan kıl çatlakları çoğu zaman alçak sıcaklıkta, 200°C civarında ve bazen de kaynak işleminden bir kaç saat veya bir kaç gün sonra vaki olur.

Bu soğukta çatlama çoğu kez kaynaklı çeliğin IEB'sinde veya bunun yakınında rastlanır. Bunun, bir süneklik azaltmasına uğramış IEB'de, tespit zorlamalarıyla hidrojenin varlığının müşterek etkisi altında gecikmiş bir çatlama olduğu sanılır.

Ana metalde meydana gelen soğukta çatlaklar, vaki oldukları yer, davranışları, şekil ve kökenleri itibariyle farklı şekilde adlandırılırlar. Genellikle bunlar, başlama mekanizmalarına göre üç büyük kategoride toplanırlar.

- a) Tek pasolu kaynakta kökte, dikiş altında ve birleşme yerinde çatlak;
- b) Çok pasolu kaynakta lameller kopma;
- c) Çok pasolu kaynakta şekil değiştirme (deformasyon) nedeniyle çatlama (kök ve birleşme yerinde çatlama. Tahribatsız muayenede sadece nokta şeklinde görünür).

(a) Grubunda çeliğin bileşiminin, hidrojen ve tespit zorlamalarının çok büyük etkisi vardır; (b) tipindeki çatlaklarda, saçın yüzeyinde yabancı madde (örneğin Mn S) girmeleri ve tespit zorlamaları esas olup hidrojenin etkisi göreceli olarak az önemlidir; (c) tipi çatlaklar birleşme yerinin ya da çok pasolu kaynağın kökünün, büyük ölçüde kaynak sırasında vaki olan bir büzülme ve şekil değiştirmeden ileri gelen bir mahalli deformasyona uğraması halinde vaki olurlar. Her ne kadar burada hidrojenin varlığı gerekli değilse de su almış IEB'nin sünekliği önemlidir.

Lameller kopma durumunun dışında, su almış IEB'nin sünekliği, soğukta çatlamanın başlıca etkeni olup ana metalin kimyasal bileşimiyle kaynaktan sonra soğuma hızına büyük ölçüde bağlıdır.

Kimyasal bileşimin etkisi normal olarak aşağıda ayrıntılı olarak irdeleneceğimiz eşdeğer karbon tarafından saptanır.

Ana metalin kaynak kabiliyetinin esas kriterini teşkil eden ve çeşitli şekiller arzeden bu kusur, kaynağın reddedilmesine neden olur. Değişme (transformasyon) bölgesindeki t tipi çatlaklar (Şek. 37, sağ) (toe cracks) çoğu zaman birleşme yeri çatlakları gibi (tip b) (root cracks) yüzeye çıkarlar, buna karşılık dikiş altı çatlakları (da tipi) (underbead cracks) çoğu zaman mevziî kalır ve nadiren yüzeye çıkar. Dikey (tip d) çatlaklar (vertical cracks) yine ana metal içinde olup daha seyrek görülür; bunlar metalin strüktür değişmelerine bağlanırlar. Ana metalin zayıf olması veya fazla yüksek gerilmeler (kalın saçlar) sebebiyle çoğu zaman çatlama başlangıcına bağlı olarak devam

eden dg çatlakları hasıl olur.

Belli bir birleşmede çoğu zaman hep aynı tip çatlaklar meydana gelir. Değişme bölgesi, gerilmelerle birlikte, martensit gibi kırılğan dokuları içeriyorsa çatlak t veya de veya b tipinde olur. Bu sonuncular, ara dokuların oluşmasına elverişli heterogen birleşmelerde daha sık görülür.

Gerilmeli veya gerilmesiz yaygınlaşmış korozyon, paslanmaz çeliklerde kristallerarası korozyon, parçanın kalınlığını tehlikeli şekilde azaltan abrazyon, saçıdaki imalât kusurları, haddeleme gerilmelerinin kalması, mekanik gerilmeler vs. bu çatlakların adî nedenlerini teşkil ederler.

Ana metalde çatlakların metalürjik nedenleri burada da üç esasa dayanır.

a — Ana metalin kimyasal bileşiği

Havada soğuma ile su alma dokuları verebilen bütün çelikler, değişme bölgesinde çatlamalara çok hassastırlar; bu nedenle bir çok yüksek karbonlu veya alaşımli çeliğin kaynak kabiliyeti çok azdır. Buna karşılık austenitik çeliklerde bu tip çatlaklara çok az rastlanır.

İngotun katılaşması esnasında su alan element toplanma (segregasyon) alanları teşkil eden C-Mn çelikleri gibi bazı çelikler, çatlama hassas olabilirler. Bu sakıncayı önlemek için saçı 1280°C'da normalizasyonla tamamen homogen hale getirilmesi gerekir.

Karbon, metalin sıcakta sünekliğini etkilediğinden bu element oranının artması çeliğin hızla kırılğanlaşması sonucuna götürür. Kükürt de metalin çatlama hassasiyetini artırır. Olumsuz etkisi manganez ilâvesiyle telâfi edilir. Çelikteki karbon oranı ne kadar yüksekse kükürtün etkisi o kadar fazla kendini hissettirir.

Mutat konstrüksiyon çeliklerinde, tenasite ve lameller kopmaya mukavemeti artırma ve pipeline'lar için çeliklerde lameller segregasyonlar düzeyinde hidrojenin neden olduğu çatlamalardan kaçınmak amacıyla genel olarak kükürt oranını düşürme eğilimi vardır. Bununla birlikte alçak kükürt oranlı çelikler IEB'de soğukta çatlama duyarlılıklarıyla bilinirler. Bu özel duyarlılık (hassasiyet), MnS'den yana fakir çeliklerin artan su alma kabiliyetine ya da manganez sülfürü girişleri tarafından hidrojenin engellenmesinin azaltılmasına atfedilir.

Hirai ve arkadaşları, alüminyumla desokside edilmiş St 50 ve St 60 çeliklerinden Japon JIS-y (Tekken) tipinde deney çubuklarının dibinde çatlama önlemek için gerekli ön ısıtma sıcaklığı üzerinde kükürt oranının etkisini tetkik etmişlerdir. Başka alaşım elementlerinin değişik oranlarının etkisini telâfi etmek üzere aşağıdaki hesaba başvurulmuştur:

$$\Delta T = T_o (\text{gözlenen}) - T_o (\text{öngörülen})$$

Burada  $T_o$  (gözlenen) = ön ısıtma kritik sıcaklığının gözlenmiş değeri olup

$$T_o (\text{öngörülen}) = 1440 P_w - 392$$

$$P_w = P_{cm} + H_D / 60 + h / 600$$

Burada  $P_{cm}$ , s. 89'da verilen (7) formülündeki eşdeğer karbondur.

Ayrıca  $h$  = saç kalınlığı, mm;  $H_D$  (ml/100 gr.), 100 gr. kaynak metali başına yayılabilen hidrojen oranı (JIS Z 3113'e uygun olarak, gliserinin yer değiştirmesi yöntemiyle saptanmış) dır.

Bu deney sonuçlarından, her ne kadar gözlenen değerler hayli dağınık iseler de ön ısıtma

sıcaklığının çok düşük kükürt oranlı çelikler ( $S = \% 0,002$  ilâ  $0,007$ ) için daha yüksek olduğu anlaşılıyor.

#### b — Hidrojenin varlığı

Alt tabakada veya birleşme bölgesinde çatlama (root cracks) üzerine hidrojenin etkisi tespit edilmiştir. Hidrojen çıkarabilen maddelerle örtülü bir ferritik elektrodla yapılan kaynaklarda dikişe paralel olarak gelişen çatlaklar en sert bölgede hasıl olur. Hidrojen nedeniyle çatlama  $200^{\circ}\text{C}$  civarında kırılma hızının klâsik tipidir.

Dikişler çıplak elektrod veya örtüsü ne selülöz ne de nem tutucu maddeler içeren Cr-Ni (18Cr-8Ni) austenitik elektrodlar veya  $400$  ilâ  $500^{\circ}\text{C}$ 'a kurutulmuş elektrodlarla teşkil edildiğinde alt tabaka çatlaklarından kaçınılabılır.

Hidrojen atomları çeliğin kristal şebekesi arasına yayılır, metal tamamen soğuyunca fazla doymuş hale gelirler. Katı eriyikten ihraç edilen hidrojen atomları, metal içinde erimeyen  $\text{H}_2$  molekülleri halinde anî olarak bileşir ve kristal şebekesi içinde çeliği mevziî olarak çatlatan çok yüksek basınçlar hasıl ederler.

#### c — İç gerilmelerin meydana gelişi

Kaynak devresinin ısıl gradieni iki eksenli ve özellikle kalın cidarlarda üç eksenli global gerilmeler hasıl eder. Keza strüktür (doku) değişimleri de mevziî gerilmeler meydana getirir.

Parça kenarlarının tespiti suretile kaynak ısıl devresinin etkisi altında ve hidrojenin varlığı ile gerilme meydana getirilmesi çeliğin fevkalâde kırılma hızıyla sonuçlanır. Bir kaynak soğuma esnasında çatlama hızına uygulanacak en iyi ısıl işlem, sadece gerilmeyi yok etmekle kalmayıp hidrojen kaçışını da kolaylaştıran,

kalınlığa göre 2 ilâ 4 saat süreyle  $650^{\circ}\text{C}$ 'da bir gerilim giderme tavlama işlemidir.

Martensit oluşması sonucunda a demirinin kübik şebekesinde bir şekil değişmesi ile birlikte çok önemli gerilmeler oluşur ve bunlar bu bileşkenin sertlik ve kırılma hızının kökenini teşkil eder. Değişme (transformasyon) bölgesinde martensitin varlığı, hidrojen karşısında süneklik azalmasıyla ana metalin alt tabakasını Özellikle gevrek hale getirir. Ana metalde doku değişimlerinin belirlenmesi için, seçilen kriter alt tabaka sertliğidir. Bu deneyde çeliğin kaynaklanabilirliği üzerine sonuçlar çıkarılamazsa da belki bir çelik cinsi için alt tabaka sertlik dağılımıyla çatlama hızı arasında bir ilişki kurulabilir. Şek. 38 a ve b bu deneye iki örnek teşkil ederler.

Karbon ve manganezin, ve özellikle karbonun, alt tabakada çatlama üzerinde ciddi etkisi vardır. C-Mn çeliklerinde karbon oranı yükseldikçe, alt tabakanın çatlama hızına hassasiyeti artar. Aynı karbon oranında manganez oranı artarsa, çatlama üzerindeki etkisi belirgin şekilde azalır. Silisyumun etkisi de manganezinki gibidir

#### C — ÇATLAMALARIN ÖNLENMESİ

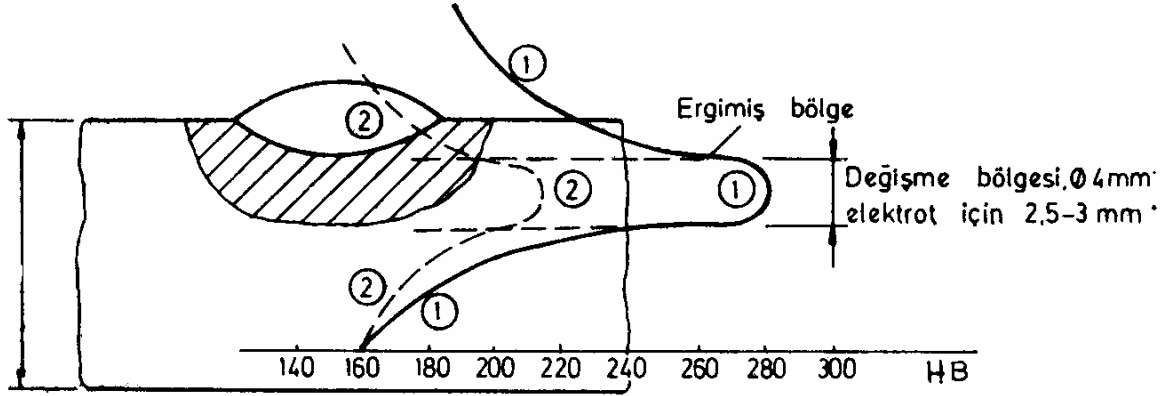
##### a) Kraterde çatlama

— Mümasip bir ön ısıtma ile soğuma hızı yavaşlatılarak kraterin gerisindeki kaynak

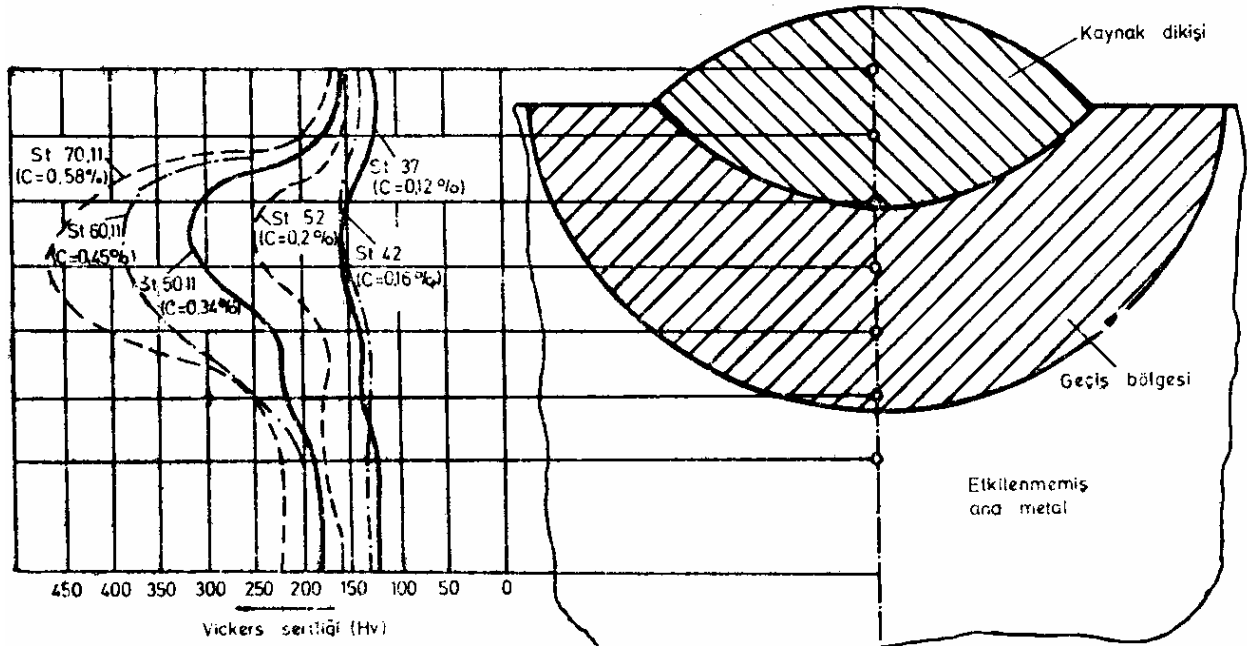
dikişinde gerilmeler azaltılır;

— kaynak ağzı aralığı azaltılarak dudak açıklığının etkisi azaltılır;

— daha çok metal yığılır veya daha uzun bir ergime ile krater beslenir ve bazen de hafif bir geriye dönüş uygulanır.



Şek. 38 a. — Alt tabakada sertlik değişimi : (1) Ön ısıtma yapılmadan; (2) 200°C'a ön ısıtma uygulanmış metal. Deney parçasının bileşimi : C = % 0,15; Ni = % 2,30 Cr = % 0,35, Mo = % 0,22.



Şek. 38 b.

b) Ana metalde çatlamlar

— Bazı bazik elektrodlar gibi düşük hidrojenli elektrodlar kullanılır. Aynı bir elektrodta, çapın büyümesinin etkisi olumludur: arkın, kaynak dikişi uzunluk birimi başına kalorifik enerjisi

artar. Çatlamaya hassasiyet 10-12 KJ/cm'de bir asgariden geçer.

— Austenitik çekirdekli (18Cr-8Ni) elektrodun kullanılması da çok elverişlidir zira ergimiş austenitik metal daha çok moleküler hidrojen erittiğinden alt tabakaya yayılması düşünülen hidrojeni durdurur.

Ferritik elektrodlarla çatlayan çeliklerde austenitik elektrod kullanılması, birleşme ve değişme bölgelerindeki mikroçatlakları yok etmek için bir çare olabilir; kuvvetle su alan veya kendiliğinden su alan çeliklerin (zırh çelikleri) austenitik elektrodlarla kaynağı klasik örnektir.

— Parçaların ön ısıtması soğuma devresini azaltıp değişme bölgesinin çatlaklarını önlemede en etkili önlemdir.

Ön ısıtma birçok avantaj arzeder :

a) Doku değişmelerinin önemini, bunları denge dokularına doğru kaydırarak azaltır; böylece bu değişmelerden doğan mevziî gerilmeler bir ölçüde azalır;

b) çatlamların ilk nedeni olan hidrojenin yayılmasını, ve aynı zamanda diğer gazların kaçmasını kolaylaştırır ve böylece boşluk teşekkülünü azaltır veya önler.

Genel olarak ana çelik ne kadar fazla su alır cinstense ön ısıtma sıcaklığı o kadar yüksek olmalıdır.

Çatlamaya hassasiyet sadece soğuma hızına bağlı olmayıp Özellikle işbu çatlamların vaki olduğu 150 ile 120°C sıcaklıkları arasından geçiş hızına bağlıdır. Aşağıdaki tablo bu konuda yeterli verir.

| Bazik elektrod çapı (mm) | 150-135° C arasından geçiş süresi | cm <sup>2</sup> başına mikroçatlak sayısı |
|--------------------------|-----------------------------------|---|
| 3,25                     | 2,5                               | 65  |
| 5                        | 10                                | 15  |
| 5 ve 100°C'ta ön ısıtma  | 100                               | 0   |
| 6                        | 12,5                              | 75  |

Bugüne kadar deneysel olarak saptanan ön ısıtma sıcaklığı, son çalışmalar sayesinde kimyasal bileşim ve birleşmelerin gerçekleştirilmesindeki sair faktörlere (birleşme şekli, elektrodların cins ve çapı, kalınlık vs.) bağlı olarak tayin edilebilmektedir.

200 ile 150° C arasındaki soğuma hızı, belirli bir «kritik hız» a bağlı. plarak çatlama probleminde en öndeki etkendir.

Yukarda söylediğimiz gibi, elektrodun etkisi çapıyla değil, zaman birimi içinde ortaya koyduğu termik enerjyledir. Bu enerji

$$Q = EI \times t \quad \text{ile ifade edilir. Burada}$$

E = arkın gerilimi, volt

I = akım şiddeti amper

t = elektrodun ergime süresi.

Kaynak santimetresi başına joule veya cm başına watt-saniye olarak ifade edildiğinde termik enerji

$$Q = \frac{EI \times 60}{l} \quad (1) \text{ olur ki burada } l, \text{ cm/dak cinsinden dakikada çekilen dikiş uzunluğudur.}$$

Örneğin 6 mm çapında bir elektrodla, 250 A akım şiddeti ve doğruca elektrod üzerinde ölçülen ark gerilimi 30 V olmak üzere 20 cm/dak'lık bir kaynak hızı ile enerji

$$Q = \frac{250 \times 30 \times 60}{20} = 22,5 \text{ KJ olur.}$$

Aynı kalorifik enerjiyi haiz iki ark, (1) denklemindeki faktörlerin önemine göre çok farklı etkiler yaratabilir. Aynı bir ark enerjisi için nüfuziyet, kaynak hızı ile artar. Buna karşılık alt tabakada değişme bölgesinin kalınlığı ilerleme hızı azaldığında iyice artar.

Ana çeliğin aynı bir kalınlığı ve ortaya konan aynı enerji için soğuma hızı, ön ısıtma sıcaklığı arttıkça, çok çabuk azalır.

Saçlar ne kadar kalın olursa soğuma hızı da o kadar artar.

#### D — EŞDEĞER KARBON KAVRAMI

Bazı araştırmacılar, doku değişimleri ile değişen alt tabaka sertliklerini çeliğin kimyasal bileşimine bağlamışlar, bunun için de her elemente karbona göre bir katsayı tanımışlardır. William5 ve arkadaşları, eşdeğer karbon için teklif ettikleri

$$[C] = C + \frac{Mn}{4} + \frac{Si}{4} \quad (1)$$

ifadesine alt tabaka çatlamalarının ortaya çıkmasını bağlamışlardır.

Cottrell ve Bradstreet de [C] için aşağıdaki ifadeyi önermişlerdir:

$$[C] = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10} \quad (2)$$

Séférian, aynı martensitik değişme sıcaklığını haiz iki çeliğin aynı su alma kabiliyetini, ve dolayısıyla, aynı metalürjik kaynak kabiliyetini haiz oldukları varsayımından hareket ederek [C] için bir denklem teklif ediyor.

Karbon oranı % 0,10 ilâ 1 olan çeliklerde  $M_s$  ( $^{\circ}C$ ) martensitik değişme sıcaklığının karbona nazaran değişmesi az çok lineer olup

$$M_s = 550 - 360 [C] \% \quad (3) \text{ ile ifade edilir.}$$

Çelikteki ilâve elementler, bir eşdeğerlik katsayısı altında,  $M_s$ 'in durumuna müdahale ederler şöyleki

$$M_s = 550 - [360 C + 40 (Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo] \quad (4) \text{ olur.}$$

Bu formüller sadece, tavlı halde ferritik karakterlerini muhafaza eden hafif alaşımlı çelikler için geçerlidir.

Aynı  $M_s$ 'i haiz iki çeliğin aynı su alma kabiliyetini haiz oldukları kabul edilirse (3) ve (4)



denklemleri eşitlenebilir ve buradan Özel çeliğin eşdeğer karbonu bulunur:

$$360 [C] = 360 C + 40 (Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo$$

% 0,15 C; % 0,80 Mn; % 4,6 Cr ve % 0,6 Mo'li bir çelikle aynı su alma kabiliyetini haiz bir karbonlu çelik

$$360 [C] = (360 \times 0,15) + (40 \times 5,4) + (28 \times 0,6)$$

eşitliğinden bulunur.

$$\text{Buradan } [C] = 0,80$$

Bu itibarla % 0,80 C'lu bir çelik yukarda bileşimi verilmiş olanla aynı su alma kabiliyetini, ve dolayısıyla, aynı metalürjik kaynak kabiliyetini haiz olacaktır. Bu çelik klâsik yolla pratik olarak kaynak edilemez. Onu çatlatmadan kaynak edebilmek için ön ısıtma gerekecektir. Aşağıda bu ön ısıtma sıcaklığının nasıl hesap edileceğini göreceğiz.

IEB'nin, azami sertliğini ya da ana malzemenin soğukta çatlamaya hassasiyetini önceden görebilmek bakımından çok önemli olan eşdeğer karbon için daha birçok deneysel formül önerilmiştir. Bunlardan bazılarını verelim.

Ceq formülü :

$$[C] = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (5)$$

CE formülü

$$[C] = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{V}{5} \quad (6)$$

Bu formüller karbon oranı göreceli olarak yüksek ( $C \geq \% 0,18$  veya  $\geq \% 0,20$ ) ve çekme mukaveti de yaklaşık 40 kgf/mm<sup>2</sup> ile 70 kgf/mm<sup>2</sup> arasında değişen çelikler için saptanmıştır.

Bu itibarla, daha düşük karbonlu ( $C \leq \% 0,17$ ) ve çekme mukavemeti de yaklaşık 40 kgf/mm<sup>2</sup> ile 90 kgf/mm<sup>2</sup> arasında değişen çelikler için saptanmış Ito and Bessyo formülü tercih ediliyor:

$$[C] = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (7)$$

Bu (7) formülü, kökte çatlama deneyleri (JIS-y, tip Tekken) ile elde edilmiş çatlama yüzdeleri değerleri arasında öbürlerine göre çok daha uygun ilişki kurmak olanağını sağlamaktadır.

Son yıllarda Yurioka ve arkadaşları, (6) ve (7) formüllerini, karbon oranının fonksiyonu olan bir A düzeltme katsayısıyla çarparak tek bir formül içinde toplamak suretiyle geniş bir karbon oranı yelpazesi içindeki çelikler için CEN formülünü ortaya koymuşlardır :

$$[C] = C + A \left( \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{Nb}{5} + \frac{V}{5} + 5B \right) \quad (8)$$

A'nın değerleri de, çeliğin karbon oranına göre şöyledir:

|     |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C % | 0     | 0,08  | 0,12  | 0,16  | 0,20  | 0,26  |
| A   | 0,500 | 0,584 | 0,750 | 0,916 | 0,980 | 0,998 |

Bu (8) formülü, kökte çatlama deneyleriyle elde edilmiş çatlama yüzdeleri değerleri

arasında en uygun ilişkiyi (% r) sağlamaktadır :

(6) :  $r = \% 78,1$

(7) :  $r = \% 84,9$

(8) :  $r = \% 91,1$

Deniz inşa, bayındırlık, basınçlı kaplar, nükleer ve hidro-elektrik santraller, açık deniz (offshore) inşaatı, pipeline'ler, stoklama depolar ve endüstriyel makineler sektörlerine hergün daha yüksek .kalite düzeyinde çelik aranmaktadır. Örneğin deniz (tekne) inşa işlerinde saçlar için daha yüksek bir mukavemet, daha düşük bir eşdeğer karbon, daha yüksek bir enerji girişli daha üstün kaynak kabiliyeti istenmektedir. Deniz aşırı petrol platformlarında, konstrüksiyon saçları çok daha kalın, lameller kopmalara dayanıklı, daha düşük eşdeğer karbonlu, daha yüksek tenasiteli ve IEB'de alçak sıcaklıklarda yeterli CTOD (kritik çatlak açıklığı yer değiştirmesi) yi haiz olacaklardır.

Alçak sıcaklıkta çalışacak alüminyumla desokside edilmiş çeliklerin kimyasal bileşimi ile bu çeliklerin birleşme bölgesinin kritik CTOD değeri arasındaki ilişki hususunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- a) Genel kaide olarak, ana metalin mukavemeti arttıkça CTOD nin değeri azalır.
- b) Alçak bir eşdeğer karbon ile düşük karbon ve manganez oranları, CTOD'nin değerini yükseltmektedir.
- c) Nikel ve molibdenin birlikte ilâvesi ana metalin mukavemetini artırabilir; buna karşılık CTOD'nin değeri, bu artışa göre az düşer.
- d) İyapısal sertleşme olayını teşvik eden niobium, vanadium ve başka elementler, CTOD değerini düşürme eğilimindedirler.
- e) Azot oranı ne kadar az olursa CTOD değeri o denli memnunluk verici olur. Alüminyum ve fosforun alışımlı oranlarının CTOD değeri üzerinde etkisi yoktur.

#### E — ÖN ISITMA SICAKLIĞININ TAYİNİ

British Welding Research Assodation (B.W.R.A) metodunda yukarda adı geçen COTTRELL ve BRADSTREET, [C] eşdeğer karbonu ile dahil olan elementlerin kimyasal bileşimi; T.S.N. termik önem sayısı (Thermal Severity Number) ile ifade edilen birleşme şekli, parçaların boyutları; elektrodların çap ve cinsi gibi bütün faktörleri hesaba katmışlardır. Ezcümle

a) Yukardaki (2) formülü ile belirlenen eşdeğer karbona A,B,C,... harfleriyle işaretlenen bir kaynak kabiliyet endisi tekabül eder; bu endis, bazik veya rutil elektrod kullanıldığına göre değişir.

b) Birleşmenin şekli, parçaların boyutları T.S.N. sayısını tayin etme imkânını verir. Isıya iki dağılma yolu arzeden bir birleşme (uç uca kaynak) 2 katsayısını; üç dağılma yolu arzeden birleşme (açı kaynağı) 3 katsayısını; dört dağılma yolu arzeden haçvari birleşme de 4 katsayısını haizdir. Kalınlık birimi 6 mm (1/4 inç)dir. T.S.N. sayısı bu ısı dağılım katsayısı ile 6'ın bir katı olacak kalınlık faktörünü çarparak bulunur.

Örneğin uç uca kaynak edilmiş 6 mm kalınlıkta iki saç için T.S.N. = 2 olur. Yine uç uca

kaynak edilmiş 24 mm'lik saçlarda

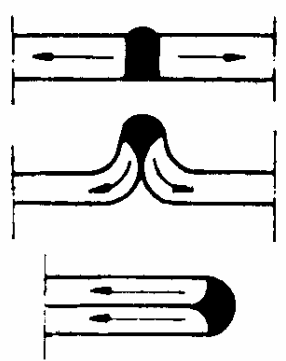
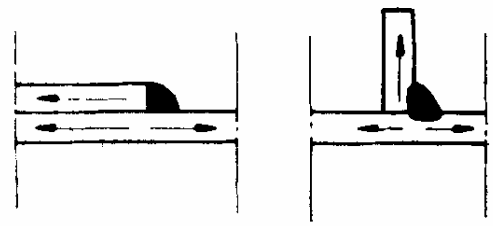
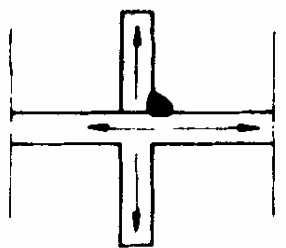
$$T.S.N = 2 \times \frac{24}{6} = 8$$

24 ve 12 mm'lik iki saçın açılı kaynağında

$$T.S.N = 3 \times \frac{4+2}{2} = 9$$

24 mm'lik bir plâka üzerine bir tarafa 18, diğer tarafa 12 mm'lik saçların hacvari kaynağında T.S.N. = 13 olur.

Aşağıdaki tablo bazı klâsik örnekler için T.S.N.'leri verir.

| Birleşme şekli  | Saçların kalınlığı (mm)  | T.S.N.                                  |
|---|--|---|
|  <p>iki ısı dağılıma yolu</p>   | <p>6 ve 6<br/>6 ve 12<br/>6 ve 18<br/>12 ve 12<br/>24 ve 24<br/>24 ve 48</p> | <p>2<br/>3<br/>4<br/>4<br/>8<br/>12</p> |
|  <p>Üç ısı dağılıma yolu</p>   | <p>6 ve 6<br/>12 ve 12<br/>24 ve 24</p>                                      | <p>3<br/>6<br/>12</p>                   |
|  <p>Dört ısı dağılıma yolu</p> | <p>6 ve 6<br/>12 ve 12<br/>24 ve 24<br/>6 + 12 + 12 + 12</p>                 | <p>4<br/>8<br/>16<br/>7</p>             |

## KAYNAK KABİLİYETİ ENDİSİ

| [C] Eşdeğer karbon        |                           | Kaynak kabiliyeti endisini gösteren harf |
|---------------------------|---------------------------|--|
| Rutil elektrodla kaynakta | Bazik elektrodla kaynakta |  |
| 0,20'ye kadar             | 0,25'e kadar              | A  |
| 0,21 ilâ 0,23             | 0,26 ilâ 0,30             | B  |
| 0,24 ilâ 0,27             | 0,31 ilâ 0,35             | C  |
| 0,28 ilâ 0,32             | 0,36 ilâ 0,40             | D  |
| 0,33 ilâ 0,38             | 0,41 ilâ 0,45             | E  |
| 0,39 ilâ 0,45             | 0,46 ilâ 0,50             | F  |
| > 0,45                    | > 0,50                    | G  |

Aşağıdaki tablo T.S.N, eşdeğer karbondan çıkarılan kaynak kabiliyeti endisi (2 denkleminde) ve elektrod çapının fonksiyonu olarak ön ısıtma sıcaklıklarını verir.

| T. S. N     | Kaynak kabiliyeti endisi | Ön ısıtma sıcaklığı                             |      |      |      |      |
|-------------|--------------------------|---|------|------|------|------|
|             |                          | Kaynağın yapılmasının gerektiği asgari sıcaklık |      |      |      |      |
|             |                          | Elektrod çapı                                   |      |      |      |      |
|             |                          | 3.2   | 4    | 5    | 6    | 8    |
|             |                          | (°C)  | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) |
| T. S. N. 2  | D<br>E<br>F              | 0   |      |      |      |      |
|             |                          | 50  | 0    |      |      |      |
|             |                          | 125   | 25   |      |      |      |
| T. S. N. 3  | C<br>D<br>E              | 0   |      |      |      |      |
|             |                          | 75  | 0    |      |      |      |
|             |                          | 100   | 25   | 0    |      |      |
| T. S. N. 4  | C<br>D<br>E              | 50  |      |      |      |      |
|             |                          | 100   | 25   |      |      |      |
|             |                          | 125   | 75   | 0    |      |      |
| T. S. N. 6  | B<br>C<br>D              | 50  |      |      |      |      |
|             |                          | 100   | 25   |      |      |      |
|             |                          | 150   | 100  | 25   |      |      |
| T. S. N. 8  | A<br>B<br>C              | 75  |      |      |      |      |
|             |                          | 125   | 25   |      |      |      |
|             |                          | 175   | 75   | 25   |      |      |
| T. S. N. 12 | A<br>B<br>C              | 75  |      |      |      |      |
|             |                          | 125   | 25   |      |      |      |
|             |                          | 150   | 75   | 25   |      |      |
| T. S. N. 16 | A<br>B<br>C              | 75  |      |      |      |      |
|             |                          | 125   | 25   |      |      |      |
|             |                          | 175   | 75   | 25   |      |      |
| T. S. N. 24 | A<br>B<br>C              | 75  |      |      |      |      |
|             |                          | 125   | 25   |      |      |      |
|             |                          | 175   | 75   | 25   |      |      |

Bazik elektrod için kaynak kabiliyeti endisi E olacaktır. T.S.N. = 4. Tablodan, 3,25  $\phi$  elektrodla 125°C, 4  $\phi$  elektrodla 75°C'lık ön ısıtmaya gerek olduğu, daha büyük çapta elektrodlar için ön ısıtmaya gerek olmadığı görülür.

Rutil elektrod kullanılması halinde yine aynı T.S.N. = 4 için kaynak kabiliyeti endisi F olduğundan 3,25  $\phi$  elektrod için ön ısıtma 175°C, 4  $\phi$  elektrod için 125°C ve 5  $\phi$  elektrod için de 75°C olacaktır.

Séférian, çeşitli hafif alaşımlı çelikler üzerindeki araştırma ve alt tabaka sertliği tahkikleri sonucunda  $T_p$  ön ısıtma sıcaklığı için

$$T_p = 350 \sqrt{[C] - 0,25} \text{ formülünü veriyor. Burada}$$

$[C]$  = toplam eşdeğer karbondur.  $[C] = [C]_c + [C]_e$

$[C]_c$  = kimyasal eşdeğer karbon (çeliğin kimyasal bileşiminden);

$[C]_e$  = saç kalınlıklarına bağlı kalınlık eşdeğer karbon.

Adi çeliklerin kaynak kabiliyeti için 0,25 oranı karbonun üst sınırına tekabül eder.

Yukarda tarif edildiği gibi kimyasal eşdeğer karbon

$$360 \times [C]_e = 360 C + 40 (Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo \text{ dir.}$$

Kalınlık eşdeğer karbonu bir taraftan saç kalınlığına bağlı olduğu kadar çeliğin su alma kabiliyetine, dolayısıyla kimyasal eşdeğer karbona da bağlıdır.

$$[C]_e = 0,005 \times e [C]_c$$

e = kalınlık (mm). Kalınlık konstantı deneysel olarak tayin edilmiştir. Buradan

$$[C] = [C]_c \times (1 + 0,005 e) \text{ bulunur.}$$

Yukardaki örneği ele alırsak (e = 12 mm)

$$360 [C]_c = (360 \times 0,25) + 40 (0,8 + 1) + (28 \times 0,25)$$

$$[C]_c = 0,46$$

$$[C] = 0,46 (1 + 0,005 \times 12) = 0,48$$

Burada da  $T_p = 350 \sqrt{0,48 - 0,25} = 170^\circ\text{C}$  bulunur ki netice B.W.R.A.'nıninkilere çok yakındır.

Aşağıdaki diyagram kimyasal eşdeğer karbonla saçların kalınlığının fonksiyonu olarak ön ısıtma sıcaklıklarını verir (Séférian).

