KAYNAK METALURJİSİ

Ders Notları

Yrd.Doç.Dr. Sare ÇELİK

BAÜ MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

KAYNAK METALURJİSİ

Giriş:

Pratik olarak çok az bir kısmı hariç bütün kaynak yöntemleri kaynak yerinin ergime sıcaklığına kadar ısıtılmasını gerektirir.
Kaynak tekniğinde kullanılan ısı kaynakları, elektrik arkı, elektrik direnç ısısı, sürtünme ısısı, oksi-asetilen alevi veya elektron bombardımanı gibi uygulanan yönteme göre değişebilir.

Gerek ekonomik kaynak bağlantılarının sağlanması, gerekse diğer bazı sebeplerden dolayı ısıtma mümkün olduğu kadar lokalize edilmelidir. Bu da mesela elektrik arkı veya gaz alevi gibi dışardan ısı kullanıldığı zaman, ısı kaynağının çok yüksek sıcaklığa ve büyük bir enerji kullanımını gerektirmektedir. Ergime veya ergime derecesine yakın lokal ısıtma, çabuk bir ısıtmaya karşılık gelir. Isı kaynağı kaldırıldığında, kaynak yerine bitişik soğuk metalde ısı kondüksiyon yoluyla yayıldığından, aynı zamanda çabuk bir soğuma meydana gelir.

Metallerin yüksek sıcaklığa kadar ısıtılması, esas metalde iç yapı değişiklikleri meydana getirir ve çevresindeki atmosferle sıcak veya ergimiş haldeki metal veya alaşım elemanları arasında bazı kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine sebep olabilir. Diğer taraftan esas metal ve ilave metal ile curuf arasında bu işlem sırasında kimyasal reaksiyonlar da meydana gelmektedir. Sıcaklığın kimyasal reaksiyonlar üzerine etkin bir tesiri vardır, ve yüksek sıcaklıklarda birçok reaksiyonlar çok daha çabuk meydana gelir. Difüzyon işlemi de aynı zamanda sıcaklığa bağlıdır. Difüzyon diğer taraftan metallerde meydana gelen birçok yapı değişikliklerinin sebebidir. Şu halde sıcaklık ve sıcaklık hızı, ısının etkisi altında kalan metalde, meydana gelen iç yapı değişmesi üzerine en büyük etkiye sahiptir.

Erime kabiliyeti yine sıcaklığa bağlı başka bir faktördür. Elemanların metaller içersindeki erime kabiliyeti normal olarak artan sıcaklıkla yükselir ve doymuş solüsyonlar soğutulduğu zaman çökelme meydana gelir ki, bu da metalin özelliklerine önemli ölçüde etki eder.

Bir metalin mekanik özellikleri daima artan sıcaklıkla azalır. Mesela bir metalin çekme gerilmesi ergime noktasında sıfıra iner ve bu halde metal hiçbir çekme gerilmesine karşı koyamaz. Kaynak işlemi esnasında lokal ısınmalar dolayısıyle, ısınma ve soğuma anında

gerilmeler meydana gelir ve ısıtma işlemi sırasında büyük sıcaklık farklarının meydana getirdiği plastik deformasyonlar metalde artık gerilmelerin doğmasına sebep olur.

Yukarıda bahsedilenlerden anlaşılabileceği gibi kaynak işlemi metalin yapısına dolayısıyle özelliklerine etki etmektedir. Ayrıca günümüzde, yüksek, güçlü kaynak yöntemlerinin gelişmesiyle kaynak edilecek malzeme kalınlığı artmış, kaynak hızları yükselmiştir. Kaynak sırasındaki enerji girdi çıktıları, ergime sırasındaki ve katılaşma sırasındaki reaksiyonlar, fazlar arasındaki bağıntılar, kaynak metalurjisinin önem kazanmasına neden olmuştur.

Kaynak genelde demir esaslı malzemelere uygulanan bir şekil verme işlemi olduğundan çelik metalurjisi hakkında özet bilgi vermek gerekir.

Çeliğin Tanımı ve Türleri

Demir, içersinde çok az "C" bulunan bir elemandır. Demir esaslı, içersinde % 2 ye kadar "C" içeren alaşımlara çelik diyoruz. % 2- 6.67 C içeren demir esaslı malzemeler dökme demir olarak adlandırılır. Saf metal bünyesinde onun kabul edebileceği bazı katkı elemanları ilave ederek dayanımları arttırılabilir. Buna alaşımlandırma denir. Alaşımlandırma aynı zamanda metalin sertliğini de arttırır. Demire ilk katılan element "C" olmuştur. Çok az miktarda katıldığında mekanik özelliklerde ve sertlikte önemli derecede yükselmeler olur. O zaman çeliğin işlenmesi ve kaynak edilebilirliği giderek azalır. Karbonlu çelikler, demir içersine yalnızca C ilavesiyle yapılan alaşımlardır. C oranı % 0.15-0.50 ye kadar olan çelikler yapı çelikleri adını alırlar. Çeliğin işlenebilirliğini ve kaynak edilebilirliğini yitirmeden ona yüksek mukavemet kazandırmanın başka bir yolu da içine karbondan başka alaşım elemanları katmaktadır. Mn, Si, Mo, Cr, Ni, V gibi alaşım elemanları katılarak daha az sert fakat yüksek mukavemet elde edilebilir. İşte bu alaşım elemanları düşük alaşımlı çelikler adı verilir. Alaşım katkı elemanları düşükse alaşımın bünyesine demir hakim olmaya devam eder. Bu tür yapıya ferritik çelik grubu denir. Karbonlu çelikler ve düşük alaşımlı çelikler bu gruba girer.

Kaynaklama yönünden bu çelik ailesi büyük önem taşır. Alaşım katkı elemanları belli bir oranı aşınca, alaşım bünyesi içinde demir hakimiyetini yitirir, değişik yapılar oluşur. Bunlara yüksek alaşımlı çelikler denir. En önemli grubu da paslanmaz çeliklerdir. Ayrıca demir esaslı olmayan alaşımlar da vardır. Bu alaşımların içinde demir ya hiç yoktur ya da çok azdır.

Bunlar çelik sözcüğünün dışında, hangi element hakimse onun ismini alırlar. Ni alaşımları, Ti alaşımları, Cu alaşımları gibi

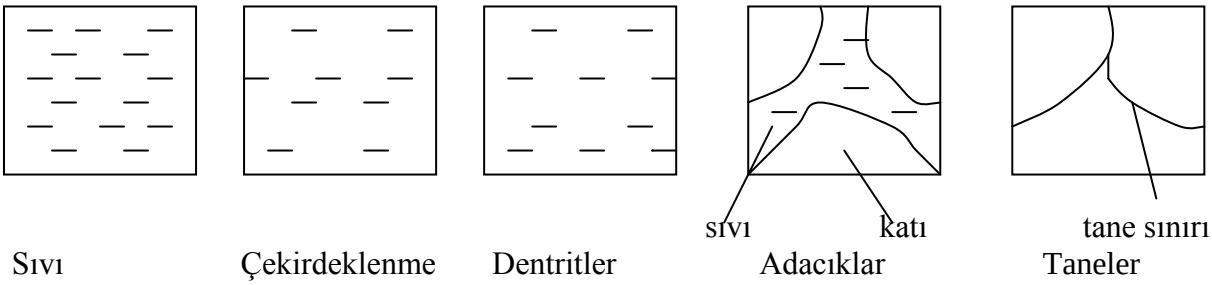
Fe-C alaşımlarına pratikte verilen isimler aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Tablo 1: Fe-C alaşımlarının aldığı isimler

% C	İsim
< 0.05	Demir
0.05 – 2.0	Çelik
	0.15-0.50 Yapı Çeliği
	0.50-2.0 Makine Takım Çeliği
2.0 – 4.5	Dökme Demir

Tane (Billur)

Tane ve Billur eş anlamlı sözcüklerdir. Çelik tanesel yapıya sahip bir katıdır. Tabiattaki mevcut 92 elementin 70 i tanesel yapıdadır. Cam tanesel değil amorf yapıdadır. Tanesel yapının belli bir şekli ve belli bir büyüklüğü yoktur. Örnek vermek gerekirse, çeliğin tane büyüklükleri μm (mikron) mertebesinden mm mertebesine kadar değişebilir. Bu büyüklüğe bağlı olarak da ince taneli veya kaba taneli çelik isimlerini alır. Orta büyüklükteki bir çelik tanesi 10^{18} atomdan oluşur ve 0.1 mlg gelir.



Şekil 1.1. Tane Oluşum Aşamaları

Tane oluşumu şekilde görüşüldüğü gibi meydana gelir. Katılaşma başlangıcında atomlar küçük topluluklar halinde önce çekirdekleşir. Bunlar gittikçe büyüyerek dentritleri ve devamında yüzen adacıkları oluştururlar. Adacıkların birbirleriyle direkt temasta olduğu anda artık katılaşma tamamlanmış demektir. Katılaşmadan sonra hareketliliğini kaybeden adacıklara tane denir.

Çekirdek oluşum hızının, tane büyüme hızına oranı arttıkça yapı ince taneli olur. Erimiş metal içerisindeki ufak kalıntılar çekirdek oluşumunu teşvik eden faktörlerdir. Aşırı soğuma çekirdek oluşumunu erken oluşturan diğer bir faktördür. Fakat türbülansın kuvvetli olduğu kaynak banyosunda bu önemli sayılmaz. Soğuma hızı, çekirdek oluşumuna kristal büyüme hızından daha fazla etki eder. Böylece soğuma hızını arttırarak taneyi ufaltabiliriz.

Kristal Kafes

Tane içinde atomlar fevkalade düzgün geometriler şeklinde dizilmişlerdir. Bu düzenli kafese kristal kafes denir. Kafesin aynı olan en küçük geometrik birimine birim hücre denir. Milyonlarca, trilyonlarca birim hücre bir araya gelerek kristal kafesi oluşturur. Çelik için birim hücre bir küp'tür. Her köşesinde Fe atomu, merkezinde "C" atomu yerleşmiştir. Buna hacim merkezli küp (HMK) denir. Kübün kenar uzunluğu 2.86 $^{\circ}$A (angstron) dur. 350 birim hücre yan yana gelse ancak 1 µm (mikron) uzunluk eder. Çıplak gözle 0.1 mm lik bir uzunlukta birim hücreyi görmek için 35.000 adedinin bir araya gelmesi gerekir.

Birim hücrenin geometrik şekilleri:

- Yüzey merkezli küp (YMK)
- Tetragonal (kare prizma)
- Ortorombik (dikdörtgen prizma)
- Hexagonal (altıgen prizma)

önemli sayılabilecek örnekler olarak gösterilir.

Tablo 2: Bazı metallerin birim hücre şekli ve büyüklüğü

Birim Hücre	Element	Kenar Uzunluğu $^{\circ}$A
HMK	Fe	2,86
	Cr	2,88
	V	3,04
	Mo	3,14
	W	3,16
YMK	Ni	3,52
	Cu	3,61
	Al	4,04

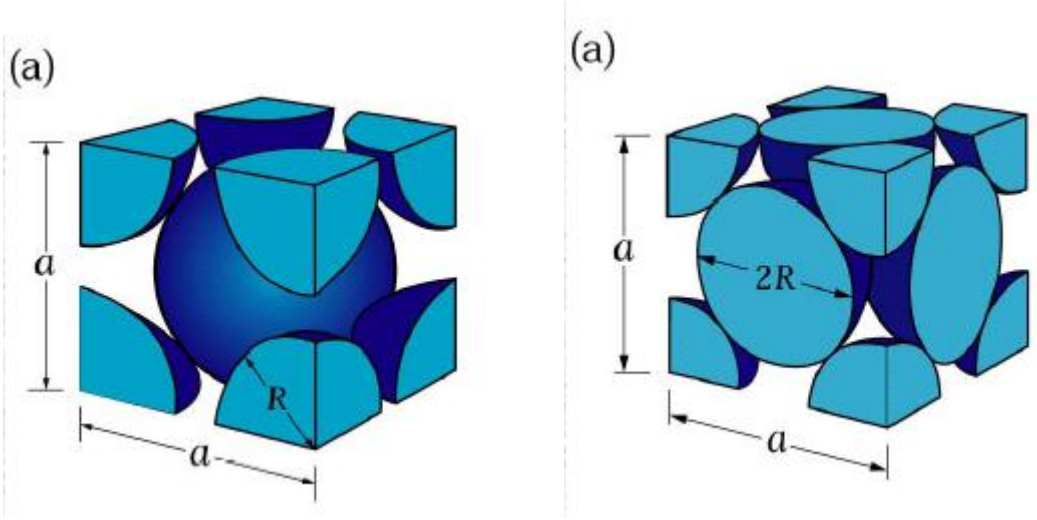
1 $^{\circ}A = 10^{-10}$ m = 10^{-7} mm

Allotropi

Isıtılırken bir sıcaklığa gelindiğinde kristal kafes yapısını değiştiren metallere allotrop metal denir. Fe bu özelliğe sahiptir. 910 $^{\circ}$C ye kadar HMK iken bu sıcaklıktan sonra YMK'e dönüşür. 1394 (1410) $^{\circ}$C de ise tekrar HMK şekle dönüşür. Olay tersinirdir. Aynı olaylar katılaşırken de meydana gelir.

Çelik içinde durum aynıdır. Tek fark çeliğin içindeki C oranına göre dönüşüm sıcaklıklarının değişmesidir. Kaynak açısından allotropi çok önemlidir. Çünkü ancak allotropik özelliğe sahip alaşımlar soğurken sertleşirler.

Kaynak sırasında sertleşen malzemeler allotrop malzemelerdir. Isıl işlemle gerilim giderme de ancak allotrop metal ve alaşımların kaynağında gereklidir. Bu açıdan bakıldığında ferritik çelikler allotropik özelliğe sahiptirler. Ostenitik paslanmaz çelikler değildirler.



Soğukta (HMK) Sıcakta (YMK)

Şekil 1.2. Karbonlu çeliğin iki birim hücresi

Tablo3: Sıcaklıkla kristal kafes geometrilerini değiştiren ve değiştirmeyen bazı metaller

Değiştirenler	Değiştirmeyenler
Fe Mn Co Sn	Al V Cr Ni Cu Mo W
	Metalsiler C Si

Katı Eriyik ve Karbür

İki maddenin atomsal yada molekülsel mertebede karışımına eriyik bu olayın katı halde olmasına katı eriyik denir. Eriyebilmenin bir sınırı vardır. Bu sınıra doyma diyoruz. Sıcaklık arttıkça eriyebilirlik artar. Demirde "C" nu içinde eritir. Eritme oda sıcaklığında çok az, sıcaklık arttıkça artar. Allotropik sıcaklığa erişince eritebilirliği 100 misli artar. Oda sıcaklığındaki eriyiğe α katı eriyiği, birinci allotropik sınırın üzerindekine γ katı eriyiği ikinci allotropik sınır üzerindeki katı eriyiğine δ katı eriyiği denir. Kaynak olayı için ilk ikisi önemlidir.

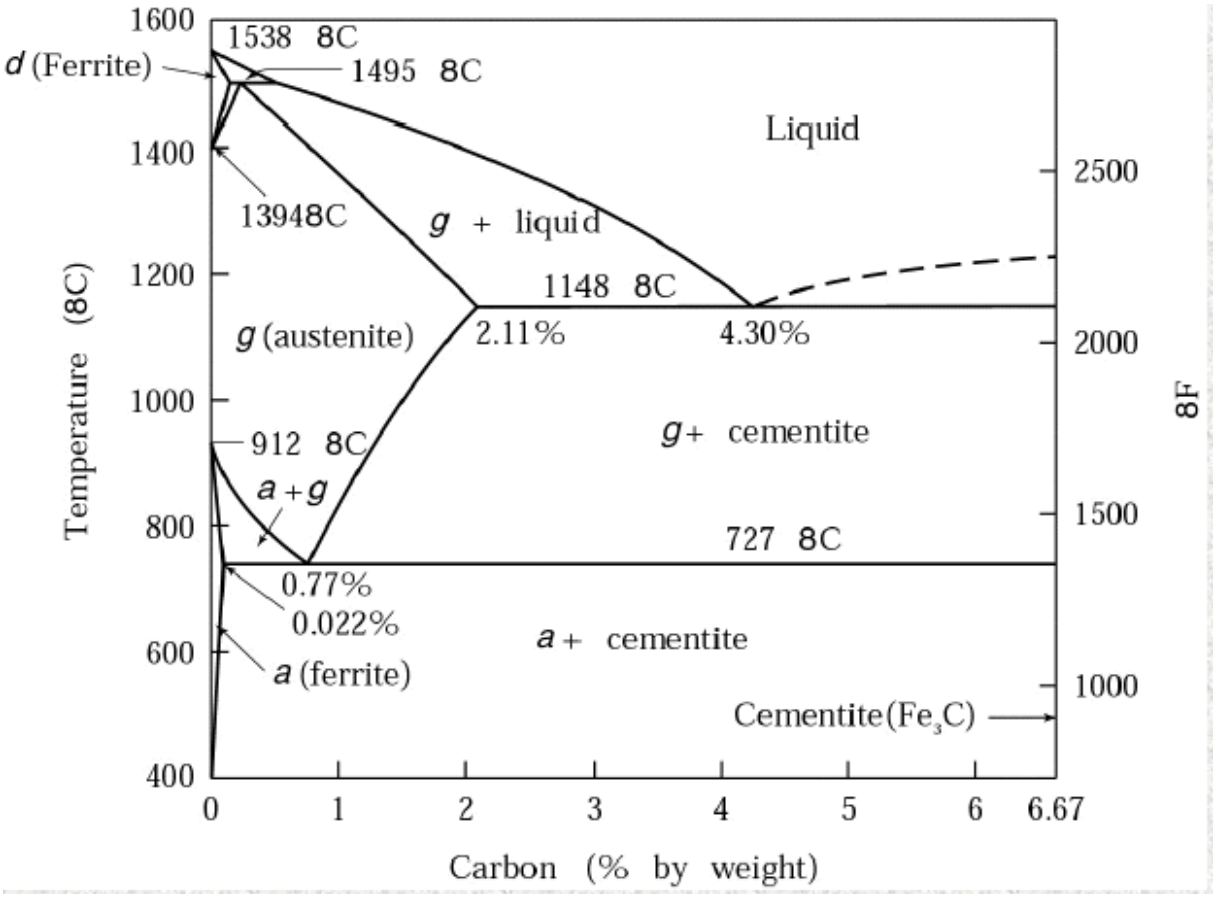
Çelik soğurken "C" eritme kabiliyeti azalır. Ve "C" çökelmesi olur. Özellikle allotropik sıcaklığı geçerken eritme kabiliyeti aniden düşer ve kütlesel "C" çökelmesi olur. Çökelen karbon "C" sıcaklığında etkisiyle (723 – 910 $^{\circ}$C)'ede Fe ile kimyasal birleşme yaparak karbür (Fe_3C) molekülünü oluşturur. Buna sementit adı verilir. Bu nedenle oda sıcaklığında çelik yapısı (α) katı eriyiği ile sementit karışımıdır.

Genel bir kural olarak katı eriyikler sünek, karbürler gevrek ve serttirler. Dolayısıyla çeliğin sünekliliği (α) katı eriyiğinden sertliği de demir karbürden ileri gelir. Bu harman değiştirilerek arzulanan yapı geliştirilir. Çeliğe katılacak katkı maddeleri (Mn,Si,Mo,Cr,Ni) demirde erirler

ve ancak eriyebildikleri ölçüde katılırlar. Metaller kendi aralarında kimyasal olarak birleşemediklerinden çeliği “C” dan daha az gevrekleştirirler, fakat dayanımını yükseltirler.

Fe – C DENGE DİYAGRAMI VE FAZ YAPILARI

Çeliğin metallurjik yapısını hem sıcaklık hem de (C) oranı ile değiştiğini gösteren diyagrama (Fe – C) denge diyagramı denir.

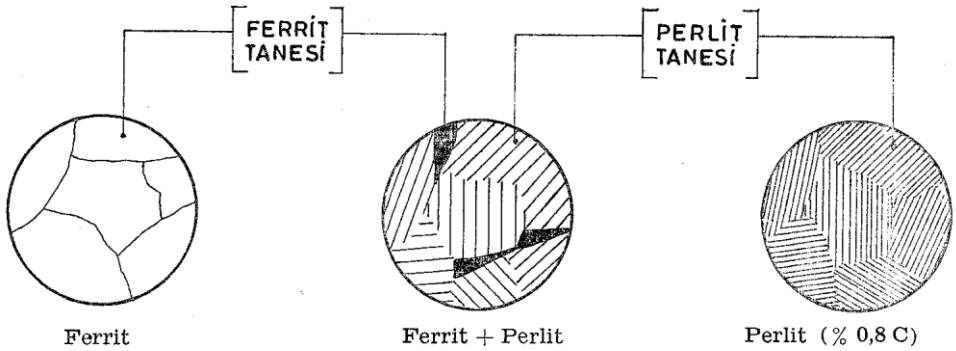


Şekil 1.3. Fe-C Denge Diyagramı

Faz, kendine özgü atom düzenine sahip ve sınırlarla çevrili bir yapı elemanıdır. Çelik çeşitli fazların karışımı şeklindedir. Faz diyagramından bu yapıların hangi C oranlarında ve sıcaklıklarda, çelik bünyesinde hangi oranlarda olduklarını çıkarmak mümkündür. Ancak fazların yapısal farklılıkları gözle görülmez mikroskopla büyütme ve metalografik çalışma gerektirir. Yapı çelikleri en fazla %0,5 C içerir. Buradan da kocaman Fe – C denge

diyagramının kaynak yönünden bizi ilgilendiren kısmı soldaki ilk sütundur. Buradan hareketle çelik oda sıcaklığında HMK yapıdadır. İçerisindeki "C" oranına göre isimler alır. Şöyleki;

FERRİT; bir katı eriyiktir. Buna (α) katı eriyiği de denir. Demirin soğukta "C" nu eritme kabiliyeti çok düşük olduğundan ferrit düşey eksene çok yakın hatta çakışık durumdadır.
PERLİT; %0,8 C içerir. Diğer adı ötektoid'dir. Levhalı yapıdır. Gevrek sementit (Fe_3C) levhaları arasında yumuşak ferrit dolguları vardır.



Şekil 1.4. Çeliğin karbon oranıyla değişen yapısı

"C" oranı %0,8'den az olan çeliklerde ferritin fazlası tane sınırlarında birikir.
723 $^{\circ}$C ye kadar çelik HMK yapıdadır. Bu sıcaklıktan sonra kafes yapısı değişmeye başlar. (YMK) olur. Ferrit ve perlit fazları da eriyerek tek bir faza dönüşür. Bu değişmelerin başladığı ilk sıcaklık ALT KRİTİK SICAKLIĞI (A_1) denir.dönüşmelerin sona erdiği sıcaklıkta ÜST KRİTİK SICAKLIĞI (A_3) dır. (A_1) sabit olmasına karşılık (A_3) değişkendir."C" oranına bağlıdır.

OSTENİT; Üst kritik sıcaklığın üzerinde çeliğin sahip olduğu yeni yapıdır. γ katı eriyiği olarak da adlandırılır. Bu faz "C" nun demir içinde daha yüksek oranlarda eriyebildiği bir fazdır. Mikroskop altında (α) ve (γ) katı eriyiklerinin görünümü aynıdır. İki fazın ince ayrıntısı ışık mikroskobunun sınırlı olan 2000 büyütmesiyle görülmez. Ancak elektron mikroskoplarıyla 4 milyona varan büyütmeyle HMK ve YMK birim hücreleri seçilebilir.

Daha üst sıcaklıklardaki çelik yapısı kaynak açısından önemli değildir. Bu nedenle ayrıntılara girilmeyecektir.

Kaynak dikişi soğurken yukarıda anlatılan dönüşümler ters bir sıra izleyerek oda sıcaklığına inilir. Ancak tek bir şartla bu dönüşümler sağlanır. O da soğuma fevkalade yavaş olması gerekir. Pratikte çoğu zaman bu gerçekleşmez. Ve de diyagramda anlatılan teorik dönüşümlerle karşılaşılmaz.

SOĞUMA DİYAGRAMLARI

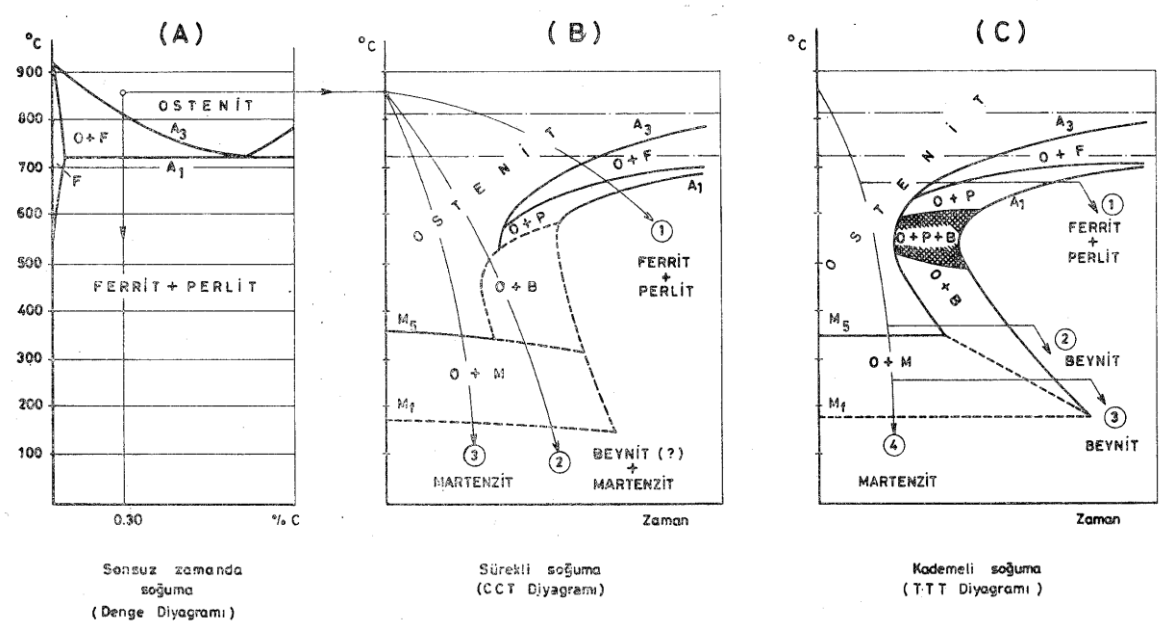
Karbonlu çelik 3 farklı rejimle soğur.

(A) diyagramı; aşırı yavaş soğuma

(B) diyagramı; sürekli soğuma

(C) diyagramı; kademeli soğuma

Bu diyagramların çiziminde (A) diyagramında düşey eksen ($^{\circ}$C) sıcaklık ve yatay eksen (% C) değişken alınırken zaman parametre olarak düşünülmüştür. (B) diyagramında ($^{\circ}$C) sıcaklık ve (t) zaman değişken (% C) oranı parametre alınmıştır. (C) diyagramında ($^{\circ}$C) sıcaklık ve (t) zaman değişkeni (%C) oranı parametre alınmıştır.



Şekil 1.5. Çeliğin soğuma diyagramları

A Diyagramı:

Bu diyagramda % 0,30 C ihtiva eden bir çeliğin sonsuz zamanda soğuma (çok çok yavaş) ile bünye dönüşümleri görülmektedir. Soğuma hızı arttıkça "C" oranına bağlı olarak yapı dönüşümlerinin çok daha düşük sıcaklıklara indiği görülüyor.

B Diyagramı: (Sürekli Soğuma)

Bu diyagramda 3 farklı hızda soğuma ile yapı dönüşümleri görülmektedir.

1 numaralı soğuma hızında, 0,3 C'lu çelik A diyagramında 800 °C civarında ostenit bozunmaya başlarken B diyagramında bu bozunma 700 °C dolaylarına inmektedir. Bu bozunmada 670 °C'ye kadar ferrit, 645 °C'de perlit oluşmakta ve dönüşüm tamamlanmaktadır.

2 numaralı soğuma hızı daha hızlıdır. Ve ostenitin bozunması 500 °C'ye kadar inmektedir. Bu dereceye kadar gecikmiş dönüşümden BEYNİT adı verilen bir yapı doğmuştur. Bu yapı ferrit ve perlitten daha makbuldür. Mukavemeti yüksektir. Üstelik de sünek bir yapıdır. Darbelere karşı direnci iyidir. Beynitin yanındaki soru işareti hızlı soğuma hızlarında beynite dönüş reaksiyonu çok yavaş olduğundan yapının martenzite dönüşümü söz konusu olur. Bu nedenle şansa kalan bu bölüm kesik çizgilerle belirtilmiştir.

3 numaralı çok hızlı soğuma hızında ostenitin bozunması 350 °C'ye kadar iner ve hemen martenzit yapı oluşur. Sert ve kırılgan bir karakter ortaya çıkar. Özellikle kaynak dikişlerinde hiç istenmez. Martenzite dönüşüm başlangıcı (Ms) ile bitişi (Mf) ile belirtilmiştir. Çeliğin oluşum katkıları arttıkça (Ms) daha da alt sıcaklıklara düşer. Bazı hallerde çok aşırı soğutma hızlarında ostenit dönüşüme uğramadan oda sıcaklığına iner. Buna kalıntı ostenit denir. Bu kararsız bir yapıdır pek istenmez.

C Diyagramı: (Kademeli Soğutma)

Sürekli soğutma ile kademeli soğutma arasındaki diyagramlarda benzerlik vardır. Fakat aralarındaki en önemli fark beynit bölgesidir. Sürekli soğuma diyagramında kararsız görünen bu bölge kademeli soğutmada kararlı hale dönüşür. Kademeli soğutmanın amacı istenilen dönüşümün gerçekleşmesine fırsat tanımaktır.

1 numaralı soğuma hızında, belli bir sıcaklıkta bekleme süresi vardır. Bu süre sonunda önce ferrit sonra perlit dönüşümü tamamlanır.

2 numaralı soğuma hızı daha düşük sıcaklıklarda beklemektedir. Burada tüm ostenit beynite kararlı şekilde dönüşür.

3 numaralı bekleme Ms ve Mf sıcaklıkları arasında yapılır. Ostenitin kısmen martenzite dönüştüğü sıcaklıkta fazla beklenirse beynite dönüşme sağlanır. Böylece çatlama eğilimi fazla olan martenzit bir yapıdan da kurtulmuş olunur.

Kaynak açısından önem arz eden martenzit ve oluşumu şöyle gerçekleşir.

MARTENZİT VE OLUŞUMU

Martenzit, kırılgan ve sert karakteriyle hızlı soğutmanın ürünüdür. Hızlı soğuma ile ostenitin dönüşümü iyice gecikmekte ve ortaya kararsız veya yarı kararlı (metastable) bir yapı ortaya çıkmaktadır. Ostenitin bozulmasına 3 farklı gelişme eşlik eder.

1. Allotropik olay; yapının YMK'den HMK'e dönüşümü
2. Demir'in "C" eritme kabiliyetinin 100 misli birden azalması dolayısıyla "C" çökelmesi olması.
3. Fe ile C reaksiyonun başlaması ve (Fe_3C) karbür oluşumu.

1. olay çok hızlı gelişir. 2. ve 3. olay daha da yavaş olur. Fe ve C atomlarının (3/1) oranında kimyasal bağlanmaları zaman alır. Çökelen "C" atomları difüzyon ile yeni dönüşen (HMK) kafeste yerlerini alamadan kafes dönüşümü tamamlanır. Kafes yerine onun çarpıtılmış hali olan tetragonal bir yapı doğar. Kimyasal reaksiyon başlayamaz. "C" atomları gene yalnız kalırlar. Olayların hiçbiri tamamlanamaz. Her şeyin yarım kaldığı bu yapı martenzit yapıdır. Bu yapının sert ve kırılganlığı kafes içine hapis olmuş "C" atomlarının kafeste doğurduğu gerilmelerden meydana gelir. Fe atomları denge konumuna gelmek isterler. "C" atomları buna mani olur. Yüksek "C"lu çeliklerde bu nedenle iç gerilmeler daha yüksek olur. Bu çeliklerin su vermeyle aşırı sertleşmeleri ve çatlamaları bundandır. Çatlama sıkışan "C" atomları fazlalığının (Fe) atomları arasındaki metalsel bağı koparma olayıdır.

BÖLÜM 2
KAYNAK DİKİŞİNİN VE ÇEVRESİNİN METALLURJİK YAPISI

2.1. Kaynak Dikişi:

Dikişin alaşım yapısı:

Kaynak; bir ergitme ve sonrada katılaşma olayı olduğundan kendine özgü bir metallurjik yapı ile doğar. Kaynak dikişinin yapısı ana metalin yapısından farklıdır.

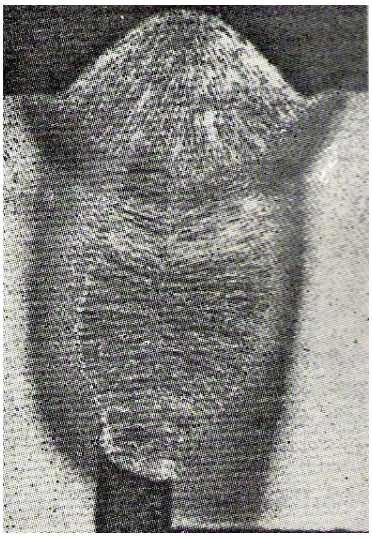
Kaynak dikişinin kimyasal yapısı ana metal ile elektrod harmanından oluşmuştur. Elektodu uygun seçmek suretiyle kaynak dikişinin yapısı ana metalin yapısına yaklaştırılabilir. Ancak tıpa tıp aynı yapı elde edilemez. Çünkü bazı alaşım elemanları yüksek sıcaklıklarda çeşitli yollarla yanarak kimyasal bileşik oluşturarak veya ayrışarak kaybolurlar. Bu kayıp elektrodun zengin karışım yapılmasıyla karşılanmaya çalışılır. Fakat çoğu zaman bu gerçekleşmez. Ayrıca yanma derecesi kullanılan ısı kaynağı, kaynak yerini çevreleyen ısı atmosfere ve kullanılan kaynak yöntemine göre değişir. Hava atmosferine karşı korunma tam değilse, oksijen ve azot ergime bölgesi atmosferi tarafından absorbe edilir. Oksijen kaynakta kaydedilemeyen birçok yanmalara sebep olur. Oksijen, alaşımda mevcut birçok elemanla birleşerek kaynağın kalitesine etki eden oksitler meydana getirir. Örneğin, kaynak banyosunda erimiş haldeki çeliğin içeriğinde bulunan karbonla CO oluşturur ve bu gaz katılaşma esnasında dışarı çıkarken gözenekler meydana getirebilir.

İyi kaliteli kaynak dikişi elde etmek için, kaynak yerini havanın etkisinden korumak veya diğer bir yöntemle meydana gelecek kimyasal ve metalurjik reaksiyonları kontrol altında tutmak gerekir. Oksijenle oluşacak reaksiyonları kontrol için kullanılan bir yöntem, ilave kaynak metaline (tel veya elektrod) manganez, silisyum ve bazen de alüminyum ve titan gibi deoksidan maddelerin ilavesidir.

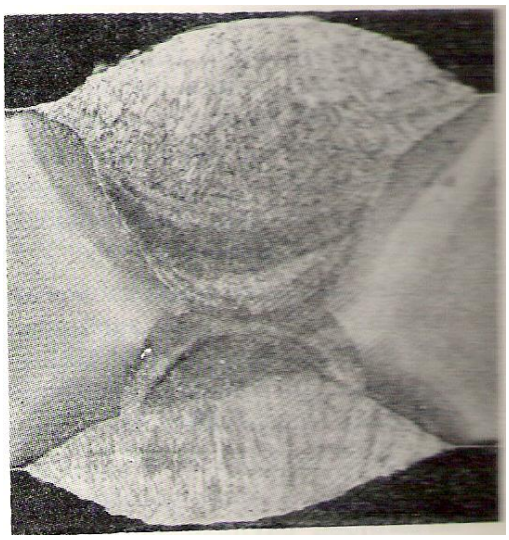
Alaşım yönünden sorun, sadece kaynak dikişi ile ana metal arasındaki farklılık değildir. Aynı zamanda alaşımın kaynak dikişi içersinden homojen olmayışı da sorundur. Kök pasoda ANA metaldir. Kapak pasoda da elektrodun katkısı çoğunluktadır.

Dikişin Tanesel Yapısı:

Kaynak dikişinin yapısı tane büyüklüğü bakımından da homojen değildir. Tane yapısına etkiyen 1. faktör soğuma olayıdır. Soğuma yavaş olursa iri taneler, hızlı olursa ince taneler oluşur. Taneler ısının en çok kaçtığı yöne uzarlar. Bazen sütun şeklini alırlar. Böyle bir durum, metalik özellikleri zayıflatır. Buna yapının yönlenmesi adı verilir. Tanelerin yönlenmesi hiç arzu edilmez.



(a) 10X

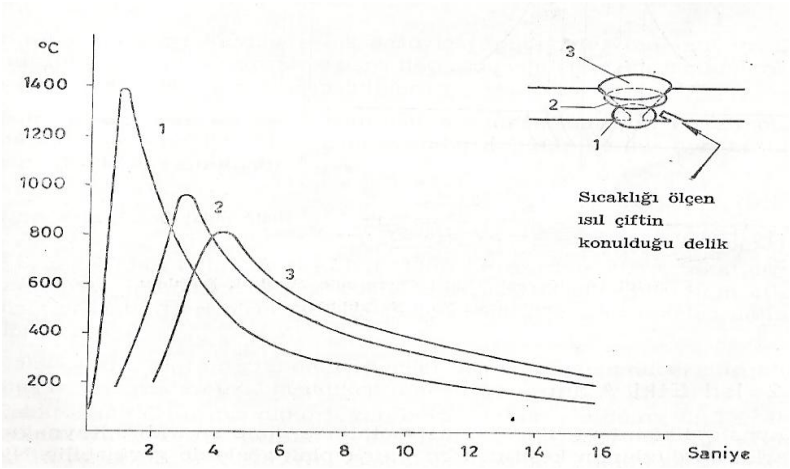


(b) 4X

Şekil 2.1 a) Sütunsal ve kaba taneli kötü kaynak yapısı
b) İnce ve kaba taneli bölgeleriyle kaynağın tipik yapısı

Şekil a; şematik olarak kaynak dikişindeki tanelerin yönlenmesini göstermektedir. Kaynak 2 pasodan oluşmuştur. Yönlenme 1. pasoda yatay, 2. pasoda düşey doğrultudadır. Kaynak ısısı ana metal kütleleri tarafından emildiğinden tane yönlenmesi kendini bu olaya uydurur.

Şekil b; (x) kaynağının kesitidir. İlk paso kesit merkezindedir. İnce taneli izotrop bir yapıdadır. Dış kısımları oluşturan son pasolar ise iri ve sütunsal yönlenmiş bir durumdadır. Bu görünüş kaynağın tipik yapısıdır. Eğer kaynak çok pasolu ise kendinden sonra gelen her paso alttakine ısıl işlem uygulayacağından tanesel yapıyı ıslah eder. Taneler küçülür. Yönlenme kaybolur. Fakat son paso için bu durum söz konusu olmaz.



Şekil 2.2. Üç pasolu dikişte köke çok yakın bir noktada sıcaklık değişimi

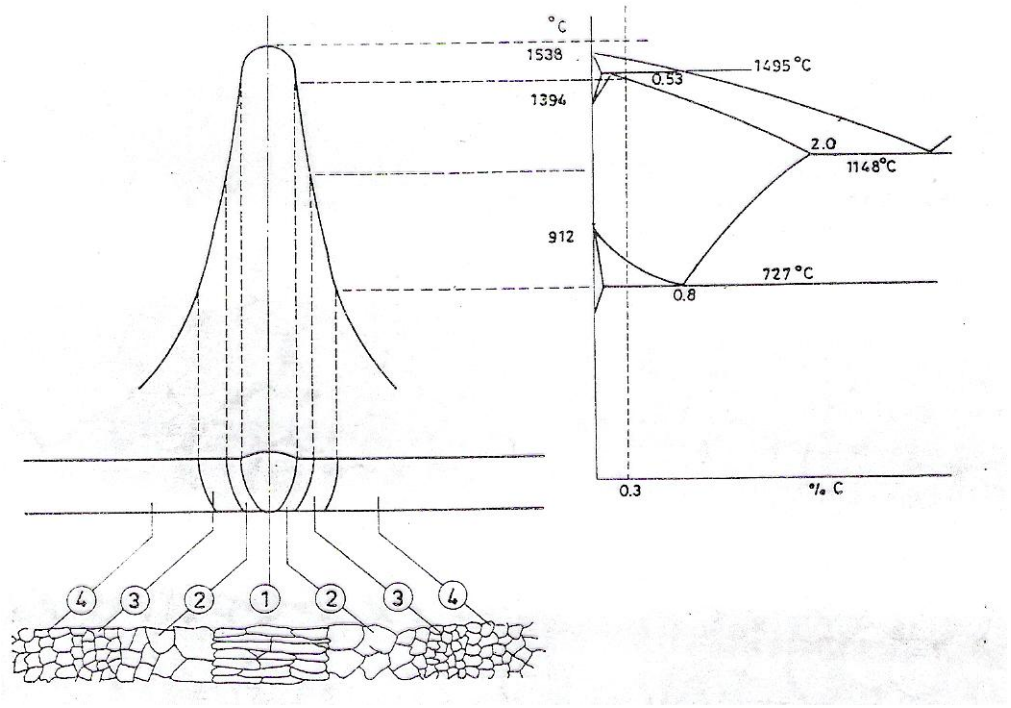
Şekilde 3 pasolu bir kaynağın yapılışı sırasındaki sıcaklık çevrimi görülmektedir. Şekilden 1. paso çekilirken sıcaklık neredeyse ergime sıcaklığına varırken, 2. ve 3. pasolarda daha aşağılara düşmüştür.

2.2. Isı Etkisi Altında Kalan Alan (IEA)

Şekil 2.3 de kaynak dikişinde ve ısı etkisi altında kalan alanda sıcaklıkla – tane yapısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi kaynak dikişinin bulunduğu kısımda 1, sıcaklık, ergime derecesindedir. Soğuduğu zaman ısı kaçış yönünde sütunsal taneler oluşmaktadır. Kaynak dikişi dışında ergime derecesine ulaşmayan alt kritik sıcaklığa kadar inen (727-723 $^{\circ}$C) bir ısı ana metali etkiler. Kaynak dikişini çevreleyen bu kısma ISI ETKİSİ ALTINDA KALAN ALAN adı verilir. Burada iki temel değişim söz konusudur.

1 Ana metalin mevcut tanesel yapısı çöker, yerine şartların oluşturduğu yeni bir yapı doğar.

2 Daha önce ısıl işlemlerle (yumuşatma, sertleştirme, temperleme) ana metale kazandırılmış özellikler bozulur.



Şekil 2.3. Kaynak dikişi ve çevresinde sıcaklıkla tanesel yapı değişimi

(IEA) tane yapısı bakımından;

1. Kaba Taneli Yakın Alan;

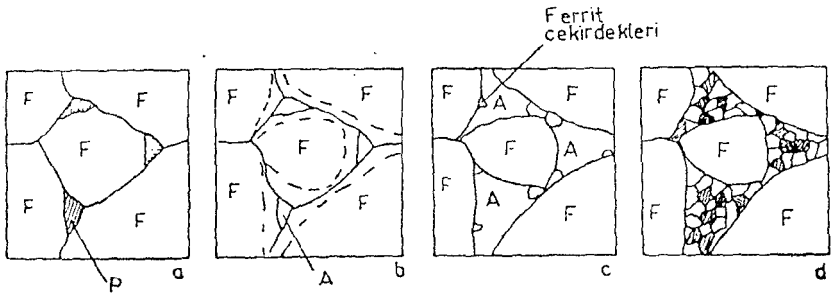
Sıcaklığın 1100 °C nin üstüne çıktığı alandır. Aşırı sıcaklık etkisinden taneler birbirine kaynayarak daha büyük hale gelirler. En iri taneler kaynak dikişinin hemen yanında oluşur. Sınırdan uzaklaşıldıkça taneler küçülür. Çelik, 1100 °C nin üzerinde çok, altında az eriticidir. Bu nedenle Al,V,Nb,Zr gibi artıklar kalıntılar bu sıcaklığın altında çökelir ve tane sınırlarında toplanırlar. Bu birikintiler tanelerin büyümesini engellerler. İri taneli bu alanın bir başka özelliği de martenzit yapının burada oluşmasıdır. Dolayısıyla sertlik burada max.ma çıkar.

Özetle; Bu yapı;

- Hem kaba taneli, hem sert
- Kaynak dikişinin en zayıf yeri
- Çatlama ve korozyona en müsait yerdir.

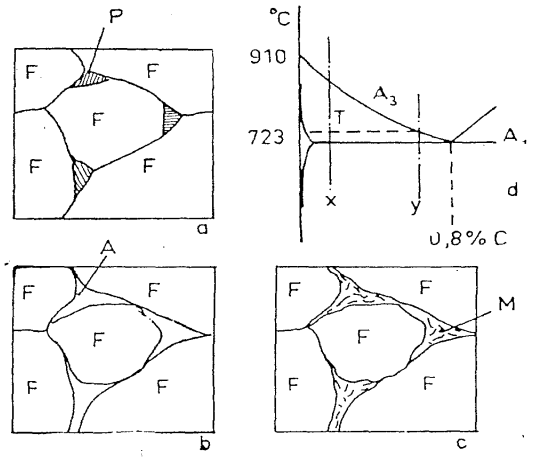
2. İnce Taneli Uzak Alan;

[1000 – 723 °C] arasında sıcaklığın etkilendiği, fakat tane büyümesi yaratacak sıcaklığa erişmediği olandır. Ferrit ve perlit taneleri kısmen ostenite dönüşmüşlerdir. Sıcaklığın düşük olması bu sıcaklıkta kalıp süresinin az olması nedeniyle ince tane oluşur. Bu taneler ana malzeme tanelerinden daha küçüktür. Bu oluşum şu şekilde açıklanabilir. Meydana gelen ostenit taneleri orijinal ferlit tanelerinden daha iridir. Soğuma esnasında ferrit ile ostenit arasındaki denge bozulur. Sonuçta ferrit ostenit içerisinde, çekirdekleşir. Soğuma çekirdekleşmeyi teşvik eder ve neticede ostenit karbon bakımından zenginleşir. Sıcaklık 723 ºC ye düştüğünde kalan ostenit perlite dönüşür ve perlit çekirdeklerinin büyümesi başlar. Isınma ve soğuma çevrimi sonucunda orijinal ferrit taneleri ufalmış, orijinal perlit taneleri ise küçük ferrit ve perlit tanelerinden oluşmuş koloniler şeklinde görünür Şekil 2.4). Burada martenzit oluşumu azdır. Kaynak dikişinin de en az sorunu olan bölgesidir.



Şekil 2.4. % 0.20 C'lu çelikte 3 numaralı bölgedeki yapı değişimi

Ancak hızlı soğuma halinde meydana gelen yapı değişiklikleri şematik olarak Şekil 2.5 de gösterilmektedir. Örnek olarak düşük karbonlu çelik seçilmiştir. Oda sıcaklığında kaynaktan önce yapı biraz perlit ihtiva eden ferrittir. 723 ºC (A_1) sıcaklığına erişince, perlit aynı miktarda karbon ihtiva eden ostenite dönüşür. Maksimum sıcaklığın (A_1) in üstüne çok az çıktığı burada, sadece ferritin çok az kısmı ostenitleşir ve ostenit çok yüksek miktarda karbon ihtiva eder (Şekil 2.5 d). Meydana gelen ostenit ferrit taneleri sınırı boyunca yayılır. Çok karbon ihtiva eden ostenit, ostenit dönüşmesinin tamamlandığı bölgedeki az karbon ihtiva edene göre daha düşük bir kritik soğuma hızına sahiptir. Çabuk soğumada ferrit taneleri arasındaki ostenit martenzite dönüşebilir. Eğer tane sınırları etrafında yayılmış ise, ferrit taneleri arasında yüksek karbonlu bir martenzit ağı şeklinde oluşur.



Şekil 2.5. ısı etkisi altında kalan bölgenin hızlı soğumasıyla meydana gelen yapı değişikliği

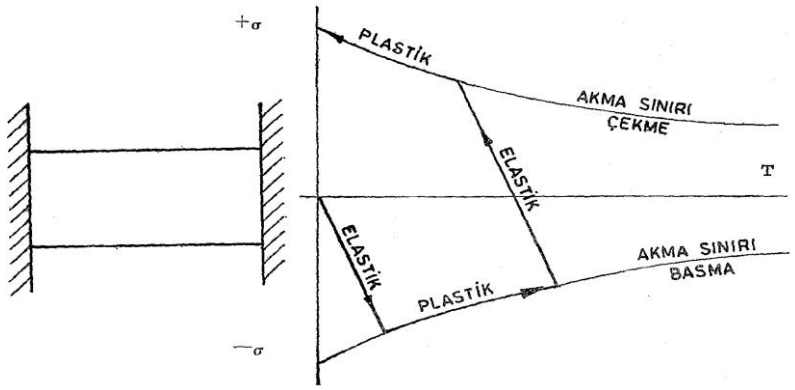
Son olarak şu söylenebilir. (IEA) kalan alan şartlara göre (1 – 3) mm arasındadır. (A_1) sıcaklığına erişemeyen esas metal kısımlarında kalıcı bir etki meydana gelmez.

BÖLÜM 3

KAYNAKTA "ARTIK" GERİLMELER VE ÇARPILMALAR

3.1. "Artık" Gerilmelerin Oluşumu:

Bütün cisimler ısınırken genleşir soğurken çekerler. Genleşme veya çekme herhangi bir nedenle engellenirse İÇ GERİLMELER doğar. Bu olayın en kolay izahı şekildeki çubuk üzerinde yapılır.

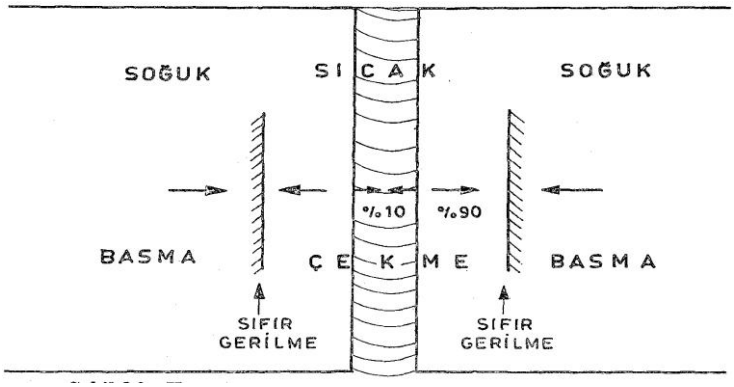


Şekil 3.1. Sabitlenen bir çubuğun ısınma ve soğumada iç gerilme değişimi

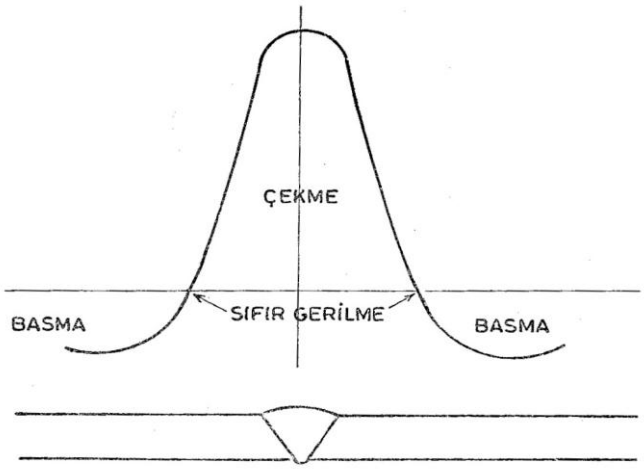
Şekil a 'da ki çubuk her iki başından uzamasına ve kısalmasına olanak tanınmadan tespit edilmiştir. Bu çubuk ısıtılırsa basınç gerilmeleri doğar. Bu gerilmeler elastik sınır içinde şekil b 'deki (T – σ) diyagramında görüldüğü gibi sıcaklıkla orantılı olarak artar. Akma sınırına gelindiğinde metal içinde hareket başlayacağından gerilmeler o değeri aşamazlar. Çubuk soğutulmaya başlayınca boyu kısalmak isteyecek, basınç gerilmeleri çok küçülecek. Sıcaklığın da iyice azalmasıyla bu kez çekme gerilmeleri ortaya çıkacak, bunlar elastik sonra da plastik olarak büyüyecektir. Çubuk ilk ısıtıldığı sıcaklığa gelince, içerisinde (σ_{AK}) dayanımına eş değer çekme gerilmeleri kalmıştır. Bunlar artık gerilmelerdir. Çelik 150 ºC ısıtılsa artık gerilmeler oluşabilir.

Kaynak dikişi de kendisinden daha serin bir ana metal kütlesi ile çevrili olduğundan çubuk örneğine benzer olaylar meydana gelir. Serin kütle kaynak dikişinin soğuması esnasında çekmesini engeller. Ve içerde çekme gerilmeleri kalabilir. Kaynak dikişindeki koşullar çubuk örneğindekinden daha kötüdür. Çünkü (IEA) bölge çok yüksek sıcaklıklara kadar ısınır. Soğuma esnasında bu bölgelerde kaynak dikişinin zıt yönünde çekerler. Böylece ana metal

dikiş içi gerilmeleri daha da artırmış olur. Zaten kabaca artık çeki gerilmelerinin % 10'u kaynak dikişinin kendi çekmesinden %90'ı ana metalin kendi çekmesinden kaynaklanır.



Şekil 3.2. Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri

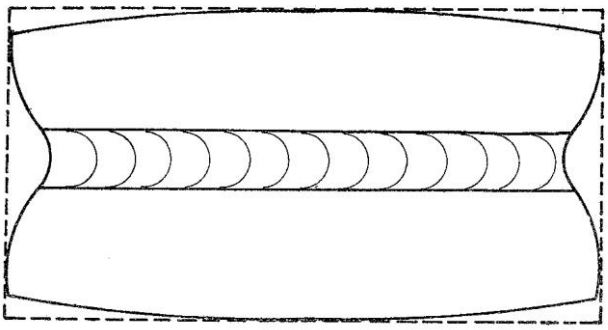


Şekil3.3. Kaynakta kalıntı gerilmelerin enine dağılımı

Kaynak dikişi ekseninde max. olan çeki gerilmesi az ötede sıfıra iner. Daha sonra basınç gerilmesine dönüşür. Her iki gerilme dengededir.

3.2. Çarpılma:

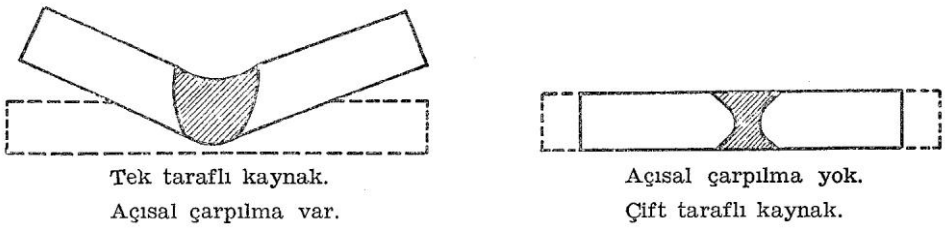
Kaynak işlemindeki bölgesel sıcaklık farklılıkları genleşmeye ve çekmeye neden olur. Bu olayda çarpılmalara yol açar.



Şekil3.4. Kaynaklı levhanın boydan ve enden çekerek çarpılması

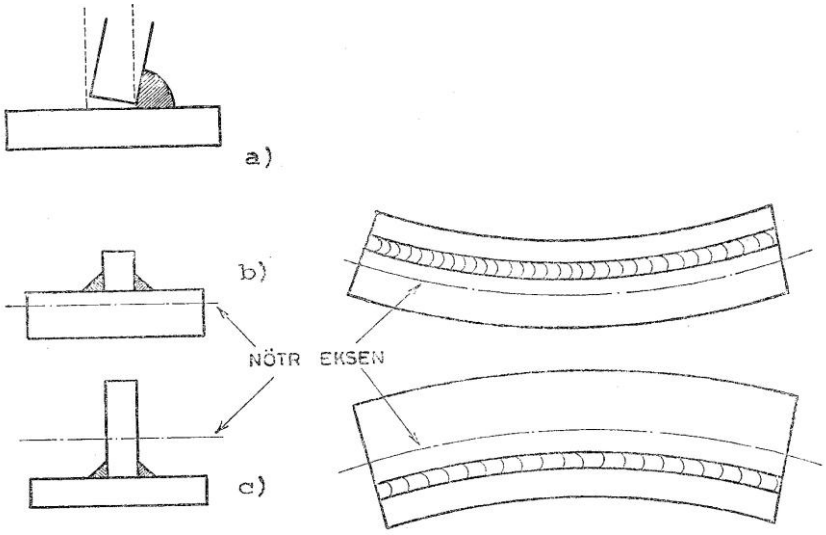
Şekilde yapılan alın kaynağından sonra hem enden hem de boydan çekerek çarpılma görülmektedir. Genellikle düz ve ince levhalarda kaynaktan sonra dalgalanma dikiş arasındaki bölgelerde kabarıklıklar görülür.

Enine çekme 6 mm levha kalınlığında 1 mm, 12 mm levha kalınlığında 1,5 mm dolayında; boyuna çekme levha uzunluğuna bağlı 0,2 mm/m dir.
Şayet kaynak tek taraflı yapılmışsa açısal çarpılma söz konusudur. Levha kalınlığı 6 mm ise açısal çarpılma 1 º, 12 mm ise açısal çarpılma 3 º olabilir. Bu olay dar ve kendi ağırlıkları ile rahatlıkla dönebilen levhalar için geçerlidir. Açısal çarpılma tek taraflı simetrik olmayan kaynak dikişleri için söz konusudur. Çift taraflı simetrik kaynakta açısal çarpılma olmaz.



Şekil 3.5. Kaynaklanan iki levhada açısal çarpılma

Ancak kaynaklar ağırlık merkezinin hangi tarafında olursa o tarafa doğru sistem meyil eder.



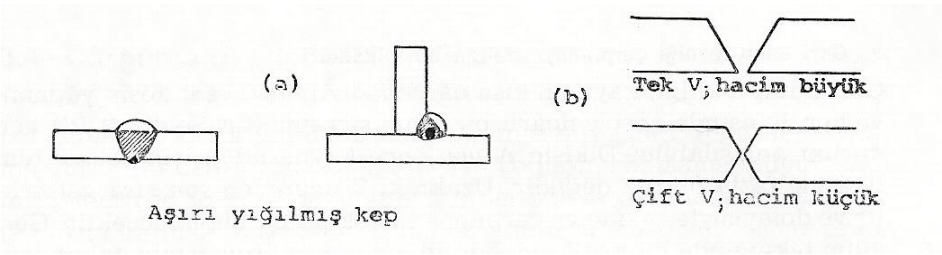
Şekil 3.6. Köşe kaynağında çarpılmalar

3.2.1. Çarpılmayı Azaltıcı Önlemler

Çarpılma zoraki şekilde önlenirse iç gerilmeler büyür. Dolayısıyla çarpılmayı engellemektense hiç oluşturmamak yada en küçük düzeyde sınırlamak akıllıca bir iştir.

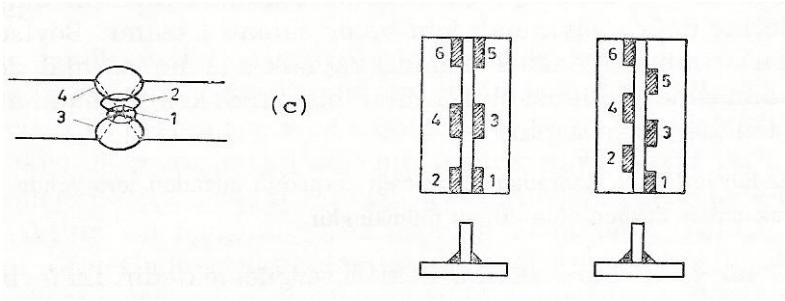
1. Dikiş ölçüleri minimumda tutulmalıdır.

Kalın bir levhada kaynak ağzı tek V yerine çift V (X) şeklinde hazırlanırsa dolgu metali ihtiyacı yarı yarıya iner.



Kaynak keplerinde aşırıya kaçırılmamalıdır. Fazla elektrod işçilik, enerji, maliyet artışı getirir.

2. Çift taraflı kaynak tercih edilmelidir.

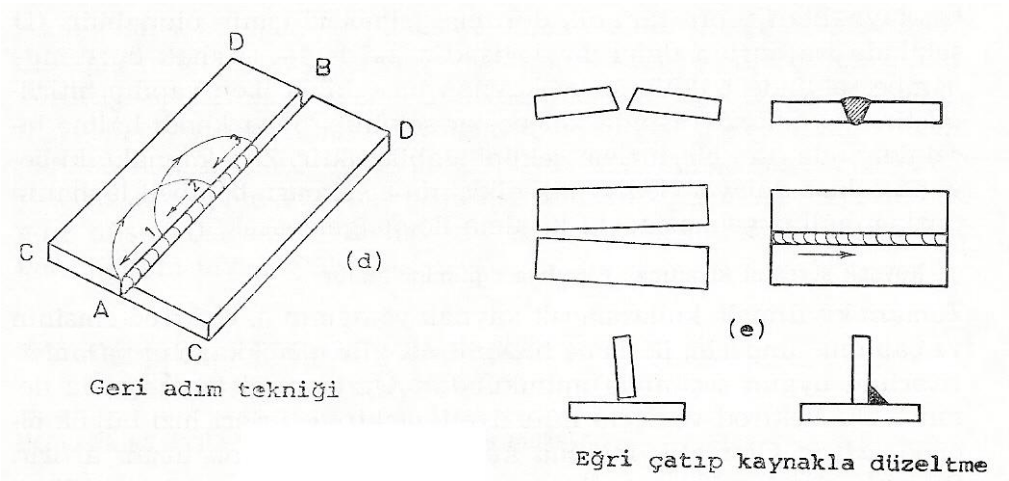


Çift tarafta kaynakta çarpılma en aza iner hele pasolar sıra dahilinde yapılırsa çarpılma önlenmiş olur.

3. Geri adım tekniği çarpılmayı azaltan bir önlemdir.

Geri adım tekniği, kaynağı kısa parçalar halinde kesik kesik yapmak ve her defasında geriye doğru bir adım sıçramaktır. Isı C köşelerine doğru yayınmak için yeter zaman kazanır. Böylece CD dış kenarlarının uzaması B ucunda kaynak ağzının normal genişliğinde kalmasına yardımcı olur. Bu teknik özellikle kök pasonun atılmasında yarar sağlar.

4. Çekme kuvvetlerinin kaynak sonrası yaratacağı çarpıklığı önceden ters yönde verip çarpılma önleme.



Şekilde görüldüğü gibi 2 levha açılı bağlanabilir (a,b). T dikişini oluşturan iki parça eğik bağlanabilir.

5. Kaynak süresini kısaltmak.

Zamanı kısaltmak, kullanılacak kaynak yönteminin, elektrod cinsinin ve çapının, amperin, ilerleme hızının gibi temel kaynak parametrelerinin uygun seçilmesiyle mümkündür.

Örneğin el kaynağında demir tozlu elektrod ve derin nüfuziyetli elektrod türleri hızı büyük ölçüde artırır. Bu gibi önlemler ana metalin ısınmasını, dolayısıyle çarpılma eğilimini azaltır.

6. Paso sayısı gereğinden fazla arttırılmamalıdır.

Paso sayısı arttıkça çekme ve çarpılmada artar. Bu tehlikenin var olduğu hallerde büyük çaplı ve demir tozlu elektrod kullanarak az sayıda paso ile dikişi tamamlamak çarpılma eğilimini azaltan yararlı bir önlemdir.

7. İç gerilimlerin kaynak sonrasında giderilmesi

3.3. Çarpılma Üzerinde Etkili Olan Malzeme Özellikleri

Isıl Genleşme Katsayısı: (λ)

Malzemenin ısınırken uzama, soğurken kısalma miktarını belirleyen özelliktir.

$\lambda >$ ise kalan kesitlerde iç gerilme, ince kesitlerde çarpılma

Örnek;

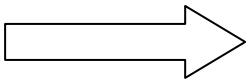
Paslanmaz çelik $\lambda \geq$ 1,5 kat yumuşak (C)'lu çelik

O halde paslanmaz çeliğin kaynağında çarpılma büyük sorun.

Isıl İletkenlik: (k)

Malzeme içerisindeki ısı akışındaki kolaylığı zorluğu belirleyen özelliktir.

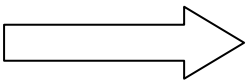
Paslanmaz çelik
Ni ve alaşımları
Ti ve alaşımları



İletkenliği düşük
malzemeler

Bu malzemeler ısıyı kolayca yayıp soğuyamazlar. Bu nedenle bu malzemelerin kaynak dikişi ile çevresindeki ana metal arasındaki sıcaklık farkı çok fazladır.

Al
Cu



Isıl iletkenliği yüksek
malzemelerdir.

Sıcaklık dağılımları kaynak bölgesinde daha yumuşak dağılmıştır. Çarpılma az olur. Karbonlu çelik malzemeler bu iki malzeme arasında yer alırlar.

Akma Sınırı (σ_a) :

Soğuma sırasında kaynak çevresi önce elastik çekme yapar. Bunun sonucunda iç gerilmeler oluşur. İç gerilmeler akma sınırına ulaşınca kalıcı büzülmeler meydana gelir.

σ_a< küçükse sünek malzeme demektir, çarpılma düşük olur.

σ_a> büyük ise gevrek malzeme demektir. İç gerilmeler ve çarpılma yüksek olur.

3.4. Çarpılma Eğilimi Yönünden Malzemelerin Mukayesesi

A) <u>Yumuşak C'lu Çelik</u>		<u>Paslanmaz Çelik</u>
1. σ_a (yaklaşık)	=	σ_a
2. k_C (ısıl ilet.)		$k_{pa} = \frac{1}{3} k_C$
3. λ_C (ısı gen.)		$\lambda_{pa} = 1{,}5\ \lambda_C$

Yukarıdaki sonuçlardan paslanmaz çeliğin kaynağında çekme olayı, yumuşak "C" çeliğe oranla daha fazladır.

B) <u>Yumuşak C'lu Çelik</u>	<u>Alüminyum</u>
1. σ_{ak}	Alüminyum alaşımlarına göre değişmektedir.
2. k_C	$k_{Al} = 4\ k_C$
3. λ_C	$2\lambda_C = \lambda_{Al}$

Bu sonuçlara göre (Al) da çarpılmayı "C"lu çeliğe nazaran artıran ve azaltan faktörler birbirlerini dengeler. Bu nedenle iki malzemenin kaynağı bu yönden fazla ayrıcalık göstermez.

C) <u>Yumuşak C'lu Çelik</u>		<u>Yüksek Dayanımlı (düşük alaşımlı) Çelik</u>
1. σ_{ak}	<	σ_{ak}
2. -	=	-
3. -	=	-

En önemli faktör (σ_a) olduğundan σ_a > büyük olan çelik daha fazla çarpılma tehlikesi gösterecektir.

BÖLÜM 4
KAYNAKTA HİDROJEN KIRILGANLIĞI

4.1. Kaynakta Hidrojen Oluşumu:

Su molekülü H_2O en sağlam moleküllerden birisidir. Kovalent bağını koparmak için 2700 $^{\circ}C$ sıcaklığa ihtiyaç vardır. Elektrik arkı 3600 $^{\circ}C$ varan sıcaklığı ile bu molekülü parçalayacak güce sahiptir. Dolayısıyla kaynak yapılan yüzeylerde elektrod örtüsünde rutubet şeklinde olan su kaynakla birlikte H_2 ve O_2 atomlarına ayrılır.

O_2 oksijen, yüksek sıcaklıklarda derhal reaksiyona girerek bağımsızlığını yitirir. Demiroksit oluşturarak çekilir. Fakat hidrojen ne (Fe) ile nede onun alaşım elementleri ile kimyasal reaksiyon yapmaz. Bünye içersinde tek tek atomlar halinde dağılır. Bu halde tahribatsız muayene yöntemleri ile de hidrojeni algılamak mümkün değildir.

$H_2O \longrightarrow H_2 + ½\, O_2$

$H \longrightarrow 2\, H^-$ (Atom halde)

$H^- \longrightarrow H^+ + e^-$ (İyon halde)

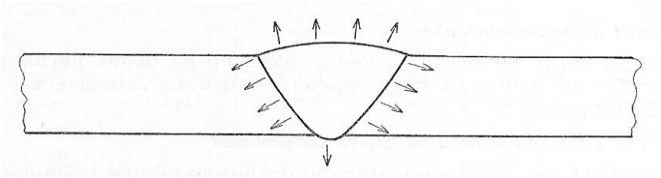
4.2. Kaynakta Hidrojenin Yayınımı:

Difizyon (yayınım) gaz, sıvı, katı ortamlarda cereyan eden temel fizik olayıdır. Tıpkı parfüm kokusunun zamanla bütün odayı kaplaması, çay bardağı dibine bırakılan şekerin bardağın her tarafını kaplaması gibi bir noktadan katılan yabancı madde ortamın her tarafında eşit oluncaya kadar yayınır. Çeliklere uygulanan “C” emdirme (Karbürizasyon veya sementasyon), (N_2) azot emdirme (nitrürizasyon) birer difüzyon olayıdır.

Hidrojen, küçük atom çapına (0,62 A°) sahip en küçük atomlardan biri olması nedeniyle katı atomlarda çok kolay yayılabilen bir maddedir. H_2 atomu, çeliğin kenar uzunluğu 2,86 A° olan kristal kafesi içine rahatça sığabilir. Ayrıca tane sınırları, dislokasyonlar, kafes hataları, hidrojen yayınımını kolaylaştıran kanal veya geçitlerdir. Hidrojen atomu, atom halinde iken hareketli, molekül haline geçtiğinde hareket sona erer.

4.3. Hidrojen Çatlak Teşekkül Ettirmesi:

Kaynak metali içine karışmış hidrojen atomları yüksek sıcaklığın tesiri ile ana metalin derinliklerine doğru dış yüzeyde de havaya doğru hızla yayılırlar. Sıcaklık, zaman ve mesafe ile çok çabuk azalacağından (H) yayınımının hızı kesilir. Fazla yol alamadan (IEA) alanında haps olur kalır.

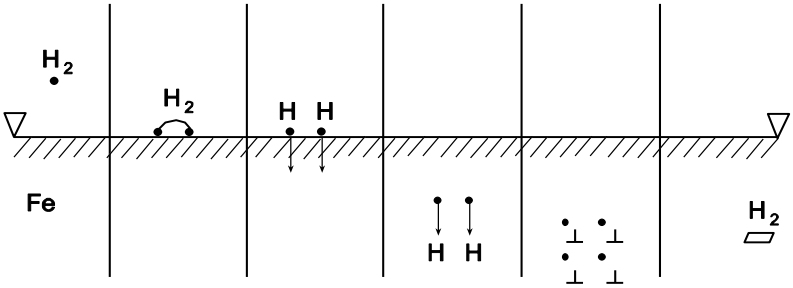


Şekil 4.1. Kaynak dikişinden çevreye hidrojen yayınımı

Nasıl olurda (H) çeliği çatlatılır?

Bu olay iki teori ile izah edilir.

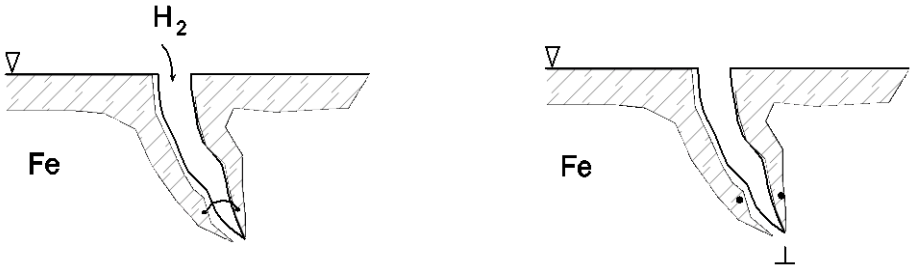
Teori 1) Difüzyon Teorisi:



Şekil 4.2. Hidrojenin difüzyonla çatlak oluşturması

Bu teori şöyle açıklanabilir. Bir metal yüzeyine (H_2) göndermiş olalım. Molekül haldeki hidrojen parçalanarak atom haline gelir. Yüzeye gelen hidrojen atomları vander walls'a göre emilirler. İçeri giren hidrojen atomları dislokasyonların etrafında toplanır. Bu kısımlarda yüksek bir gaz basıncı meydana gelir. Bu basıncın birkaç bin atmosfere erişebileceği hesaplanmıştır. Bazı kritik hallerde bu basınç malzemenin kopma gerilmesini aşar ve çatlaklar meydana gelir.

Teori 2) Reaksiyon Teorisi:



Şekil 4.3. Hidrojenin reaksiyon teorisine göre çatlak oluşturması

Bu teoride Fe atomları ile aradaki bağların değişmesi mevzu bahisdir. Şekildeki gibi bir çentik düşünelim. Hidrojen molekülü dip kısımda bir köprü halinde bulunmaktadır. Burada (H_2), (Fe) atomları arasındaki bağı zayıflatmaktadır. Bu olay dislakasyonlar olmasa bile gerçekleşir. Zayıflayan bağ kopunca ilk çatlak teşekkülü başlamış olur.

1. Teoride difüzyon ve reaksiyon
2. Teoride sadece reaksiyon var.

4.4. Kaynakta Hidrojen Kırılganlığının Genel Karakteri:

Kaynakta hidrojenin neden olduğu çatlamalar nadir olarak kaynak yapımı sırasında fakat genellikle kaynak işleminin tamamlanmasından sonra ortaya çıkarlar. Bu yüzden hidrojen çatlamasına (soğuk çatlama) adı verilir. Hidrojen çatlak başlangıcını tespit etmek, günümüz olanaklarıyla mümkün değildir. Çatlak büyüyüp makro seviyeye ulaştığı zaman ancak mümkün olabilmektedir.

Hidrojen çatlaması (IEA) alanında meydana gelir. Alaşımlı çeliklerde kaynak dikişi içinde de görülebilir.

Hidrojenin çelikte nasıl çatlak oluşturduğu önceden de denildiği gibi henüz teori safhasındadır. Bu teorilerin kesin olarak birinin doğru diğerinin yanlış olduğu gösterilememiştir. Her iki teori birlikte yürümektedir. Ancak bilinen gerçek, aşağıdaki 4 şart aynı anda varsa HİDROJEN çatlaması muhtemeldir.

1. Hidrojenin varlığı.

Usulünce kurutulmamış elektrodla veya kirden, yağdan ve pastan yeterince temizlenmemiş yüzeylerde yapılan kaynaklarda H oluşması kaçınılmaz.

2. Çekme gerilmelerinin varlığı.

Kaynağın soğuması sırasında metal çeker, bu da doğal olarak, gerilmeler yaratır. Gerilmelerin oluşumu bir önceki konumuz idi.

3. IEA alanının kırılgan yapıda oluşu.

Ana metalin kaynak dikişine tam sınır olan tanesel dönüşüm sıcaklığının çok çok üzerine kadar ısınan bölgesinde (yakın alanda) soğuma sırasında martenzit oluşur. Mikroskobik iç gerilmelerle yüklü olan bu gevrek yapı hidrojenin katkısı ile daha da kırılgan hale gelir.

4. Sıcaklığın kritik çatlama sıcaklığının altında inmesi

(Alaşımlı çeliklerde 250 $^{\circ}$C , yumuşak "C"lu çeliklerde 150 $^{\circ}$C de ve oda sıcaklığında)

Hidrojen çatlamasının en büyük olasılık kazandığı an, kaynak sıcaklığının ortam sıcaklığına yaklaştığı andır, ki bu sınıra kritik çatlama sıcaklığı denir. Eğer soğuma birkaç dakika 200-250 $^{\circ}$C de durdurulabilirse, hidrojenin dağılışında bir homojenleşme meydana gelir ve sonuçta çatlak oluşumu önlenir.

Hidrojen Ve Çelik İlişkisi:

Hidrojenin çelik üzerindeki etkileri

Hidrojen yayınımı ve bunun zararlı etkileri sadece kaynak dikişine özgü değildir. Hidrojen bütün metalsel ortamlarda yayınır. Al, Cr, Zn, oksijeni alınmış Cu gibi az sayıda metal bundan zarar görmez. Fakat aralarında çeliğin de yer aldığı diğer birçok metal ve alaşım üzerinde gayet olumsuz etki yapar. Dolayısıyle konu, sanayinin genel bir sorunudur.

Atomsal hidrojen çelik içersinde yayınırken aşağıdaki etkileri gösterir.

- Cidarı boydan boya kat ederek havaya karışabilir. Atomsal hidrojen içeren basınçlı kaplar terler.
- Malzeme kusurlarında toplanır. Burada molekülsel hidrojen haline dönüşerek hareketliliğini yitirir. Zamanla bu H_2 birikintisi artınca basınçta artar. Metal yüzeyinde kabarmalar meydana getirebilir.

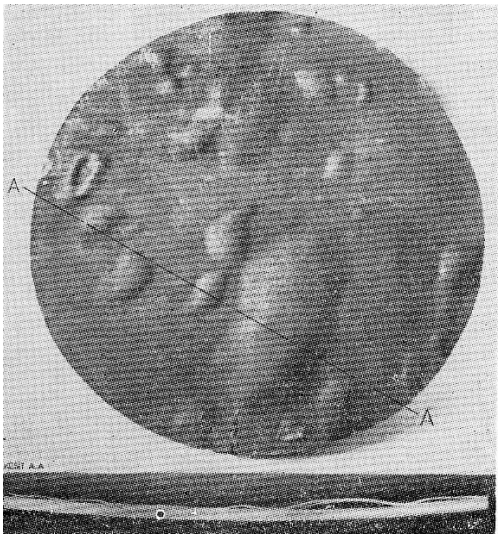
- Malzeme içindeki üç eksenli yüksek gerilme bölgeleri örn., mikroskobik çatlakların uçları yayınan H'i üzerine çeker. Zaten yüksek olan gerilme daha da artarak çatlağı büyütür.
- Hidrojen, C ile birleşerek metan CH_4 gazı oluşturur. Bu kimyasal reaksiyon 220 $^{\circ}C$ de başlar ve sıcaklıkla artar. Hem çelikteki C azalarak mekanik dayanımı düşürür hem de boşluk ve hatalarda toplanan metan gazının zamanla basıncı artar çeliği çatlamaya zorlar.

Diğer taraftan Mo ve Cr un varlığı metan oluşumunu frenler. Bunlar çeliğe kararlılık sağlayan elementlerdir. Örneğin paslanmaz çelik, fazla miktarda Cr içermesi nedeniyle yüksek sıcaklıklarda hidrojene karşı en fazla dirence sahip çelik türüdür. Basınca ve sıcaklığa bağlı olarak hidrojen devrelerinde kullanılacak malzeme seçilir.

Hidrojen Kaynakları:

- Su molekülünün parçalanması
- Hidrojen gazı içinde atomsal hidrojenin varlığı
- Hidrokarbonların parçalanması polietilen, etilenin (CH_2) 300 $^{\circ}C$ ve 1500 kg/cm^2 de birbirine eklenmesiyle oluşur. Bu sırada sıcaklık herhangi bir nedenle yükselirse işler tersine döner; etilen molekülleri birleşeceklerine parçalanırlar. Parçalanmadan, metan, karbon ve hidrojen doğar.
- Asit korozyonu $H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^-$

Yaşanmış bir örnek; Sülfürik asit taşımak üzere imal edilmiş bir karayolu tankerinin beş sene sonra yapılan bakımında iç yüzeyde irili ufaklı çok sayıda kabarmalar olduğu saptanmıştır (Şekil 4.4).

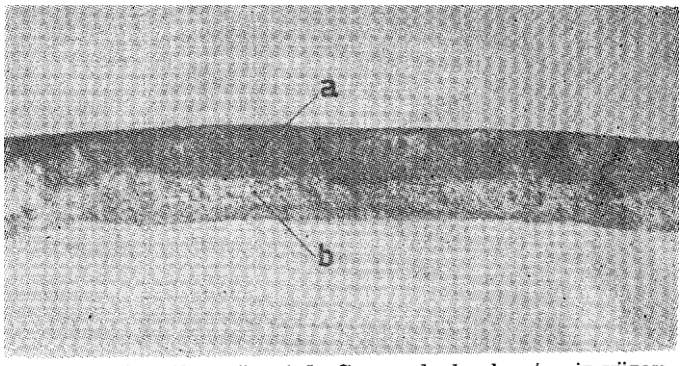


Şekil 4.4. Çelik yüzeyinde hidrojenin oluşturduğu kabarcıklar

BÖLÜM 5
KAYNAKTA GERİLİM KOROZYONU ÇATLAMASI

5.1. Gerilim Korozyonu Çatlaması:

Korozyonun ve sabit (statik) çekme gerilmelerinin ortak etkisi altında meydana gelen bir olaydır. Bu çatlakların içi paslıdır. Bu olayda etkili olan çekme gerilmelerinin "artık gerilme" ler olabilir. Veya dışardan etkiyen işletme yükleri olabilir.Ancak bu gerilmeler durgun gerilmelerdir.Eğer gerilme dinamik ise o zaman ayrı bir isim olarak"Korozyon yorulma çatlaması"adını alır. Pratikte bu iki çatlama tipini gözle ayırt etmek zordur. Ancak yüksek büyütmeli mikroskoplarda mümkündür.Basma gerilmeleri altında bu olay gerçekleşmez.



a. Paslı çatlak yüzeyi, **b.** Son anda kırılan temiz yüzey

Şekil 5.1. Gerilim korozyonuyla çatlayıp kırılan yüzeyin görünümü (Kazan borusu)

Gerilim korozyon çatlağı, malzemenin cinsine ve korozyon ortamına bağlı olarak tanelerin arasından veya tanelerin içinden yayılır.

Gerilim Korozyonu;

1. Alkali kırılganlığı
2. Klor kırılganlığı
3. Amonyak kırılganlığı
4. Cıva korozyonu

Şeklinde meydana gelir.

5.2. Alkali Kırılganlığı:

NaOH, KOH, Ca(OH) vs. gibi alkali çözeltiler,metaller üzerinde asitler kadar korozif etki yapmazlar.Al,Cu,Sn,Zn ve Pb hem asitlerden hem de alkalilerden aynı derecede etkilenir. Diğer bütün metaller alkalilere karşı büyük direnç gösterirler. Çelik de buna dahildir.Nötr ve asidik ortamların metaller üzerindeki korozyon etkisini frenlemek için içlerine alkaliler katılır. Örnek; Buhar kazanlarındaki saf suyun içine kostik soda (NaOH) katılır. Böylece suyun pH derecesi alkali ağırlıklı yapılarak kazan borularının iç korozyonu azaltılır. Son zamanlara kadar bu yöntem uygulanırken bazı acı sonuçlarda ortaya çıkmıştır. Dramlarda,perçin deliklerinde çatlamalarla yaralanmalar,enkaz haline gelen fabrikalar olmuştur.

Anlaşılmıştır ki; suda kostik oranı kritik sınırın üzerine çıktığında gerilim korozyonu ile çelik çatlamaktadır. Bu olay "alkali kırılganlığı" olarak bilinir. Perçin şemsiyesi altında toplanan su, taşıdığı kostiği bulduğu kılcal çatlaklara bırakarak korozyona neden olmakta geriliminde etkisi ile içi pas dolu demir çatlaklar oluşturarak dramı patlatmaktadır.son zamanlarda dramlar kaynak edilmiş,böylece olay kapandı zannedilmiştir.fakat kazaların arkası ancak kaynak sonrası gerilim giderme işleminden sonra kesilebilmiştir. Zira kaynaktaki "artık gerilmeler" ve korozyonun etkisi ile çatlama olmaktaydı.

Kostik, gerilim korozyon çatlamasını artıran sebeplerden biriside SICAKLIK tır. Sıcaklık artar, kostiğin derişikliğide artarsa çatlama kolaylaşır.Derişiklik arttıkça sıcaklık düşmelidir.Yüksek sıcaklıklarda çalışan kostik devreleri için malzeme seçmede,malzemelerin kostiğe dayanım ve fiyatlarının artması bakımından üç seçenek vardır.

1.Yüzeyi kauçukla kaplı"C"lu çelik.
2.Ostenitik paslanmaz çelik.
3.Nikel veya nikel alaşımları

5.3. Klor Kırılganlığı:

Cl ve Cl bileşikleri örneğin HCl, tam kuru ve molekül halinde iken çelik için zararsızdır.Korozif değildir. Bu nedenle tam derişik HCl devrelerinin"C"lu çelikten yapımında bir sakınca yoktur.Fakat içersine birazcık(%0,03) oranında rutubet karışması halinde çeliği korozif yapmaya yeter. Islak klor "C" lu çelikte süngerimsi korozyon (pitting) yapar.

Paslanmaz çelikte ise,şartlara göre bazen süngerleşme bazen de gerilim korozyon çatlaması meydana gelir.Paslanmaz çelikte bu olay,tane içi çatlaması,taneler arası çatlama şeklinde görülür.Taneler arası çatlama,kaynak dikişlerinde bir kısım (Cr) un kaynağın yüksek sıcaklığın etkisiyle krom-karbüre dönüşerek tane sınırlarına çökmesi ve korozyona karşı koruyuculuk görevi yapan (Cr) un fakirleşmesi neticesinde meydana gelir.
Islak (Cl) ve (HCl) devrelerinde 125 ˚C sıcaklığa kadar içi teflon kaplı "C"lu çelik borular kullanılır. Daha yüksek sıcaklıklarda "C" lu çelik cam kaplı olarak kullanılır.Fakat cam uzun vadede etkilendiğinden daha yeni ve pahalı, uzun ömürlü Ni ve Ni alaşımları tercih edilir.Bunlar fiyatları yüksek, fakat dayanımları fevkalade olan malzemelerdir. Fiyat sorunu, açısından ana gövde "C" lu çelik içi ince tantalyum levha kaplanarak çözüme gidilebilir.

5.4. Amonyak Kırılganlığı:

Amonyak (NH_3), Cu ve alaşımlarını gerilim korozyonu ile çatlatır.Bu olayda gerilim,boruların soğuk çekilmesinden kalmış olabilir.Bu borular,düşük sıcaklıkta tavlanırsa iç gerilmeler giderilir ve dirençleri artar.

Japonya, Arabistan gibi tatlı suyu kıt olan ülkelerde sanayinin soğutma suyu denizden karşılandığından, deniz suyu da NH_3 ve SO_2 kirliliklerini taşıdığından,genellikle Cu ve alaşımlarından yapılan borular için NH_3 bir tehlikedir. Gemi pervaneleri bronzdandır.

5.5. Cıva Korozyonu:

Cıva, "C"lu çelik ve paslanmaz çelik üzerinde direkt etkili değildir. Nitekim cıva devreleri "C"lu çelikten yapıldığından ucuz olmakta ve güvenilir bir çözümdür.

Fakat cıva (Hg) bir katalizördür.Reaksiyonları hızlandırır. Ortamda bir korozyon olasılığı varsa (Hg) nin varlığı buna hız verir. 0,5 ppm gibi fevkalade düşük miktarda cıva korozyon olayını hızlandırır.
Cıva bazı metallerle direkt alaşım ederek birleşebilir.Buna AMALGAM (Cıva alaşımı) denir. Örnek; Monel %67Ni+%30Cu alaşımı, çeşitli korozif ortamlara çok dayanıklı bir malzemedir. Bu özelliğini yüksek sıcaklıklarda da sürdürür. Fakat ortamda eser miktarda cıva olursa 400 ºC de pes eder. Zira cıva monel içindeki (Cu) ile amalgam teşkil ederek onu kemirir.

BÖLÜM 6
KAYNAKTA ISIL İŞLEM

6.1. Giriş:

Kaynakta ısıl işlem dendiği zaman;

- Ön ısıtma
- Pasolar arası sıcak tutma
- Ard ısıtma
- Gerilim giderme tavı

İşlemlerinin tümü anlaşılır. Fakat bir kaynakta bu ısıl işlemlerin tümünün uygulanması gerekmez.

6.2. Ön ısıtma –Pasolar arası sıcak tutma:

Ön ısıtma; 1-Kaynak dikişinde ve IEA da oluşacak çekme gerilmelerini azaltır.

2-Dikiş sıcaklığının (Ms) (martenzit oluşma sıcaklığı) sınırına inmesi geciktirilerek ferrit,perlit ve beynit dönüşümlerine zaman kazandırır.

3-Hidrojen çatlamasının en büyük olasılık kazandığı an, kaynak sıcaklığının ortam sıcaklığına yaklaştığı andır.Alaşımlı çeliklerde bu 250C derece,"C"lu çeliklerde 150Cderece dir.Önısıtma bu sıcaklığı,kiritik sıcaklık sınırının üstünde tutarak,hidrojenin IEA bölgesini terketmesini sağlar.Böylece hidrojen kırılğanlığı eğilimi azalır.

4-Daha güç ve pahalı bir işlem olan kaynak sonrası gerilim giderme ihtiyacını hafifletir.

Yukarıdaki etkileri içerir.

Hiç ön ısıtma yapılmamış,soğuk metal üzerine yapılan kaynağın ilk yapılan kesimleri çok hızlı soğur. Zira kaynak ısısı aynı zamanda metal kütleyi ısıtmaya harcanır.

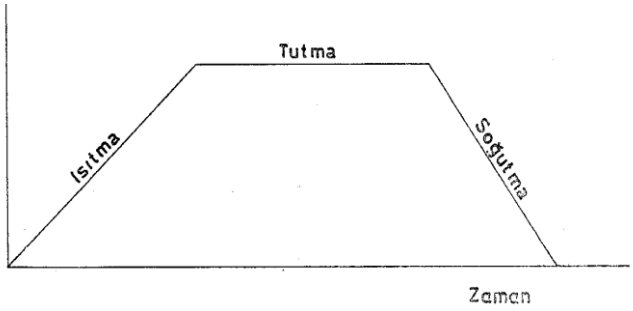
Ön ısıtma ,pasolar arasında da muhafaza edilmelidir.Tozaltı kaynağında dışardan ayrıca ısı vermeye gerek yoktur.El ile yapılan kaynaklarda kaynak ağzını geniş tutmak ve sürekli kaynak ile dışardan ısı vermeye gerek kalmayabilir.

6.3. Ard Isıtma:

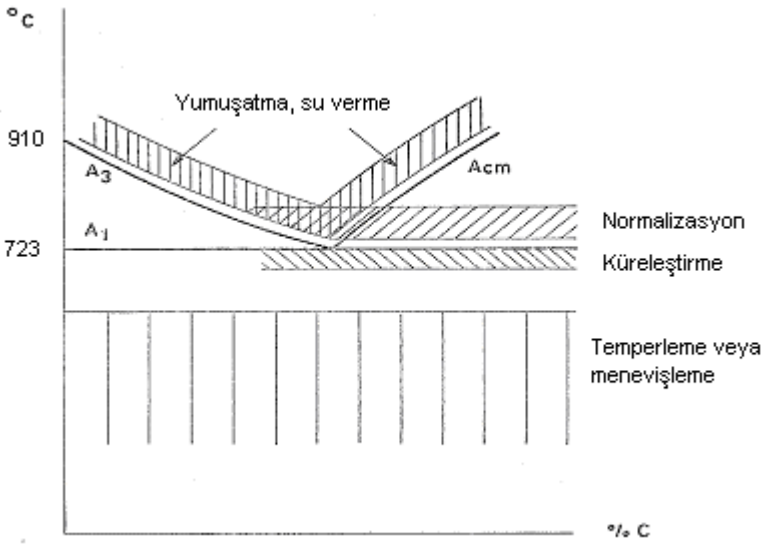
Kaynak bittikten hemen sonra,dışardan verilen ısının devam etmesine ard ısıtma denir. Amaç; yüksek"C"lu çelikten (Cr-Mo)ve (Cr-V) alaşımlı çelikler kaynaktan sonra havada soğuma ile sertleşir.Ve ön ısıtma sıcaklığı altına indiğinde çatlaklar doğabilir. Bu nedenle,kaynağı (Ms) sıcaklığının altına düşürmeden yeterli bir süre tutup ostenit in beynite dönüşü sağlanır.

6.4. Gerilim Giderme:

Kaynaklı malzemeyi (Aı) sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtmak, o sıcaklıkda bir süre bekletmek sonrada yavaşça işlemine gerilim-giderme Meneviş-temperleme adı verilir.



Şekil 6.1. Gerilim giderme ısıl çevrimi



Şekil 6.2. Çeliğe uygulanan ısıl işlemler

Yukarıdaki diyagramda çeliğe uygulanan ısı işlem tipleri görülmektedir. Kısaca açıklarsak,

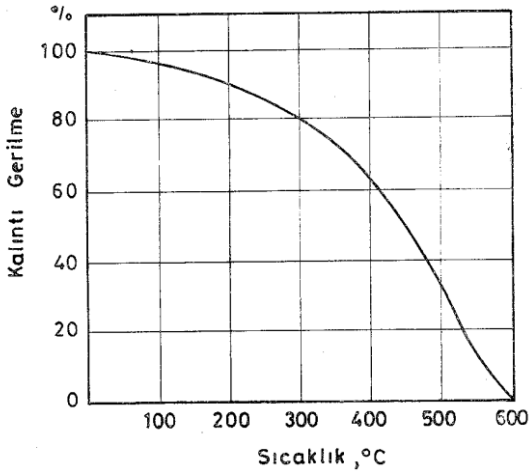
İsmi	Tanımı	Amacı
Normalizasyon	Ostenit sahasına ısıtma, havada soğutma	Yapıyı normal hâle getirme, taneleri küçültme
Yumuşatma (Annealing)	Ostenit sahasına ısıtma, fırında soğutma (en yavaş soğutma şekli)	İç yapıyı denge diyagramında görülen şekliyle elde etmek suretiyle malzemeyi yumuşatma (Haddeleme, çekme, dövme gibi işlemleri kolaylaştırmak için yapılır.)
Küreleştirme	A_1 sıcaklığının hemen altına kadar ısıtıp uzun süre (10-24 saat) tutma	Sementit levhalarını küreleştirmek suretiyle çeliği yumuşatma (yüksek karbonlu çeliğe süneklik kazandırmak için yapılır)
Su verme	Ostenit sahasına ısıtma, ani soğutma	Sertleştirme
Temperleme	A_1 sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar ısıtma, bu sıcaklıkta bir süre (1-2 saat) tutma ve havada soğutma	Daha önce herhangi bir nedenle sertleşmiş olan malzemeyi, iç gerilmelerini almak suretiyle yumuşatma (Kırılganlığı azaltmak için yapılır)

Şekil 6.3. Çeliğe uygulanan ısıl işlemler tablosu

Kaynak söz konusu olunca menevişleme-temperleme bizi ilgilendirir. Daha önceden kaynak işlemi sırasında

a)Makro seviyede genleşme ve büzülmelerden çekme gerilmeleri (artık gerilmeler)

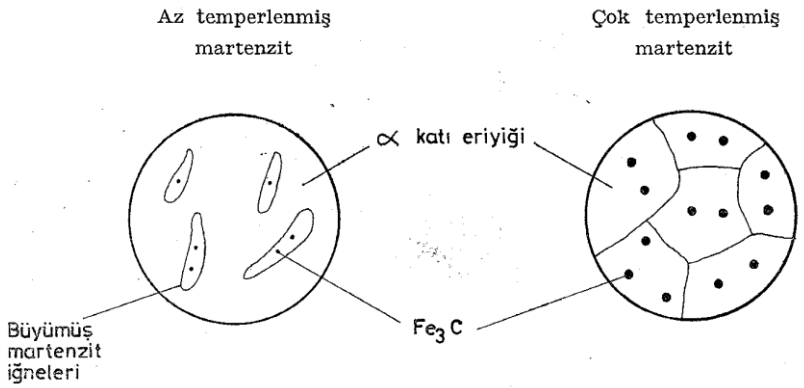
b)Mikro seviyede ön ısıtma,pasolar arası sıcak tutma ve ard ısıtmaya rağmen oluşmuş martenzit yapının doğurduğu iç gerilmeler doğmakta idi.



Şekil 6.4. İç gerilmelerin sıcaklıkla azaltılması

Temperleme-menevişleme ile (a) şıkkındaki makro seviyedeki ”artık gerilme” ler Şekil 6.4 deki diyagramdan görüleceği gibi başlangıç sıcaklıklarında gayet yavaş azalırlar. Fakat 600 ºCderecede sıfıra inerler. İç gerilmelerin tamamen giderilmesi için Şekil 6.1 deki gibi temper sıcaklığında bir süre beklenmelidir. Zira malzemeler yüzeyden ısıtılırlar, iç kısımlara aynı sıcaklığın ulaşması zaman alır. Bekleme süresi malzeme cinsi ve kalınlığına bağlıdır. Isıtma ve soğutma yavaş yapılmalıdır.

(b) şıkkındaki mikro seviyedeki iç gerilmelerin giderilmesi ise şöyle olmaktadır. Sıcaklık yavaş yavaş arttıkça içerde sıkışmış”C”atomları hareketlenirken (Fe) atomlarıyla Fe_3C yaparak çökelirler.Bünyede sıkıntı yaratan fazla “C”atomları kafesi terk ederken (Fe) atomları rahatlar denge konumuna girerler.Ve yapı kararlı martenzite dönüşür. Martenzit önceleri iğne halinden, ileri aşamalarda tane haline dönüşür. Karbürlerde önceleri küçük topluluklar iken,ileri aşamalarda büyür ve küresel hale gelirler (Şekil 6.5). Böylece hem sert, hem sünek hem mukavemeti yüksek, darbelere dayanıklı bir yapı doğar.



Şekil 6.5. Temperlenmiş martenzitin mikroskop altında şematik görünümü

BÖLÜM 7
KAYNAKTA ISIL İŞLEMİ GEREKLİ KILAN MALZEME KOŞULLARI

7.1. Giriş:

Havada soğuma sırasında sertlik kazanan malzemeler kaynak sonrasında gerilim giderme tavına ihtiyaç gösterirler. Sertleşmeyenler için buna gerek yoktur. Malzemelerde sertleşme eğilimi;

1- Kimyasal birleşime

2- Cidar kalınlığına bağlıdır.

Kaynak sonrası gerilim gidermeyi gerektiren malzemeler:

1-Ferritik çelikler

1.1-"C"lu çelikler

1.2-Düşük alaşımlı çelikler.

2-Yüksek alaşımlı (pazlanmaz) çeliklerin martenzitik türleri.

Kaynak sonrası gerilim gidermeyi gerektirmeyen malzemeler:

1-Ostenitik yapılı paslanmaz çelikler.

2-Ni ve alaşımları

3-Al ve alaşımları*

4-Cu ve alaşımları*

5-Titanyum ve alaşımları*

*** :** Isıl işleme ihtiyaç gösteren türleri vardır.

Tabloda kaynak sonrası ısıl işlem gerektiren ve gerektirmeyen malzemeler gösterilmiştir.Kimyasal birleşim açısından, ısıl işlem , ferritik yapıdaki çeliklere has bir sorundur.Tabloda yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklerin martenzitik yapıda olanları da verilmiş olmasına karşılık bu malzemelerin kaynağına nadir rastlanır. Hiç sorunu olmayan malzemeler ostenitik paslanmaz çelikler, nikel ve nikel alaşımlarıdır.Al, Cu ve bunların alaşımları normalde kaynak sonrası ısıl işleme gerek duymazlar. Fakat ısıl iletkenlikleri yüksek olduğu için ön ısıtmaya ihtiyaçları vardır.

Unutulmamalıdır ki, soğuk mevsimde bütün malzemeler ön ısıtma isterler. 10 ºC yüzey sıcaklığının altında hiçbir malzemeye kaynak yapılmaz.

Cidar kalınlığı açısından;

Kalın cidar, kaynak dikişinin soğuma hızını artırır, sertleşme eğilimi teşvik eder. Kritik bir kalınlıktan sonra ısıl işlem yapmak kaçınılmaz olur.

Kaynak dikişinin, içinde yer aldığı konstrüksiyonun rijitliği de ısıl işlemi gerektirebilecek faktörler arasındadır. Kaynak bölgesinin serbestçe genleşmesi ve sonrada çekmesi başka yapı elemanları tarafından engelleniyorsa o dikişte iç gerilmeler oluşacaktır. Bunları azaltmak ve gidermek için ısıl işlem gerekebilir.

7.2 Karbonlu Çeliklerin Kaynağı

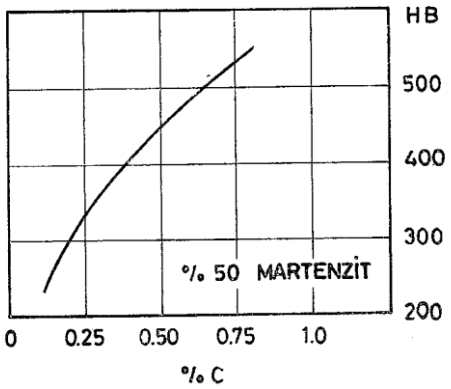
Kaynaklanabilirlik yönünden yalın karbonlu çelikler üç gruba ayrılırlar:

Düşük"C"lu çelikler:

İçerisinde %0,25C dan daha az "C"içeren bu çeliklerin kaynağı ısıl işlem gerektirmez. Kaynaklı yapının pek çoğu bu guruba girer.Bu guruba giren malzemeler için elektrod seçmek problem değildir.

Çeliğin "C"oranı %0,20nin altında ise ona istense de su verilemez. St 37 bu gruba girer. Kaynak kabiliyeti gayet yüksektir. Çatlama tehlikesi yoktur.

Çeliğin "C"oranı %0,25in üzerine yavaş yavaş çıkıldıkça sertleşme artar. Kaynak kabiliyeti de azalır.



Şekil %50martenzit verecek bir soğutma hızı için çizilmiştir.

Orta “C” lu Çelikler:

İçerisinde %(0,25-0,50) C ihtiva ederler. Bu tip malzemeler ısıl işlem gerektirirler. (St42-St70) arası çelikler bu guruba dahildirler. Özellikle kalın cidarlı parçaların kaynağında ısıl işlem kaçınılmazdır. Ön ısıtma yapılırsa, kırılgan karakterli martenzit oluşumu azaltılır.
Eğer kaynak ağzı geniş tutulursa, çok pasolu yapılırsa ,soğuma hızı azaltılır. Böylece ısıl işlem ihtiyacı gerekmeyebilir. Çelik içindeki”C”oranı artıkça elektrod seçimi önem kazanmaktadır. Çünkü martenzit kırılganlığına birde hidrojen kırılganlığının eklenmesi için hidrojeni düşük elektrot kullanılmalı ve elektrotlar kurutulmalıdır.

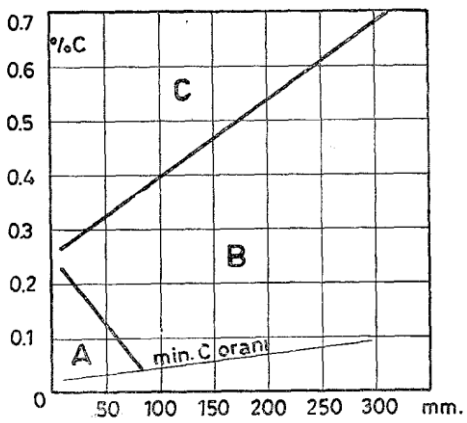
Yüksek “C”lu çelikler:

İçerisinde %0,50’den fazla “C”ihtiva ederler. Bu çelikleri çatlatmadan kaynak etmek zordur. Kaynak kabiliyeti iyice azalmıştır. Isıl işlemin ön ısıtma,pasolar arası sıcak tutma , ard ısıtma ve gerilim giderme gibi her kademesini uygulamak ve hidrojeni düşük elektrot kullanmak bir zorunluluktur.

Tablo 1. Karbonlu çeliklerin kaynağında ısıl işlem gereksinimi

Grup ismi	**%C**	**Ön ısıtma**	**Gerilme Giderme**
Düşük”C”lu	<0,25	Gereksiz	Gereksiz
Orta”C”lu	0,25-0,50	Gerekli	Gereksiz
Yüksek”C”lu	>0,50	Zorunlu	Zorunlu

Kaynak dikişinin sertleşip çatlaması üzerinde cidar kalınlığının da önemli etkisi vardır(Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Karbonlu çeliklerin kaynağında cidar kalınlığına ve karbon oranına bağlı ısıl işlem gereksinimi

Şekil 7.2 de A bölgesi, ”C”oranı hem de cidar kalınlığı açısından düşüktür. Kaynak kabiliyeti bu bölgede yüksektir.Isıl işleme gerek yoktur. B bölgesi,ön ısıtma gereklidir. C bölgesi; hem ön ısıtma, hem de gerilim giderme gereklidir.

7.3 Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı:

Bu çeliklerin kaynağı “C”lu çeliklerin kaynağından daha fazla sertleşme eğilimine sahiptir. Sertleşme eğilimi yüksek olunca,yavaş yavaş soğuma halinde dahi martenzit teşekkül edecek demektir. Alaşım katkıları artıkça, sertleşme kabiliyetleri artar. Kaynaklanabilirlikleri azalır.

Alaşımlı çeliklerin kaynaklanabilirliklerini KARBON EŞDEĞERİ(CE)terimi tayin eder.Ve,

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5} + \frac{Cu}{13}$$ veya

$$Ces = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

.

Bu formülün geçerli olduğu koşullar;

Üst sınır(%)	
C	0,50
Mn	1,60
Ni	3,50
Cr	1,00
Mo	0,60
Cu	1,00

Formüle göre “C”’dan sonra kaynaklanabilirlik üzerine en fazla etkili olan katkı elamanları sırasıyla Mo, Cr ve V’dır. Ni ve Cu kaynakta daha az sorun yaratırlar. Bu;

1- Cr-Mo ve Cr-V gibi düşük alaşımlı çelikler ancak ısıl işlem yapılarak kaynak edilebilirler.
2-Ni alaşımları düşük alaşımlı çelikten sınıfındadır. Kaynaklarında ısıl işlem problemi olmaz.
Düşük alaşımlı çelikler CE yönünden 3’e ayrılırlar (Tablo 2). CE düşük çelikler ısıl işlemsiz kaynatılabilirler, CE yükseldikçe ısıl işlem giderek gereklilik ve sonunda zorunluluk kazanır.

Tablo 2. Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ısıl işlem gereksinimi

CE %	**Ön ısıtma**	**Gerilim giderme**
<0,40	Gereksiz	Gereksiz
0,40-0,60	Gerekli (100-200 ºC)	Gereksiz
>0,60	Zorunlu (200-350 ºC)	Zorunlu

$t_{önıs}$=350 CE-0,25 [ºC]

BÖLÜM 8
KAYNAKTA ISIL İŞLEMİ GEREKLİ KILAN İŞLETME KOŞULLARI

8.1. Giriş:

Isıl işlemi gerekli kılan işletme koşulları iki ana grupta toplanabilir.

8.1.1. İşletme Şartlarının Malzemeyi Etkilemesi:

Malzeme işletme şartlarından etkileniyorsa bu etki, iç gerilmelerinde katılmasıyla artıyorsa gerilim giderme tavı yapılması akılcı bir önlem olur.Çevrenin malzeme üzerinde; a-Hidrojen kırılganlığı

b-Gerilim korozyonu

c-Soğukta gevrekleşme

olarak üç etkisi vardır. İlk iki etki önceki konularda anlatıldı.”C”şıkkı üzerinde durulacaktır.

8.1.2. Güvenliğin Pekiştirilmesi:

Hayati tehlikenin olduğu hallerde maliyet 2. planda kalır.Can güvenliğini arttırıcı ilave işlem ve kontrollerden kaçınılmaz.Kaynak sonrası gerilim giderme bunlardan biridir. Devrenin, basıncı, sıcaklığı ve malzemesi normal olarak gerektirmese bile bu işlem yapılır.

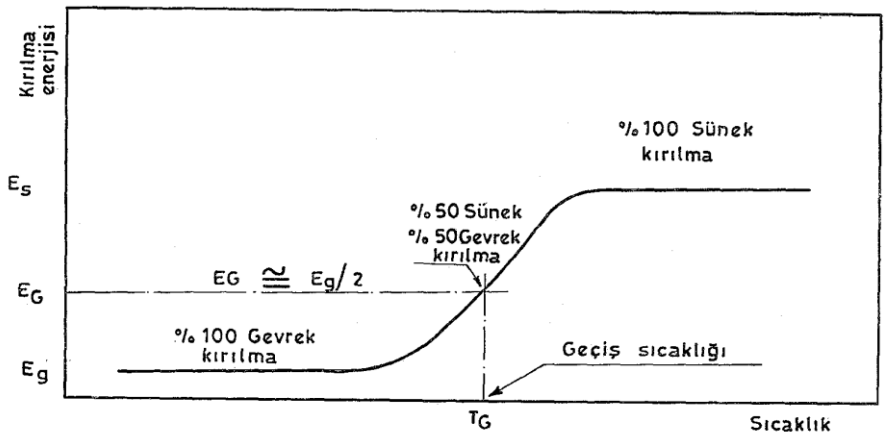
Örnek 1: Siyanür (HCN, hidrojen siyanür) zehirlerin en keskinidir. Havada müsaade edilen dozu 10 ppm kadardır. Petro kimya tesislerinde üretilen bir yan üründür. Siyanür korozif bir madde değildir. Bu nedenle”C”lu çelikten yapılmasında bir sakınca yoktur. Fakat kullanacak malzeme kusursuz olmalıdır. Kaynak dikişleri de kusursuz olmalıdır. Düşük basınç ve sıcaklıkta çalışan bu devreler %100 radyografik kontrolden geçirilmelidir. Ayrıca malzeme ve cidar kalınlığı açısından zorunlu olunmasa bile kaynak dikişlerine gerilim giderme tavı uygulanmalıdır.

8.2. Soğukta Gevrekleşme:

Ferritik çelikler (“C”lu ve düşük alaşımlı çelikler) soğukta gevrekleşirler. Gevrekleşme, darbe direncinin azalması çentiğe duyarlılığın artması demektir. Gevrekleşmeyi en iyi ölçen standart yöntem ÇENTİK DARBE DENEYİ dir. Bu deneyde çentik açılmış numuneyi tek bir çekiç darbesinde kırmak içi harcanan kinetik enerji,çeliğin sünekliliğinin bir ölçüsüdür. Sünek

malzemeyi kırmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır.Gevrek malzeme daha az enerjiyle kırılır.

Sıfırın altındaki sıcaklıklarda çalışan çelik parçaların yüzeylerinin pürüzsüz olması gerekir.Hatta zımba ile işaret dahi konmamalıdır.



Şekil 8.1. Ferritik çeliğin çentik-darbe dayanımının sıcaklıkla değişimi

Şekil 8.1 de tipik çentik darbe eğrisi görülmektedir. Bu eğri ferritik çelik için çizilmiştir.Sağda ve soldaki yatay denebilecek kısımlar tam gevrek ve tam sünek davranışı simgelerken ortada kalan belli bir sıcaklık aralığında çelik karakter değiştirir. Geçiş bölgesi adı verilen bu bölgede kırılma %50 sünek, %50 gevrek olarak gerçekleşir.

8.3. Soğuktan Etkilenmeyen Malzemeler:

YMK Kristal kafesine sahip metaller ve alaşımlar soğuktan etkilenmezler.Al, Ni, Cu ostenitik paslanmaz çelik bu tip kristal kafese sahiptirler, soğuktan etkilenmezler. Bu tip malzemeler için çentik darbe deney yapmaya gerek yoktur. İçlerinde –240 ºC ye kadar sünekliklerini koruyanları vardır.

Tablo 1. Soğuktan etkilenmeyen malzemeler

Al		Tp 304	
Ni	ve alaşımları	Tp 347	Ostenitik Paslanmaz
Cu		Tp 321	Çelikler
		Tp 316	

Çok soğuk ortamların başlıca malzemeleri,ucuz olması nedeniyle Al ve alaşımları, basınçlı devrelerde ise ostenitik paslanmaz çelik ve onun en ucuz türü (Tp304) olanıdır.

8.4. Normal Ferritik Çeliklerin Soğuktan Etkilenmeleri:

Malzemeler sünekliliklerini korudukları sıcaklıklarda kullanırlar.Gevrekleştikleri sıcaklıklar yasaktır. Atmosferik sıcaklık ve bunun üzerinde kullanılmak için imal edilen ferritik çelikler (-29 ºC) soğukluğa kadar sorun yaratmadan kullanırlar. Ferritik çeliğin sünekliliğini soğukta devam ettirmesi onun mekanik özellikleriyle ilgilidir.

Çekme dayanımı(kp/mm^2)	-29 ºC sıcaklığa kadar kullanma şartları
> 60	Kullanılamaz.
50-59	Zorunlu hallerde ve özel önlemler alınarak kullanılır.
43-49	Kaynak sonrası gerilim giderme yapılarak kullanılır.
< 42	Ön koşulsuz kullanılır.

-29 ºC sıcaklığın altında çalışacak ferritik çelikler soğuk için özel imal edilirler. Ferritik çeliği soğuğa dayanıklı kılmak için iki imkan vardır.

1-Bünyeyi yabancı kalıntı ve kusurlardan arındırmak ve tane yapısını küçültmek
2-Ni ile alaşımlandırmak.

Bu nedenle soğukta çalışacak ferritik çelikler iki ana gruba ayrılırlar.

1-Tam Sakin İnce Taneli"C"lu Çelikler

Erimiş haldeki çeliğin içinde erimiş bulunan (O_2) gazını almak ve tane yapısını küçültmek onun soğuğa karşı dayanıklılığını arttırır. Bunlar ilave işlem gerektirdiğinden maliyeti yüksektir.Böylece "C"lu Çelik –49 ºC derece kadar soğukta dayanabilir.

Ergimiş çeliğin içindeki oksijen gazını almaya SAKİNLEŞTİRME denir. Zira sıvı çelik fırından potaya ,potadan ingot kalıba dökülürken içinde haps olmuş gazların ve özellikle oksijenin o an kaçmakta olması sebebiyle fokur fokur kaynar. İşte bu gazlı çeliğe KAYNAR çelik adı verilir.Fakat ergimiş sıvı çelik içerisine (Si) ve (Al) gibi oksijene ilgisi olan elamanlar karıştırılırsa, bunlar oksijeni derhal bağlarlar. Ve oksit halde cüruf olarak yüzeyde

toplanırlar.Bu işleme SAKİNLEŞTİRME adı verilir.İşlemin derecesine göre YARI SAKİN ve SAKİN olarak adlandırılır.

İkinci işlem tane küçültmektir.Bunun için ergimiş çelik içine yine bir miktar (Al) katılır. Al tanelerin sınırlarında çökelir ve tanelerin büyümesini önler. Komşu tanelerin birbirine kaynamasına engel olurlar. Tane küçültmek için V, Zr, Nb elementleri de katılmaktadır.

Bu elementte Avrupalılar Niobium, Amerikalılar Columbium diyorlar. Sakinleştirme ve tane küçültme çeliğin soğuğa ve basınca dayanımını arttırır.

2. Nikel Alaşımlı Çelikler:

Ferritik yapılı çeliklere (Ni) katkısı çeliğin soğuğa dayanımını şaşılacak nisbette arttırır. Sakinleştirme bu tür çeliklere de uygulanır.Ayrıca (Ni) tıpkı (Al) gibi tane küçültücü etki yapmaktadır. (Ni) miktarı sırasıyla %2 - %3,5 - %9 katılmak suretiyle –73, -101, -196 ºC soğuk sıcaklıklara kadar inebilir.

Ayrıca cidar kalınlığı azaldıkça C'lu çelik daha derin soğuklara dayanabilir. Diğer taraftan kaynak sonrası gerilim giderme işlemi de karbonlu çeliğin soğuğa tahammülünü önemli ölçüde arttırır.

BÖLÜM 9
KAYNAK HATALARI

9.1 Çatlaklar

En tehlikeli kaynak hatasıdır. Ergitme kaynağında; esas metalde, kaynak metalinde veya ısının tesiri altındaki bölgede ortaya çıkar.

Çatlak görünüşleri bakımından aşağıdaki biçimde sınıflandırılır:

a-) Boylamasına çatlaklar (Şekil 9.1).

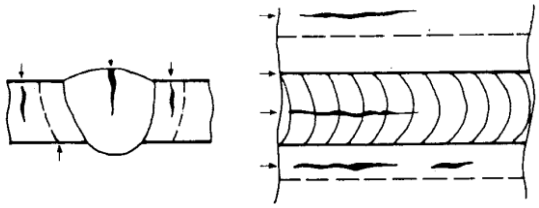
b-) Enlemesine çatlaklar (Şekil 9.2.a).

c-) Yıldız çatlaklar (Şekil 9.2.b).

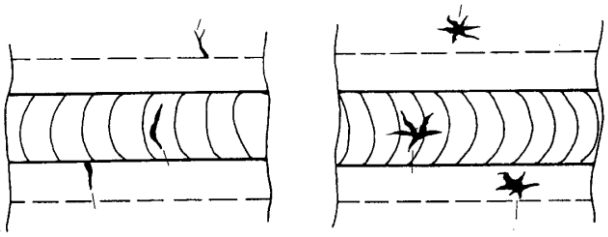
d-) Krater çatlaklar (Şekil 9.3).

e-) Dağınık çatlaklar (Şekil 9.4).

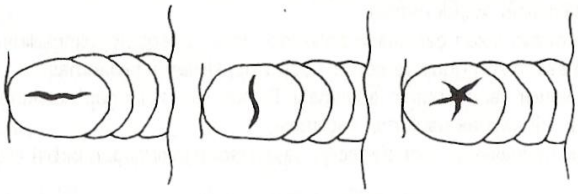
f-) Mikro (kıl) çatlaklar



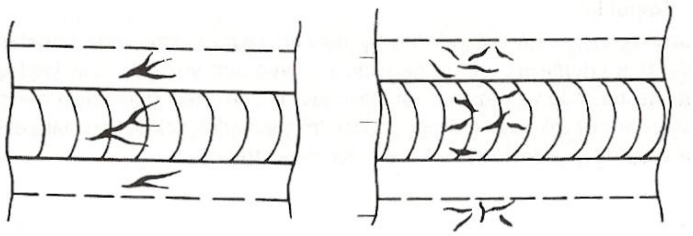
Şekil 9.1. Boylamasına çatlaklar



Şekil 9.2. Enlemesine ve yıldız çatlaklar



Şekil 9.3. Krater çatlaklar



Şekil 9.4. Dağınık ve dalgalı çatlaklar

9.1.1. Kaynak metali çatlakları

Kaynak metalindeki bölgesel gerilmelerden dolayı meydana gelirler. Bu çatlaklar; enlemesine, boylamasına, krater, yıldız veya dağınık çatlaklar şeklinde olabilir. Çatlağı meydana getiren gerilmeler; kaynak metalinin kendini çekmesi ve bu çekmenin engellenmesi sebebiyle ortaya çıkar. Kaynak metalinde meydana gelen çatlakla, aşağıdaki sebeplerden dolayı ortaya çıkar:

a-) Kaynak yapılacak parçaların, birbirine iyi intibak etmemeleri,

b-) Kaynak ağızlarının düzgün olmaması;

c-) Nüfuziyet azlığı,

d-) Kalıntılar,

e-) Malzemenin bileşiminde kükürt oranının yüksek olması,

f-) Malzemenin sünekliğinin düşük olması,

Kaynak metalinde meydana gelen çatlakların önlenebilmesi için, şu tedbirleri alınmalıdır:

a-) Kaynak işlemi sırasında, dikiş kendini kolayca çekebilmelidir.

b-)Bilhassa kalın sacların ve sabit parçaların kaynağında; dikişin çekme gerilmelerine dayanabilmesi için, pasolar geniş olarak çekilmelidir.

c-) Parçalar birbirlerine iyi şekilde uydurulmalı ve uygun kaynak sırası takip edilmelidir.

d-)Kök pasosunda meydana gelen çatlaklar ortadan kaldırılmadan, sonraki pasolar yapılmamalıdır.

e-) Enine çatlakların önlenmesi için, sünekliği yüksek elektrodlar kullanılmalıdır.

9.1.2. Esas metal çatlakları

Bu tür çatlaklar genellikle, yüksek mukavemetli ve yüksek karbonlu çeliklerde ısının tesiri altındaki bölgede meydana gelir. Bunun sebebi de, bu bölgenin kaynak esnasında sertleşmesidir. Esas metalde meydana gelen çatlakların sebepleri şöyle sıralanabilir:

a-) Esas metalin bileşiminin sertleşmeye sebep olması,

b-) Levhaların kalınlığının fazla olması,

c-) Düşük ısı girişi ile kaynak yapılması,

d-) Ortam sıcaklığının düşük olması

Esas metalde ortaya çıkan çatlakların önlenmesi için, şu tedbirler alınmalıdır:

a-) Parçaların kaynaktan önce ve sonra, uygun sıcaklıklarda tavlanması,

b-) Parçalara verilen ısı miktarının artırılması. Bunun için, kalın çaplı elektrod kullanılması veya uygun bir kaynak usulünün seçilmesi,

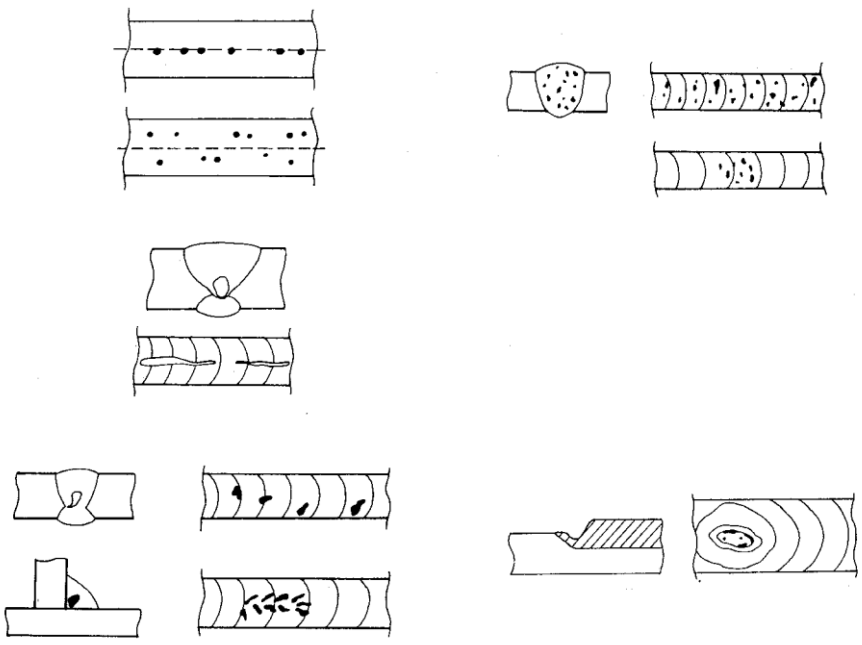
c-) Çok pasolu kaynaklarda, pasolar soğumaya fırsat bırakılmadan birbiri ardına çekilmelidir.

d-) Düşük sıcaklıklarda çalışırken, bazik elektrodlar kullanılmalıdır.

9.2. Boşluklar

Gözenek olarak da adlandırılan bu hatalar; kaynak esnasında meydana gelen gazların dikişi terk edemeyip, içerde haps olması veya tam yüzeyde iken katılaşmanın tamamlanması neticesinde ve bazen de metalin kendini çekmesi dolayısıyla meydana gelirler.

Boşluklar düzenli veya gelişigüzel dağılmış yuvarlak şekilli, kanallar şeklinde metal içerisinde veya dikiş yüzeyinde bulunabilir (Şekil 9.5).



Şekil 9.5. Boşluklar

Kaynak metalinde meydana gelen boşlukların teşekkülü üzerinde, aşağıdaki faktörler etkili olmaktadır:

a-) Esas metal kimyasal bileşimi,

b-) İlave metalin (kaynak teli veya elektrod) kimyasal bileşimi,

c-) Esas metal ve ilave metalin, kükürt miktarının fazla olması,

d-) Elektrod örtüsünün rutubetli olması,

e-) Düşük akım şiddeti ile kaynak yapılması,

f-) Çok uzun veya kısa ark boyu ile kaynak yapılması,

g-) Ergimiş kaynak banyosunun çabuk soğuması,

h-) Kaynak ağızlarının kirli olması,

i-) Oksi-asetilen kaynağında karbonlayıcı bir alev kullanılması.

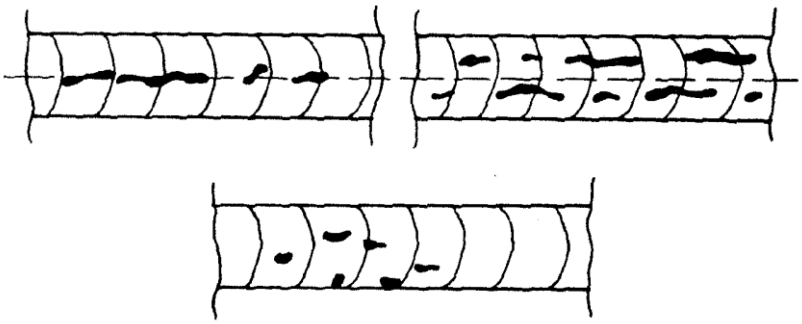
Kaynak dikişinde bulunan gözenekler; dikiş kesitini azaltmanın yanında, gerilme yığılmalarına ve çentik teşekkülüne sebep olurlar. Bu nedenle bağlantının mukavemetini azaltırlar. Gözeneklerin meydana gelmemesi için, yukarıda sayılan sebeplerin ortadan

kaldırılması gerekir. Yani gaz meydana gelmesi veya meydana geldiği takdirde dikişi kolayca terk etmesi temin edilmelidir.

9.3. Kalıntılar

Kalıntılar; kaynak metalinde bulunabilecek dekapan ve kaynak tozu kalıntıları, oksit kalıntıları ve ağır metal kalıntılarıdır. Örnek olarak; alüminyumun kaynağında teşekkül eden Al_2O_3 ‘ in kaynak metali içerisinde kalması, tungsten kalıntıları verilebilir.

Elektrik ark kaynağında; elektrod örtüsü veya kaynak tozundan teşekkül eden cüruf parçacıkları, devamlı veya kesikli hatlar şeklinde kaynak metali içerisinde kalabilir (Şekil 9.6).



Şekil 9.6 Kaynak dikişinde kalıntılar

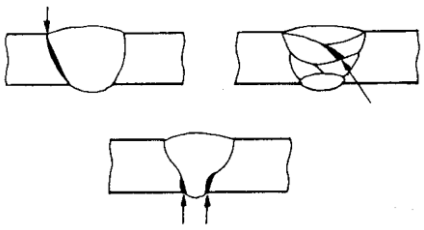
Çok pasolu kaynakta; pasolar arasındaki cürufların tam olarak temizlenmemesi, kalıntılara sebep olur.

Cüruf kalıntıları, mukavemeti düşürür ve çatlakların oluşumuna sebep olur. Kalıntıların önlenmesi için; erimiş banyo hareketlerinin kontrolü, pasolar arasında cürufların iyi temizlenmesi gerekir.

9.4. Yetersiz Erime

Kaynak metali ile esas metal veya çok pasolu birleştirmede pasolar arasında ortaya çıkan birleşme azlıklarıdır (Şekil 9.7).

Oksi-asetilen kaynağında, uygun güçte üfleç kullanılmaması sebebiyle ortaya çıkan yetersiz erimenin, elektrik ark kaynağındaki nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:



Şekil 9.7. Yetersiz erime hatası

a-) Cüruf, oksit ve diğer metalsel olmayan kalıntıların bulunması,

b-) Elektrodun yanlış bir açı ile tutulması,

9.5. Nüfuziyet Azlığı

Ergimenin bütün malzeme kalınlığı boyunca olmaması şeklinde ortaya çıkan, kaynaklanmamış kısımların bulunmasıdır. Elektrik ark kaynağında bu hata, aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana gelir:

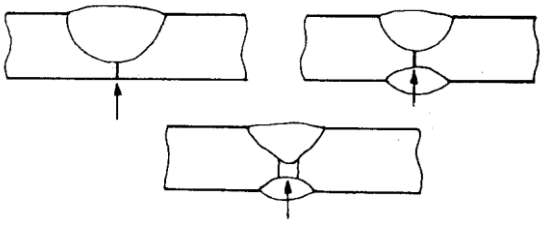
a-) Uygun elektrod çapının seçilmemesi,

b-) Uygun akım şiddetinin seçilmemesi,

c-) Kaynak ağzının uygun olmaması,

d-) Kök pasosunun kötü çekilmesi.

Bu hatanın önlenmesi için; uygun akım şiddeti ve elektrodun seçilmesi, uygun kaynak ağzının yapılması lazımdır. Şekil 9.8'de nüfuziyet azlığı, şematik olarak verilmiştir.

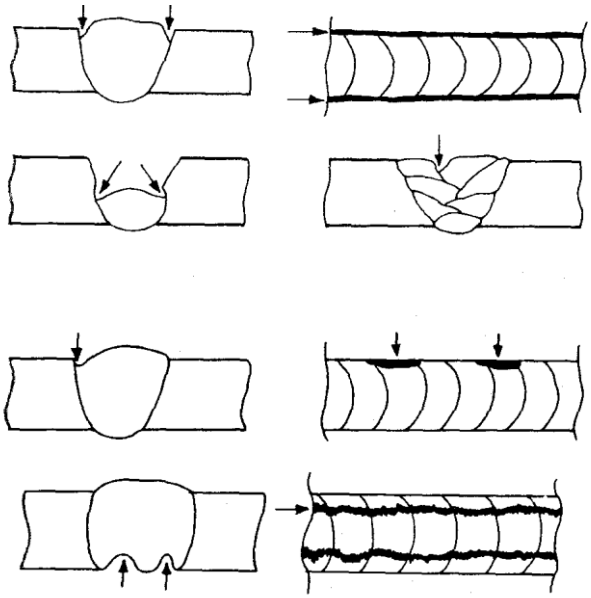


Şekil 9.8. Nüfuziyet azlığı

9.6.Dış Yüzey Hataları

9.6.1. Yanma olukları

Esas malzeme ve dikiş kenarlarında, yanmadan dolayı meydana gelen oluk ve çentikledir (Şekil 9.9).



Şekil 9.9. Yanma Olukları

Yanma olukları şu sebeplerden dolayı meydana gelir:

a-) Akım şiddetinin yüksek olması,

b-) Hızlı kaynak yapılması,

c-) Elektrod veya üflecin büyük olması,

d-) Elektrod, kaynak teli veya üflecin fazla zikzaklı hareketler yapması,

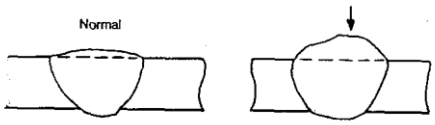
e-) Elektrodun yanlış açı ile tutulması,

f-) Esas metalin aşırı derecede paslı ve elektrodun rutubetli olması.

Yanma oluklarının önlenmesi için, yukarıda sayılan sebepleri ortadan kaldırıcı tedbirlerin alınması gerekir. Yanma olukları çentik etkisi yapar.

9.6.2. Aşırı metal yığma

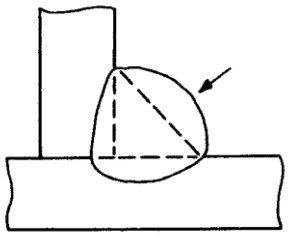
Dikiş üzerine gereğinden fazla, kaynak metali yığılmasıdır (Şekil 9.10). Aşırı metal yığma, malzeme israfından başka; gerilme dağılımını da bozar. Kaynak hızının veya elektrod çapının yanlış seçilmesi neticesinde ortaya çıkar.



Şekil 9.10. Aşırı metal yığma

9.6.3. Fazla dışbükey iç köşe dikişi

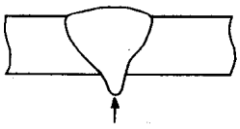
Düşük akım şiddetiyle kaynak yapılması halinde ortaya çıkar (Şekil 9.11). Gereksiz malzeme yığılması ve çentik etkisi sebebiyle, zararlı bir kaynak biçimidir.



Şekil 9.11 Fazla dış bukey iç köşe dikişi

9.6.4. Fazla sarkık (fışkırmış) dikiş

Kaynak dikişinin arkasında meydana gelir (Şekil 9.12). Bunun sebebi, ergimiş metalin katılaşması esnasında ortaya çıkan gazlardır. Gaz miktarının fazla ve katılaşma süresinin uzun olması durumunda meydana gelir.

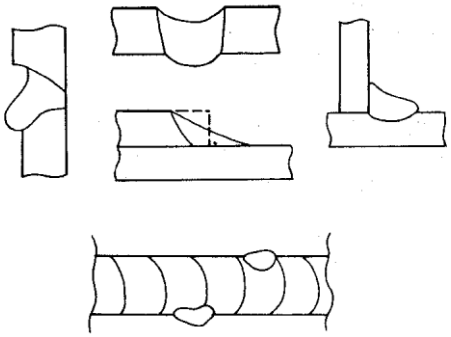


Şekil 9.12 Fazla sarkık dikiş

Bilhassa; %0,20'nin üzerinde karbonlu çeliklerde, manganez ve silisyum oranlarının düşük olduğu hallerde ortaya çıkar.

9.6.5. Birleşme olmadan kaynak metalinin esas metal üzerine taşması

Elektrik ark kaynağında yanlış el hareketi neticesinde meydana gelir (Şekil 9.13). Bilhassa; eğik ve dik düzlemlerde yapılan kaynaklarda ortaya çıkar. Elektrod tutuş açısı ve hareketinin yanlış olması, akım şiddeti ve ark boyunun fazla olması bu hataya sebebiyet verir. Dinamik yüklemelerde, gerilme yığılmasına sebep olur.



Şekil 9.13 Kaynak dikişinde taşma ve akma

9.6.6. Sıçramalar

10. KAYNAK KALİTESİNİN MUAYENESİ

10.1 Tahribatsız Muayene

Bazı hataların sistemin çalışma davranışları ve çatlak ilerlemesi bakımından önemi büyüktür. Bu durumda bir kaynaklı yapının güvenle kullanılması isteniyorsa, kaynakta kabul edilmeyecek cins ve büyüklükteki hataların mevcut olup olmadığını muayene etmek için kullanabileceğimiz bazı vasıtalara sahip olmamız gerekir. Bu vasıtalarla muayeneden sonra kaynak bağlantısının kullanıma uygun bir durumda olması gerektiği de açıktır. Bir başka ifadeyle, söz konusu muayenenin tahribatsız muayene yöntemleri (N.D.T) ile yapılması gerekmektedir.

Kaynak inspektörünün kullanabileceği çok sayıda N.D.T. teknikleri mevcuttur. Ancak ya cihazların pahalı olması nedeniyle ya da işçilik maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, bunlar çoğu kez pahalıdır. Her bir yöntemin kendine özgü sınırları vardır ve her işe uygun bir muayene sistemi mevcut değildir. Kaynak bağlantısının muayenesi. seçilen tekniğin ilgilendiğimiz hataları tespit etmeye yeterli olmasını sağlayacak biçimde, dikkatli bir şekilde planlanmalıdır.

Deney yapılmadan önce kabul standartlarının belirtilmesi de önemlidir; çünkü bu gerekli hassasiyetin ne olduğunu belirtecektir. Bu şartlarda hassasiyeti, kesin olarak tespit edilebilen en küçük hata anlamında alabiliriz. Bir deney yöntemi 2 mm uzunluktaki çatlaklardan daha küçüklerini tespit edemiyorsa, l mm'den büyük çatlakların kabul edilemeyeceğim belirtmenin hiç bir anlamı yoktur. Böyle bir dunun sahte bir emniyet duygusu sağlar. Kullanılan muayene tekniği ile herhangi bir hata ortaya çıkarılmadığı zaman kaynağın hatasız olduğunu söylemek de yanlıştır Böyle bir durumda söylenmesi gerekli en mantıklı şey, tespit edilmiş bir hatanın olmadığıdır.

N.D.T.'nin bize bir kaynağın kabul edilebilir olup olmadığını söyleyemediğine de dikkat etmemiz gerekir. Bir rapor halinde belirtebileceğimiz tüm bilgiler, ortaya çıkarılan hata tiplerinin bir listesi, bunların boyutları ve bunların bağlantıda işgal ettiği yerlerden ibarettir.

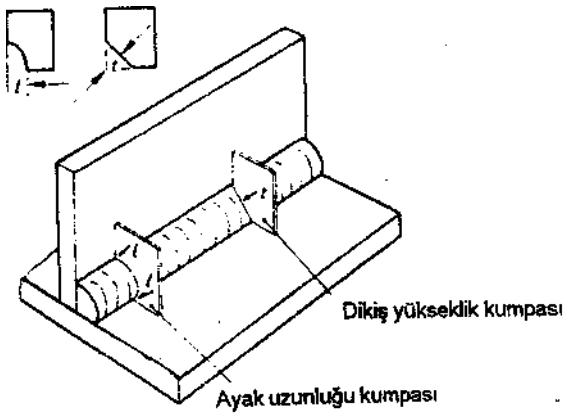
N.D.T. ile saptanan hataların boyutlarının, tasarımcı tarafından hesaplanmış olan ve kaynaklı yapının çalışma ortamında hasara uğramadan tölere edebileceği hata boyutlarından daha büyük olup olmadığına karar verme yetkisi sigorta eksperi, müşteri temsilcisi veya üretim içi inspektörü gibi kabul otoritelerine aittir.

10.2 Gözle Muayene

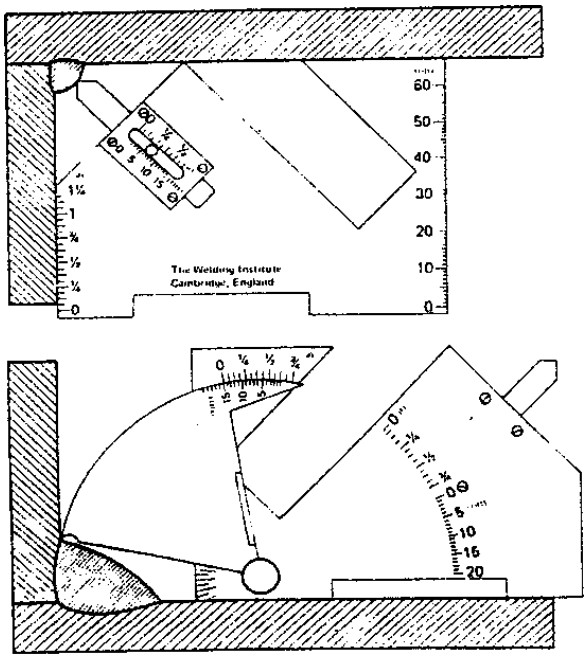
Kaynak birleştirmelerine uygulanan N.D.T.'nin, daha sonra etraflı bir şekilde etüt edeceğimiz radyografi veya ultrasonik hata tespitinden ibaret olduğunu düşünmek genelde yapılan bir yanlıştır. Tecrüben bir inspektör yukarıdaki tekniklerden herhangi birini kullanmadan evvel bağlantıyı gözle muayene edecektir. Genelde hatalar çıplak gözle ortaya çıkarılabilir ve bu safhada düzeltilebilir veya tamir edilebilir. Gözle muayenede aşağıdaki üç hususa dikkat edilmelidir:

a) Kaynağın boyutları (özellikle iç köşe kaynaklarında, Şekil 10. l ve 10.2),

b) Tek taraflı kaynaklı bağlantılardaki nüfuziyet.



Şekil 10.1. Üniversal kaynak geyci (Kaynak Enstitüsü): Üstte dikiş kalınlığı ölçümü; altta ayak uzunluğu ölçümü.



Şekil 10.2. Basit iç köşe kaynağı geyçleri.

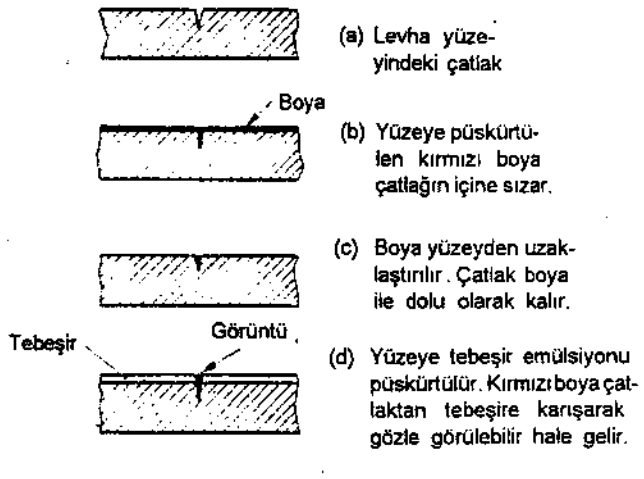
10.3 Yardımcı gereçler kullanarak göz ile muayene

İyi bir aydınlatma altında bile çatlakların göz ile muayene yoluyla tespiti genellikle zordur. Bir çatlağın mevcudiyeti ya penetran sıvı ya da magnetik toz teknikleri kullanılarak daha belirgin bir şekilde ortaya çıkarılırsa, muayenenin etkinliği ve hızı arttırılmış olur.

10.3.1 Penetran sıvı muayenesi

Düşük yüzey gerilimine sahip bir sıvı kaynak bağlantısının yüzeyine dökülecek olursa, bu sıvı metali ıslatır ve üniform biçimde akar (Şekil 10.3). Özellikle de bir çatlağın veya boşluğun içine sızar. Esas metalin ve kaynağın yüzeylerinin silinip temizlenmesi sonucunda da sıvı sadece çatlak içinde kalır. Bundan sonra temiz yüzey üzerine absorbant bir tebeşir tozu tabakası serpilecek olursa, sıvı çatlaktan dışarıya doğru çekilir. Sıvıya kırmızı boya ilâve edilerek çatlağın bulunduğu yerler tebeşir tozu üzerindeki kırmızı lekeler yoluyla ortaya çıkarılır.

Bir başka yol da, ultraviyole ışığı altoda parlayan flöresan maddeler içeren sıvıları kullanmaktır.



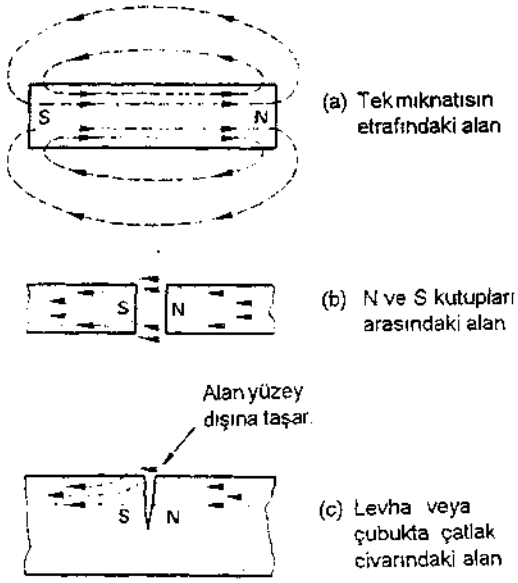
Şekil 10.3. Penetran sıvı ile muayenenin prensipleri.

Penetran sıvı muayenesi için gerekli ekipman kolaylıkla taşınabilir olduğundan bu yöntemin imalathanede veya sahada kullanılması çok kolaydır. Sıvı, sıvı giderici ve tebeşir developer sprey kutularında pazarlanmaktadır. Tebeşir developer ile flöresan ışığı arasındaki seçim yerel şartlara bağlı olarak yapılır. Flöresan sıvı çatlağın ana hatlarını biraz daha iyi bir şekilde verir; ancak muayene sırasında geri plandaki ışığın yumuşak tonda olması gerekir. İlave olarak ultraviyole lambası bir güç ünitesi gerektirir. Buna karşılık tebeşir developerın kullanılması daha fazla zaman gerektirir ve eğer kaldıysa sıvı, tebeşir yüzeyi boyunca yayılır; belirtiye daha yayılmış bir görüntü verir.

10.3.2 Manyetik Toz ile Muayene

Çelikler gibi ferro-manyetik malzemelerin muayenesinde, yüzey çatlaklarının ortaya çıkarılmasında kullanılabilecek diğer bir yöntem de manyetik toz ile muayenedir. Bu teknik de çatlak içinde bir manyetik alan yaratılır ve bu alan demiroksit tozlarını çekmek için kullanılır.

Çubuk şeklinde bir mıknatısı göz önüne alalım (Şekil 10.4). Mıknatıs içinde kuvvet çizgileri çubuğun bir ucundan diğer ucuna doğru, yani S' den N kutbuna doğru gider. Aynı zamanda mıknatısın etrafında da bir manyetik alan mevcuttur. Çubuk üzerine serpilen demir tozu kuvvet hatlarının birbirine yaklaştığı kutuplarda toplanır. Eğer bir mıknatıs diğer mıknatısın yanına, mıknatısın N kutbu ilk mıknatısın S kutbunun karşısına gelecek şekilde yaklaştırılırsa., kuvvet hatları iki mıknatısın arasından geçer. Demir tozlan bu yeni düzenleme üzerine serpilecek olursa, N ve S kutuplan arasındaki boşluğun etrafında ve içinde toplanırlar.



Şekil 10.4. Çubuk mıknatıs etrafındaki ve bir çatlaktaki manyetik alanlar.

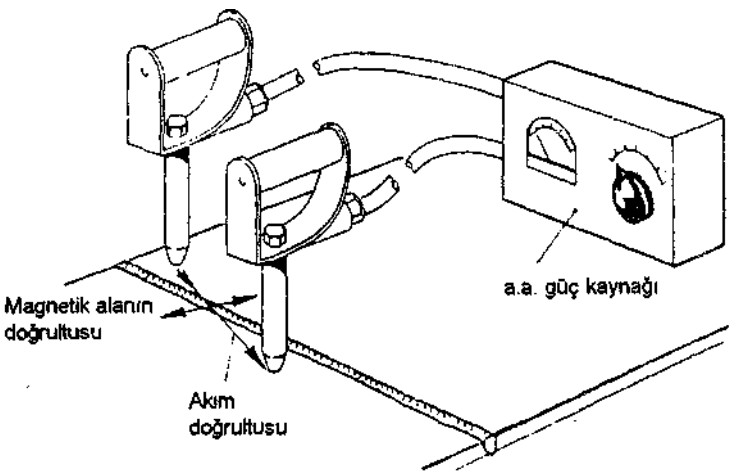
Çelikteki bir kaynakta, mevcut çatlağa dik açıda etkiyen bu' manyetik alan yaratarak çatlağın

X ışınları	**:**	**2×10^{-12} m**	**ilâ**	**10^{-9} m**
Gama ışınları	**:**	**10^{-13} m**	**ilâ**	**2×10^{-12} m**

tıpkı mıknatıslar arasındaki aralığa benzer bir şekilde davranmasını sağlayabiliriz. Böyle bir durumda kuvvet hatları çatlaktan geçer ve aynı zamanda yüzeyin dışına doğru da sızar. Kaynak üzerine serpilmiş demiroksit tozlan manyetik alanın sızdığı noktada toplanır ve böylece çatlağın mevcudiyetini ortaya çıkarır.

Kaynaklı bağlantıda manyetik alan yaratmak için mıknatıs veya elektromıknatıs kullanılabilir. Genelde muayene edilen alandan bir akım geçirilir (Şekil 10.5). Çatlağı ortaya çıkarmak için kullanılan sıvı veya "mürekkep", genellikle gazyağına karıştırılmış manyetik demiroksit tozlarından meydana gelmiştir. Tozlar ultraviyole ışığı altoda görülebilmek için bir flöresan bileşiği ile kaplanabilirler. Gazyağının kullanılmasına

itirazlar olduğu takdirde, manyetik tozlar kaynak yüzeyinin üzerinde bir bulut oluşturacak şekilde bir körükten püskürtülürler. Bu ikinci yöntem V bağlantılarında kök pasosunun muayenesinde özellikle çok yararlıdır. Çünkü bu durumda bir sonraki pasoyu çekmeden evvel kaynak ağzının temizlenmesine ihtiyaç yoktur.



Şekil 10.5. Alternatif akım kullanarak gerçekleştirilen manyetik toz muayenesi.

10.4 Radyografi

Penetran sıvı ve manyetik toz teknikleri yardımıyla veya bunlar olmadan yapılan gözle muayene sadece yüzey üzerinde oluşan hatalarla ilgili yararlı bilgi verir. Ultrasonik geçtiğimiz yıllarda geçerli bir tahribatsız muayene metodu haline gelmekle birlikte, geleneksel olarak radyografi kaynaktaki hataları belirlemede sıkça kullanılmaktadır.

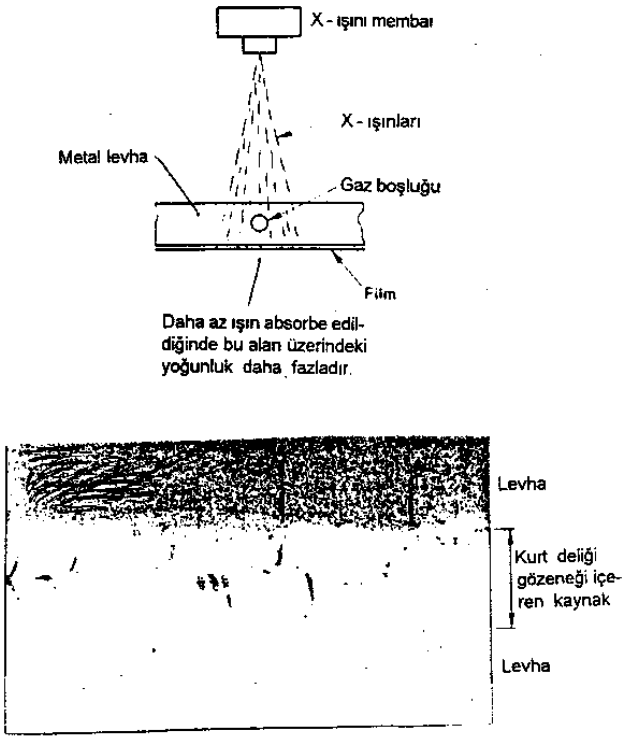
Kaynaktaki hataların radyografi ile tespiti X ışınlarının ve Gama ışınlarının herhangi bir beyaz ışığı geçirmeyen malzemelere nüfuz etme kabiliyeti esasına dayanır. Her iki ışın da elektromanyetik ışın olup bunların karakteristik dalga boyları aşağıdaki gibidir.

Gama ışınlan radyoaktif malzeme tarafından yayılırken, X ışınlan uygun bir vakum tüpü içinde istendiğinde üretilir. Hata tespiti bakımından benzer şekilde davranırlar ve radyografinin prensipleri aşağıda açıklanırken ikisi arasında bir ayırım yapılmayacaktır. Daha sonra bölüm içinde bunlara özgü özellikler açıklanacaktır.

X ışınlan, malzeme içinde ilerlemesi sırasında absorbe edilirler. Eğer malzeme homojen ise, X ışınlan demetine maruz kalmış alan boyunca absorpsiyon miktarı aynıdır. Diğer taraftan eğer malzeme, örneğin bir gaz boşluğu içeriyorsa, bu noktadan

geçen ışınlar daha az miktarda absorbe "edilir ve çıkan demette şiddet değişimi meydana gelir. Bu, radyasyon kaynağına zıt taraftaki malzeme tarafına bir fotoğraf filmi koyarak kolaylıkla tespit edilebilir (Şekil 10.6). Film X ışınlarına maruz kalır ve bunun optik yoğunluğu radyasyonun şiddetine bağlıdır. Böylece gaz boşluğu altındaki alan, her iki taraftaki esas metalden daha fazla X ışını alır ve fotoğraf emülsiyonu büyük ölçüde etkilenir. Negatif film üzerinde bu, boşluğun şekline benzer şekilde siyah bir nokta olarak

ortaya çıkar (Şekil 10.7).



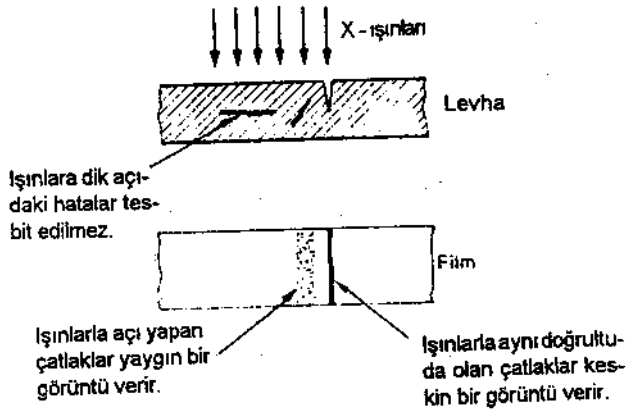
Şekil 10.7. Tipik bir radyograf

Çıkan ışınların şiddetlerindekî fark, esas malzemenin ve boşluk içindeki gazın göreceli absorpsiyon katsayılarına bağlıdır. Absorpsiyon katsayısı malzemenin atom numarasının ve X ışınlarının dalga boyunun bir fonksiyonudur. İyi bir rastlantı sonucu kaynak bağlantılarındaki hatalar genelde esas metalden önemli ölçüde küçük absorpsiyon katsayısına sahip gaz,. hava veya cüruf içerirler. Bu, filmdeki yoğunlukta

önemli değişimlere sebep olduğundan hataların mevcudiyeti kolaylıkla tespit edilebilir. Buna tek bir istisna tungsten kalıntıları teşkil eder. Bu metal normal olarak kaynaklanan metallerden

daha yoğundur; bu nedenle daha fazla X ışını absorbe ettiğinden, negatif film üzerinde parlak bir nokta oluşturur.

Hataların tümü radyografi ile tespit edilemez. Hataların tespit edilebilmesi büyük ölçüde hatanın ışına göre aldığı doğrultuya bağlıdır (Şekil 10.8).



Şekil 10.8. Hatanın X ışınına göre doğrultusu.

10.4.1 Film Çekme

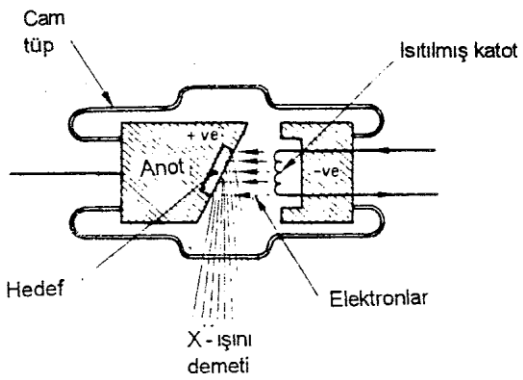
Bk kaynağın filmi çekilecekse, sahte belirtilerin oluşumunu engellemek için yüzey üzerindeki tüm yabancı maddeler temizlenerek kaldırılmalıdır. Bazen daha fazla üniform şartlar sağlamak amacıyla dikişin alt ve üst tarafındaki kaynak metali fazlalığı taşlama yoluyla giderilir.

Film ışık geçirmez bir kaset içinde bağlantının bir tarafına, X ışını kaynağı kaynaktan uygun bir mesafede bağlantının aksi tarafına yerleştirilir ve ışınların metal yüzeyi üzerine simetrik olarak düşmesini sağlayacak şekilde düzenlenir. X ışını kaynağı çalıştırılır ve bağlantı önceden tayin edilmiş bir süre X ışınlarına maruz kalır. Poz süresi radyasyonun şiddetine, ışınların dalga boyuna ve muayene edilen metalin kalınlığına bağlıdır. Bu süre X ışınlan için 10 sn'den 10 dakikaya kadar, Gama ışınlan içinse l dakikadan 24 saate kadar değişebilir. Poz süresi dolduğunda kaset normal fotoğraf filmine benzer şekilde banyo edileceği bk karanlık odaya alınır. Film kuruduktan sonra parlak bir ışığa tutularak etüd edilir.

Radyografinin avantajlarından biri, filmin kaynağın kalitesinin kalıcı bir kaydı olarak muhafaza edilebilmesidir.

10.4.2. X Işınlarının Üretimi

X ışınları bir katot ve bir anot içeren bir vakum tüpünde üretilir (Şekil 10.9). Isıtılmış katot elektron yayar ve bu elektronlar 100 ilâ 400 kV mertebesindeki yüksek gerilim farkı ile moda doğru hızlandırılırlar. Elektronların sayısı katodun ısıtıldığı sıcaklığa bağlıdır ve bu nedenle filâman katottan geçen akımın (2 ilâ 10 mA) bir fonksiyonudur. Anot bakır bir blok içine yerleştirilmiş bir tunsten diskten (anti katot veya hedef olarak adlandırılır) meydana gelmiştir. Elektronlar hedefe çarptıklarında bunların kinetik enerjileri hem ısı, hem de X ışınlan üretiminde kullanılır. Isı, bakır blok sayesinde bölgeden uzağa iletilir. Yüksek güçlü tüplerde bakır blok, sıvıyla da soğutulabilir. X ışınlarının tüp ekranından iş parçasına doğru yayılmasını sağlamak amacıyla hedef) elektron demetiyle bir açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 10.9. Bir X ışını tüpünün basitleştirilmiş şeması.

10.4.3. Gama Işını Kaynakları

Bazı elementler zamanla parçalanan kararsız atom çekirdeğine sahiptirler. Bu parçalanma radyasyon yayılmasıyla birlikte meydana gelir ve bu radyasyonun bir kısmı Gama sırdandır. Bunlar yüksek enerjiye sahiptirler ve metallere X ışınlarındakine benzer şekilde nüfuz ederler. Gama ışınlan bu nedenle kaynak bağlantılarının muayenesi için kullanılabilir.

Bir nükleer reaktördeki irradyasyon veya fisyon ile elde edilmiş "yapay radyoaktif izotoplar" kaynak dikişlerinin muayenesi için gama ışını kaynağı olarak kullanılırlar. En çok kullanılan izotoplar iridyum 192, Kobalt 60, Sezyum 137 ve Sezyum 134'dır.

İzotoplar küçüktürler ve X ışınlarının tersine bir güç ünitesine ihtiyaç duymazlar, kolaylıkla taşınabilirler. Ancak kurşun kaplı bir taşıyıcı içinde muhafaza edilmeleri ve dikkatle kullanılmaları gereklidir. Gama ışınlan bütün doğrultularda yayılır. Bu özelliği soru kaynaklarının muayenesi sırasında özellikle yararlıdır. Gama ışını kaynağı dışı filmle sarılmış borunun içine yerleştirilir.

10.4.4 Radyografi kullanımında emniyet

X ışınlan ve Gama ışınlan vücut hücrelerini hasara uğrattığından canlılar için büyük ölçüde zararlı olabilir. Alınan doza bağlı olarak bu tipten bir radyasyona manız kalmak, yanıklardan kan kanserine ve diğer kanser türlerine kadar değişen hastalıklara neden olur. Radyografinin endüstriyel olarak kullanılması yalnız radyografi çeken kişiyi değil, aynı zamanda çevrede başka işlerle uğraşan kişileri de korumak üzere kesin kurallara bağlanmıştır.

Radyasyona maruz kalmanın etkilen kümülatiftir ve radyografik ekipman ile sürekli çalışan kişiler, belli bir zaman aralığında maruz kaldıkları radyasyon miktarını ölçmeye yarayan bir doz ölçer takmak zorundadırlar. Bu doz hızı olarak bilinir ve pratikte bunu belli bir seviyenin altında tutmak için tedbirler almak gerekir. İlave olarak deney alanı, radyasyonun diğer çalışanlara ulaşmasını engellemek için perdelenmelidir. Perdeler tercihen kurşunla kaplı olurlar veya kurşunlu tuğladan yapılırlar.

X ışınlan belli bir yöne sahip olduklarından genelde daha kolay kontrol edilebilirler. Mümkün olan hallerde tüp ve iş parçası, demet döşemeye yönlenecek şekilde düzenlenmelidir. Gama ışınlan bir izotoptan her doğrultuda yayılırlar ve bu nedenle perdelemede daha büyük problemler çıkarırlar. Radyasyonun mevcut olduğu alan uluslararası ikaz sembolü kullanılarak belirtilmelidir. Film ışına maruz kaldıktan sonra X ışını makinasının düğmesi kapatılır ve bundan sonra herhangi bir tehlike yoktur. Buna karşılık bir

radyoaktif izotop sürekli radyasyon yayar ve bu nedenle kullanılmadığı zamanlar korunmuş bir kutu içinde saklanmalıdır.

10.5 Ultrasonik Muayene

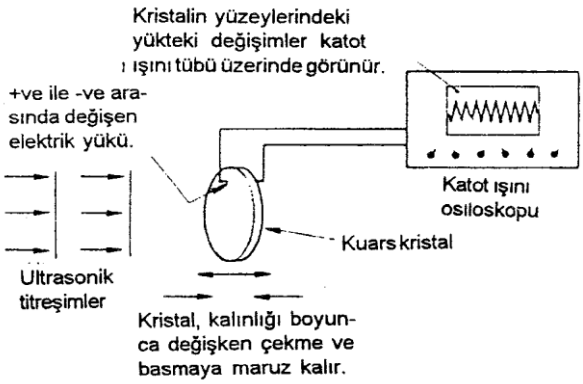
Ultrasonik muayene, metal boyunca iletilen yüksek frekanstaki titreşimlerin iletim şekli gözlenerek metal içinde bulunan hataların tespiti için kullanılan yüksek hassasiyete sahip bir yöntemdir. Eğer muayene edilen malzeme bir hata içeriyorsa titreşimler yansır. Hataların mevcudiyeti ya iletilmiş titreşimlerin şiddetindeki azalma gözlenerek ya da yansımalar kontrol edilerek ortaya çıkarılır.

Bu tip özellik geniş bir aralıktaki titreşim frekansları için geçerlidir. Ses dalgalarının bir duvardan veya bir metal tabakadan yansıdığı hepimizce bilinir. Bu olay, bir orgun en düşük notasına karşılık gelen 16 Hz frekansından kişiye bağlı olarak sesin artık işitilemediği 15-20 kHz frekansa kadar değişen frekanslarda meydana gelir.

10.5.1 Ultrasonik Dalgaların Tespiti

Bir ara yüzeyden yansımalar yüksek frekanslarda da, yani ultrasonik bölgede de oluşmaya devam eder. Ancak biz bunu çıplak kulakla fark edemeyiz. Bu nedenle bir çeşit algılayıcı kullanmamız gerekir. Metallerin ultrasonik muayenesinde0.5 ila 10 Mhz, arasındaki frekanslar kullanılır ve titreşimler bir kristalin piezo elektrik özellikleri kullanılarak ölçülür.

Üniform kalınlıktaki bir kuars disk bir basınca maruz kalırsa, diskin karşılıklı yüzeylerinde pozitif ve negatif yükler oluşur. Basınç kaldırılıp diske kalınlık doğrultusunda bir çekme kuvveti uygulanırsa, yükler işaret değiştirir. Kuars kristali ultrasonik titreşimlerin yolu üzerine yerleştirilecek olursa, kristal değişken bir şekilde basma ve çekme gerilmelerine maruz kalır ve yüzeyindeki yükler pozitif ve negatif arasında değişir. Bu yükler görüntülerinin alınabileceği bir katot ışını osiloskobunu besleyebilirler ve böylece ultrasonik titreşimlerin mevcudiyetini tespit için kullanışlı bir yöntem elde edilmiş olur (Şekil 10.10).



Şekil 10.10. Ultrasonik titreşimlerin tespiti için bir kuars kristalinin kullanılması.

10.5.2 Ultrasonik titreşimlerin üretimi

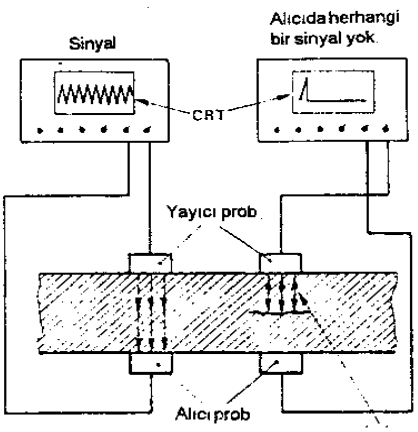
Yukarıda belirtilen işlemi tersine çevirerek kuars kristalini bir titreşim üreteci olarak da kullanabiliriz. Eğer bir kuars kristaline değişken. bir elektrik potansiyeli uygulanırsa kristal ultrasonik titreşim yayar. Bu titreşimleri muayene edilen metal parçasına enjekte etmeye çalışırken bir problem ortaya çıkar. Kristali metal yüzeyi ile basit bir şekilde temas haline getirmek, kristalle metal yüzeyi arasında bir hava tabakasının kalmasına neden olur. Bu ise sinyali azaltan veya yansıtan bir ara yüzey oluşturur. Kuarsla metal arasında iyi bir temas sağlamak şartıyla metal yüzeylerin yağ veya gresle kaplanması bu sorunu ortadan kaldırır.

10.5.3 Kaynak Bağlantılarının Ultrasonik Muayenesi

Kaynak bağlantılarının ultrasonik dalgalarla muayenesinde iki yol mevcuttur: Transmisyon ve yansıma.

10.5.3. l Transmisyon

Levhanın karşılıklı yüzeylerine ayrı ayrı verici ve alıcı problar yerleştirilir. Eğer hata yok ise alıcı proba ulaşan sinyalde çok az bir azalma vardır (Şekil 10.11). Ultrasonik demetin yolu üzerindeki küçük bir hata bazı dalgalan yansıtır ve alıcı tarafından tespit edilen sinyal azalır. Diğer taraftan levhadaki tabakalanmaya benzer büyük bir hata, iletilen sinyalin tamamen kaybolmasına neden olur. Bu muayene yöntemi ile hatanın yüzeyden ne kadar aşağıda olduğunu tespit etmek mümkün değildir.Teknikle ilgili en önemli sakıncalar elemanın veya kesitin her iki tarafından da iyi bir girişe ihtiyaç duyulması ve probların hassas bir biçimde aynı doğrultuda yerleştirilme problemidir. Problar birbirlerinin tam karşılarında değilseler, ekrandan hata varmış gibi görüntüler alınır.



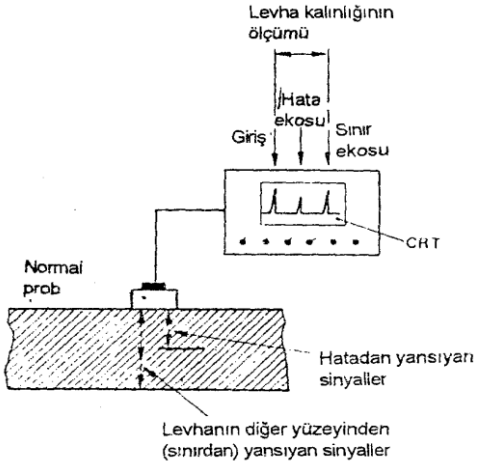
Şekil 10.11. Hataların tespiti için kutlanılan transmisyon tekniği

10.5.3.2 Yansıma

Bu yöntem için hem verici hem de alıcı görevi gören bir kombine prob kullanılır ve girişin sadece bir yüzde olması gerekir. Normal bir probla (dik prob) sinyal, yüzeye dik açıda gönderilir (Şekil 10.12). Hatanın mevcut olmaması halinde ultrasonik dalgalar levhanın kalınlığı boyunca hareket ederler diğer yüzeyden yansırlar ve proba gen dönerler. Bunlar, katot ışınlan tüpünde (CRT) bir sınır yankısı olarak görünürler. CRT dalgaların levhaya girişini de verici sinyali olarak kaydeder. Bununla sınır yankısı arasındaki mesafe, levhanın kalınlığına karşılık gelir.

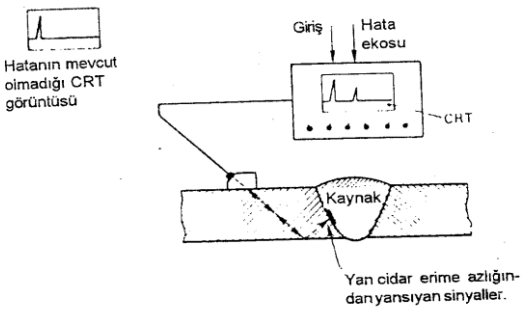
Dalgaların yolu üzerinde bir hata mevcutsa, sinyalin bir miktarı yansır ve bu sinyaller daha kısa mesafe izlediklerinden CRT üzerinde sınır yankısından önce görülürler. Yüzey altodaki bir hatanın derinliği, bu hatanın sinyalinin giriş ve sınır sinyallerine göre bulunduğu yer göz önüne alınarak hesaplanabilir. Bir prob üzerine yerleştirilmiş iki ayrı verici ve alıcı kristalde kullanılabilir. Fakat uygulamada genellikle verici ve alıcı olarak tek bir kristal kullanılmaktadır.
Tek bir kristal yerleştirilmiş bir eğik prob (açısal prob) normalde kaynak bağlantılarının muayenesinde kullanılır (Şekil 9.13). Burada ultrasonik titreşimler levha içine levha yüzeyi ile belirli bir açı yapacak şekilde gönderilirler. Bu titreşimler karşı yüzeye kadar hareket ederler ve geliş açısına eşit bir açıda yansırlar. Titreşimler üst yüzeyden tekrar yansırlar ve bu böylece devam eder. Eğer bunlaran yolu üzerinde herhangi bir ara yüzey yoksa, titreşim sönünceye kadar devam eder. Diğer taraftan, bir hata sinyalin tamamını veya bir miktarım yansıtır. Yansıyan sinyal bundan sonra proba dönerken, ara yüzeyin demete göre aldığı pozisyona bağlı olarak, ya orijinal yolu ya da

yeni bir yolu takip eder. Hata yankısı CRT'de görünür ve bunun verici sinyaline olan uzaklığı, ultrasonik dalgaların hareket ettiği mesafenin bir ölçüsüdür. Sistemin geometrisi bilindiğinde hatanın bulunduğu yer kesin bir şekilde hesaplanabilir.

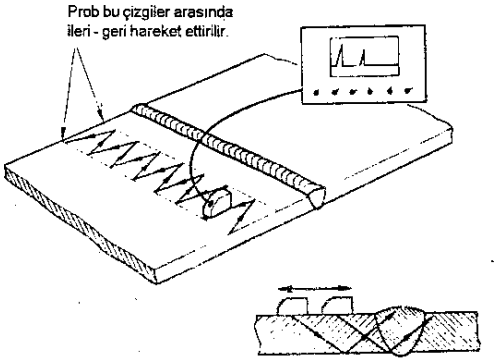


Şekil 10.12. Levha yüzeyine dik açıda ultrasonik titreşimler gönderen normal prob ile yansıma tekniği

Bir kaynağın muayenesinde (Şekil 10.14) teknisyen levha üzerinde kaynağa paralel iki doğru çizer ve probu, kaynağın tüm kalınlığının muayene edilmesini sağlamak için, bu iki sınır arasında ileri geri hareket ettirir.



Şekil 10.13. Eğik probla gerçekleştirilen yansıma tekniği



Şekil 10.14, Kaynak kalınlığını taramak içi probun hareket ettirilmesi.

Tablo 10. l 'de kaynakların tahribatsız muayene yöntemleri özetlenmiştir.

Tablo 10.1. Kaynakların tahribatsız muayene yöntemlerinin özeti

Yöntem	Bulunabilen hatalar	Üstünlükleri	Sınırlamaları
Gözle Muayene	Şekil ve boyuttaki kusurlar. Yüzey çatlakları ve gözenekliliği, yanma oluğu, taşma, krater hataları.	Kaynağın ve üretimin herhangi bir safhasında kolaylıkla uygulanabilir. Hem yatırım hem de işçilik bakımından düşük maliyet.	Kalıcı bir kayıt sağlamaz. Sadece yüzey hataları için yararlı bilgi sağlar.
Penetran Sıvı	Çıplak gözle gözden kaçabilen yüzey çatlakları.	Kullanılması kolaydır. Bir ekipman gerekmez. Hem malzemede, hem de işçilikte düşük maliyet.	Kesin olarak sadece yüzey çatlakları tespit edilebilir. Kalıcı bir kayıt mümkün değildir.
Magnetik Toz	Çıplak gözle gözden kaçabilen yüzey çatlakları. Yüzey altı hatalarının varlığını gösterebilir.	Göreceli olarak düşük maliyet. Taşınabilir. Hataları açıkça ortaya çıkarır.	Kesin olarak sadece yüzey çatlakları tespit edilebilir. Sadece ferromanyetik metallerde kullanılabilir. Sahte belirtiler verebilir. Kalıcı bir kayıt mümkün değildir.
Radyografi	Gözeneklilik, cüruf kalıntıları, boşluklar ve nüfuziyet azlığı. Işına uygun şekilde yönlenmiş olmaları şartıyla çatlaklar ve erime azlığı.	Tekrarlanabilir sonuçlar verecek şekilde kontrol edilebilir. Kalıcı bir kayıt verir.	Pahalı bir ekipman. Kesinlikle emniyet tedbirleri gerektirir. Alın kaynaklarına daha uygundur. İç köşe kaynaklı bağlantılarda pek başarılı değildir. Şartların seçiminde ve sonuçları değerlendirmede yüksek düzeyde uzmanlık gerektirir.
Ultrasonik	Tüm yüzey altı hataları, katmer.	Çok hassaştır. Diğer yöntemlerle tespit edilemeyecek küçüklükteki hataları tespit eder. Ekipmanı taşınabilir. Sadece bir taraftan giriş gerekir.	Kalıcı kayıt elde etmek zordur. Katot ışını tüpündeki belirtileri yorumlamak için yüksek derecede uzmanlık gerektirir.