

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elekt. Ark Kay, Bir. Par. Kay. Dik. Uyg.
Isıl İşlem, Dok. ve Mek. Özel. Etk. Inc,

Yüksek Lisans Tezi

Fatih Angigün

1996

B 370
25

Metalürji

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ARK KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ PARÇALARDA
KAYNAK DİKİŞİNE UYGULANAN ISIL İŞLEMLERİN DOKUSAL
VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Metalürji Müh. Fatih ANGİGÜN

F.B.E. Metalürji Anabilim Dalı Malzeme Bilimleri Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nişan SÖNMEZ

İSTANBUL , 1996

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot	R 370 25
Alındığı Yer	F.B. Enstitüsü
Tarih	19.9.1996
Fatura	
Fiyatı	250 Bin
Ayniyat No	1/7
Kayıt No	52456
UDC	
Ek	

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

VII, 114

**ELEKTRİK ARK KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ PARÇALARDA
KAYNAK DİKİŞİNE UYGULANAN ISIL İŞLEMLERİN DOKUSAL
VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Metalürji Müh. Fatih ANGİGÜN

F.B.E. Metalürji Anabilim Dalı Malzeme Bilimleri Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Y. T. O.

KÜTÜPHANE DOK. DAL. BAŞKANLIĞI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nişan SÖNMEZ

İSTANBUL, 1996

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	13
1. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI	1
1.1. Tarifi ve Tarihçesi	1
1.2. Kaynak arku ve arkın elektriksel karakteristikleri	2
1.2.1. Doğru akım arkının kararlılığı	2
1.2.2. Alternatif akım arkının kararlılığı	3
1.3. Kaynak makinalarının sınıflandırılması	3
1.3.1. Doğru akım veren kaynak makinaları	3
1.3.2. Alternatif akım veren kaynak makinaları	3
1.4. Doğru akım ve Alternatif akım ile kaynağın mukayesesi	4
1.5. Kaynak elektrodları	4
2. KAYNAK KABİLİYETİ	6
3. KAYNAKLI PARÇALARDA MEYDANA GELEN DİSTORSİYONLAR VE GERİLMELER	9
3.1. Gerilme ve Distorsiyonların esasları	9
3.2. Kaynak gerilmelerinin ve çarpılmalarının meydana gelmesi etki eden faktörler	10
3.3. Alın dikişlerinde distorsiyonlar	11
3.3.1. Enine Distorsiyonlar	11
3.3.2. Boylamasına Distorsiyonlar	11
3.3.3. Açısal Distorsiyon	11
3.4. İç köşe birleştirmelerinde distorsiyonlar	12
3.4.1. Enine Distorsiyonlar	12
3.4.2. Boylamasına Distorsiyonlar	12
3.4.3. Açısal Distorsiyonlar	12
3.5. Kaynak Gerilmeleri	13
3.5.1. Enine Gerilmeler	13
3.5.2. Boylamasına Gerilmeler	13
3.5.3. İç köşe dikişlerinde kendini çekme gerilmeleri	14
3.6. Distorsiyonlara ve Gerilmelere engel olmak için alınacak tedbirler	15
3.6.1. Konstruktif tedbirler	15
3.6.2. Teknolojik tedbirler	15
3.6.3. İşletmeyle ilgili tedbirler	15

3.6.4.	Kaynaktan sonraki tedbirler	15
4.	KAYNAK DİKİŞİNİN VE ÇEVRESİNİN METALURJİK YAPISI	16
4.1.	Giriş	16
4.2.	Kaynak metali, Kaynak dikişi	17
4.2.1.	Dikişin Alaşım yapısı	17
4.2.2.	Dikişin Taneli yapısı	17
4.3.	Isıl Etki Alanı	19
4.3.1.	Kaba Taneli Yakın Alan	20
4.3.2.	İnce Taneli Uzak Alan	20
4.4.	Ana Metal	21
5.	KAYNAK DİKİŞLERİNDEKİ OLASI HATA TİPLERİ VE DURUMLARI	22
5.1.	Gaz Boşlukları (Gözenekler)	23
5.2.	Curuf Kalıntıları ve Metalik Kalıntılar	24
5.3.	Birleşme (Nufuziyet) Hataları	25
5.4.	Çatlaklar	26
5.5.	Yanma Olukları	27
5.6.	Laminasyon (Katmer)	28
5.7.	Sakal	28
5.8.	Kaynak Yöntem ve Tekniklerine Bağlı Olarak Oluşabilecek Kaynak Hataları	28
6.	KAYNAKLI YAPILARIN ISIL İŞLEMİ	29
6.1.	Doğrudan Bir Isıl İşlem Olan Kaynak İşlemi	29
6.2.	Isıl İşlem Aşamaları	31
6.3.	Kaynak Öncesi Isıl İşlem	33
6.3.1.	Ön Isıtma (Ön Tavlama) Terimi ve Ön Isıtma İle Kaynak	33
6.4.	Kaynakla Birlikte Uygulanan Isıl İşlem	36
6.5.	Basit Ön Isıtmayla Kaynak İşlemi	37
6.6.	Sabit Çalışma Sıcaklığında Kaynak İşlemi	38
6.7.	Çalışma Sıcaklığının Kaynakla Yükseltilmesi	40
6.8.	Sonradan Isıtmalı Kaynak İşlemi	41
6.9.	Ön ve Sonradan Isıtmalı Kaynak İşlemi	42
6.10.	Kaynak İşleminden Sonra Uygulanan Isıl İşlemler	44
6.11.	Özel Isıl İşlem Tarzları	49
6.12.	Basit Sertleşmeli Kaynak İşlemi	51
6.13.	Tam Kademe Sertleşmeli Kaynak İşlemi	52
6.14.	Modifiye Edilmiş Kademeli Sertleştirme Kaynağı	53

7.	KAYNAKTA ISIL İŞLEMİ GEREKLİ KILAN MALZEME KOŞULLARI	56
7.1.	Temel Bilgiler	56
7.2.	Yalın Karbonlu Çeliklerin Kaynağı	57
7.3.	Düşük Alıçımlı Çeliklerin Kaynağı	61
8.	KAYNAKTA ISIL İŞLEMİ GEREKLİ KILAN İŞLETME KOŞULLARI	64
8.1.	Soğukta Gevrekleşme	64
8.2.	Soğuktan Etkilenmeyen Malzemeler	65
8.3.	Normal Ferritik Çelikler İçin Taban Sıcaklık	65
8.4.	Soğuk Hizmet İçin Ferritik Çelikler	67
8.4.1.	Tam Sakin ve İnce Taneli Karbonlu Çelikler	67
8.4.2.	Nikel Alaşımlı Çelikler	67
8.5.	Cidar Kalınlığının ve Gerilim Gidermenin Etkisi	68
9.	GERİLİM GİDERME ISIL İŞLEMİ	72
9.1.	Makroskobik Gerilmelerin Giderilmesi	74
9.2.	Mikroskobik Gerilmelerin Giderilmesi	74
9.3.	Kalıntı Gerilmelerin Sıcaklıkla Azalması	75
9.4.	Gerilim Gidermenin Kapsamı, Sıcaklığı ve Süresi	76
9.4.1.	Kapsamı	76
9.4.2.	İstisnalar	77
9.4.3.	Gerilim Giderme Sıcaklığı ve Süresi	77
9.4.4.	Isıtma ve Soğutma Hızları	79
9.4.5.	Düşük Sıcaklıkta Uzun Süreli Temperleme	80
9.4.6.	Aşırı Yüksek Sıcaklığa Çıkmanın Zararları	83
10.	ISIL İŞLEMİN BAŞARISININ KONTROLÜ SERTLİK ÖLÇME	85
10.1.	Başarının Kontrolü	85
10.1.1.	Isıl İşlem Grafiğinin Kontrolü	85
10.1.2.	Sertlik Kontrolü	85
10.2.	Kaynak Dikişi ve Çevresinde Sertlik Değişimi	87
11.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	88
11.1.	Genel	88
11.2.	Yapılan Deneyler	89
11.2.1.	Uygulanan Kaynak Tipleri	89
11.2.2.	Mikrografik Muayeneler	91
11.2.3.	Kaynak Edilmiş Parçalarda Sertlik Dağılımı	95

11.2.4. Isıl İşlem Sonrasında Kaynaklı Parçalardaki Sertlik Dağılımı	99
11.2.4.1. Genel	99
11.2.5. Isıl İşlem Sonrası Kaynaklı Parçaların Mikroyapıları	104
11.2.6. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	112
12. GENEL SONUÇLAR	113
13. KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	115

ÖZET

Kaynaklı birleştirmelerde uygulanan ısıl işlemeler genellikle kaynak sonrasında kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölgede meydana gelebilecek olumsuz yöndeki dayanç ve sertlik değerlerinin normal değerlerde tutulması veya normal değerlere getirilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu işlemler, çeliklerdeki karbon ve alaşım elementlerinin miktarına ve parça kalınlığına göre farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada önce kaynağın metalurjisi, kaynaklı yapıların metalurjisi ve mekanik özellikleri ve kaynaklı çelik birleştirmelerin ısıl işlemleri hakkında genel bilgi verilmekte ve sonra düşük alaşımlı bir boru çeliği ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde uygulanan ısıl işlemler örnek çalışma olarak sunulmaktadır.

ABSTRACT

Heat treatment of the welded joints is usually done in order to keep the strength and the hardness values of the weld metal and the heat affected zone at a normal level or to bring them to this normal level. Heat treatment shows differences according to the contents of carbon and the alloying elements and the thickness of the considered workpiece. In the second part of the article the applied Metallurgical of welding, Metallurgical and Mechanical properties of welded joints and Heat treatment of the welded joints in a made from low alloy pipe-steel as an example.

GİRİŞ

Kaynağın ısıtma işlemi, ön ısıtma, kaynakla beraber uygulanan ısıtma işlemi ve kaynak sonrası uygulanan gerilim giderme işlemlerini içine alan bir kavramdır. Kaynakta ısıtma işlemi şu üç temel nedenden biri gerekli olabilir;

- 1 -) Malzemenin hava da soğuması sırasında sertlik kazanması,
- 2 -) İç gerilmelerinin varlığı halinde, malzemenin işletme koşullarından kötü şekilde etkilenmesi (gerilim korozyonu, hidrojen çatlaması, soğukta gevrekleşme, v.s.)
- 3 -) Aşırı zehirli gazların dolaştığı devrelerde bir kaynak kaçağının yaratabileceği hayati tehlike. Isıtma işlemi, sözkonusu riskleri azaltan, sistemin ömrünü uzatan, güvenliğini artıran bir çaredir.

Kaynak ısıtma işlemi, öncelikle malzeme (ana ve dolgu malzemelerinin) türüne bağlıdır. Isıtma işlemi daima gerektiren, sadece bazı şartlarda gerektiren ve hiç gerektirmeyen malzemeler vardır. Isıtma işlemi cidar kalınlığına da bağlıdır. Cidar kalınlığının artması, kaynak dikişinin soğuma hızını ve dolayısıyla sertleşme eğilimini artırır. Ayrıca yukarıda belirtildiği gibi ısıtma işlemi gereksinimi, ortam koşullarından da kaynaklanır. Anılan tüm bu koşullar, projelendirme aşamasında belirlendiğine göre, ısıtma işleminin gerekip gerekmeyeceğine proje hazırlanırken karar verilir. Teknik açıdan ısıtma işleminin imkansız olduğu veya işin ekonomisiyle bağdaşmayacak derecede büyük mali külfet yüklediği hallerde, malzemenin ve cidar kalınlığının, ısıtma işlemi gerektirmeyecek tarzda seçilmesi olasıdır.

Kaynak dikişini tehdit eden ve ısıtma işlemiyle giderilmeye çalışılan kötü olasılıklar, malzemenin genel sorunlarının bir parçası veya uzantısıdır. Bu düşünceden hareket ederek , kaynağın ısıtma işlemiyle ilgili konular, malzemenin benzer konularının genel perspektifi içinde ele alınır. Kaynak işlemi sırasında, kaynak yapılan bölge, hızlı bir ısıtma ve soğuma periyoduna maruz kalır; diğer bir deyimle termik şok etkisi altında bulunur. Özellikle hızlı soğuma sonrası kaynak bölgesinde dönüşüm gerilmeleri ve ısıtma gerilmeleri meydana gelir. Sertleşmeyen düşük karbonlu çeliklerde bu gerilmeler, kısmen plastik şekil değiştirme yapan ve sorun olmayacak boyutlarda kalırlar. Fakat, orta ve yüksek karbonlu çeliklerde ani soğuma sonucu, özellikle martenzitik yapının oluşumu gerilmeleri çok artırır ve soğuma esnasında mikro ve makro çatlaklar oluşur. Termik şok zarar vermeden karşılayabilen malzemeler, dar anlamda " kaynak özellikli " olarak görülür. Termik şok etkisi, var olan metalurjik etkilere uygun özel ısıtma işlemleriyle ani soğuma azaltılarak veya kontrol altına alınarak hafifletilebilir.

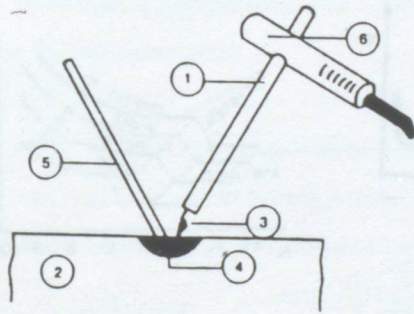
Kaynak bağlantılarının ısıtma işleminin kaynak öncesi, kaynak esnasında veya kaynak sonrasında uygulanması farklı sonuçlar yaratır. Bu ısıtma işlemleri, kaynak yapılan malzemenin kimyasal bileşimine, metalurjik özelliklerine, üretim şekline ve tasarım tarzına göre çok değişik olabilir.

1 - ELEKTRİK ARK KAYNAĞI

1.1. Tanımı ve Tarihçesi :

Kaynaklı bağlantı için gerekli ısıyı elektrotlar arasında oluşturulduğu ve ark vasıtasıyla sağlandığı eritme kaynağı türüne " elektrik ark kaynağı " adı verilir.

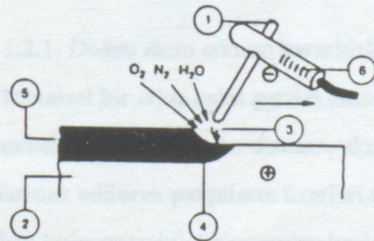
Elektrik ark kaynağının ilk uygulaması, bir karbon elektrot ile iş parçası arasında ark meydana getirilmesi biçiminde olmuştur. (Ş.1.1). Bernardos yöntemi olarak bilinen bu uygulama da, bir de ilave metal kullanılmıştır. Daha sonra 1889 senesinde Zereker kaynak arkını, iki karbon elektrot arasında oluşturmuş ve arkın parçaya üflenmesini manyetik bir bobin vasıtasıyla sağlamıştır. Yine 1889 yılında Slaviyanoff çıplak metalik bir elektrot ile iş parçası arasında arkı oluşturarak, bugünkü ark kaynağının esasını bulmuştur. (Ş.1.2.). Eriyen elektrot, kaynak ağzının doldurulmasını sağlamıştır. Yalnız, bu uygulamada, erimiş haldeki metal; havanın zararlı etkilerinden korumak mümkün olmaktadır. 1904 yılında İsveçli Kjelbeng, metalik çubuk üzerine bir örtü kaplayarak bu etkiyi ortadan kaldırmıştır. (Örtülü elektrot ile ark kaynağı).



- 1- Karbon elektrot
- 2- Esas metal
- 3- Elektrik arkı
- 4- Kaynak banyosu
- 5- Tel elektrot
- 6- Hamleç

Şekil 1.1. Bernardos Kaynak Yöntemi

(Anık 1991)



- 1- Eriyen elektrot
- 2- Esas metal
- 3- Ark
- 4- Kaynak banyosu
- 5- Kaynak dikişi

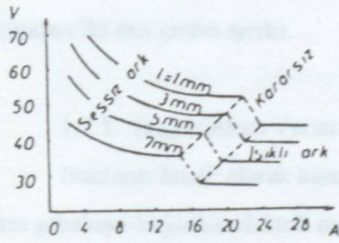
Şekil 1.2. Slavianoff Kaynak Yöntemi

(Anık 1991)

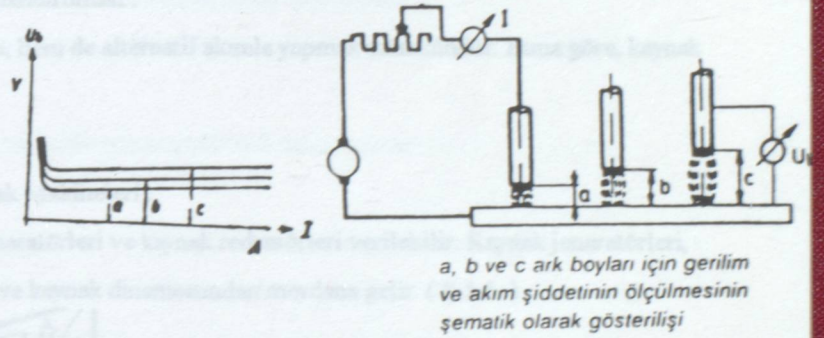
1.2. Kaynak arkı ve arkın elektriksel karakteristikleri.

Ark; kızgın bir katotdan yayınan elektronların, yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi neticesinde oluşur. Bu bombardıman çarpma sonunda nötr moleküllerin iyonize olmasına sebep olduğundan, kıvırcıklı bir sıcaklık yükselmesi meydana gelir. Ortaya çıkan toplam enerjinin % 85 ' i ısı ve % 15 ' i de ışık enerjisine dönüşmektedir.

Pratikte kaynak arkının gücü , 0.3 - 160 kW ve ısı eşdeğeri de 70 - 40000 cal / sn arasında değişir. Ark demeti, elektrotun negatif ucu ile pozitif ucu arasında dağılır. Arkın uçları arasındaki gerilim ve arkın geçen akım şiddeti, ohm konumuna göre değişmez. Akım şiddeti arttıkça, uçlardaki gerilim önce hızla ve sonrada yavaş bir şekilde düşer. (Ş. 1.3.) Aynı zamanda gerilim ve akım şiddeti, ark boyuna da bağlıdır. Elektrotlar arasındaki uzaklık, " Ark boyu " olarak adlandırılır. Ark boyu arttıkça, gerilimde artar. Bir elektrik arkında, gerilim ile akım şiddeti arasındaki değişim (Ş.1.4.) ' te ki gibidir ve bu değişim, " Arkın statik karakteristiği " olarak adlandırılır. (Anık 1991)



Şekil 1.3. Metalsel bir arkın elektrik rejimi



Şekil 1.4. Bir kaynak arkının statik karakteristiği

Ark geriliminin sabit kalması, arkın kararlılığı olarak adlandırılmaktadır.

1.2.1. Doğru akım arkının kararlılığı

Metalsel bir arkın sabit gerilim altında çalışma kararlılığının sağlamak için, yeterli miktarda direnç seri bağlanmakta ve çok defa bu dirence, akımın hızlı değişmelerine karşı koyacak bir self ilave etmek gerekir. Kaynak edilecek parçaların üzerleri çoğunlukla, yağ, pas ve boya gibi yabancı maddelerle örtülü olduğundan; kolayca teşkili bakımından başlangıçta, çalışmadakinden daha yüksek bir gerilim uygulamak gerekmektedir. Arkın kararlılığı üzerine şu faktörler etkili olmaktadır.

- a -) Metallerin iyonlaşma gerilimleri.
- b -) Metallerin termo - iyonik kabiliyetleri.
- c -) Metallerin ısı geçirgenliği.

1.2.2 Alternatif Akım Arkının Kararlılığı.

Alternatif akım arkında, gerilim ile akım şiddeti arasındaki değişim alternatif akım arkının dinamik karakteristiğini belirtir. Arkın kararlılığına etki eden faktörleri şöyle sıralayabiliriz:

- a -) Akımın frekansı
- b -) Arkın boyu
- c -) Devrede bir selfin bulunması
- d -) Elektrot örtüsünün cinsi
- e -) Elektrodun cinsi
- f -) Akımın çevreleyen ortamın cinsi

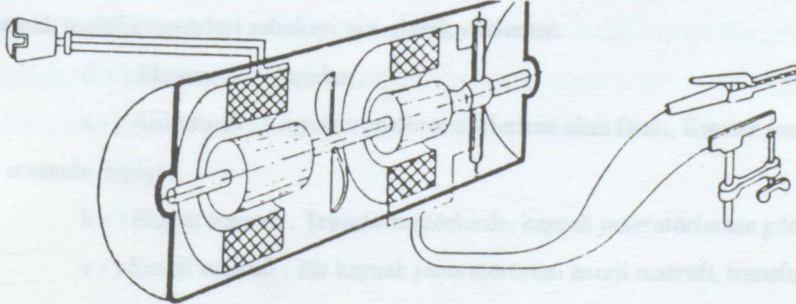
Akımın frekansı ve ark boyunun artması, devrede bir selfin bulunması, elektrot örtüsünde oksitler ve karbonatlar gibi katkılarının bulunması arkın kararlılığını artırmaktadır.

1.3. Kaynak Makinalarının Sınıflandırılması :

Elektrik ark kaynağını hem doğru, hem de alternatif akımla yapmak mümkündür. Buna göre, kaynak makinaları iki ana gruba ayrılır.

1.3.1. Doğru Akım Veren Kaynak Makineleri :

Bunların örnek olarak kaynak jeneratörleri ve kaynak redrasörleri verilebilir. Kaynak jeneratörleri, trifaze şebekeye bağlı bir elektrik motoru ve kaynak dinamosundan meydana gelir. (Ş.1.5.)



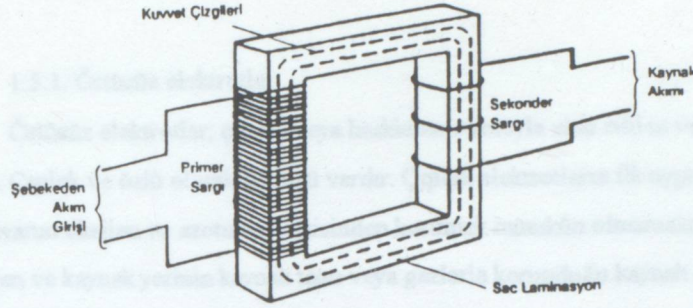
Şekil 1.5. Bir kaynak jeneratörünün kısımları

(Anık 1991)

Kaynak redrasörleri de, jeneratörlere benzerler. Bir transformator ve bir de redasörden meydana gelirler. Transformator şebeke akımını kaynak akımına çevirir, yani gerilimi düşürür, akım şiddetini yükseltir. Redasör ise, kaynak akımını doğru akıma çevirir.

1.3.2. Alternatif akım veren kaynak makinaları :

Bu tür kaynak makinaları, kaynak transformatorleri olarak adlandırılır. Kaynak transformatorleri gerilimi yüksek ve akım şiddeti düşük olan şebeke akımını, gerilimi düşük fakat akım şiddeti yüksek olan kaynak akımına çevirirler. (Ş. 1.6.) (Anık 1991)



Şekil 1.6. Kaynak transformatörünün şeması

1.4. Doğru akım ve alternatif akım ile kaynağın mukayesesi

A -) Kaynak tekniği bakımından

a -) Arkın kararlılığı : Genel olarak hem doğru akımda, hem de alternatif akımda aynıdır.

b -) Tutuşma özelliği : Kalın çaplı elektrotlarda her ikisinde de iyidir. Fakat; 2.5 mm ' den daha ince elektrotlarda tutuşma özelliği doğru akımda iyi iken , alternatif akım da kötüdür.

c -) Arkın üflemesi : Bilhassa yüksek akım şiddetiyle yapılan kaynaklarda , doğru akımda ark üflemesi fazladır.

d -) Eritme gücü : Doğru akımla kaynakta eritme gücü % 2 daha fazladır.

B -) Elektroteknik bakımından

a -) Verim : Kaynak jeneratörlerinde verim % 50 iken, transformatörlerde yaklaşık % 80 'dir.

b -) Şebekeye bağlama : Kaynak jeneratörleri trifaze şebekeyi eşit olarak yükler ama; monofaze kaynak transformatörleri şebekeyi eşit olarak yüklemez.

C -) Ekonomik bakımdan

a -) Alım fiyatı : Kaynak transformatörlerinin alım fiyatı, Kaynak jeneratörününkinin 1/2 veya 2/3 ' ü arasında değişir.

b -) Bakım masrafı : Transformatörlerde, kaynak jeneratörlerine göre bakım masrafları azdır.

c -) Enerji masrafı : Bir kaynak jeneratörünün enerji masrafı, transformatörden % 60 daha fazladır.

1.5. Kaynak Elektrotları.

Bu elektrotlar temel olarak iki grup altında toplanırlar;

- Örtüsüz elektrotlar
- Örtülü elektrotlar

1.5.1. Örtüsüz elektrotlar

Örtüsüz elektrotlar, çekme veya haddeme yoluyla elde edilen ve dış yüzeyleri çıplak olan tellerden ibarettir. Çıplak ve özlü olarak iki türü vardır. Çıplak elektrotların ilk uygulamalarında kaynak yapılırken, dikişi havanın oksijen ve azotunun etkisinden korumak mümkün olmamakta idi. Fakat daha sonraları geliştirilen ve kaynak yerinin kaynak tozu veya gazlarla korunduğu kaynak çeşitlerinde, havanın zararlı etkilerinden korumak mümkün olmuştur. Özlü elektrotlarda, elektrodun çekirdeğinde arkı stabilize eden bazı organik maddeler vardır. Öz maddesinin kaynak esnasında yanmasıyla, oluşan gaz atmosferi kaynak yerini havanın zararlı etkilerinden korur.

1.5.2. Örtülü elektrodlar

Örtülü elektrodlar, çıplak telin üzerine daldırma veya presleme ile bir örtü kaplanmasıyla elde edilir. Elektrod örtüsü aşağıdaki faydaları sağlar,

- a -) Arkın tutuşması ve oluşmasını kolaylaştırır,
- b -) Eriyen metal damlalarının yüzey gerilimlerine etki ederek; tavan ve dikine kaynak işlemlerinin yapılmasını kolaylaştırır,

- c -) Bir koruyucu gaz ortamı oluşturarak, kaynak dikişini havanın zararlı etkilerinden korur.

Böylece, kaynak dikişinin mekanik özellikleri yükselir,

- d -) Kaynak sonrası dikişin üzerini bir curuf tabakası ile örtterek, dikişin yavaş soğumasını sağlar,
- e -) Erime hızını yükseltir,

- f -) Erimiş kaynak banyosunu dezoksider eder. Örtülü elektrodlar, örtü karakterine göre; Rutil (titandioksit), oksit, asit, bazik ve selülozik karakterli elektrodlar olarak; örtü kalınlığına göre ise ince örtülü, orta-kalın örtülü ve kalın örtülü elektrodlar olarak sınıflara ayrılırlar.



Şekil 1.1. Kaynak elektrodunun koruyucu gazla kaplanması. (Karagül - 1991)

2. KAYNAK KABİLİYETİ

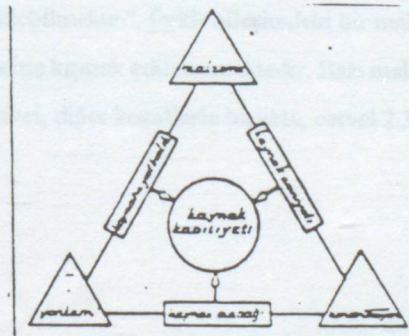
İmalat tekniğinde gaye, yalnızca malzemelerin birleştirilmesiyle parça elde edilmesi değildir. Aynı zamanda yapılan parçanın çalışma şartlarında bozulmaması ve görevini yerine getirmesi gerekir. Bu nedenle, kaynaklı bağlantılardan da bazı esasları yerine getirmesi istenir. Söz konusu esasların gerçekleşme derecesi, kaynaklanan malzemenin " Kaynak kabiliyeti " olarak değerlendirilir.

Kaynak edilen metal ve alaşımlar, uygulama da pek az istisna ile bütün kaynak usüllerinde kaynak yerini erimeye yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılmak zorundadır. Burada kaynak tekniğinde kullanılan ısı kaynağının, kaynak yönteminde etkili olduğunu unutmamak gerekir. Yüksek sıcaklıklara ısıtılmak sebebiyle, malzemelerin gerek kaynak bölgelerinde gerekse kaynağa komşu bölgelerinde, kimyasal ve metalurjik pek çok değişme olmaktadır. Mesela; yüksek karbonlu çelik malzemelerinin kaynağında, yüksek soğuma hızı nedeniyle kaynağa komşu bölgede çok yüksek sertlikte bir yapı ortaya çıkmaktadır.

Yetenekli bir kaynakçı, tamamen hatasız bir kaynak yapmanın mesela her tip çelik için kolay olmadığını gayet iyi bilir. Bazı malzemeler içinse hiç bir güçlük olmamasına rağmen, hatasız tatminkar bir kaynak kalitesinin sağlanması bakımından özel tedbirlere ihtiyaç vardır. İşte böyle hallerde, kaynak kabiliyetinden bahsedilir.

Metalsel malzemeler, kaynak işlemiyle şekillendirilmeye aynı derecede yatkın bulunmamaktadır. Kaynağa elverişlilik olarak da tanımlanabilecek bu kavram, bir birleştirme veya dolgu işleminde seçilen malzeme, uygulanan yöntem ve konstrüksiyon ile kalınlık faktörlerinin birarada düşünülmesiyle anlam kazanmaktadır. (Ş.1.2.). (Anık 1991)

Bir malzemenin kaynak kabiliyetinin yüksek olduğu ifadesinden, o malzemenin öngörülen yöntemle, herhangi bir önlem almadan tasarlanmış konstrüksiyona uygulanabilmesi anlaşılmaktadır. Bu uygulama sonucu elde edilen kaynak dikişinin ise amaçlanan kalite seviyesinde olması ön şart olarak gerekmektedir.



Şekil 2.1. Kaynak kabiliyetinin şematik olarak tanımlanması. (Kangal - 1995)

Malzemenin kaynak uygulamasındaki tutumunu, kimyasal bileşimi, üretim metodu, üretim ve sonraki aşamalarda görmüş olduğu işlemlerin etkilerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Örnek olarak ele alınan alaşımsız çeliklerin, kimyasal bileşimlerin de bulunan elemanların gerek basınç ve gerekse de ergitme esaslı kaynak uygulamalarında kaynak kabiliyetlerine etkileri cetvel 2.1 ve 2.2 ' de görülmektedir.

Çelikteki Element	İyi Kaynak Edilir	Kaynak Edilir
C	0,25	0,40
C + Cr	0,35	1,60
C + V	0,40	0,60
C + Mo	0,50	0,70
C + Mn	1,40	1,60
C + Ni	3,00	4,00
C + Cr + Mo + V	0,60	1,60
Si	0,40	1,00
Cu	0,60	0,60
P + S	0,10	0,10

Cetvel 2.1. Elektrik nokta direnç kaynağında, alaşımsız çeliklerin bileşiminde bulunan elemanların kaynak kabiliyetine etkileri (toplam % olarak)
(Kangal - 1995)

Konstrüksiyon, tasarlanmış bir yapının boyutları, biçimini ve kesitleri ile tanımlanabilir. Bir konstrüksiyonda; önceden belirlenmiş bu boyut, biçim ve kesitlere bağlı kalınarak seçilen malzeme ile imal edilebilmesi, öngörülen gerek mekanik ve gerekse diğer dayanım özelliklerine ulaşabilmeyi sağlamaktadır. Bu durumun gerçekleşebilmesi ise, seçilen kaynak yönteminin bu konstrüksiyona uygulanabilmesi ön şartına bağlı bulunmaktadır.

Kaynak yöntemlerinin, kaynak kabiliyeti kavramı içinde özel bir yeri bulunmaktadır. Bugünkü teknikte, esasları birbirine benzer türev yöntemleri olarak 100 ' e yakın uygulamadan yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerin geliştirilmesindeki ana amaç, kaynak kabiliyetlerinde artımlar sağlamaya yönelik bulunmaktadır. Seçilen bir yöntemle, " iyi kaynak edilebilen " bir malzeme, kalınlığın artması ile yöntemle, bir ön tavlama işlemi koşulu ile " kaynak edilebilmekte ", farklı bileşimdeki bir malzeme ise, örnek olarak alınan bu yöntemle ancak " şartlı olarak " veya hiç kaynak edilememektedir. Bazı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan ergitme esaslı kaynak yöntemleri, diğer koşullarla birlikte, cetvel 2.3 'de örnek olarak verilmektedir.

Cetvel 2.2. Örtülü elektrodla ergitme kaynağında, alaşımsız yapı çeliklerinin kaynak kabiliyetleri.
(Kangal 1995)

Cetvel 2.3.

M a l z e m e	İrğiyikte % C Oranı	Kaynak Kabiliyeti
St33 (DIN 17100) Genel Yapı Çelikleri	sınırlama yok genel olarak 0,05-0,35	kesin güvenilirlik yok,düşük C- oranlarında kaynak edilebilir.
St34,St37(St42) (DIN 17100)	<0,20 (<0,25)	% 0,22 C-oranına kaçır,et kalır- lıkları ve P-,S- sınırlamalarında uygun olma durumlarında iyi kaynak edilebilir.
St35,St45 (Boru Çelikleri DIN 1629,17175)	<0,22	
Al,MII,MIII (Kazan Saçları DIN 17155)	<0,22	
C10,C15 (C22),(Semantasyon ve Kalite Çelikleri DIN 17210,17200)	<0,18 (<0,25)	
St 52	<0,20,fakat Mn- ve Si-oranları yüksek	kaynak edilebilir.
St 50	0,30(yaklaşık)	şartlı kaynak edilebilir.
St 60 , C 35	0,40(yaklaşık)	Özel elektrodlar kullanılarak ön ve son tavlama ile kaynak edile- bilir.
St 70 , C 45	0,50(yaklaşık)	Özel önlemlerle şartlı olarak kaynak edilebilir.

	KAYNAK YÖNÜ(MİFİR)	C	E	WIG	MAC	MİC	TA	EC
KAYNAK POZİSYONU	V - Düzak (yatay)	.	.	.	.	.	.	.
	H - Yatay	.	.	.	.	.	.	.
	S - Çukuklu (Tutulu)	.	.	.	.	.	(+)	.
	I - Liriyeli (Çizgi)	(+)	.	(+)	(+)	(+)	.	.
	q - Çirine	.	.	.	.	.	(+)	.
	G - İğnen	.	.	.	.	(+)	.	.
DİZİLİŞ FORMU	V - Çizgili	.	.	W	.	.	.	.
	L.K - Çizgili	(+)	.	(W)	.	.	.	.
	U.J - Çizgili	(+)	.	W	.	.	.	.
	L - Çizgili	(+)	.	(I)	.	.	.	.
	Düz form	.	.	.	.	.	.	.
II BALINIRIĞI(mm)	< 2	-	(+)	.	.	.	.	.
	2 - 5	.	.	.	.	.	(+)	.
	5 - 15	(+)	.	(+)	.	.	.	.
	15 - 60	.	.	(W)	.	(+)	.	.
	60 - 200	.	.	.	.	.	.	.
	> 200	.	.	.	.	.	.	.
AKIM ŞİDDETİ(A)	< 50	.	(+)	.	(+)	.	.	.
	50 - 300	.	.	.	.	.	.	.
	300 - 600	(+)	.	(+)	(+)	(+)	.	.
	> 600	.	.	.	.	.	.	.
	MİKAS /ASTOR	Ekstra malzeme ileriye ele	.	.	.	.	.	.
Ekstra malzeme mekanik		.	.	.	.	.	.	.
İleriye mekanik		.	.	.	.	.	.	.
İleriye etme mekanik		.	.	.	.	.	.	.
T Ü R	Ağırsız Yapı çelikleri C < 0.2 %	.	.	.	.	.	.	.
	Ağırsız Yapı çelikleri C = 0.2-0.4 %	.	.	.	(+)	.	(+)	.
	İnce taneli Yapı çeligi < 350 N/mm	.	.	.	.	.	.	.
	İnce taneli Yapı çeligi = 350-500 N/mm	.	.	W	.	.	.	.
	17 Mn, 19 MnS, 15 MoS	.	.	W	.	.	.	.
	73 Cr No44	.	.	.	(+)	.	.	.
	70 Cr Mo 970	(+)	.	.	.	.	.	.
	52 Cr Mo 795	.	.	.	.	.	.	.
	74 Mo V 63	.	.	.	.	.	.	.
	20 Cr Mo V 72.7	.	.	.	.	.	(+)	.
	Paslanmaz çelikler	.	.	.	(+)	.	.	.
	Paslanmaz ferritik, ostenitlik yapı çelik	.	.	.	(+)	.	.	.
	Paslanmaz çelik, tam ostenitlik yapı	.	.	.	.	.	(+)	.
	Islık dayanıklı ferritik çelik	.	.	.	.	(+)	.	.
	Islık dayanıklı ostenitik çelik	.	.	.	.	.	(+)	.
	14C W 20 Antimagnetik	.	.	.	.	.	.	.
	İferris döküm	.	.	.	.	.	.	.
Ni alaşımları	.	.	.	.	.	.	.	
Al ve Al alaşımları	(+)	(+)	.	.	.	.	.	
Cu ve Cu alaşımları	(+)	(+)	.	.	.	.	.	
Ti alaşımları	.	.	.	.	.	.	.	

3.KAYNAKLI PARÇALARDA MEYDANA GELEN DİSTORSİYONLAR VE GERİLMELER

3.1. Gerilme ve Distorsiyonların esasları :

Uzunluğu diğer boyutların yanında, çok büyük olan bir parça (çubuk) ısıtılırsa ve serbest olarak hareket edebiliyorsa boyu uzar, soğuduğu zaman, tekrar eski uzunluğuna erişir. Buna " serbest uzama ve kendini çekme " denir. (Ş.3.1). Isı etkisi altında kalan bir parçanın uzama miktarı, şu formülle ifade edilir; (Anık - 1991)

$$\Delta l = l \Delta t \alpha_L \quad (3.1)$$

Δl : Çubuğun uzama miktarı (mm)

l : Çubuğun ısıtılmadan önceki boyu (mm)

Δt : Çubuğun Başlangıç ve son sıcaklıkları arasındaki fark (°C)

α_L : Isıl uzama katsayısı (mm / °C)

Genişlik ve uzunluk arasındaki farkın büyük olmadığı parçalarda, ısı karşısında uzama ise;

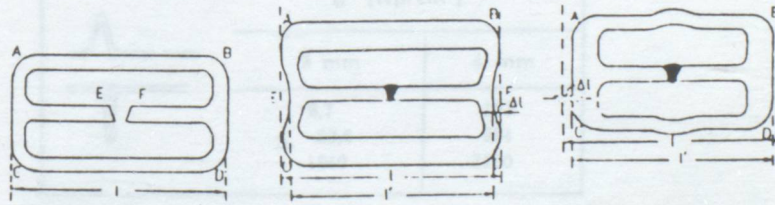
$$\Delta F = F \cdot \Delta t \cdot \alpha_F \quad (3.2)$$

ΔF = Levhanın ısı etkisiyle yüzeyel genişleme miktarı (mm)

F = Levhanın ısıtılmadan önceki alanı (mm²)

Δt = Başlangıç ve son sıcaklıklar arasındaki fark (°C)

α_F = Yüzeyel genişleme katsayısı (mm² / °C)



Şekil 3.1. Metalik bir konstrüksiyonun ısı etkisiyle uzayıp kısılması. (Anık - 1991)

Isı etkisinde kalan bir parçanın, uzama ve kısılmasının tahdit edilmesi; parçada basma ve çekme gerilmelerinin meydana gelmesine neden olur. Bu gerilmeler plastik alanda ise, plastik şekil değişimi (distorsiyon) ve gerilme kırılma değerini aşarsa, kırılmalar meydana gelir. Bu davranış gerilmenin değeri kadar, malzemenin sünek veya gevrek davranışına da bağlıdır.

3.2. Kaynak gerilmelerinin ve çarpılmalarının meydana gelmesine etki eden faktörler.

Kaynaklı parçalarda meydana gelen gerilmeler ve çarpılmaların sebepleri; ısıtma gerilmeleri, konstrüksiyonun rijitliği ve malzemenin metalurjik özellikleri adalı altında toplanır.

A -) Isıtma gerilmeleri.

Yukarıda belirttiğimiz gibi; parçaların kaynak esasında ısıtılmaları, çeşitli gerilmelerin oluşmasına neden olur. Bu gerilmelerin değeri şu faktörlere bağlıdır;

a -) Sıcaklık farkı

- Isı miktarı
- Kaynak hızı
- Özgül ısı
- Isı iletme kabiliyeti
- Radyasyonla ısı yayılımı
- Parçaların hacmi ve formu

b -) Elastiklik modülü

c -) Isıl uzama katsayısı

Sıcaklık farkının ve ısıl uzama katsayısının artmasıyla; gerilmeler artmaktadır.

B -) Konstrüksiyonun rijitliği :

Kaynak ısıl gerilmelerinin meydana getirdiği distorsiyon miktarı, konstrüksiyonun rijitliği ve levha kalınlığına bağlıdır. Alınacak tedbirlerle, konstrüksiyonun burkulma mukavemeti artırılırsa, çarpılmalar azalır. (Ş. 3.2.). Rijiditenin düşük olması, çarpılmaları artırır.

	Sacların Burkulma mukavemeti σ [Kp/cm ²]	
	3 mm	4 mm
	6,7	123
$\leq$	53,6	984
	1840	3200

Şekil - 3.2. Konstruktif tedbirlerle rijiditenin artırılması. (Anık 1991)

C -) Malzemenin metalurjik özellikleri.

Kaynak ısısı sebebiyle, parçaların yüksek sıcaklıklara ısıtılması ve soğutulması, iç yapı değişmelerine neden olur. Mesela; çeliklerin kaynağında kaynak bölgesinde meydana gelen martenzitik yapı, şekil değiştirme kabiliyeti az olan bir iç yapıdır. Bu durum ise, çarpılmalarına karşı davranışa etki eder. İç yapıya bağlı olarak, malzeme kolay veya zor şekil değiştirir.

3.3. Alın dikişlerinde distorsiyonlar.

3.3.1. Enine distorsiyonlar.

Alın kaynaklarında meydana gelen enine distorsiyonların büyüklüğü; kaynak yerine verilen ısı miktarı, ağız genişliği ve dikiş boyuna bağlıdır. Alın kaynağında enine distorsiyonu azaltmak için, şu hususlar dikkate alınmalıdır,

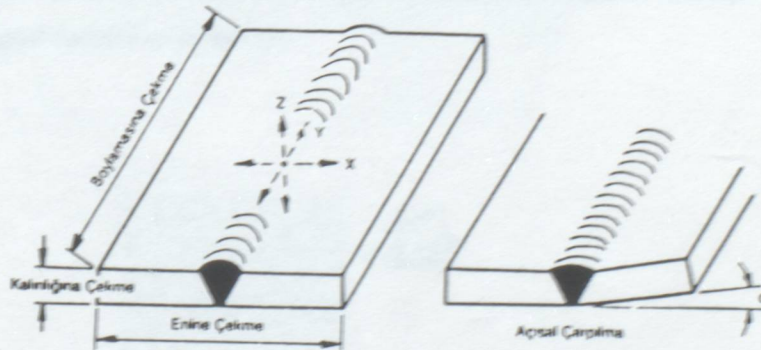
- a -) Kaynak dikişi puntalanmalıdır.
- b -) Sıçrayarak veya geri adım yöntemiyle kaynak yapılmalıdır.
- c -) Kaynak hızı yükseltilmelidir.
- d -) İnce çaplı elektrod ile, çok pasolu kaynak yapılmalıdır.
- e -) Kaynak ağzı düzgün olarak hazırlanmalıdır.

3.3.2. Boylamasına distorsiyonlar.

Kaynak metalinin erimesi sırasında, dikişin civar bölgeleri genişlemek ister. Soğuk durumdaki civar bölgeler, boylamasına uzanmayı gerçekleştirir ve plastik bir yığılma meydana gelir. Bu durum boylamasına, distorsiyon ve gerilmelerin oluşmasına neden olur. Dikişin boyu arttıkça, boylamasına distorsiyon azalır. Ayrıca alın kaynakların da distorsiyon miktarı, 0.1 - 0.3 mm/m arasındadır. Distorsiyon miktarı, Kaynak hızı artırılarak veya kaynak aralıklı olarak, yapılarak azaltılabilir.

3.3.3. Açısal distorsiyon.

Alın dikişlerinde meydana gelen açısal distorsiyon miktarı, kaynak ağzının şekli, pasoların oluş biçimi, ve saç kalınlığına bağlıdır. Pasoların oluş biçiminin açısal distorsiyon üzerindeki etkileri Ş.3.3. ' de görülmektedir.



Şekil 3.3. Dikişin oluşum şeklinin açısal distorsiyon üzerine etkisi. (Anık 1991)

Kaynaklan evvel parçalara ters yönde bir meyil vererek, kök pasosunun ters taraftan oyularak yeniden kaynaklanması veya kaynak esnasında parçaların iyi bir şekilde tesbit edilmesiyle açısal distorsiyon azaltılabilir.

3.4. İç köşe birleştirmelerinde distorsiyonlar.

3.4.1. Enine distorsiyonlar.

İç köşe dikişlerindeki enine distorsiyon derecesi aşağıdaki oranla ifade edilmektedir,

$$\frac{\text{DİKİŞ KALINLIĞI}}{\text{SAÇ KALINLIĞI}} = \frac{a}{b} \quad (3.3)$$

Bu oranın değeri;
 0.3 ise distorsiyon az
 0.5 ise distorsiyon normal
 0.8 ise distorsiyon fazladır

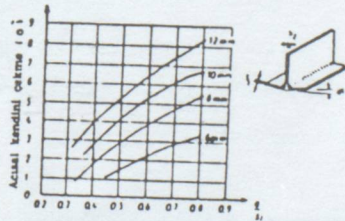
3.4.2. Boylamasına distorsiyonlar

Dikişin içerisinde meydana gelen çekme kuvvetleri, konstrüksiyonun rijitliğine karşı bir etki meydana getirir. Bunun için, kirişlerdeki boylamasına distorsiyon aşağıdaki orana bağlıdır,

$$\frac{\text{KİRİŞ KESİTİ}}{\text{DİKİŞ YÜZEYİ}} = \frac{F(\text{Kiriş})}{F(\text{kaynak})} \quad (3.4)$$

3.4.3. Açısal Distorsiyonlar.

Açısal distorsiyona, tek taraflı tavlama sonunda sacda (levhada) meydana gelen sıcaklık farkları neden olur. Paso sayısının ve levhalar arasındaki açıklığın artması, açısal distorsiyonu artırır. Ş.3.4. 'de dikiş kalınlığının sac kalınlığına oranına bağlı olarak, açısal distorsiyondaki değişme verilmiştir. Ters yönde bir eğim verilerek, açısal distorsiyon önlenabilir.



Şekil 3.4. İç köşe dikişlerinde açısal distorsiyon miktarı. (Amk - 1991)

3.5. Kaynak gerilmeleri.

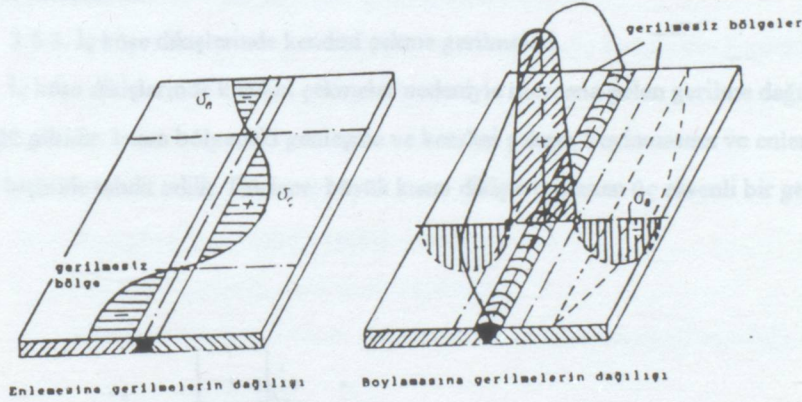
Kaynak esnasında parçaların bölgesel olarak ısıtılması, gerilmelerin ve distorsiyonların oluşmasına sebep olmaktadır. Gerilmeler; bölgesel olarak ısıtılan parçaların uzama veya kısalmalarının oluşması neticesinde meydana gelir.

Gerilmeler de enine, boyuna ve derinlemesine gerilmeler olarak adlandırılırlar.

3.5.1. Enine gerilmeler

Ş.3.5. 'de görüldüğü gibi; kaynak esnasında parçaların kaynak eksenine dik yöndeki hareketlerinin neticesinde, enine gerilmeler meydana gelir. Enine gerilmeler aynı zamanda, boylamasına kendini çekmelerin oluşturduğu enine gerilmelerle birleşirler.

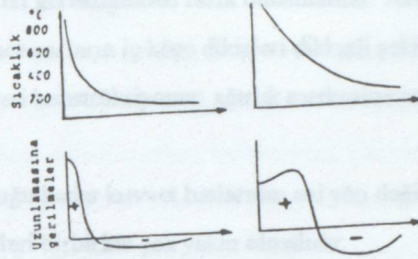
Sıçrayarak ve geri adım yöntemiyle kaynak paso sayısının artırılması ve hızlı kaynak yapılması enine gerilmeleri azaltır.



Şekil 3.5 Bir V - alın birleştirmesinde boylamasına ve enlmesine gerilmeler.

3.5.2. Boylamasına gerilmeler.

Kaynak esnasında, kaynak eksenine boyunca parçaların farklı sıcaklıklarda olmaları, boylamasına gerilmelerinin oluşmasına neden olur. Sıcaklık dağılımındaki değişmeye bağlı olarak, gerilme dağılımındaki değişim Ş.3.6. 'da görülmektedir.

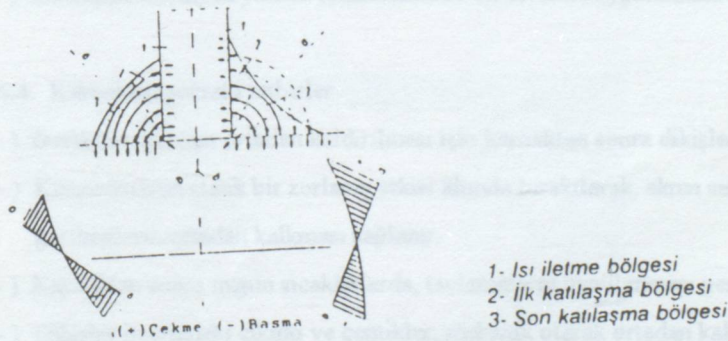


Şekil - 3.6. Sıcaklık dağılımına bağlı olarak boylamasına gerilme dağılımı. (Anık - 1991)

Kaynak hızı azaltılarak, ön tavlama uygulayarak veya uygun kaynak sıraları takip edilerek bu gerilmeler azaltılabilir.

3.5.3. İç köşe dikişlerinde kendini çekme gerilmeleri.

İç köşe dikişlerinde kendini çekmeler nedeniyle meydana gelen gerilme dağılımı, Ş.3.7. 'de görüldüğü gibidir. Isının bölgedeki genişleme ve kendini çekme, boylamasına ve enlemesine yönler de kuvvetli biçimde tahdit edilir. Böylece; büyük kısmı dikişte toplanan üç eksenli bir gerilme hali meydana gelir.



Şekil - 3.7. İç köşe dikişlerinde kendini çekme etkisi. (Anık - 1991)

3.6. Distorsiyonlara ve gerilmelere engel olmak için alınacak tedbirler.

3.6.1. Konstrüktif tedbirler.

- a -) Kaynak dikişleri gerektiğinden fazla olmamalıdır. Aksi halde, gerilme ve distorsiyonlar artar.
- b -) Mümkünse ince sacların iç köşe dikişleri dikkatli şekilde yapılmalıdır.
- c -) Kaynak dikişleri konstrüksiyonun ağırlık merkezine yerleştirilmeli veya simetrik olarak düzenlenmelidir.
- d -) Mümkün olduğu kadar kuvvet hatlarının ani yön değiştirmelerinden kaçınılmalıdır.
- e -) Kaynak dikişleri birbirine çok yakın olmalıdır.
- f -) İnce saclardan yapılan konstrüksiyonlar, burkulma mukavemetlerini arttıracak şekilde takviye edilmelidir.
- g -) Mümkün olduğu kadar, şekil değiştirme kabiliyeti yüksek malzemeler kullanılmalıdır.
- h -) konstrüksiyon, kaynak sırasında parçaların kendini çekebilmeleri göz önüne alınarak tertiplenmelidir.

3.6.2. Teknolojik tedbirler.

- a -) Uygun kaynak sırası uygulanmalıdır.
- b -) Kök pasosu kalın bir elektrodla yapılmalıdır.
- c -) Açısal distorsiyonu önlemek için, mümkün olduğu kadar kalın kaynak pasoları çekilmelidir.
- d -) Küçük pasolarla yapılan kaynakta , pasolara önce levha kenarlarından başlanmalıdır.
- e -) Dikişler sıçrayarak veya geri adım yöntemiyle yapılmalıdır.

3.6.3. İşletmeyle ilgili tedbirler

- a -) Kaynak ağızları dikkatli şekilde hazırlanmalıdır.
- b -) Parçalar kaynaktan evvel puntalanmalıdır.
- c -) Sertleşme kabiliyeti yüksek malzemelerde ön tavlama uygulanmalıdır.

3.6.4. Kaynaktan sonraki tedbirler

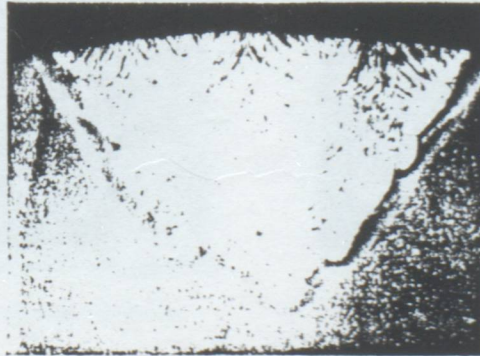
- a -) Gerilme uçlarının ortadan kaldırılması için kaynaktan sonra dikişler çekiçlenmelidir,
- b -) Konstrüksiyon statik bir zorlama etkisi altında bırakılarak, akma sınırının aşıldığı bölgelerde gerilmelerin ortadan kalkması sağlanır.
- c -) Kaynaktan sonra uygun sıcaklıklarda, tavlama ların uygulanması gerilmeleri azaltır.
- d -) Dikişler üzerindeki çıkıntı ve çentikler, mekanik olarak ortadan kaldırılmalıdır.

4. KAYNAK DİKİŞİNİN VE ÇEVRESİNİN METALURJİK YAPISI

4.1. Giriş

Kaynak, birleştirilmiş malzemeler için çok etkili bir yöntemdir. Kaynağın bazı metotları, özellikle metalurjik bakımdan çok kompleksirler. Metalurjik olayların gerçek tüm tipleri, bir kaynak yapımı akışı boyunca vuku bulur. Kaynak metalurjisi; ergitme, katılaştırma, gaz - metal reaksiyonları, avruf - metal reaksiyonları, yüzeyel olaylar ve katı hal reaksiyonlarından ibarettir. Bu reaksiyonlar, diğer metalurjik işlemlerin (örneğin; çelik yapımı, döküm ve ısıtım işlemi) zıttına kaynak boyunca çok hızlı olarak meydana gelirler. (Welding Handbook)

Kaynak bağlantısı; kaynak metali, ısıtım etki bölgesi ve etkili olmayan ana metalden oluşmuştur. Her kaynak bölgesinin metalurjisi, kaynak işleminde kullanılan malzeme ile ilgilidir. Pek çok tipik kaynak bağlantıları; düşük karbonlu çelikte olduğu gibi, hızlı katılaşırlar ve genelde ana metale benzer bir bileşimde iyi taneli olurlar. Kaynaklı bağlantıda kaynak metali ana metale kimyasal kompozisyon açısından genelde benzer ama, bazı durumlarda, kaynak metali farklılıklar gösterebilir. (Dökme demirin kaynağında olduğu gibi). Kaynak metalinden başka; kaynaklı bağlantıda, ikinci bir bölge, kaynak ısıtımından etkilenmiş bölgedir. Isıdan etkilenmiş bölge, ana metalin bir parçasıdır; erimiş birleşmiş metalin civarındadır. Her ne kadar; ısıdan etkilenmiş bölge, ısıtılmış tüm bölgeleri kapsıyorsa da, pratik bakımdan; ısıtımın etkili olduğu kaynak işlemiyle ısıtılmış bölgeleri içerir. Onun için; çelikler için kaynak ısıtım 600 °C ' den az bir sıcaklıkta ısıtılmış bölgeler için mesela yalın karbonlu bir çelikte az bir etkiye sahiptir. Sertleştirilmiş bir çelikte ise, bu sıcaklığın üstündeki bir sıcaklıkta ısıtılırsa, ısıtılmış bölgenin önemli bir bölümünde, özelliklerin değişimi gözlenir. Kaynaklı bağlantıda 3. kısım, ana [esas] metaldir. Bu, birleştirilecek olan malzemedir. Kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölge, başarılı bir kaynak bağlantısında, ana metalle bağlantıda uyumluluk gösterirler.



Ş - 4.1. Bir düşük alaşımlı çeliğin kaynağı. Isıdan etkilenmiş bölge, her kaynak pasosu etrafında görülmektedir. (Welding Handbook)

4.2. Kaynak metali, kaynak dikişi .

4.2.1. Dikişin alaşım yapısı

Kaynak bir eritme ve katılaşma işlemi olduğundan kendine özgü bir metalurjik yapı ile doğar. Bu yapının, ana metalin başka yöntemlerle oluşturulmuş yapısından farklı olması doğaldır.

Yapı denince akla gelen ilk hususlardan birisi alaşım oranı, yani kinyasal bileşimdir. Kaynağın alaşımını ana metalden farklı olabilir. Zira; kaynak dikişi , ana metalle dolgu metalinin (elektrodun) harmanından oluşmuştur. Dolgu metalini uygun seçmek suretiyle, dikişin alaşım yapısı, ana metalin yapısına yaklaştırılabilir. Ancak tupa-tup bir benzeşim sağlamak hayaldir. Zira bazı alaşım elementleri, yüksek sıcaklıkta çeşitli yollarla, (yanarak , kinyasal bileşim oluşturarak veya ayrışarak) kısmen kaybolurlar.

Alaşım yönünden sorun sadece ana metalle kaynak metali arasında ki farklılık değildir. Aynı zamanda , kaynak dikişinin her yerinde alaşımın homojen olmayışıdır. Kök pasoda ana metalin, kapak pasosunda elektrodun katkısı çoğunluktadır. Geniş dikişlerde orta pasolar sadece dolgu metalinden ibaret de olabilir.

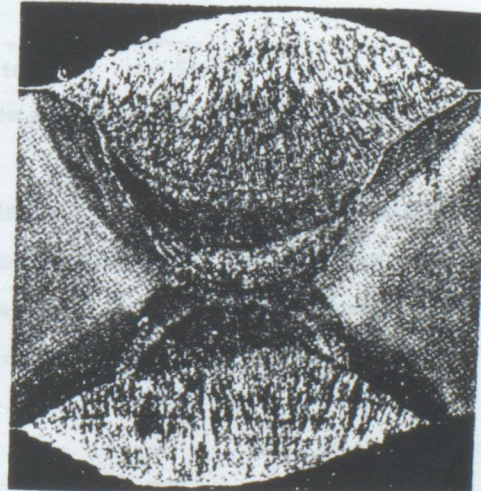
4.2.2. Dikişin taneli yapısı.

Kaynak dikişinin yapısı, tane büyüklüğü bakımından da homojen değildir.

Taneli yapıyı şekillendiren birinci etken soğuma rejimidir. Yavaş soğuma iri taneler, hızlı soğuma ince taneler oluşturur. Taneler ısının kaçış doğrultusunda uzarlar ve en kötü halde birer sütuncuk şeklini alırlar. Biz buna yapının yönlenmesi diyoruz. Mekanik özellikleri zayıflatan böyle bir gelişme, yani tanelerin büyümesi ve yönlenmesi hiç arzu edilmez.



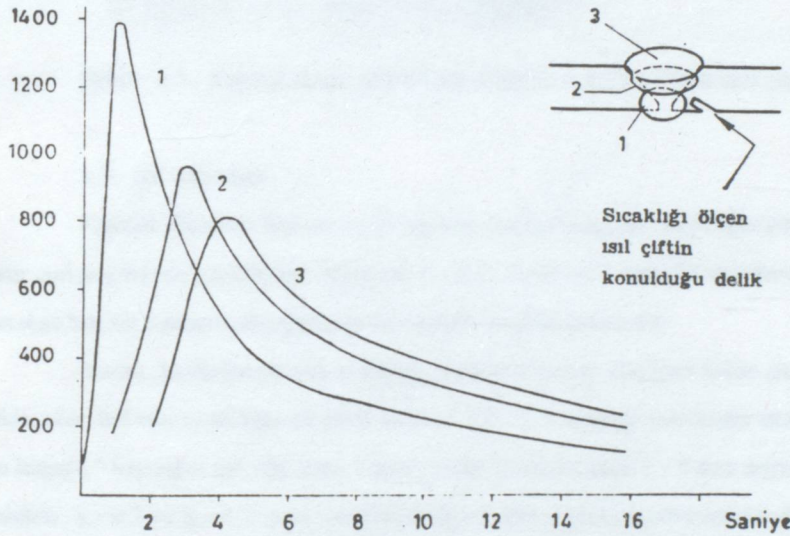
Şekil - 4.2. sütunsal ve kaba taneleri ile kötü kaynak yapısına bir örnek
(Özden - 1985)



Şekil - 4.3. ince ve kaba taneli bölgeleriyle kaynağın tipik yapısı
(Özden 1985)

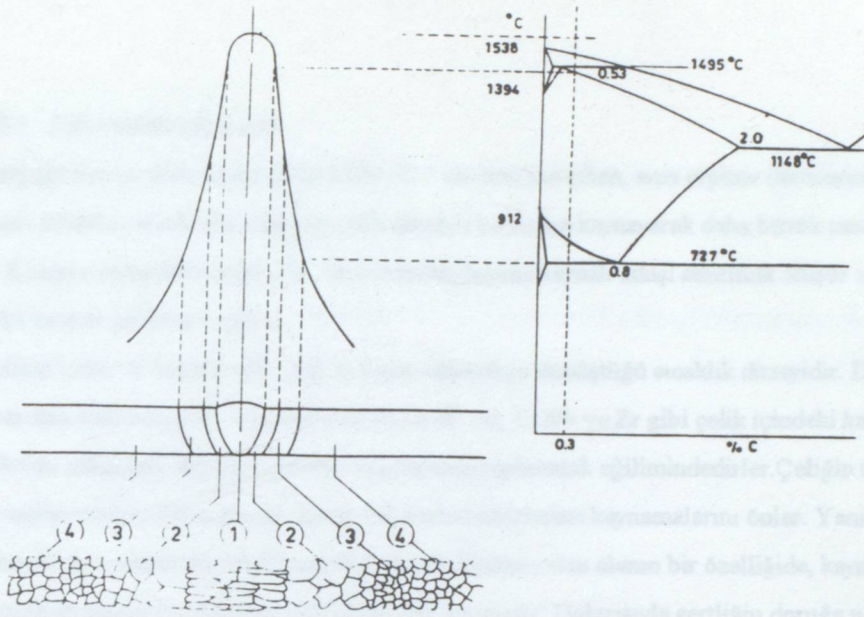
Şekil 4.2 göstermelik bir kaynağın fotoğrafıdır. Sütünsal ve yönsel tane yapısını resimleyebilmek için özel surette yapılmıştır. İki pasodan oluşmaktadır. Tane karakteri her iki pasoda da aynıdır. Ancak yönelme birinci pasoda yatay, ikinci pasoda düşey doğrultudadır. Kaynak ısının çoğu, normal olarak, ana metal kütleleri tarafından emildiğinden taneler yönelme de buna kendini uydurur.

Ş - 4.3. , daha bir özenle yapılmış çok pasolu X kaynağının kesitidir. Merkez bölgede yer alan ilk pasoların ince taneli izotrop, dış kapakları oluşturan son pasoların ise iri ve sütünsal taneli yönelmiş yapıları belirgin olarak seçilebilmektedir. Aslında bu görünüm kaynağın tipik yapısıdır. Zira her paso, kendinden önceki pasolar üzerine yüksek sıcaklıklara kadar çıkan bir ısı işlemi uygular. Bu ısı işlemler taneler yapıyı ıslah ederler. Dolayısıyla taneler küçülür, yönelme kaybolur. Fakat, son paso için böyle bir ıslah işlemi olmadığından, o ham yapısını muhafaza eder. (Özden - 1985)



Şekil - 4.4. Üç pasolu dikişte köke çok yakın bir noktada sıcaklık değişimleri.

Ş - 4.4. , anlatılan ısı işlemlerin deneysel eğrileridir. Üç pasolu bir kaynağın yapılışı sırasında, kök pasoya komşu bir noktada yaşanan sıcaklık çevrimlerinin eğrileridir. Birinci paso çekilirken, neredeyse ergime derecesine varan sıcaklık, üst pasoların çekilişi sırasında daha alçak doruklarda kalmaktadır.



Şekil - 4.5. Kaynak dikişi çevresinde sıcaklık dağılımı ve taneler yapı farklılıkları. (Özden - 1985)

4.3. Isıl etki alanı.

Kaynak dikişinin fiziksel sınırı metalin ergime sınırındır. Kaynağın parlatılıp dağlanan kesitinde bu sınır çıplak gözlede görülebilir. Nitekim; Ş - 4.2. ve Ş - 4.3. 'teki fotoğraflarda gerek kaynak dikişinin ve gerekse her bir pasosunun sınırları net bir şekilde seçilebilmektedir.

Ancak; kaynağın yüksek sıcaklığı, ergime sınırının ötesinde kalan ana metal kesimleri üzerinde de etkili olur. Isıl etki sıcaklığın alt kritik sınıra (727 °C) ulaştığı yere kadar uzanır. Kaynak dikişini çevreleyen bu kuşağa " kaynağın ısı etki alanı " ismi verilir. Şartlara göre 1 - 3 mm arasında değişen bir genişliğe sahiptir. Ş - 4.2 ve Ş - 4.3 'teki fotoğraflarda ısı etki alanında seçilebilmektedir.

Kaynak sırasında ısı etki alanında meydana gelen gelişmeler olumsuz yöndedir. Burada iki temel değişiklik söz konusudur;

- 1 - Ana metalin mevcut billursal düzeni çöker ve şartların oluşturduğu yeni bir düzen doğar.
- 2 - Daha önce ısı işlemleri (sertleştirme, menevişleme, ... v.s.) malzemeye kazandırılmış olan özellikler bozulur.

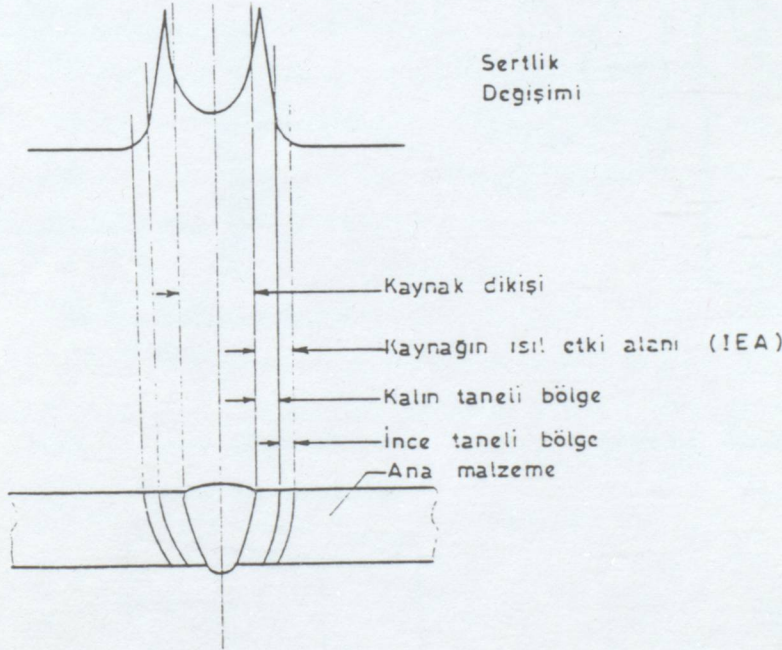
Ş - 4.5. Kaynak dikişinde ve ısı etki alanında sıcaklık dağılımının ve buna bağlı olarak taneler yapının tipik görüntüsüdür. Yana çizilmiş Fe - C diyagramından sıcaklık - billursal yapı ilişkilerini izlemek mümkündür. Basit olması için, kaynağın tek pasıyla yapıldığı varsayılmıştır. Bu durumda dikişin sütunsal ve yönlendirilmiş tanelerden oluşacağını daha önce söylemiştik.

Isıl etki alanının taneler görüntüsüne gelince, buranın iki alt bölge halinde incelenebileceği anlaşılmaktadır. Aşağıda bunlar ayrı başlıklar altında ele alınmıştır.

4.3.1. Kaba taneli yakın alan.

Kaynağa komşu olan ve sıcaklığı 1100°C 'nin üzerine çıkan, ama ergime derecesine de varmayan kesimdir. Aşırı yükselen sıcaklığın etkisiyle çelik taneleri birbirine kaynayarak daha büyük taneler haline dönüşürler. Kolayca anlaşılabilceği gibi, en iri taneler hemen kaynak dikişi sınırında oluşur ve sınırdan uzaklaştıkça taneler giderek küçülür.

Çelikte 1100°C kırmızı akkorluğun beyaz akkorluğa dönüştüğü sıcaklık düzeyidir. Diğer taraftan; çelik bu derecenin üzerinde çok, altındaysa az eriticidir. Al, V, Nb ve Zr gibi çelik içindeki kalıntılar bu sıcaklığın altında çökmek, ayrılmak ve tane sınırlarında toplanmak eğilimindedirler. Çeliğin tane sınırlarında anılan maddelerden oluşan duvar, tanelerin birbirlerine kaynamalarını önler. Yani söz konusu sıcaklığın altında tane büyümesi zayıf olasılıktır. İncelediğimiz yakın alanın bir özelliğide, kaynak dikişi ve çevresinde en fazla martenzit oluşumunun burada yer almasıdır. Dolayısıyla sertliğin doruğa ulaştığı yer burasıdır. Ş - 4.6. bunu göstermektedir. (Özden - 1985)



Şekil-4.6 Kaynak Dikişi ve Çevresinde Sertlik Değişiminin
Tipik Eğrisi

4.3.2. İnce taneli uzak alan .

Sıcaklığın alt kritik sınırın (727°C) üzerine çıktığı, ama tane büyümesi yaratacak kadar da yükselmediği ana malzeme kesitidir. Ferrit ve perlit taneleri kısmen veya tamamen östenite dönüşmüşler, ama yeni taneler büyümek fırsatını bulamamışlardır. Gerek sıcaklığın nispeten düşük kalması ve gerekse bu sıcaklıkta kalış süresinin kısalığı, ince taneli bir yapı ortaya koymuştur. bu kesimde taneler, malzemenin orjinal tanelerindende küçüktür. Bu yörede martenzit oluşumu da azdır. Dolayısıyla sertleşme fazla değildir. Görüldüğü gibi uzak alan, kaynak dikişinin az sorunlu dış çevresidir.

4.4. Ana metal

İncelediğimiz diğer alanların ötesinde kalan ve kaynak sırasında sıcaklığı alt kritik sıcaklığa (AC) ulaşmayan ana metal kesimlerinde kalıcı bir etki meydana gelmez.

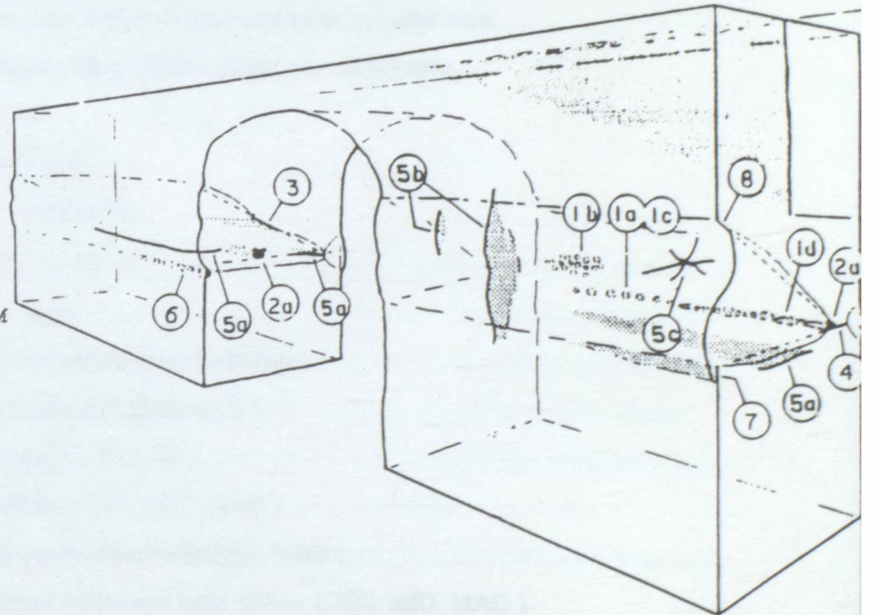
Bugün mevcut, bilinen mühendislik malzemelerin çoğu, kaynağa elverişli malzemelerdir. Bununla birlikte; tüm işlem karakteristikleri muhafaza edilmiş ise de, başarılı bir kaynak yapımının çok zor olduğu malzemeler de vardır. (Özden - 1985)

5. KAYNAK DİKİŞLERİNDEKİ OLASI HATA TİPLERİ VE DURUMLARI

Bir kaynak dikişinde; kaynak yöntemine, tekniğine, uygulama ve diğer koşullara bağlı olarak çeşitli hatalar oluşabilir. Sıkça rastlanan bu hataların neler olduğu ve yaygın olarak kullanılan; Elektrik ark kaynağı (E), Tungsten koruyucu gaz ark kaynağı (TIG), Metal koruyucu gaz ark kaynağı (MİG - MAG), Tozaltı ark kaynağı (SA) ve gaz kaynakları (G) gibi kaynak teknik yöntemlerine bağlı olarak hataların oluşum nedenleri kısaca açıklanmıştır. Hataların tipi ve oluşum yerleri Tablo 5.1.' de verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.1' de alın kaynağı Şekil 5.2 'de ise köşe kaynağındaki olası hatalar şematik olarak gösterilmiştir.

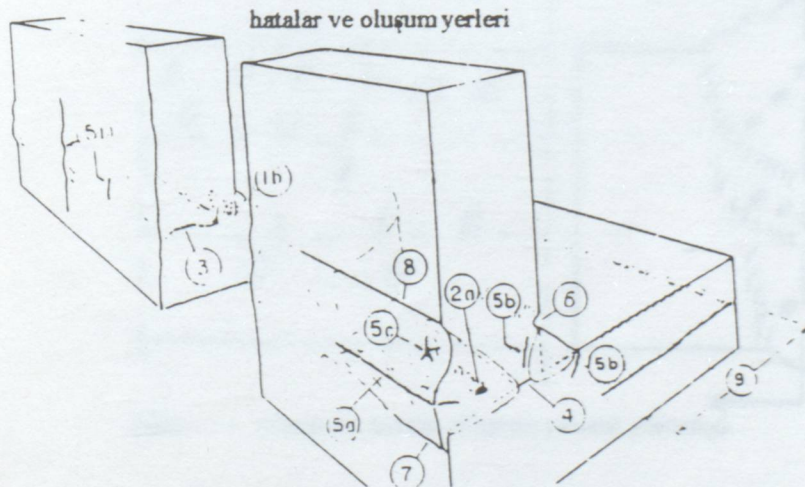
Hata tipleri	Yeri
1 Gaz Boşlukları	KM
a)Gelişigüzel Dağılımış	
b)Toplu Gozenek	
c)Sıralı Gozenek	
d)Kurt Gozenek	
2 Kalıntılar	KM
a)Çuruf Kalıntılar	
b)Metelik Kalıntılar	
3 Yan duvar Kaynama eksikliği	KM
4 Yetersiz nüfuziyet	KM
5 Çatlaklar	
a)Boyuna	KM,IEB
b)Enine	KM,IEB,BM
c)Krater	KM
6 Yanma Olukları	IEB
7 Taşma	KM
8 Gayri muntazam kaynak yüzeyi	KM
9 Laminasyon (Krater)	KM
10 Sakal	KM

NOT: KM KAYNAK DİKİŞİ
IEB ISIDAN ETKİLENEN BÖLGE
BM ANA METAL



Tablo 5.1. Kaynak dikişlerindeki olası

Şekil 5.1. Alın kaynağı (Aykanat - 1994)



Şekil 5.2. Köşe kaynağı (Aykanat - 1994)

Kaynak dikişlerinde oluşan başlıca olası hataları ve oluşum nedenlerini şöyle sıralayabiliriz:

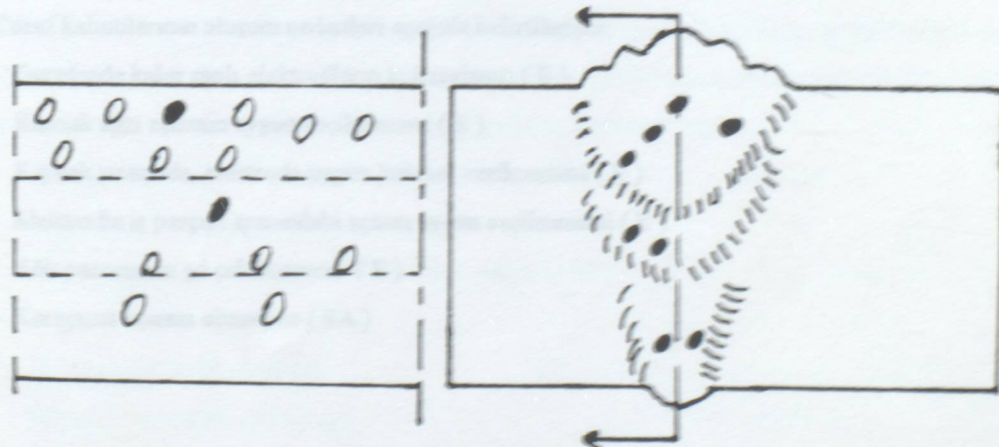
5.1. Gaz boşlukları (Gözenekler)

Kaynak sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda serbest kalan gazların ergimiş metalin içerisinde sıkışması gaz boşluklarının oluşmasına neden olur. Gaz boşlukları KM ' inde; lokal, toplu halde, sıralı veya kurt delikleri şeklinde olabilir; (§ - 5.1. - 1a,b,c,d ve 5.2 - 1a). Gözenekler daha çok kök pasolarında meydana gelir. kök hatalarının habercisi sayılır.

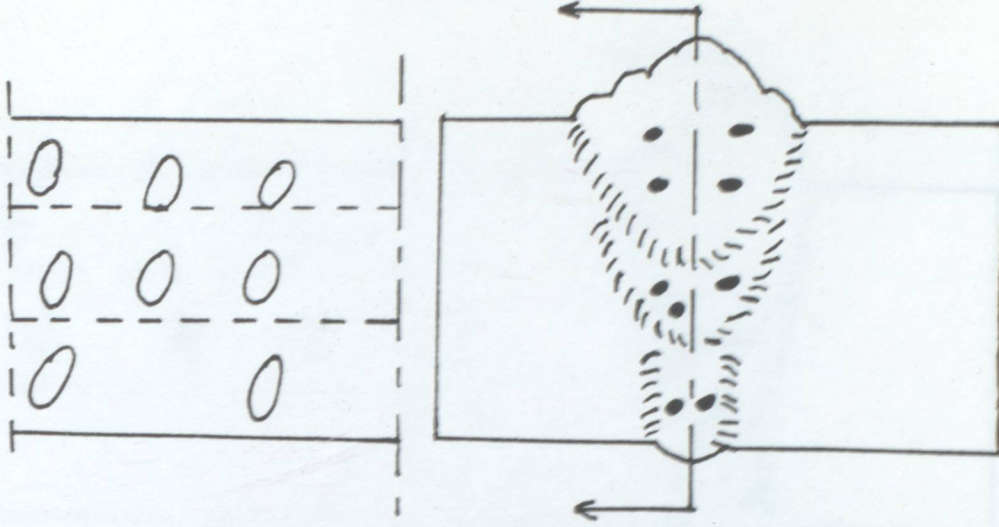
Yuvarlak ve oval formulu çeşitli küçük gözenekler zinciri, kaynak dikişinde taşıyıcı kesici azalttığından arzu edilmez. Gözenek kanalları, örneğin; bir bazik elektrodla kök pasosunun kaynağında çam yaprağı iğneler gibi meydana gelir. Dikişin mukavemetine olumsuz bir yolda etki oluşturur. Diğer taraftan kazan ve basınçlı kaplarda sızdırmazlık bakımından da uygun olmayan sonuçlar verir.

Gaz boşluklarının oluşum nedenlerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

- BM 'nin kimyasal bileşimi,
- BM ' nin ve KM 'nin kükürt içeriği
- Koruyucu kumun rutubetli olması (SA)
- Elektrod örtüsünün rutubetli olması (E)
- Düşük akım şiddeti ile çalışılması.
- Çok uzun veya çok kısa ark boyları ile kaynak yapılması,
- Ergimiş kaynak banyosunun çabuk katılaşması (E)
- Kaynak ağızlarının kirli olması (E, TİG, SA),
- Koruyucu gazın temiz olmaması (TİG, MİG, MAG)
- Su kaçağının olması (su soğutmalı sistemlerde MİG MAG)
- Koruyucu gaz miktarının yetersiz veya aşırı fazla olması (TİG, MİG, MAG)



Şekil - 5.3. Gözenekli kaynak dikişinin şematik görüntüsü.



Şekil - 5.4. Gaz gözenek kanallarının şematik görünüşü.

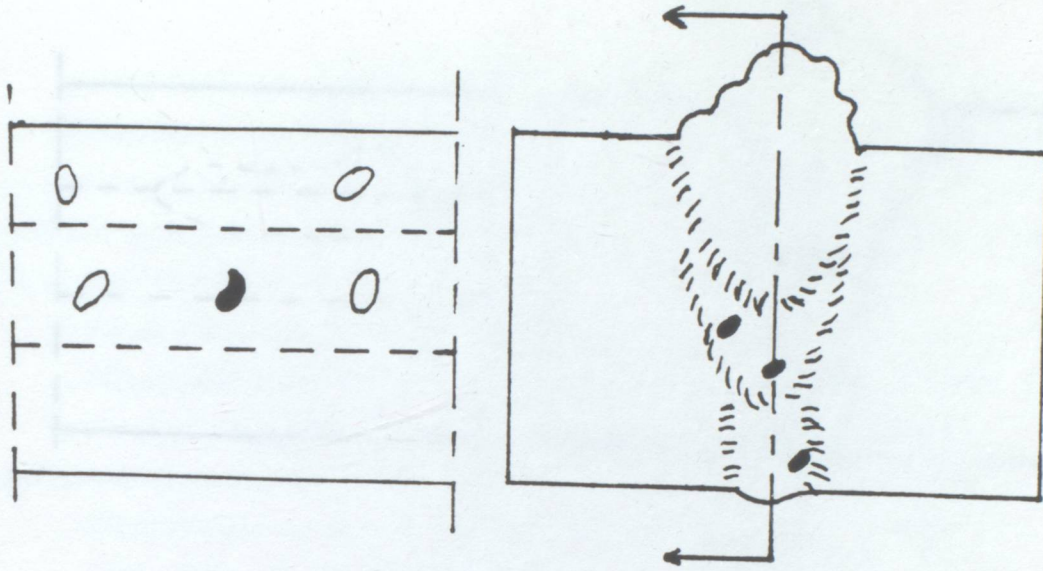
5.2. Curuf kalıntıları ve metalik kalıntılar.

Curuf kalıntıları kaynak dikişinde ya dağılmış vaziyet de veya sıralar halinde bulunur. Bunların değerlendirilmesinde çeşitli form ve istikamette bulunan curuf kalıntıları ile bilhassa sıralı curufların kalıntıları ile curuf kalıntıları birbirinden ayırt etmek gerekir. Kaynak sırasında uluşan curuf ark'ın etkisiyle ergimiş baryonun içerisinde kalabilir ve özellikle çok pasolu kaynak dikişlerinde kaynakçının bir sonraki pasoya geçmeden önce, curufu iyice temizlenmemiş olduğu durumlar da, iki paso arasında curuf kalabilir. Curuflar KM 'nde; lokal, tek, ve/veya çift sıralı olabilir. (Şekil - 5.1. - 2a ve Şekil - 5.2. - 2a)

Küçük ve yuvarlak curuf kalıntılarının kaynak dikişinin mukavemeti üzerinde etkisi çok azdır. Ama; büyük curuf kalıntılarının ve özellikle sıralı curuflar, dikişin mukavemetini düşürür.

Curuf kalıntılarının oluşum nedenleri aşağıda belirtilmiştir,

- Gereğinde kalın çaplı elektrodların kullanılması (E)
- Kaynak ağızı açısının uygun seçilmemesi (E)
- Kaynak sırasında, elektroda uygun hareket verilmemesi (E)
- Elektrodla iş parçası arasındaki açının uygun seçilmemesi (E)
- Kök pasosunun iyi çekilmemesi (E)
- Korumucu kumun olmaması (SA)



Şekil - 5.5. Yönü ve şekli herhangi bir tarzda olan curuf kalıntılı kaynak dikişi.

Metalik kalıntılar ise, TIG kaynağında rastlanır. Turgsten elektrod (TE) aşağıda belirtilen nedenlerle kaynak metali içerisinde kalabilir. (Aykanat - 1994)

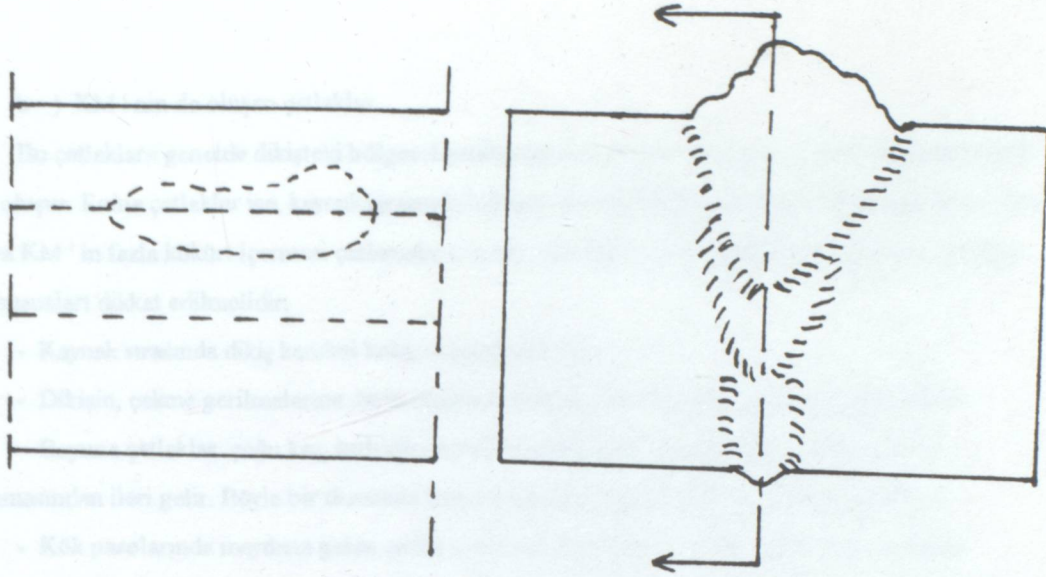
- TE ' un kaynak banyosuna temas etmesi ,
- TE ' un kaynak teline temas etmesi,
- DC akım (TE negatif kutup seçilirse) veya AC akım kullanıldığında TE ' un aşırı ısınıp erimesi.

5.3. Birleşme (Nüfuziyet) hataları.

Kaynak sırasında kök pasonun iki BM 'e tam nüfuz etmemesi ve/veya yine bu pasoda oluşan oyuk ve çentikler yetersiz nüfuziyet olarak adlandırılır. (Şekil 5.1 - 4 ve Şekil 5.2 - 4)

Birleşme hataları kaynak dikişinin mukavemetini düşürür. Kaynak ağzı boyunca bazı kısımların tam olarak erimesi sonucu meydana gelir. Özellikle dinamik zorlanmalarda kaynak dikişinde tehlikeli çatlaklara sebebiyet verir. Bu hatanın oluşumuna neden olan faktörler aşağıda verilmiştir.

- Kaynak ağzına uygun elektrod çapının seçilmemesi (E)
- Akım şiddetinin uygun olmaması.
- Kaynak ağzı açısının küçük olması. (TIG , MIG , MAG)
- Kök pasosunun iyi çekilmemesi,
- Kök açıklığının iyi olmaması,
- Eksenel kaçıklığın aşırı olması,
- Kökteki ardışık pasolarda uygun başlangıcın yapılmaması (TIG , MIG , MAG)
- Kök pasosunun taşlanmaması (TIG , MIG , MAG) (Aykanat - 1994)



Şekil - 5.6. Birleşmenin tam olmadığı kaynak dikişinin şematik görünüşü.

5.4. Çatlaklar

Bu hata diğerlerine oranla en tehlikeli olandır. Çatlaklar BM , IEB ve/veya KM' n de oluşabilir. (Şekil 5.1 - 5 a,b,c ve Şekil 5.2 - 5 a, b, c). Bu çatlaklar, ya boylamasına veya enlemesine ya da yıldız gibi çeşitli yönlerde meydana gelirler.

a -) BM ve IEB de oluşan çatlaklar.

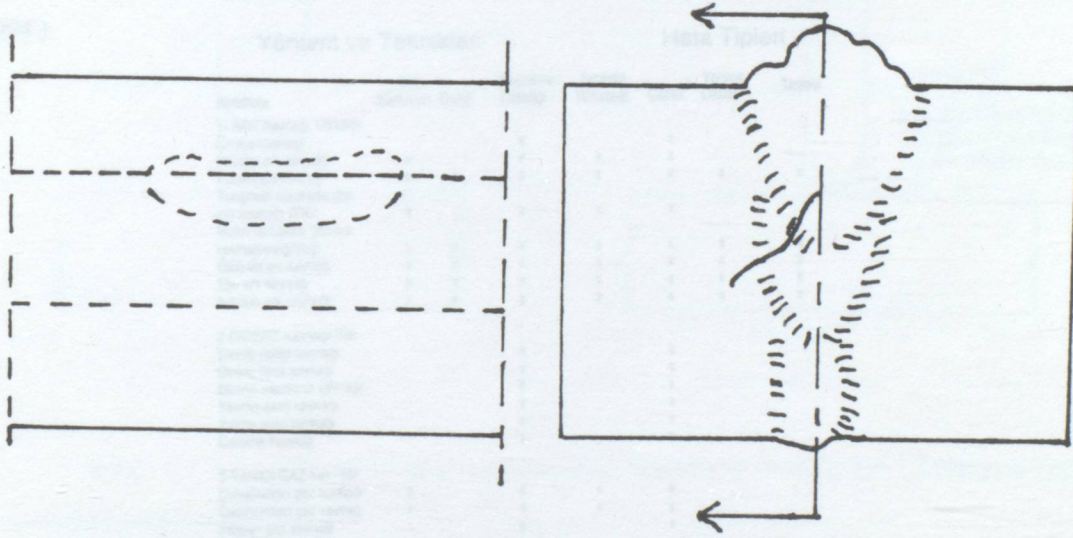
BM 'deki çatlaklar, alaşımız çeliklerde daha az; yüksek mukavemetli ve yüksek karbonlu çeliklerde daha çok oluşmaktadır. Çatlama IEB 'deki sertliğin yüksek olması neden olur. Yine BM ' in kimyasal bileşimi, soğuma hızı ve çekme gerilimleri çatlamanın diğer nedenleridir. Bu etkenlerden soğuma hızı; malzeme kalınlığına, kaynak sırasında parçaya verilen ısı miktarına ve ortam sıcaklığına bağlıdır. IEB , kaynaktan sonra parçanın hızlı soğuması sonucunda sertleşir. Özellikle kalın malzemelerde ısı çabuk dağıldığından, dikiş hızlı soğur. Böylece parça kalınlığına ve diğer soğuma şartlarına bağlı olarak çatlama tehlikesi artar. Bunu önlemek için soğuma hızının olabildiğinde azaltılması gerekir. Soğuma hızı şu önlemlerle yavaşlatılabilir,

- Kaynaklanacak parçalara kaynak öncesi ön tav ve kaynak sonrası, gerilim giderme tavlı uygulanmalıdır.
- Parçaya verilen ısı artırılabilir. Örneğin; kalın çaplı elektrodla geniş pasolar çekilebilir.
- Uygun bir kaynak yöntemi seçilmelidir.
- Çok pasolu kaynaklarda, parçaya verilen ısının çabuk dağılması önlenmelidir. Sıcaklık olabildiğince sabit tutulmalıdır. Bu da; pasoların birbiri arkasından, soğumaya meydan verilmeden çekilmesiyle sağlanır.
- Ortam sıcaklığının 0 °C veya daha düşük olduğu durumlarda, kaynaktan önce hafif bir ön tava gerek vardır.

b -) KM ' nin de oluşan çatlaklar.

Bu çatlaklara genelde dikişteki bölgesel gerilmeler neden olur. Boyuna çatlaklar çoğunlukla kök pasoda oluşur. Enine çatlaklar ise, kaynak sırasında hareket olanağı en az olan dikişlerde ortaya çıkar. Yine, BM veya KM ' in fazla kükürt içermesi çatlamalara neden olur. KM ' deki çatlakların oluşmasını önlemek için şu hususları dikkat edilmelidir,

- Kaynak sırasında dikiş kendini kolayca çekebilmelidir,
- Dikişin, çekme gerilmelerine dayanabilmesi için, pasolar yeteri kadar geniş çekilmelidir,
- Boyuna çatlaklar çoğu kez, birbirine uymayan dikiş kesitleri ile yanlış kaynak sırasının uygulanmasından ileri gelir. Böyle bir durumda karşılandığında çalışma yöntemi değiştirilmelidir,
- Kök pasolarında meydana gelen çatlak tamir edilmeden bir sonraki paso çekilmemelidir,
- Enine çatlakların oluşmasını önlemek için, bazı durumlarda çentik hassasiyeti az ve sıcak çatlama karşı dayanma yüksek elektrodlar kullanılabilir. Örneğin; östenitik ve bazik elektrodlar.



Şekil - 5.7. Kaynak dikişinde görülen çatlakların şematik gösterilişi.

5.5 . Yanma olukları .

BM ve KM birleşim yerlerinde rastlanır, oluk veya çentik şeklinde kapak veya kök pasoda oluşabilir. Yanma olukları; sürekli ve derin ise ve ayrıca kaynağın dinamik yüklere karşı dayanımını azaltılacak çentikler şeklinde ise tamir edilmelidir. (Şekil - 5.1 - 6 ve Şekil - 5.2 - 6)

Yanma olukları şu nedenlerden dolayı oluşabilir,

- Akım şiddetlerinin yüksek olması ve/veya uygun olmayan kaynak yönteminin seçilmesi,
- Elektrodun fazla zigzag hareketleri yapması,
- Kaynak sırasında elektrodun yanlış açıyla tutulması,
- BM ' nin paslı ve/veya elektrodun rutubetli olması,

5.6. Laminasyon (Katmer).

Esas olarak bir kaynak hatası olmayıp malzeme hatasıdır. İngot 'da oluşan gaz ve çekinti boşlukları, haddeleme sırasında malzemenin hemen hemen orta bölgesinde yüzeye paralel olarak bir hat halinde kalır. (Şekil 5.1. - 9 ve Şekil 5.2. - 9)

5.7. Sakal.

Kök pasoda KM ' in kaynak dikişinin arka tarafına sarkması şeklinde ortaya çıkar. Bu hata, özellikle küçük çaplı, basınç ve sıcaklık altında çalışan boru kaynak dikişlerinde kritiktir. Oluşum nedenleri şunlardır,

- Uygun akım şiddetinin seçilmemesi,
- Kaynak ağızlarının uygun olmaması,
- Kaynak hızı pozisyonu,

5.8. Kaynak yöntem ve tekniklerine bağlı olarak oluşabilecek kaynak hataları

Bilindiği üzere kullanılan enerji cinsine göre çeşitli kaynak yöntemleri uygulanmaktadır. Seçilen kaynak yöntem ve tekniğine bağlı olarak oluşabilecek hata tipleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Aykanat - 1994)

Yöntem ve Teknikleri	Hata Tipleri						
Aktılama	Gaz boşluğu	Cunuf	Kaynama Eksikliği	Yetersiz Nüfuziyet	Çatlak	Yanma Olukları	Taşma
1- ARK Kaynağı Yöntem:							
Cavata Kaynağı			X		X		
Plazma ark kaynağı	X		X	X	X		
Tozaltı ark kaynağı	X	X	X	X		X	X
Tungsten koruyucu gaz ark kaynağı (TIG)	X		X	X	X		
Metal koruyucu gaz ark kaynağı (Mig, Mag)	X	X	X	X	X	X	X
Özül tel ark kaynağı	X	X	X	X	X	X	X
Ele ark kaynağı	X	X	X	X	X	X	X
Karbon ark kaynağı	X	X	X	X	X	X	X
2-DİRENÇ Kaynağı Yön							
Direnç nokta kaynağı			X		X		
Direnç disk kaynağı			X		X		
Direnç sübatlama kaynağı			X		X		
Yakma akım kaynağı			X		X		
Yığılma akım kaynağı			X		X		
Çarpma Kaynağı			X		X		
3-YANICI GAZ Kay. Yöntem:							
Oksiselen gaz kaynağı	X		X	X	X		
Oksihidrojen gaz kaynağı	X		X	X	X		
Propan gaz kaynağı	X		X		X		
4-KATI HAL KAY. Yöntem:							
Soğuk kaynağı			X		X		
Düşük basınç kaynağı			X		X		
Pulverize kaynağı			X				
Demir kaynağı			X				
Sürtünme kaynağı			X		X		
Ultrasonik kaynağı			X		X		
5-DİĞERLERİ							
Elektron ışın kaynağı	X	X	X	X	X		
Elektroerü kaynağı	X	X	X	X		X	X
İndüksiyon kaynağı			X		X		
Lazer ışın kaynağı	X		X		X		
Termik kaynağı	X		X		X		

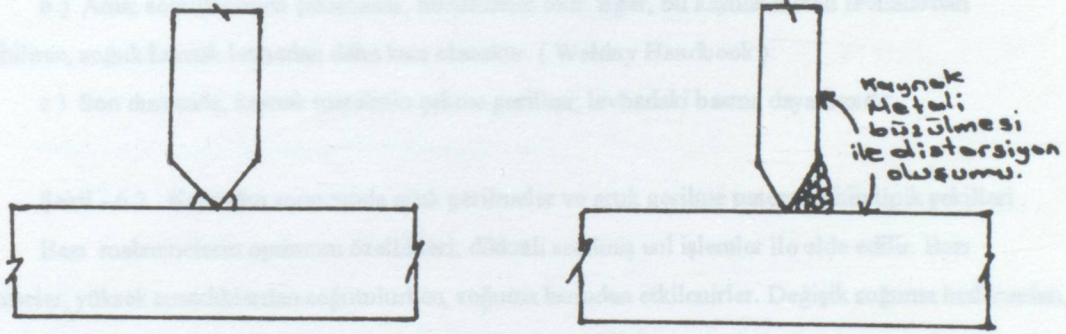
Tablo - 5.2. Kaynak yöntem ve tekniklerine bağlı olarak oluşabilecek kaynak hataları.

6. KAYNAKLI YAPILARIN ISIL İŞLEMİ

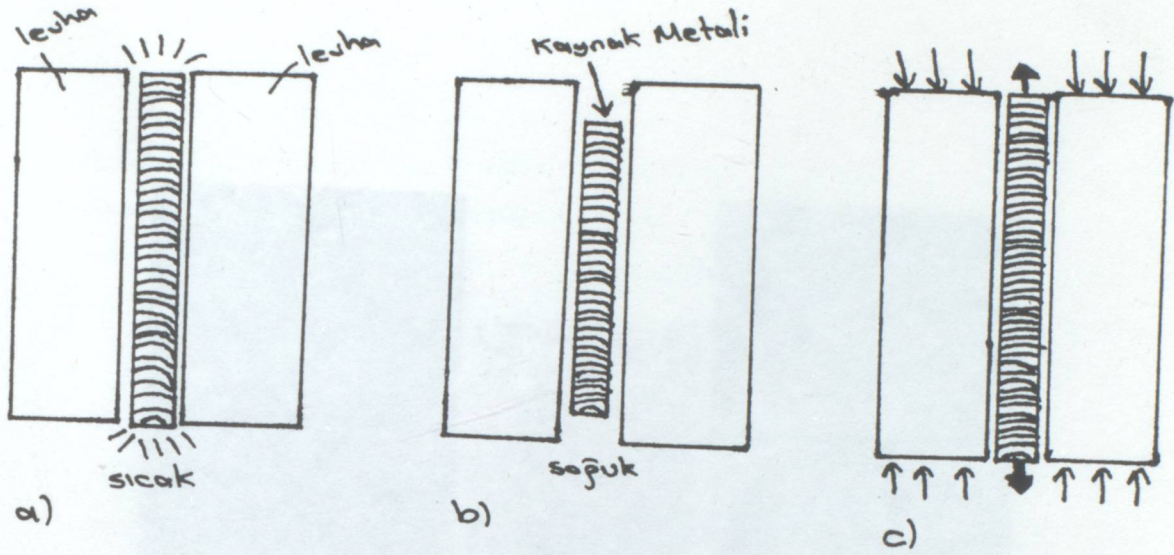
6.1. Doğrudan bir ısıtım işlemi olan kaynak işlemi .

Ergitme kaynağında; bağlantılar, malzeme yüzeylerinin sıcaklığı, ergime noktasına yükseltilmesiyle yapılır. Çoğu durumda; ergimiş dolgu malzemesi katılır ve sonra, bağlantı soğumaya bırakılır. Temel ihtiyaç, malzemelerin ergime noktasına çıkarılmasıdır. Isıtma; bir çok çeşitli metodlardan biriyle (ör./ Elektrik ark, elektrik direnç ısıtması ve alevle ısıtma) bu amaç için sağlanabilir.

Malzemelerin çoğu, ısıtma ile genleşir. Eğer, bir kısım, kaynaktaki gibi düzgün olmayan bir şekilde ısıtılırsa; malzemenin o kısma en yakın elementleri, değişik miktarda genleşme gösterirler. Bu, ısıtım gerilmeleriyle üretilir. Eğer, bu gerilmeler, ilgili sıcaklıklarda malzemenin uzama sınırını aşarlarsa; distorsiyona yol açan bir plastik akış oluşur. (Ş. 6.1.) ve buda işlem sırasında artık gerilmelerin oluşmasına yol açar. (Ş. 6.2) . Artık gerilmeler ve distorsiyon; soğuma boyunca eklenmiş dolgu malzemesinin eksilmesine, büzülmesine neden olurlar. (Welding Handbook)



Şekil - 6.1 Kaynak işleminde oluşan distorsiyonun oluşumu ve mekanizması = Distorsiyon kaynak metalindeki büzülmelerle oluşur.



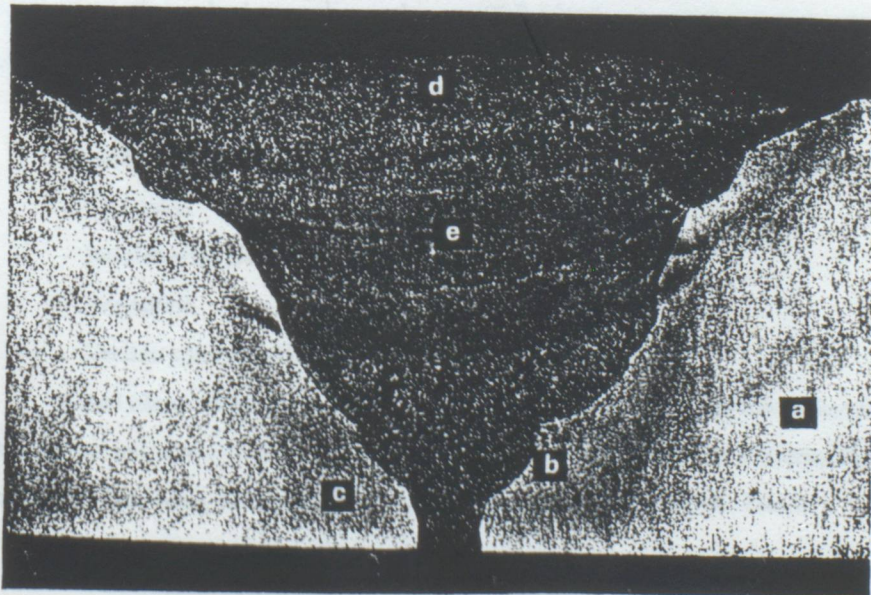
a) Bir ergitme kaynağı bağlantısı, iki levha (tabaka) arasında yapıldığı zaman; dökülen kaynak metali sıcak olduğundan levhalar aynı uzunlukta olur.

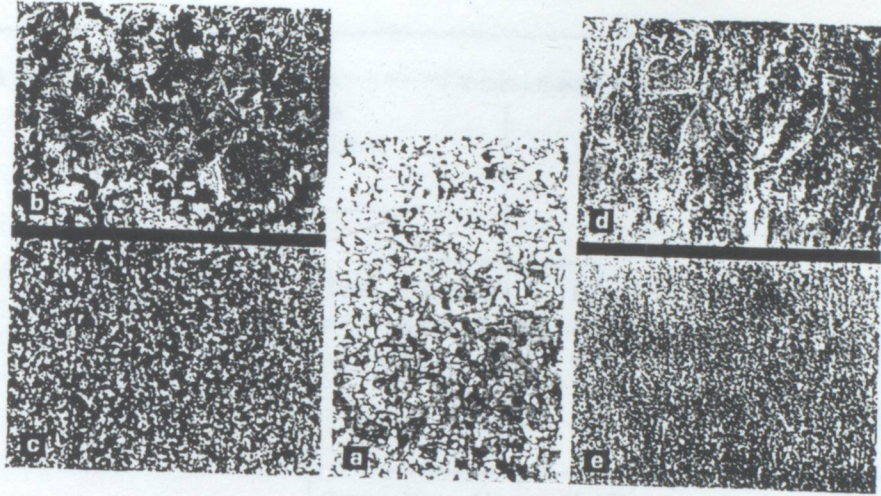
b) Ama; soğuduğunda çekilmeler, büzölmeler olur. Eğer, bu kaynak metali levhalardan ayrılabilirse, soğuk kaynak levhadan daha kısa olacaktır. (Welding Handbook)

c) Son durumda; kaynak metalinin çekme gerilimi; levhadaki basma dayanımıdır.

Şekil - 6.2. Kaynağın sonucunda artık gerilmeler ve artık gerilme paternlerinin tipik şekilleri .

Bazı malzemelerin optimum özellikleri; dikkatli seçilmiş ısı işlemleri ile elde edilir. Bazı malzemeler, yüksek sıcaklıklardan soğutulurken, soğuma hızından etkilenirler. Değişik soğuma hızlarından, değişik mikroyapılar elde edilir. Ergime noktasına ulaşmış sıcaklıklarda, geçirilen zaman; tane büyümesine ve yarılmaya neden olabilir. Bu nedenle; Kaynaklı bağlantılar da orjinal malzemelerden ayrı, metalurjik bölgeler vardır. (Ş.6.3)





Şekil - 6.3. Kaynaklı yapıların mikroyapısı (x3)

- a -) Komşu plaka (ana metal)
- b -) Kaba taneli kaynak metali
- c -) İnce taneli kaynak metali
- d -) Kaba taneli kaynak metali
- e -) İnce taneli kaynak metali (a) - (e) x 35

Isıl işlemler; zaman ve para yönünden pahalı bir iştir. Burda genel kural; ısıt işlemler, yeterli bir performansa erişmek için gerekli işlemler olmadan uygulanmamalıdır. Kaynak öncesi , Kaynak sırasında; kaynaklı konstrüksiyonlarda uygulana ısıt ve mekanik işlemler, kaynaklı parçanın yeterli performansına erişmesi için gereklidirler.

6.2. Isıl işlem aşamaları

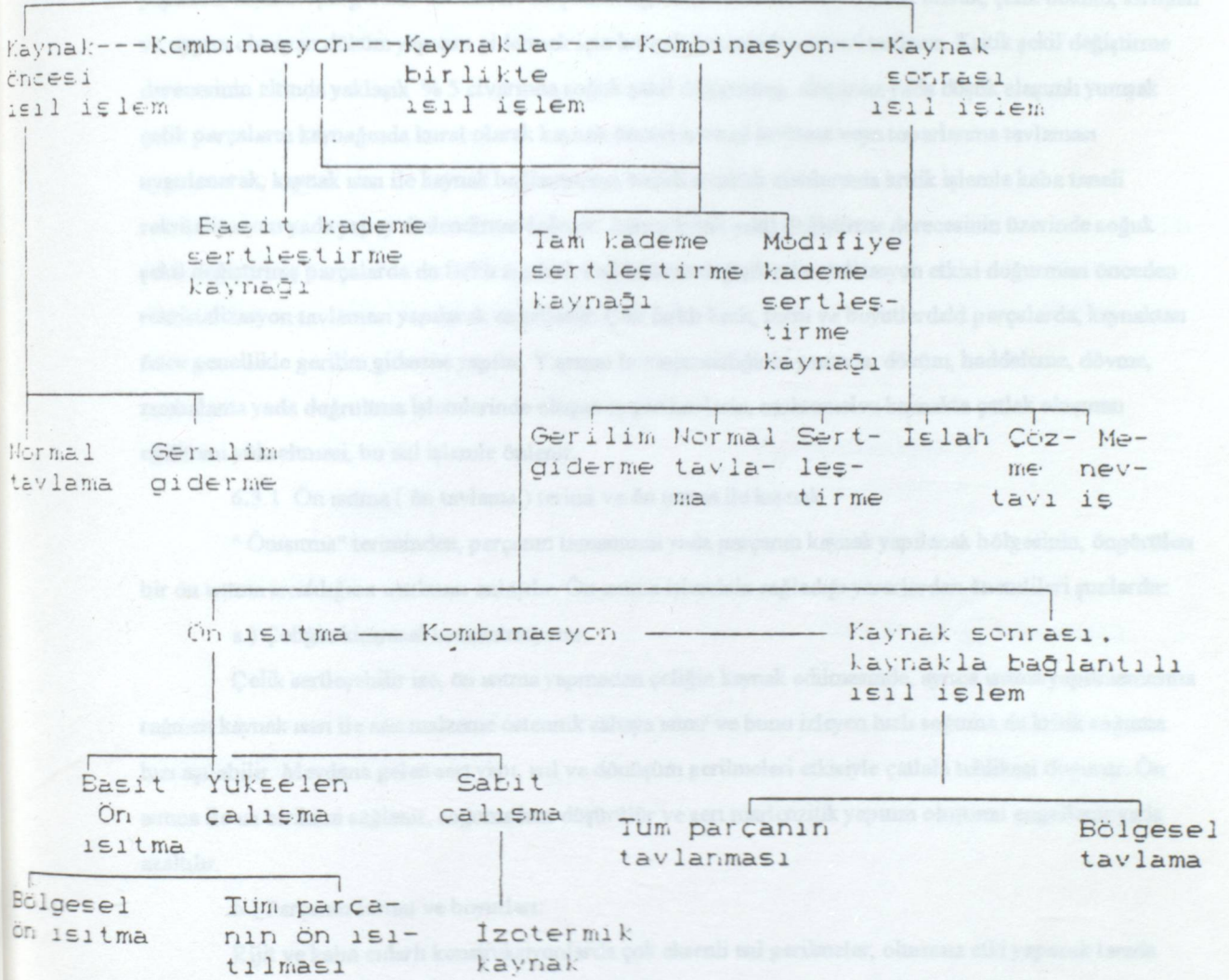
Kaynağın ısıt işlemi, aşağıdaki işlemlerin tümünü içeren bir genel deyimdir;

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

Genel olarak düşünürsek; kaynağın ısıt işlemi; kaynak öncesi, kaynak sırasında ve kaynak sonrasında uygulanan ısıt işlemler olarak ayırabiliriz. Bu ısıt işlemler; kaynak yapılan malzemenin kimyasal bileşimine, metalurjik özelliklerine, üretim şekline ve dizayn tarzına göre çok değişik olabilir.

6.1. Kaynakla bağlantılı ısıtma işlemleri

Kaynakla bağlantılı ısıtma işlem çeşitleri



Çizelge - 6.1. Kaynakla bağlantılı ısıtma işlem çeşitleri (Aydoğan - 1993)

6.3. Kaynak öncesi ısıtma işlemi

Kaynak öncesi ısıtma işleminin amacı, parçaları kaynak için hazırlamaktır. Bu durum, malzeme iç yapısının kaynak için gerekli özellikleri karşılamadığında söz konusudur. Örnek olarak, çelik dökümü, kırılma ve uygun olmayan döküm yapısını gidermek için kaynak öncesinde normal tavlama yapılır. Kritik şekil değiştirme derecesinin altında yaklaşık % 5 civarında soğuk şekil değiştirmiş, alaşımsız yada düşük alaşımlı yumşak çelik parçaların kaynağında kural olarak kaynak öncesi normal tavlama veya toparlanma tavlama uygulanarak, kaynak ısısı ile kaynak bağlantısının belirli sıcaklık alanlarında kritik işlemle kaba taneli rekristalizasyon yada yapay dinlendirme önlenir. Ayrıca kritik şekil değiştirme derecesinin üzerinde soğuk şekil değiştirmiş parçalarda da farklı sıcaklık dağılımının değişik rekristalizasyon etkisi doğurması önceden rekristalizasyon tavlama yapılarak engellenir. Çok farklı kesit, form ve boyutlardaki parçalarda, kaynaktan önce genellikle gerilim giderme yapılır. Yapının homojensizliğinin yanında, döküm, haddeleme, dövme, zımbalama yada doğrultma işlemlerinde oluşan iç gerilmelerin, muhtemelen kaynaktaki çatlak oluşumu eğilimini yükseltmesi, bu ısıtma işlemi önlenir.

6.3.1 Ön ısıtma (ön tavlama) terimi ve ön ısıtma ile kaynak

" Ön ısıtma " teriminden, parçanın tamamının yada parçanın kaynak yapılacak bölgesinin, öngörülen bir ön ısıtma sıcaklığına ısıtılması anlaşılır. Ön ısıtma işleminin sağladığı yararlarından önemlileri şunlardır:

a) Çeliğin kimyasal konsantrasyonu:

Çelik sertleşebilir ise, ön ısıtma yapmadan çeliğin kaynak edilmesinde, ayrıca ısıtma yapılmamasına rağmen kaynak ısısı ile ana malzeme ostenitik sahaya ısınır ve bunu izleyen hızlı soğuma da kritik soğuma hızı aşılabılır. Meydana gelen sert yapı, ısıtma ve dönüşüm gerilmeleri etkisiyle çatlama tehlikesi doğurur. Ön ısıtma ile ısı birikimi sağlanır, soğuma hızı düşürülür ve sert martenzitik yapının oluşumu engellenir yada azaltılır.

b) Parçanın formu ve boyutları:

Rijit ve kalın cıdarlı konstruksiyonlarda çok eksenli ısıtma gerilmeleri, olumsuz etki yapacak tarzda görülebilir. Ön ısıtmayla, daha büyük ve geniş sahada iyi plastik şekil değişebilirlik yaratılacağından ısıtma gerilmeleri karşılanır. Böylece gevrek kırılma tehlikesi azaltılır.

c) Hidrojen gevrekliği ve çentik duyarlılığı:

Yaklaşık 200 °C 'nin üzerinde ön ısıtmadan sonra kaynak yapılırsa, özellikle elektrik ark kaynağında, kaynak metali ve geçiş bölgesi arasında oluşabilen hidrojen difüzyonu sonucu, hidrojen gevrekliği tehlikesi azaltılır. Ayrıca çeliğin nisbeten düşük sıcaklıklardaki soğukta gevrekleşme eğilimi, daha yüksek parça sıcaklıklarına çıkılarak daha az çentik duyarlılığı sağlanır.

Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde, çeliğin kimyasal konsantrasyonuna bağlı olarak ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesinde karbon eş değerinden (C_{es}) yararlanılır.

Tablo - 6.2. Morosko'ya göre yapı çeliklerinin elektrik ark kaynağında uygulanması gereken ön ısıtma sıcaklıkları. (Aydoğan, 1993)

$$C_{es} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{Si}{4} + \frac{P}{2} + \frac{V}{5} \quad (6.1)$$

Bir yapı çeliğine tatbik edilecek gerekli ön ısıtma sıcaklığı, birinci derecede kaynak yapılan çeliğin bileşimiyle ilgili olup, kullanılacak elektrodun ve kaynak yapılacak levhanın kalınlığına da bağlıdır. Karbon eş değerine (C_{es}) göre hiç bir formülü kullanmadan yaklaşık olarak aşağıdaki ön ısıtma sıcaklıkları uygulanır.

C_{es} (%)	Ön ısıtma sıcaklığı (°C)
0.45' e kadar	En fazla 100
0.45 - 0.60	100 - 200
0.60' dan yukarı	200 - 350 (veya daha yüksek)

Morosko'ya göre yapı çeliklerinin elektrik ark kaynağında uygulanması gereken ön ısıtma sıcaklıkları Tablo - 6.2'de verilmiştir.

Tablo - 6.2. Moroskoya göre, yapı çeliklerinin elektrik ark kaynağında tatbiki gereken ön ısıtma sıcaklıkları. (Aydoğan - 1993)

Çeş. (%)	Elek- trod çapı (mm)	Levha kalınlığı (mm)							
		Altın birleştirilmesi				İç köşe birleştirilmesi			
		6	12	25	50	6	12	25	50
0,35	3,25	0	0	0	0	0	0	0	100
	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5,0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6,0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,40	3,25	0	0	0	150	0	0	100	200
	4,0	0	0	0	0	0	0	0	150
	5,0	0	0	0	0	0	0	0	100
	6,0	0	0	0	0	0	0	0	100
0,45	3,25	0	0	150	250	0	100	250	300
	4,0	0	0	100	200	0	0	200	250
	5,0	0	0	0	150	0	0	100	200
	6,0	0	0	0	100	0	0	0	150
0,50	3,25	0	0	250	350	0	150	350	450
	4,0	0	0	150	300	0	100	250	400
	5,0	0	0	100	200	0	0	200	350
	6,0	0	0	0	150	0	0	150	300
0,55	3,25	0	150	400	550	100	300	550	—
	4,0	0	0	300	450	0	200	450	—
	5,0	0	0	150	350	0	100	350	600
	6,0	0	0	150	300	0	0	300	600
0,60	3,25	150	400	—	—	350	—	—	—
	4,0	100	250	—	—	250	600	—	—
	5,0	0	100	500	500	150	300	600	—
	6,0	0	0	350	250	0	150	500	—
0,65	3,25	300	—	—	—	—	—	—	—
	4,0	200	350	—	—	—	—	—	—
	5,0	0	150	600	—	200	600	—	—
	6,0	0	0	500	—	100	300	—	—
0,70	3,25	400	—	—	—	—	300	—	—
	4,0	300	500	—	—	—	—	—	—
	5,0	200	400	—	—	400	600	—	—
	6,0	0	200	600	—	200	400	—	—

0 : Ön tavlama ihtiyacı yoktur,

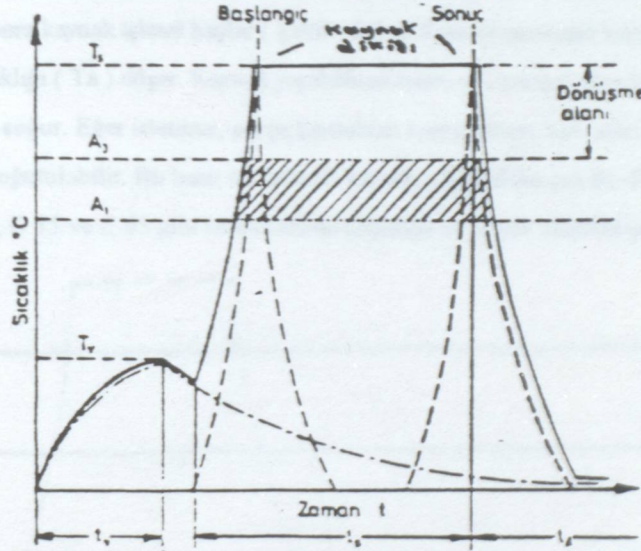
— : Lazımlı ön tavlama sıcaklığı çok yüksek olduğu için, pratikte kullanılmamaktadır.

D. Seferin'e göre; ön tavlama sıcaklığı ile C_{es} arasında aşağıdaki ilişki vardır.

$$T_{\text{ön tavlama}} = \sqrt{C_{es} - 0.25} \cdot 350 \quad (6.2)$$

6.4. Kaynakla birlikte uygulanan ısı işlem

Şekil 6.4.'de kaynakla birlikte uygulanan ısı işlemle ilgili değişik temel esaslar, basitleştirilmiş şematik görünümü ile açıklanmıştır. Bu diyagramda, parçadaki sıcaklık seyri ön ısıtma ile kaynak dikişinin başlangıç ve bitişindeki değerler ayrı ayrı ve ayrıca zamana bağlı olarak toplanarak çizilmiştir. Kaynak dikişinin başlangıcı ve bitişindeki sıcaklık olarak geometrik benzer durumların olduğu görülmektedir. Şekilde ki, ön ısıtma ve kaynak sıcaklık değerleri, kaynak yerinin ısıtımın etkilediği alanda (ITAB)^{*} alınmıştır. ITAB 'da en yüksek sıcaklık değeri olarak, toplanan sıcaklık alanlarının etkisinde farklı anlam olmadığından, diyagramın üst kısmı malzemenin ergime sıcaklığı ile sınırlandırılmıştır. Diyagramda bundan başka, üst ve alt dönüşüm sıcaklıkları ile sınırlandırılmış halde dönüşüm sahası da verilmiştir.



Şekil - 6.4. Bir kaynak dikişinin ısı etki alanında (ITAB) ön ısıtma ve kaynak işleminde sıcaklık dağılımı (şematik). (Aydoğan - 1993)

T_v : Ön ısıtma sıcaklığı

T_s : Malzemenin ergime sıcaklığı

t_v : Ön ısıtma süresi

t_s : Kaynak süresi

t_a : Soğuma süresi (oda sıcaklığına kadar)

A_3 : Üst dönüşüm sıcaklığı

A_1 : Alt dönüşüm sıcaklığı

— : Ana malzemenin ısı etki alanında toplam sıcaklık seyri

- - - : Ön ısıtma sıcaklık seyri

---- : Kaynaktan dolayı oluşan sıcaklık seyri

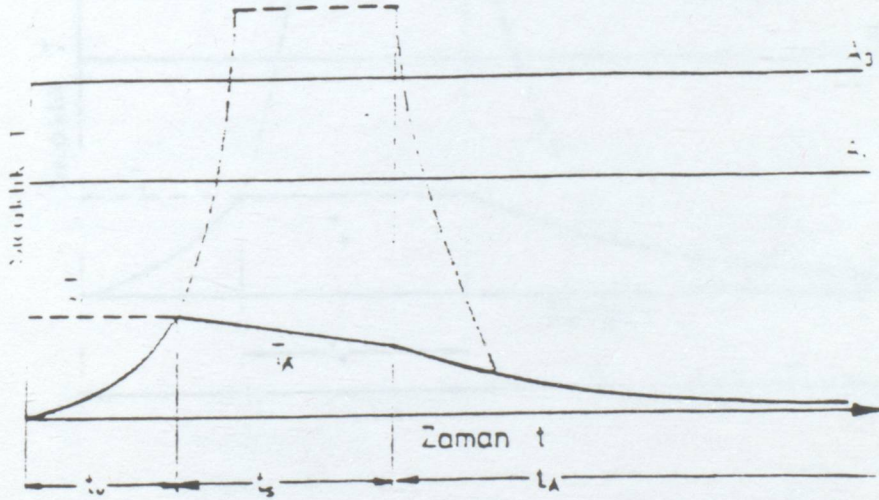
* ITAB = Isının tesiri altındaki bölge

HAZ = Heat Affected Zona

Bir çok alışımsız, düşük ve yüksek alışımlı çelikte kaynaktaki sıcaklık dağılımı, yalnızca kaynak olayına bağımlı değildir. Kiniyasal konsantrasyona ve döküm malzemesine bağımlılık ile kullanılan kaynak birleştirme malzemesi, kaynak sonrası arzu edilen özelliklerin sağlanabilmesi için, kaynakla birlikte ısı işlemin etkenleridir. Isıl işlem, malzeme kalitesine, parçaların formuna bağlı olarak değişik şekillerde uygulanır. Bunu izleyen kısımda açıklanan, önemli ısı işlem çeşitlerinde parça boyutlarının kaynak dikişi ile parça sıcaklığından fazla etkilenmeyecek düzeyde olduğu kabul edilmiştir.

6.5. Basit ön ısıtmayla kaynak işlemi

Kaynak yapılacak bölge istenen sıcaklığa ulaştığında ön ısıtma sona erdirilir, kısa bir sıcaklık dengelemesinden sonra kaynak işlemi başlar (Şekil - 6.5.). Kaynak sırasında kaynaktan da ısı alınmasına rağmen çalışma sıcaklığı (T_A) düşer. Kaynak yapıldıktan sonra da, normal olarak parça havada ve bulunduğu ortamda soğur. Eğer istenirse, parça kaynaktan sonra asbest, kul, kum veya curuf tabakasıyla örtülerek yavaş da soğutulabilir. Bu basit ön ısıtmalı kaynak işlemi daha çok St - 50, St - 60, H III, H IV, 19Mn5, 13CrMo44, C 35 ve C 45 gibi sertleşebilen alışımsız ve düşük alaşımlı çeliklere uygulanır.



Şekil - 6.5. Basit ön ısıtmalı kaynak işleminde sıcaklığın dağılışı (şematik)

$$T_V > T_A$$

T_V : Ön ısıtma sıcaklığı

T_A : Çalışma sıcaklığı

t_V : Ön ısıtma süresi

t_S : Kaynak süresi

t_A : Soğuma süresi (oda sıcaklığına kadar)

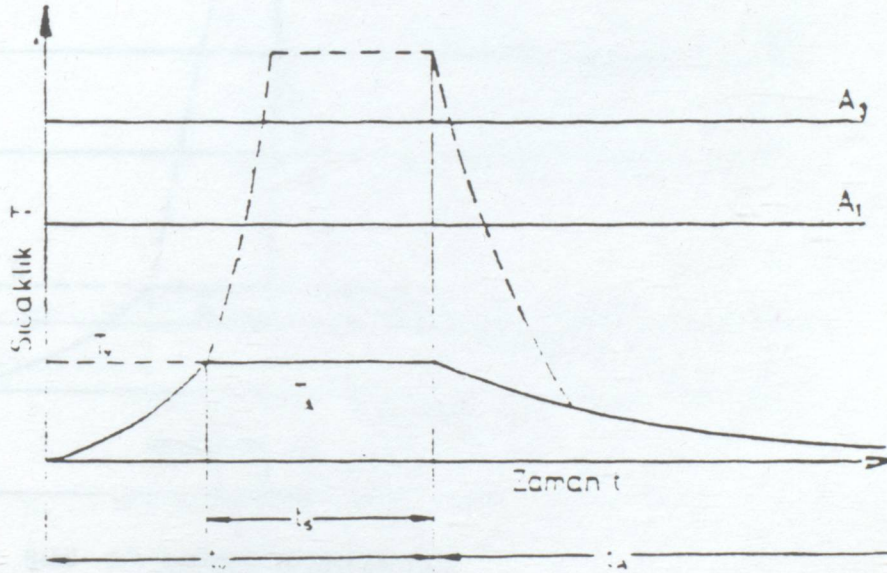
— : Parçanın sıcaklığı

— : Kaynak yerinin sıcaklığı

6.6. Sabit çalışma sıcaklığında kaynak işlemi

Bu kaynak işleminde, parçaya uygulanan ön ısıtma sıcaklığı, kaynak süresince devam eder. Çalışma sıcaklığı normal olarak oda sıcaklığının üstünde bulunur. (Şekil - 6.6.). Burada kaynak sabit sıcaklıkta uygulanır.

Sabit çalışma sıcaklığında yapılan kaynak işleminin özel bir halide " izotermik kaynak " tır. Burada çalışma sıcaklığı, martenzit teşekül sıcaklığının üzerinde bulunur. Yani parça martenzit oluşum sıcaklığının üzerindeki sabit bir ön ısıtma sıcaklığında kaynak edilir. Çalışma sıcaklığı, ostenitik halde bulunan esas malzemenin, perlitik hale gelinceye kadar devam eden dönüşme süresinin son bulmasına kadar korunur. (Şekil - 6.7.). (Aydoğan - 1993)



Şekil - 6.6. Sabit çalışma sıcaklığındaki (ön ısıtmalı) kaynak işleminin sıcaklık dağılışı (şematik)

$$T_V = T_A$$

T_V : Ön ısıtma sıcaklığı

T_A : Çalışma sıcaklığı

t_V : Ön ısıtma süresi

t_S : Kaynak süresi

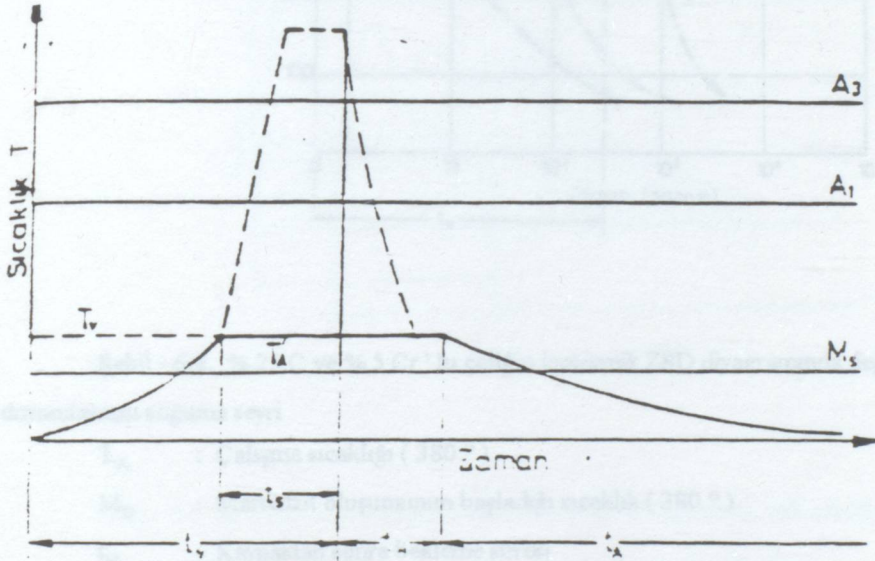
t_A : Oda sıcaklığına kadar soğuma süresi

— : Parçanın sıcaklığı

- - - - : Kaynak yerinin sıcaklığı

İzotermik kaynak, daha fazla düşük alaşımlı ısıya dayanıklı veya düşük alaşımlı tredman (islah) çeliklerinin kaynağında söz konusudur.

Örnek olarak, % 0.25 C ve % 5 Cr içeren bir çelik kaynak edildiğinde, ön ısıtma yapılmıyorsa ostenitik sahadan soğuma Şekil - 6.8. 'de verilen ZSD diyagramındaki (1) eğrisine uygun olur. 380 °C 'ye ön ısıtma yapılırsa kaynaktaki soğuma hızı (2) eğrisinde görüldüğü gibi yavaşlar, ancak kaynak dikişinde kısmen martenzitik yapı oluşur. Çünkü beynit sahasında ostenitin dönüşümü tam olarak tamamlanamamaktadır. Bu durumda kaynak bağlantısı gevrek ve çatlaklı olur. Ön ısıtma sıcaklığı, martenzit oluşum sıcaklığından daha yüksek olan çalışma sıcaklığının ($T_A = 380$ °C ve $M_s = 360$ °C) üzerinde alınır ve kaynaktan sonra çalışma sıcaklığında beklenirse (Yaklaşık 10 dakika) soğuma seyri (3) eğrisine göre olur. Kaynak bağlantısı, daha az sertlikte ve daha yüksek süneklikte iğnesel beynit yapısında oluşur.



Şekil - 6.7. İzotermik kaynak (şematik)

T_V : Ön ısıtma sıcaklığı

T_A : Çalışma sıcaklığı

M_s : Martenzit oluşumunun başladığı sıcaklık

t_V : Ön ısıtma süresi

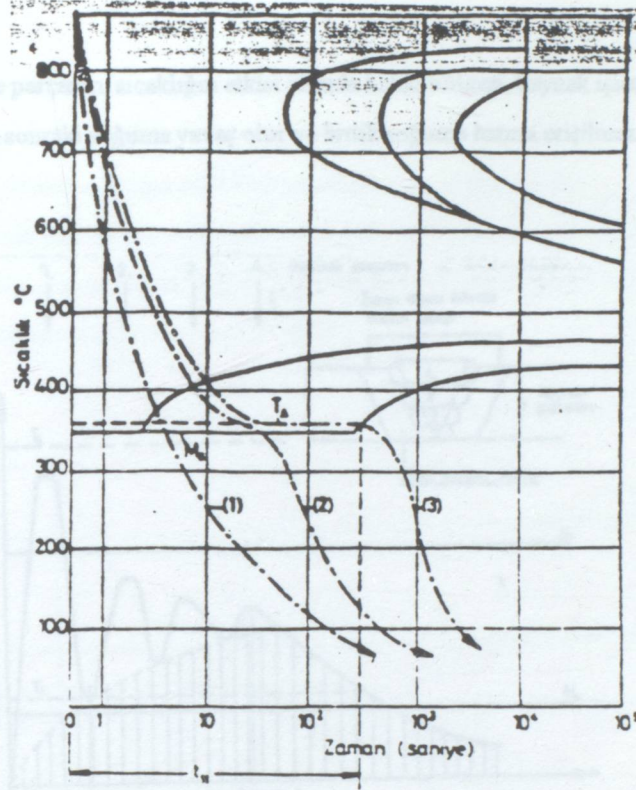
t_S : Kaynak süresi

t_H : M_s üzerindeki dönüşümün bittiği noktaya kadar geçen bekleme süresi.

t_A : Oda sıcaklığına kadar soğuma süresi

— : Parçanın sıcaklığı

----- : Kaynakta sıcaklık seyri



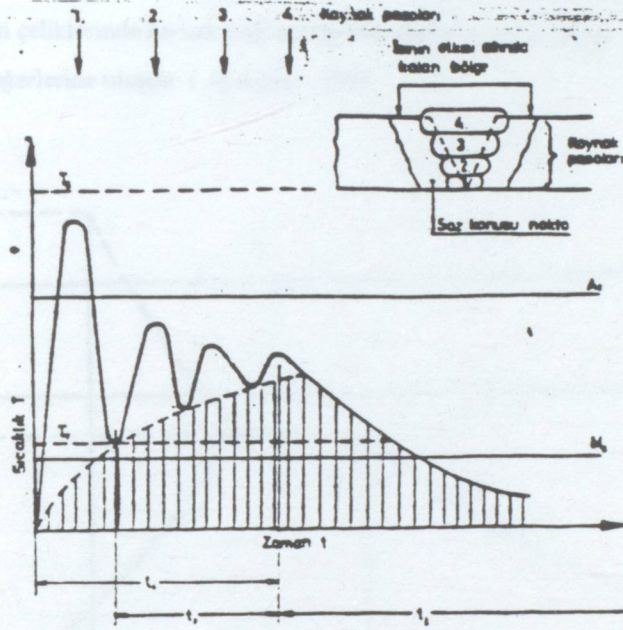
Şekil - 6.8. % 25 C ve % 5 Cr ' lu çeliğin izotermik ZSD diyagramında değişik kaynak durumlarının soğuma seyri

- T_A : Çalışma sıcaklığı (380 °)
 M_S : Martenzit oluşumunun başladığı sıcaklık (380 °)
 t_H : Kaynaktan sonra bekleme süresi
 (1) : Ön ısıtmasız kaynak
 (2) : 380 ° C' de ön ısıtmalı, beklemesiz kaynak
 (3) : 380 ° C' de ön ısıtmalı ve yaklaşık 10 dakika beklemeli kaynak

6.7. Çalışma sıcaklığının kaynakla yükseltilmesi

Sertleşebilir çeliklerde, kaynak esnasında meydana getirilen ısı birikimiyle, ek bir ön ısıtma yapılmaksızın, martenzit oluşumu önlenabilir. Bunun için, kaynak sırasında meydana gelen ısı yeterli düzeyde olmalı ve parçanın soğumasında kritik soğuma hızı aşılmamalıdır. Gerekli ısı birikimine, birbiri peşi sıra diğer pasoların da ara vermeden çekilmesi yada olabildiğince kalın elektrodlarla çalışmakla ulaşılabilir. Şekil - 6.9' da, kök pasonun yanındaki bir noktanın, Çok pasolu kaynak işlemi sırasındaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Birinci pasonun çekilişinden sonra, noktanın sıcaklığı (martenzit oluşum sıcaklığı üzerinde bulunan) ön ısıtma sıcaklığının üstünde bulunmaktadır. Diğer pasoların çekilişiyle de çalışma sıcaklığı

yükselmektedir. Böylece parçanın, sıcaklığın etkisi altında kalan bölgesi, kaynak işlemi ile yeter derecede ısı alındığından, kaynaktan sonraki soğuma yavaş olur ve kritik soğuma hızına erişilmez.



Şekil - 6.9 Kök pasonun yanındaki esas metale ait bir noktanın, çok pasolu kaynakta gösterdiği ısı dağılımı.

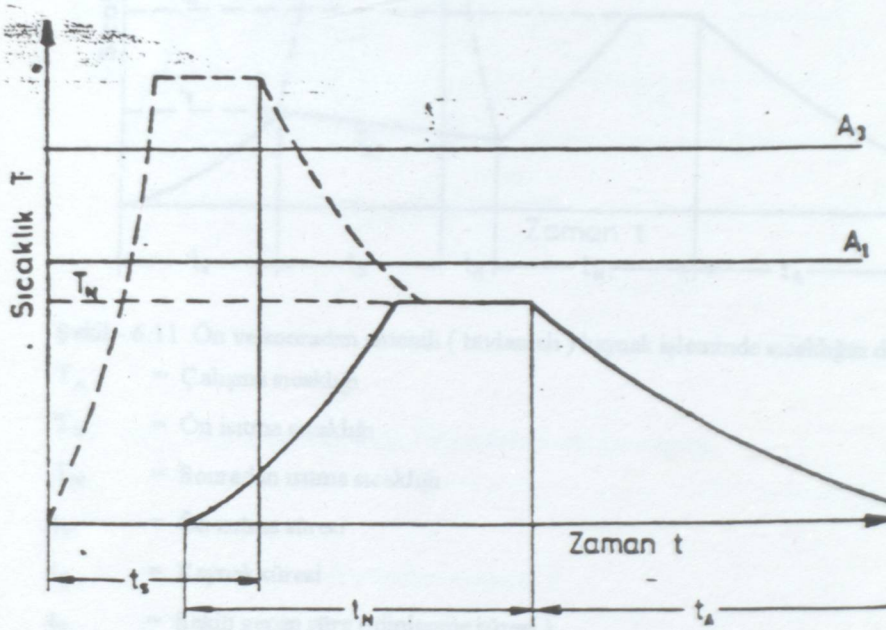
- T_S = Ergime sıcaklığı.
- T_V = Ön tavlama sıcaklığı.
- M_S = Martenzit oluşum sıcaklığı
- t_S = Kaynak süresi
- t_V = Ön ısıtma süresi
- t_A = Oda sıcaklığına kadar soğuma süresi

6.8. Sonradan ısıtmalı kaynak işlemi

Sonradan ısıtma işlemi, doğrudan doğruya kaynak işleminin bitiminden sonra uygulanır. Burada ara soğumaya imkan verilmez. Bunun için bu işleme kaynağa müteakip uygulanan ısıtma işlemi (bağlantılı ısıtma işlem) de denir. (Şekil - 6.10).

Sonradan ısıtmalı kaynağa örnek olarak, üfleçlerle sonradan bölgesel tavlama gösterilebilir. Basın olarak uygulana ve az masraf gerektiren bu yöntem, söz konusu parçada henüz mevcut olan kaynak ısısından yararlanma ve böylece gerekli sıcaklığa daha kısa zamanda ulaşma şeklindedir.

Sonradan ısıtmalı kaynak işleniyle kalite ve çentik darbe dayanımı, özellikle 19Mn5 ve CrMo44 düşük alaşımlı kazan çeliklerinde kaynak bağlantılarında önemli ölçüde iyileşir. Toz altı kaynak yönteminde de daha iyi kalite değerlerine ulaşılır. (Aydoğan - 1993)



Şekil - 6.10 Sonradan ısıtmalı kaynak işleminde sıcaklığın dağılımı

T_N = Sonradan ısıtmalı sıcaklığı

t_s = Kaynak süresi

t_N = Sonradan ısıtma süresi

t_A = Oda sıcaklığına soğuma süresi

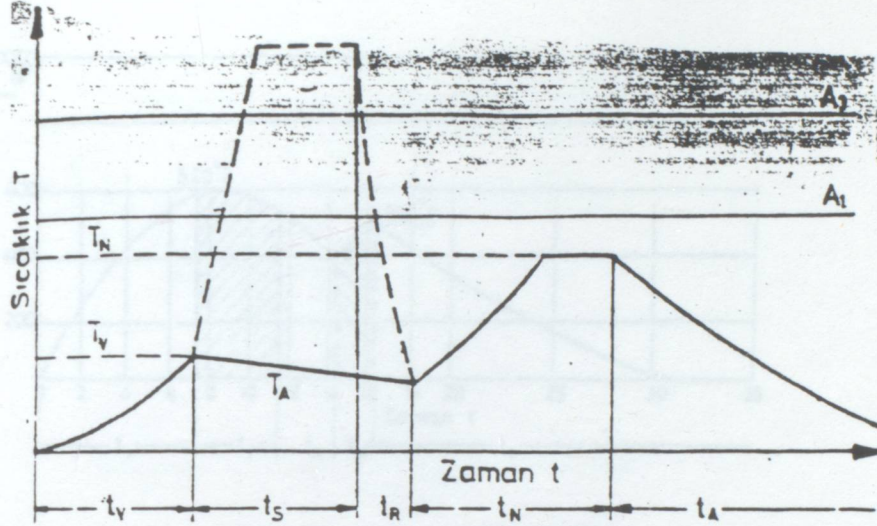
— = Parçanın sıcaklığı

--- = Kaynak yerinin sıcaklığı

6.9. Ön ve sonradan ısıtmalı kaynak işleni

Ön ve sonradan ısıtmalı kaynak işlemindeki sıcaklık dağılışı Şekil - 6.11 'de verilmiştir. Bu yöntem daha çok çatlama tehlikesi fazla olan ön ısıtma sıcaklığını yükseltmeye rağmen sertleşebilen çeliklerde uygulanır. Ön ve sonradan ısıtmalı kaynak işleni 34CrMo4, 30CrMo4 ve 58CrV4 gibi sertleşme kabiliyeti yüksek olan çeliklere uygulanır. Ön ısıtmaya rağmen kaynak işleminden sonra çalışma sıcaklığından itibaren soğutulsa bile, bu çeliklerdeki sert iç yapı oluşumu önlenememektedir. Bunun için kaynaktan sonra

herhangi bir ara soğumaya meydan vermeden hemen 600 ile 700 °C 'lik bir sonradan ısıtma işlemi tatbik edilir.



Şekil - 6.11 Ön ve sonradan ısıtmalı (tavlama) kaynak işleminde sıcaklığın dağılımı (Aydoğan93)

T_A = Çalışma sıcaklığı

T_V = Ön ısıtma sıcaklığı

T_N = Sonradan ısıtma sıcaklığı

t_V = Ön ısıtma süresi

t_S = Kaynak süresi

t_R = Sakin geçen süre (dinlenme süresi)

t_N = Sonradan ısıtma süresi

t_A = Oda sıcaklığı kadar soğuma süresi

— = Parçanın sıcaklığı

----- = Kaynak yerinin sıcaklığı

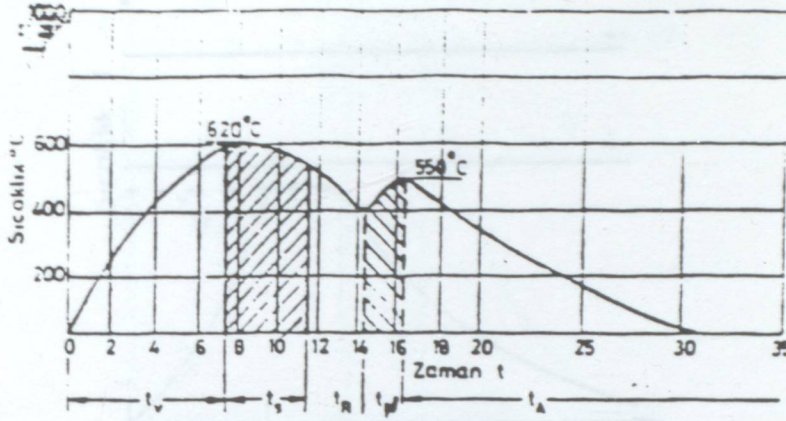
Ön ve sonradan ısıtmalı kaynak yöntemine bir diğer örnek olarak dökme demirin sıcak kaynağını verebiliriz. Burada dökme demir parça koyu - kırmızı rengi alıncaya kadar (yaklaşık 450 ° - 650 °C) bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Parçanın büyüklük ve ağırlığına göre ön ısıtmaya 6 saat bazen de daha uzun süre devam edilebilir. Kaynaktan sonra da hemen bir son ısıtma işlemi uygulanarak parçanın sıcaklığı dengelenir. (Şekil - 6.12) Son ısıtmayı müteakip de parça mümkün mertebe yavaş soğumaya bırakılır. Parçanın buğukluğuna göre, bu soğuma bir kaç gün sürebilir.

a) Gerilim kaynağı (Çekim kuvveti)

Bu mal işlemi kaynağı (Çekim kuvveti)

bu mal işlemi kaynağı (Çekim kuvveti)

(Aydoğan - 1993)



Şekil - 6.12 Dökme denürin sıcak kaynağında sıcaklığın dağılışı

- t_v = Ön ısıtma süresi
 t_s = Kaynak süresi
 t_R = Sakin geçen süre (Dinlenme süresi)
 t_N = Sonradan ısıtma süresi
 t_A = Oda sıcaklığına kadar soğuma süresi

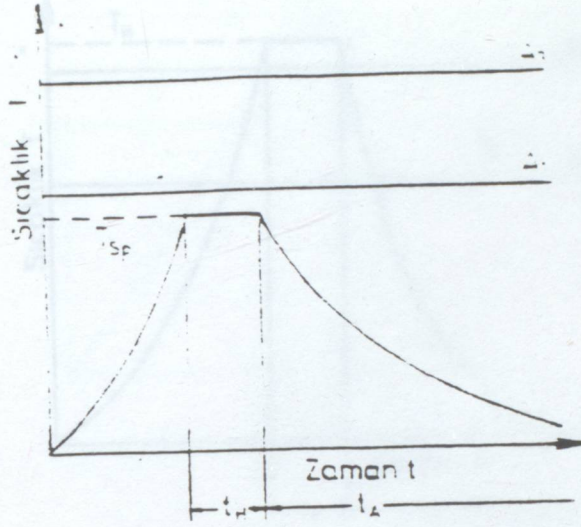
6.10. Kaynak işleminden sonra uygulanan ısıt işlemler

Kaynak işleminden sonra uygulanan ısıt işlemler, parça oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra yapılır. Bu ısıt işlemler, çeliğin kalitesine, kaynak konstrüksiyonunun işletmedeki durumuna ve cinsine göre; gerilim giderme (gerilmeleri zararsız hale getirme), normalizasyon (normal tavlama), sertleştirme, temperleme (meneviş), ayrışma (çözülme) veya su verme (ani soğutma) tavlamlarından ibarettir. Kaynakta sonra yapılan ısıt işlemler genellikle çalışma sıcaklığı yükseltilmesine rağmen, çatlama tehlikesi yok edilmeyen çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır. Böylece kaynaktan sonra oluşması istenmeyen zararlı iç yapılar ortadan kalkmış olur. Örneğin, 13CrMo44, 10CrMo910, 25CrMo4, 34CrMo4 ve 36CrMo8 çelikleri kaynak yapıldıktan sonra bir temperleme tavlamasına tabi tutulur.

a) Gerilim giderme (Gerilmeleri zararsız hale getirme) Tavlaması :

Bu ısıt işleminde kaynaklı parça (A_1) dönüşme sıcaklığının altında 600 - 650 °C arasında tavllanır ve sonra gayet yavaş bir şekilde soğutulur. Böylece iç gerilmeler zararsız hale getirilmiş olur. (Şekil - 6.13.)

(Aydoğan - 1993)



Şekil - 6. 13 Kaynak işleminden sonra uygulanan gerilme giderme tavlaması (Örneğin yapı çeliklerinde olduğu gibi)

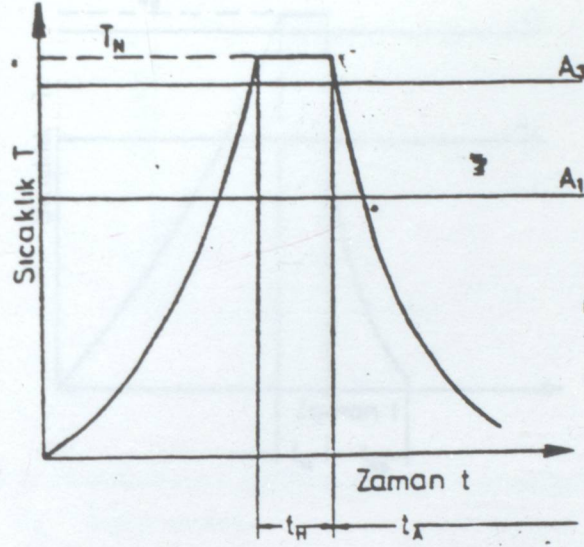
T_{SP} = Gerilme giderme tavlaması sıcaklığı

t_H = Bekleme süresi

t_A = Bekleme süresi (oda sıcaklığına kadar)

b -) Normalizasyon Tavlaması (Normal tavlama) :

Otektoid altı çeliklerde A_3 , otektoid üstü çeliklerde A_1 dönüşüm sıcaklığının hemen üstüne kadar, dönüşüm bölgesi hızlı geçilecek şekilde ısıtma ve bunu izleyen sakin havada soğutma işlemidir. (Şekil - 6.14.) Çeliklerde tane yapısını inceltmek ve homojen yapı elde etmek amacıyla uygulanır.



Şekil - 6.14 Kaynaktan sonra uygulanan normal tavlama işlemi

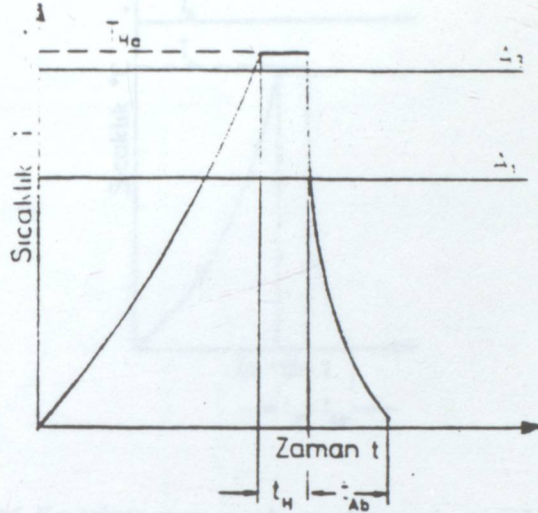
T_N = Normal tavlama sıcaklığı

t_H = Bekleme süresi

t_A = Oda sıcaklığına kadar soğuma eğrisi

c -) Sertleştirme :

Otektoid altı çeliklerde A_3 sıcaklığının otektoid üstü çeliklerde A_1 sıcaklığının üzerine ısıtılmış ve ostenitik duruma getirilmiş malzemenin, yapıda martenzit meydana getirecek şekilde kritik soğuma hızının üzerindeki bir hızla ani soğutulması yada beynitik yapı elde edilecek şekilde izotermik soğutulması işlemleri, dönüşümle sertleştirme olarak tanımlanır. Kural olarak soğutma işlemi sonunda yapıda martenzit var ise mutlaka meneviş (temperleme) işlemide uygulanmalıdır. (Şekil - 6.15). (Aydoğan - 1993)



Şekil - 6. 15. Kaynaktan sonra uygulanan sertleştirme işlemi .

T_H = Sertleştirme sıcaklığı

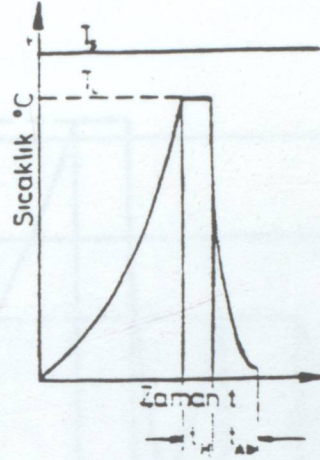
t_H = Bekleme süresi

t_{Ab} = Soğutma ortamı sıcaklığına kadar ani soğutma süresi

d -) Ayrışma (Çözme yada ani soğutma) Tavlama :

Özellikle kararlı hale getirilemeyen ostenitik krom - nikelli çelikler de, mümkün olduğunca homojen yapıda ve yüksek çekme dayanımına ulaşmak için uygulanır. Bu tavlama genellikle 1000°C 'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklarda yapının çözülmesi ve ardından ani soğutma yapılması şeklinde uygulanır.

(Şekil - 6. 16). Bu tavlama, ani soğutma tavlama olarak da tanımlanmaktadır.



Şekil - 6.16 Kaynaktan sonra uygulanan çözme yada ani soğutma tavlaması :

T_S = Ergime sıcaklığı

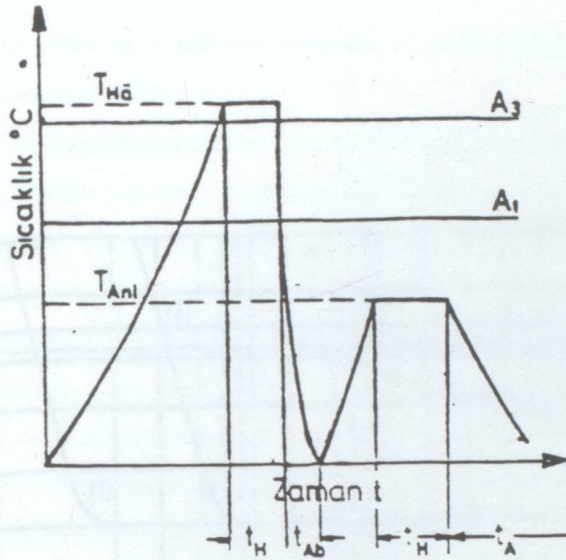
T_L = Çözme tavlama sıcaklığı

t_H = Bekleme süresi

t_{Ab} = Ani soğutma süresi

a -) İslah :

Sertleşebilir çeliklerde oldukça yüksek çekme dayanımı yanında, yüksek elastik modüllü ve yeterli süreklilik sağlanması amacıyla, ıslah işlemi uygulanır. İslah işlemi, normal koşullarda sertleştirme ve yaklaşık 450° ile 670°C sıcaklıkları arasında meneviş işlemlerinin toplamıdır. İstenilen mekanik özelliklerin büyüklüğüne göre, meneviş sıcaklığı uygulanır. (Şekil - 6.17.). (Aydoğan - 1993)



Şekil - 6.17. Kaynaktan sonra uygulanan ıslah işlemi

T_H = Sertleştirme sıcaklığı

T_{An1} = Meneviş sıcaklığı

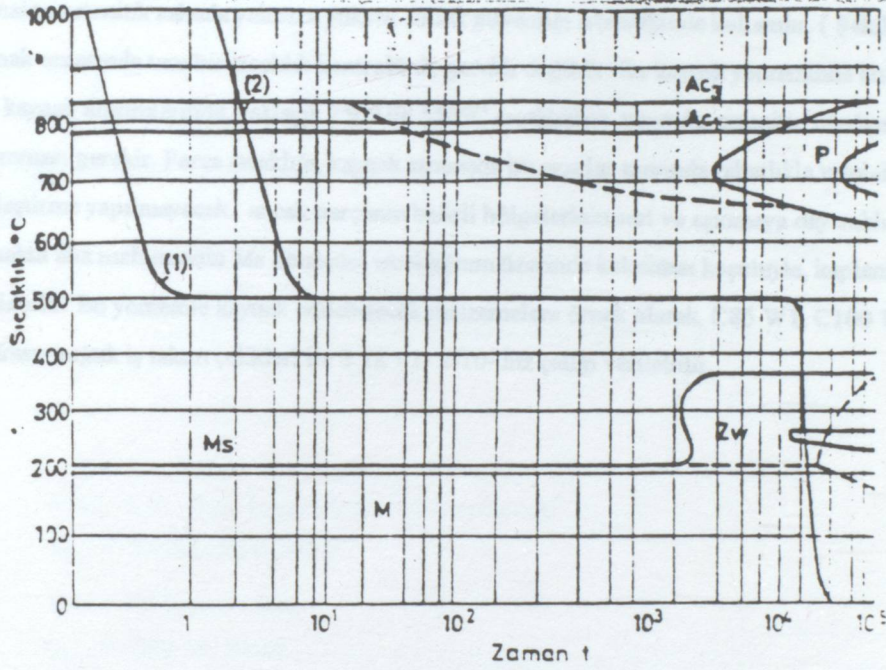
t_H = Bekleme süresi

t_{Ab} = Soğutma ortamı sıcaklığına kadar ani soğutma süresi

t_A = Menevişte soğutma süresi

6.11. Özel ısıtım tarzları

Özel ısıtım tarzlarının tatbik edildiği bir grup da takım çelikleridir. Bu çeliklere, belirli bir ısıtım işlemle kademeli veya kademe sertleşmeli kaynak yapılır. Bu işlemler, ısıtım işlemle kombine (bağlantılı) olarak uygulanır. Kademeli kaynak işleminde, çeliklerin bir kısmında olan izotermik ZSD diyagramındaki perlit ve beynit dönüşüm sahalarının arasındaki ostenitin dönüşme yapmadığı sıcaklık aralığından yararlanılır. (Şekil - 6.18). Bu tarz ostenit dönüşmesi olmayan sıcaklık aralığı meydana getiren çelikler, aynı zamanda havada sertleşen çelikler olarak da tanınırlar. Bunlar kademeli kaynak için oldukça uygundur. Çeliğin kademeli kaynağa ne ölçüde uygun olduğu, ZSD diyagramındaki dönüşüm başlangıçları saptanmak suretiyle belirlenebilir. (Aydoğan - 1993).



Şekil - 6.18 Hız çeliği S 3 - 3 - 2 'nin kademeli sertleştirme kaynağının ZSD diyagramından açıklanması

(1) = Esas malzeme

(2) = Kaynak bölgesi

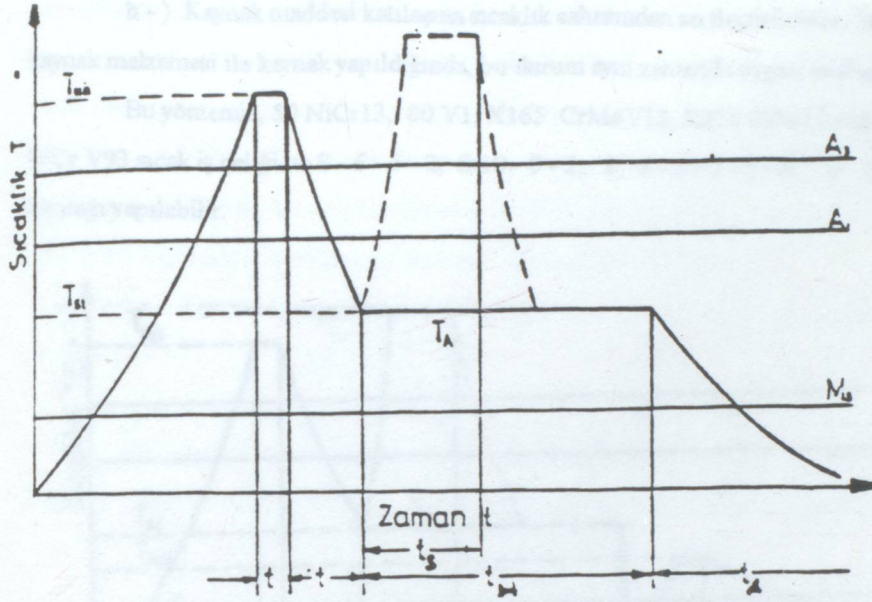
P = Perlit oluşum safhası

Zw = Ara yapının (beynit) oluştuğu saha

M = Martenzit oluşum sahası

6.12. Basit sertleşmeli kaynak işlemi (Kaynaktan önceki ısıl işlemle kaynağa eşlik eden ısıl işlemlerin kombinezonu)

Basit kademeli sertleştirme kaynağında kaynak öncesi ısıl işlem, kaynakla birlikte uygulanan ısıl işlemle birlik olarak uygulanır. Bu yöntem ana malzemede (esas malzeme) yüksek sertlik aranmadığı, aksine kaynakta ostenitik sahada yalnızca yüksek çatlak güvenliği istendiğinde kullanılır. (Şekil - 6.19.) Burada kaynak esnasında tam bir sıcaklık kontrolü de gerekli değildir. Bu kaynak yönteminde kullanılabilecek uygun sert kaynak alaşımlarında, yaklaşık 250° ile 550°C sıcaklıkları arasında, ostenitin dönüşmezlik alanının bulunması gerekir. Parça sıcaklığı, kaynak sırasında bu sınırlar arasında rahatlıkla tutulabilir. Eğer sonradan sertleştirme yapılmayacak , ancak parçanın belirli bölgelerinin sert ve aşınmaya dayanıklı olması isteniyorsa, kaynakta ana malzemenin Ms dönüşüm sıcaklığının üzerinde kalınması koşuluyla, kaplama kaynağı yapılabilir. Bu yöntemle kaynak edilebilecek malzemelere örnek olarak, C85 W1, C100 W2 ve C115 W2 alaşımsız soğuk iş takım çelikleri ile S 18 - 1- 2-10- hız çeliği verilebilir.



Şekil - 6.19. Basit kademeli sertleştirme kaynağı

T_{Ha} = Sertleşmeli sıcaklığı

T_{St} = Kademe sıcaklığı

t_H = Bekleme süresi

t_g = Kaynak süresi

t_A = Soğuma süresi

— = Parçanın sıcaklığı

- - - - - = Kaynak yerinin sıcaklığı

6.13. Tam kademe sertleşmeli kaynak işlemi

(Kaynak öncesi ısıtma işlemi kaynakla birlikte ısıtma işlemi ve kaynak sonrası ısıtma işlemi birleşimi)

Tam kademe sertleşmeli kaynak, özellikle ostenitin dönüşümsüz alanı dar olan çeliklerde yapılır.

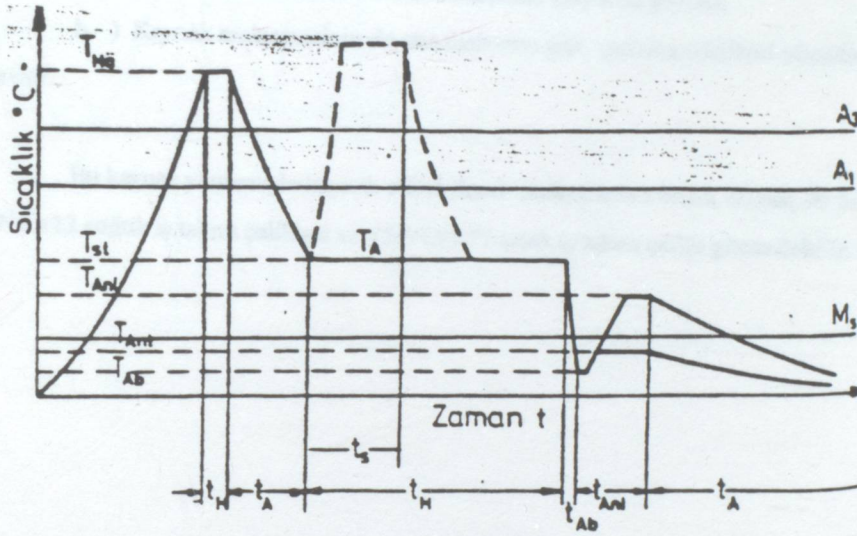
(Şekil - 6.20.) Bunun için, parçalar kaynaktan önce sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak ostenitik hale getirilir. Daha sonra ZSD diyagramına göre uygun kademe sıcaklığında soğutulur. Burada, ostenitik halde yapı, yüksek alaşımlı kaynak malzemesi ile kaynak edilir. Bu sırada ostenitin büyük şekil değiştirilebilirliğinden dolayı, çok iyi bir şekilde çatlama eğilimi güvenliği sağlanır. Kaynak işleminden sonra havada yada yağda soğutma yapılarak, M_s sıcaklığından itibaren ostenitin martenzite dönüştürülür ve ardından menevişleme yapılır.

Bu yöntemde şu durumlar olasıdır:

a -) Her ne kadar kaynak işlemiyle, soğumada kesinti yapılırsa da, esas malzeme sertleştirme sıcaklığında sertleştirilir.

b -) Kaynak maddesi katılma sıcaklık sahasından sertleştirilebilir. Böylece, yüksek alaşımlı kaynak malzemesi ile kaynak yapıldığında, bu durum aynı zamanda uygun sertleştirme sıcaklığıdır.

Bu yöntemle, 50 NiCr13, 80 V1, X165 CrMoV12, X210 CrW12 soğuk iş takım çelikleri, X30 WCr V93 sıcak iş çeliği ve S - 6 - 5 - 2, S 18 - 0 - 1, S 6 - 5 - 2 - 5 - S, S 18 - 1 - 2 - 5 hız çeliklerinin kaynağı yapılabilir.



Şekil - 6.20 Tam kademeli sertleştirme kaynağı. (Aydoğan - 1993)

T_{Ha} = Sertleştirme sıcaklığı

T_{st} = Kademe sıcaklığı

T_{An1} = Meneviş sıcaklığı

T_A = Çalışma sıcaklığı

T_{Ab} = Ani soğutma ortam sıcaklığı (80° ile 150 °C)

t_H = Bekleme süresi

t_A = Kaynak süresi

t_{Ab} = Ani soğutma süresi

t_{An1} = Meneviş süresi

— = Parça sıcaklığı

----- = Kaynak yeri sıcaklığı

6.14. Modifiye edilmiş kademeli sertleştirme kaynağı

Eğer tam kademeli sertleştirme kaynağı, ostenitin hızlı dönüşmesinden dolayı, tüm sıcaklıklarda kullanılamıyorsa, yağda sertleşen çelikler örneğinde olduğu gibi, modifiye edilmiş kademeli sertleştirme kaynağı ile çalışılabilir. (Şekil - 6.21.) Tam kademeli sertleştirme kaynağına göre fark olarak, esas malzeme

kaynaktan sonra tekrar sertleştirme sıcaklığına ısıtılır ve ardından alışımlı sertleştirmede olduğu gibi, su yada yağ içinde ani soğutulur. Ana malzeme ile birlikte kaynak maddesinde sertleştirilmesi gerektiğinden, ikinci sertleştirme işlemi her iki malzemeye de uygun koşullarda yapılmalıdır. Bunun için :

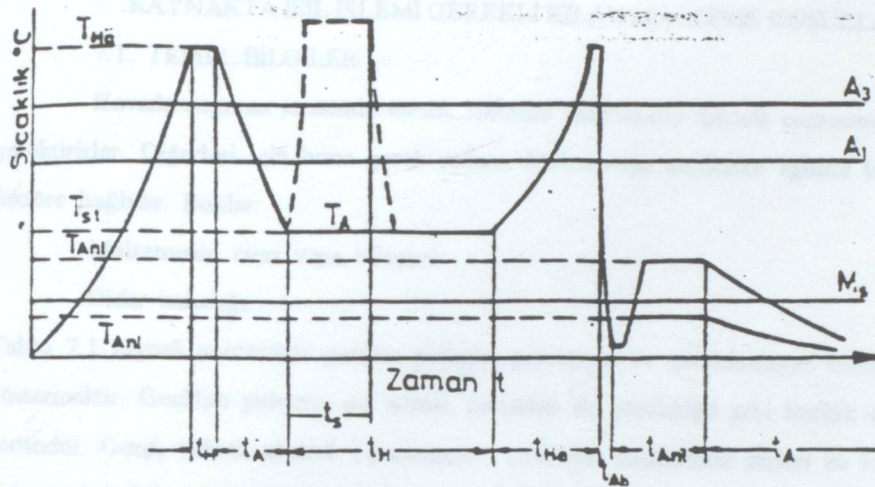
a -) Yalnızca kaynak maddesinin, kademe sıcaklığında ostenitin dönüşmediği sıcaklık alanında olması yeterli değildir, ayrıca ana malzemenin sertleştirme sıcaklığı da bu alan içinde olmalıdır. Böylece kaynak dikişinin tekrar ısıtılmasında ostenit dönüşmesi meydana gelmez.

b -) Kaynak malzemesinin de ana malzeme gibi, çatlama tehlikesi olmadan ani soğutulabilmesi gerekir.

Bu kaynak yöntemiyle kaynak edilebilecek malzemelere örnek olarak, 90 SiCr5, 10SWCr6, 50NiCr13 soğuk iş takım çelikleri ve 45WCrV77 sıcak iş takım çeliği gösterilebilir. (Aydoğan - 1993)

Tablo - 9.31 - Modifiye edilmiş kademeli sertleştirme-kaynak

T_{s1}	- Sertleştirme sıcaklığı
T_{s2}	- Kademe sıcaklığı
T_{s3}	- Minimum sıcaklık
T_{s4}	- Çelmece sıcaklığı
t_{s1}	- Isılama süresi
t_{s2}	- Soğutma süresi
t_{s3}	- Kaynak süresi
t_{s4}	- Sertleştirme süresi
t_{s5}	- Ani soğutma süresi
t_{s6}	- Minimum süresi
t_{s7}	- Parça sıcaklığı
t_{s8}	- Kaynak yeri sıcaklığı



Şekil - 6.21 Modifiye edilmiş kademeli sertleştirme kaynağı

$$T_{Na} = \text{Sertleştirme sıcaklığı}$$
$$T_{st} = \text{Kademe sıcaklığı}$$
$$T_{Anl} = \text{Meneviş sıcaklığı}$$
$$T_A = \text{Çalışma sıcaklığı}$$
 t_H = Bekleme süresi
$$t_A = \text{Soğutma süresi}$$
$$t_g = \text{Kaynak süresi}$$
$$t_{Ha} = \text{Sertleştirme süresi}$$
$$t_{Ab} = \text{Ani soğutma süresi}$$
$$t_{Anl} = \text{Meneviş süresi}$$

_____ = Parça sıcaklığı

— = Kaynak yeri sıcaklığı

7. GEREKTİREN MALZEMELER

7.1. FERRİTİK ÇELİKLER

7. KAYNAKTA ISIL İŞLEMİ GEREKLİ KILAN MALZEME KOŞULLARI

7.1. TEMEL BİLGİLER

Havada soğuma sırasında sertlik kazanan malzemeler kaynak sonrasında gerilim giderme gerektirirler. Diğerleri için buna gerek yoktur. Malzemenin sertleşme eğilimi birbirinden bağımsız iki faktöre bağlıdır. Bunlar:

Malzemenin cinsi veya bileşimi

Cidar kalınlığı

Tablo 7.1 kaynak sonrasında gerilim giderme gerektiren ve gerektirmeyen malzeme türlerini bir arada göstermektedir. Gerilim giderme ısıtma işlemi, tablodan da görüldüğü gibi ferritik çeliklere özgü bir sorundur. Gerçi, yüksek alışımlı (paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri de kaynak sonrası gerilim gidermesine ihtiyaç duyarsa da bu tür malzemelerle kaynak teknolojisi nadiren karşılaşılır.

Konuya tam olarak açıklık getirmek bakımından Tablo'yakaynakta ısıtma işlemi gerektirmeyen malzemeler de alınmıştır. Kaynak teknolojisi sık karşılaşılan iki malzeme türü olan östenitik çelik ile nikel ve nikel alışımları ısıtma işlemi sorunu olmayan malzeme türleridir.

Alüminyum, bakır ve bunların alışımları da kaynak sonrası gerilim gidermeye normal olarak gerek duymazlar, fakat ısıtma iletkenlikleri yüksek olan bu malzemelerin kaynak öncesinde ısıtmaya ihtiyaçları vardır.

Sırası gelmişken şunu da belirtelim ki, soğuk mevsimde bütün malzemeler ön ısıtma isterler, 10 C yüzey sıcaklığının altında hiç bir malzemeye kaynak yapılmaz.

GEREKTİREN MALZEMELER

1. Ferritik çelikler
 - 1.1. Karbonlu çelikler
 - 1.2. Düşük alaşımlı çelikler
2. Yüksek alaşımlı (Paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri

Not : Isıl işlem şartından istisnalar vardır.

GEREKTİRMEYEN MALZEMELER

1. Ostenitik (paslanmaz) çelikler
2. Nikel ve alaşımları
3. Alüminyum ve alaşımları *
4. Bakır ve alaşımları *
5. Titanyum ve alaşımları *

* İstisnai olarak ısıl işlem gerektiren türleri vardır

TABLO 7.1: Kaynak sonrası gerilim gidermeyi gerektiren ve gerektirmeyen malzemeler

Buraya kadar ısıl işlem gereksinimini malzeme türü açısından inceledik. Yukarıda söylendiği gibi cidar kalınlığının da kaynak ısıl işlemi üzerinde etkisi vardır. Kalın cidar kaynak dikişinin soğma hızını artırır sertleşme eğilimini güçlendirir. Belirli bir kalınlığın üzerinde artık, ısıl işlem yapılması kaçınılmaz olur.

Kaynak dikişinin içinde yer aldığı yapının rijitliği de ısıl işlemi gerektirebilecek faktörleri arasındadır. Kaynak yöresinin serbestçe genişmesi ve sonra da serbestçe çekmesi başka yapı elemanları tarafından engeleniyorsa o dikişte iç gerilmeler oluşacak demektir. Bunları azaltmak ve gidermek için ön ısıtma ve gerilim giderme gerekebilir.

7.2: Yalın karbonlu çeliklerin kaynağı

Kaynaklanabilirlik açısından yalın karbonlu çelikler tamamen, var sayılarak üç gruba ayrılırlar. Tablo 7.2 bu grupları ve ısıl işlem gereksinimlerini göstermektedir.

Düşük karbonlu çelikler denen ve C içeriği % 0.25' den daha az olan birinci grup malzemenin kaynağı ısıl işlem gerektirmez. Kaynaklı yapılarda kullanılan yalın karbonlu çeliklerin pek büyük bölümü bu gruba girer.

Grup ismi	% C	Ön ısıtma	Gerilme Giderme
Düşük karbonlu	< 0.25	Gerekmez	Gerekmez
Orta karbonlu	0.25 - 0.50	Gerekli	Gerekli
Yüksek karbonlu	> 0.50	Zorunlu	Zorunlu

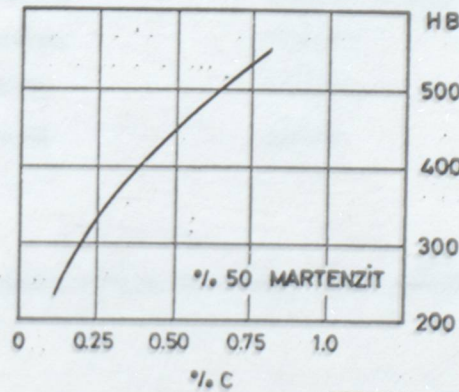
TABLO 7. 2 : Yalın karbonlu çeliklerin kaynağında ısıtma işlem gereksinimi

Bu grup malzeme için elektro seçimi de kritik bir olay değildir.

Çeliğin C oranı % 0.20' nin de altında ise, ona istense de su verilmez. St 37 inşaat çeliği bu gruba girer, kaynak kabiliyeti gayet yüksektir; çatlama tehlikesi yok gibidir.

Çeliğin C oranı % 0.25 sınırının üzerinde arttıkça sertleşme kabiliyeti de artar; kaynak kabiliyeti aksine düşer. Şekil 7.1 bunun grafiğidir. Şekil % 50 martenzit verecek bir soğuma hızı (kaynak dikişinde yüksek bir hız) için çizilmiştir. Dolayısıyla şekilde görülen sertlikler kaynak dikişi için tavan değerler olarak düşünülebilir.

Orta karbonlu çelikler denen ve % (0.25 - 0.50) C içeren ikinci grupta ısıtma işlem gereksinimi kendini hissettirir, St 42 St 70 arası çelikler bu gruba girer. Özellikle kalın cidarlı kaynağında ısıtma işlem kaçınılmazdır. Ön ısıtma ile kırılgan karakterli martenzit oluşumu azaltılabilir. Şayet buna yeterince engel olunamamışsa gerilim giderme tavlama ile martenzite süneklik kazandırılır. (Kangal - 1995)

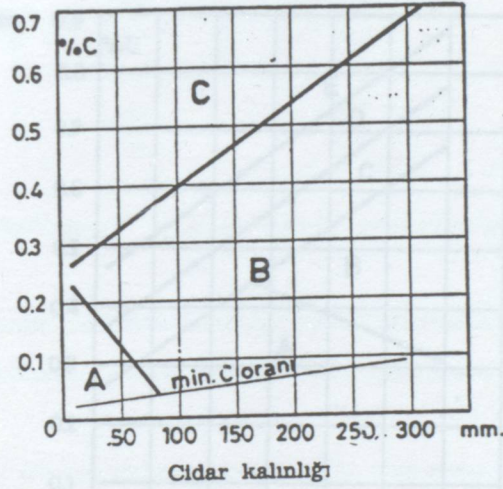


ŞEKİL 7.1 : Yüksek bir soğuma hızında ulaşılabilecek sertliğin karbon oranı ile değişimi

Kaynak ağzını geniş tutmak veya çok pasolu çalışmak suretiyle soğuma hızı azaltılabilir. Böylece ısıtma işlem gereksinimi ortadan kaldırılabilir.

Çeliğin C oranı yükseldikçe elektrod seçimi giderek önem kazanır. Artan manterzit kırılgenlığına bir de hidrojen kırılgenlığı eklenmemesi için orta karbonlu çeliklerde düşük hidrojenli türden elektrodların kullanılmasına ve elektrod kurutma olayına özen gösterilmesi gerekir.

Yüksek karbonlu çelikler adı verilen ve %0.50C'dan yukarısını kapsayan çelikleri çatlatmadan kaynatmak zor iştir. Kaynak kabiliyeti iyice azalmıştır. Isıl işlemin her kademesi ve düşük hidrojenli elektrod kullanımı artık kesin zorunluluklardır. Her özel uygulama için kaynak yönteminin önceden hazırlanması ve standart usullerle denenmesi başarının garantisi için şarttır.



	Önısıtma	Gerilim - Giderme
A	Gereksiz	Gereksiz
B	Gerekli	Gereksiz
C	Gerekli	Gerekli

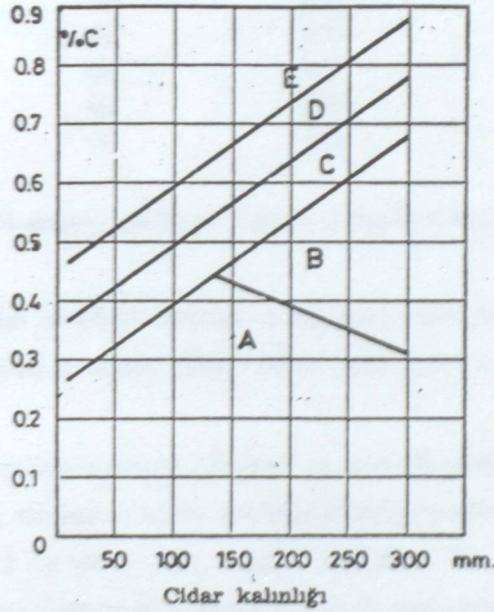
ŞEKİL 7.2 : Yalın karbonlu çeliğin kaynağında ısıtma işlem gereksinimi (Kangal - 1995)

Buraya kadar kaynaklanabilirlik üzerinde C oranının etkisi incelendi. Oysa kaynak dikişinin sertleşip çatlaması üzerinde cidar kalınlığının da önemli etkisi vardır. Şekil 7.2'de bu iki faktörün etkisini bir arada gösteren bir abaktır.

A Bölgesinde hem karbon oranı ve hem de cidar kalınlığı düşüktür. Kaynak kabiliyetinin yüksek olduğu bu koşullarda herhangi bir ısıtma işlemi gerek yoktur. B Bölgesinde ısıtma, C bölgesinde ise hem ön ısıtma ve hem de gerilim giderme gerektirir.

Düşük H içeren türden elektrod kullanılması halinde şekilde bölgeleri ayıran sınırlar yukarıya doğru ötelenirler.

Şekil 7.3 kaynak sonrası gerilim giderme gereksinimi için benzer bir abaktır. Tüm açıklamalar şeklin altında verilmiştir.



- A. Kaynak sonrası gerilim giderme nadiren gereklidir.
- B. Kaynak sonrası gerilim giderme boyutsal kararlılık için gereklidir. Kaynakta sonra parçanın talaş kaldırarak işlenmesi söz konusu ise uygulanır.
- C. Kaynak sonrası gerilim giderme, 25 mm' den kalın ve üstelik darbeli veya tekrarlanan yüke maru z parçalar veya rijit dikişler için gereklidir.
- D. Kaynak sonrası gerilim giderme, darbeli veya tekrarlanan yüke her kalınlıkta, durgun yüke 50 mm kalınlığın üzerinde gereklidir.
- E. Kaynak sonrası gerilim giderme her hal için gereklidir.

ŞEKİL 7.3 : Yalın karbonlu çeliğin kaynağında gerilim giderme gereksinimi (Kangal - 1995)

7.3 Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı:

Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağını, yalın karbonlu çeliklerin .

FORMÜL	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu
$OE = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Ni}}{15} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{5} + \frac{\text{Cu}}{13}$						
GEÇERLİ OLDUĞU KOŞULLAR	Üst sınır %					
	C		0,50			
	Mn		1,60			
	Ni		3,50			
	Cr		1,00			
	Mo		0,60			
	Cu		1,00			

Tablo 7.3 : Düşük alaşımlı çeliklerin Karbon eşdeğerinin hesabı (KANGAL - 1995)

Kaynağından ayrılan en büyük farklılık, birincilerinin daha fazla sertleşme eğilimine sahip olmasıdır. Sertleşme kabiliyetinin yüksek olması demek, daha yavaş soğuma halinde bile martenzit oluşması demektir.

Alaşım katkıları arttıkça sertleşme kabiliyeti de artar ;dolayısıyla kaynaklanabilirlik azalır.

Karbon eşdeğeri, alaşımlı çeliklerin kaynaklanabilirliğini tayine yarayan kavramdır. Düşük alaşımlı çelikler için Tablo 7.3 'de yer alan formülle hesaplanır . Her alaşım elementi çeliğin karbon eşdeğeri ve dolayısıyla kaynak kabiliyeti üzerinde de değişik etki yapar. Formülde paylardaki sayıların büyümesi, söz konusu etkinin zayıflaması demektir. Buna göre, kaynaklanabilirlik üzerinde C ' den sonra en fazla etkili olan Mo , daha sonra da Cr ve V katkılarıdır. Ni ve Cu katkılarının ise kaynakta daha az sorun yaratacağını formülden görüyoruz.

Bu açıklamadan sonra şu genel yargıya varabiliriz:

- Yüksek sıcaklıklara dayanımı ile bilinen ve kısaca Bc - Mo ve Cr - V alaşımları diye isimlendirilen düşük alaşımlı çelikler ancak ısıtım işlemi refakatinde kaynak edilebilirler.

- Derin soğuklarda dahi gevrekmemeleriyle bilinen ve kısaca Ni alaşımlı çelikler diye isimlendirilen düşük alaşımlı çelikler ısıtım işlemi gerçekleştirilmeden de kaynaklanabilirler.

Düşük alaşımlı çelikler kaynak sırasında ısıtım işlemi gereksinimi yönünden, karbon eşdeğeri (CE) göre üç gruba ayrılırlar. Tablo 7.4 bu grupları göstermektedir. Ce düşük çelikler ısıtım işlemi gerektirir ; CE yükseldikçe ısıtım işlemi giderek gereklilik ve nihayet zorunluluk kazanır.

Düşük hidrojenli elektrod kullanılması, düşük alaşımlı çeliklerle ısıtım işlem gereksinimini azaltan ön elemelerin başında gelir.

Bu sayede düşük ve orta CE 'ne sahip çeliklerin ince kesitlerini ısıtım işlemiyle kaynatmak olanağı doğar.

Tablo 7.5 'de dört çelik türü örnek olarak verilmiştir. Bunlardan ikisi yalın karbonlu çelik, diğer ikisi düşük alaşımlı Cr - Mo türünden çeliklerdir. Çeliklerin bileşimi ve buna dayanarak az yukarıda verilen formüle göre hesaplanmış karbon eşdeğerleri de tabloda yer almaktadır. Ce'lerine bakarak soldan sağa doğru kaynak kabiliyetinin azaldığını, ısıtım işlem gereksiniminin arttığını gözlemekteyiz.

<u>KARBON EŞDEĞERİ %</u>	<u>ÖNİTİTMA</u>	<u>GERİLİM GİDERME</u>
< 0.40	Gereksiz	Gereksiz
0.40 - 0.60	Gerekli	Gereksiz
> 0.60	Zorunlu	Zorunlu

TABLO 7.4 : Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ısıtım işlem gereksinimi (Kangal - 1995)

Tanımı	Karbonlu Çelik*		Cr-Mo Çelik	
Hizmet Alanı	Orta Sıcaklıklar < 415°C		Yüksek Sıcaklıklar < 565°C	
ASTM Kodu	A 106		A 335	
ASME P No.	Gr A	Gr B	P 11	P 22
DIN Eşdeğeri	1		4	5
Bileşimi %	17 175			
	St 35.8	St 45.8	13 Cr Mo 44	10 Cr Mo 910
C _{mak}	.25	.30	.15	.15
Mn	.27-.93	.29-1.06	.30-.60	.30-.60
Si	>.10	>.10	.50-1.00	<.50
Cr			1.00-1.50	1.90-2.60
Mo			.44-.65	.87-1.13
Karbon Eşdeğeri %	.35	.41	.63	.95
Çekme dayanımı Kg/mm ²	34	42	42	42
Akma dayanımı Kg/mm ²	21	24	21	21

* Aslında C-Mn türü çeliktir. Fakat çeliğin ayrılmaz bir katgı maddesi olan Mn (ve Si) isimlendirilmede genellikle ihmâl olunarak çeliğe karbonlu çelik demeye devam edilir.

TABLO 7.5 : Sıcak hizmet için Ferritik çeliklere örnek (Boru Standartları)

8. KAYNAKTA ISIL İŞLEMİ GEREKLİ KILAN İŞLETME KOŞULLARI

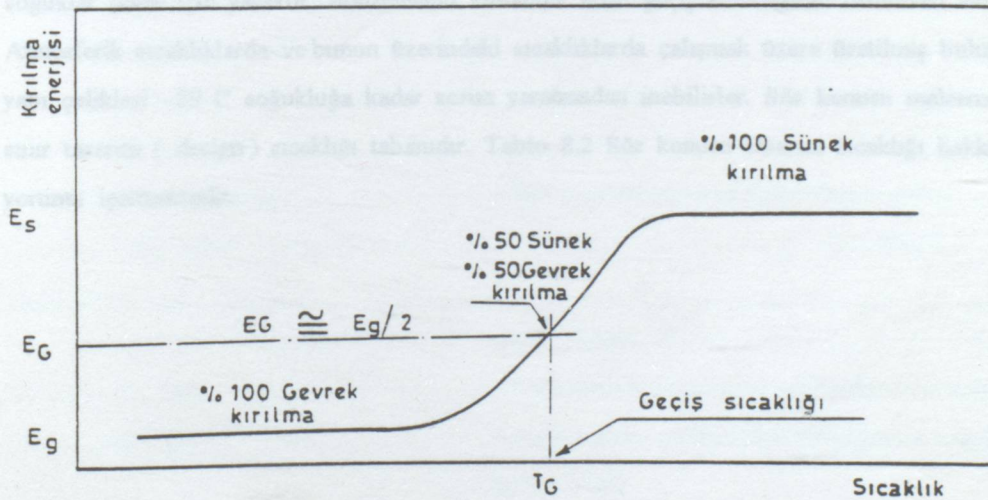
8.1 Soğukta gevrekleşme

Feritik çelikler (Karbonlu çelikler ve düşük alaşımlı çelikler) soğukta gevrekleşirler. Sûnekliliklerini yitirip adeta (camlaşır)

Gevrekleşme darbeye karşı dayanımın azalması ve centiye karşı duyarlılığın artması demektir. Onun için (centik darbe deneyi) çeliğin soğuktan etkilenme derecesinin ölçüldüğü standart yöntemdir. Bilindiği gibi bu deneyde malzeme üzerine şekli ve ölçüleri tamamen standartlaştırılmış bir centik açılır ; parça bu centiğin bulunduğu kesitten çekiç darbesiyle kırılır. Kırma için harcanan kinetik enerji , çeliğin sunekliliğinin (veya gevrekliğinin) bir ölçüsüdür. Sûnek malzemenin kırılması fazla enerji gerektirir. Halbuki gevrek malzeme az bir enerji sarfıyla da kırılabilir.

Şekil - 8.1 feritik çeliğin sunekliliğinin sıcaklıkla değişiminin tipik eğrisidir. Eğri sağda ve solda yatay denebilecek iki kanattan ve ortada onları birleştiren meyili geçişten oluşmaktadır. Kanatların yataylığı, feritik çeliğin sıcakta tam sunek ve soğukta tam gevrek davrandığını gösterir. Ortada yer alan belli bir sıcaklık aralığında çelik karakter değiştirir. Bu geçiş bölgesinin ortasına yani kırılmanın % 50 sunek ve % 50 gevrek olarak meydana geldiği sıcaklığa (geçiş sıcaklığının adı verilir) (Özden - 1985)

Geçiş sıcaklığı, çeliğin alaşım oranına, iç yapısına, imalat geçmişine ve kaynak sonrasında gerilim giderme yapıp yapılmamış olmasına göre değişir.



Şekil 8.1 : Feritik çeliğin centik darbe dayanımının sıcaklıkla değişimi

8.2 : Soğuktan etkilenmeyen malzemeler.

Yüzey merkezli tüp (ymk) şeklinde billur kafesine sahip metaller ve alaşımları soğuktan etkilenmezler. Al, Ni, Cu bu özelliğe sahip yapı malzemeleridir. Östenitik paslanmaz çelik aynı tür billur kafesine sahiptir, nitekim bu malzeme de soğuktan etkilenmez.

Tablo 8.1 Soğuk tekniğin başlıca malzemelerini göstermektedir. Bu tür malzemeler şekil 8.1. dekine benzer bir geçiş göstermezler. Hal böyle olunca, bunlara centik darbe deneyi uygulamaya da gerek yoktur. Bu nedenle, bu malzemelerden yapılmış ve eksi 196 C (havanın yoğunlaşma derecesi) nde çalışacak tesislerde, kaynak dikişlerinin gerilim gidirmesine gerek duyulmamaktadır.

Al	} ve alaşımları	Tp 304	} Östenitik paslanmaz çelikler
Ni		Tp 347	
Cu		Tp 321	
		Tp 316	

TABLO 8.1 Soğuktan etkilenmeyen malzemeler (Özden 1985)

8.3 Normal ferritik çelikler için taban sıcaklık

Malzemeler ilke olarak, sünekliliklerini kurudukları sıcaklıklarda kullanılırlar. Gevrekleştikleri soğuklar onlar için yasaktır. Malzemenin kullanma alanı geçiş sıcaklığının üstündeki sıcaklıklardır. Atmosferik sıcaklıklarda ve bunun üzerindeki sıcaklıklarda çalışmak üzere üretilmiş bulunan ferritik yapı çelikleri - 29 C soğukluğa kadar sorun yaratmadan inebilirler. Söz konusu malzemeler için bu sınır tasarım (design) sıcaklığı tabanıdır. Tablo 8.2 Söz konusu tasarım sıcaklığı hakkında bir yorumu içermektedir.

Bir çelik yapının bulunduğu iklim koşullarına dayanacak nitelikte olması doğaldır. Onun için tasarım sıcaklığının tabanı olarak, o yörede günlük sıcaklık ortalamasının yıl içinde düştüğü en alt sıcaklık alınır. En kötü ihtimâl olarak malzemenin buna dayanması istenir.

Temel mühendislik standardlarının (ASME, ASTM, ANSI, API, v.s.) ait olduğu ülke olan Amerika Birleşik Devletleri'nde günlük sıcaklık ortalaması ülkenin 4/5'inde -29°C 'ın üzerinde kalmaktadır. Sadece Kanada hududuna komşu Orta Kuzey Yöresinde günlük ortalama sıcaklık bu sınırın altına inmekte ve tam sınırdaki -43°C 'a kadar düşmektedir.

Kanada, söz konusu Amerikan standardlarını kendi ülkesi için de aynen geçerli kabul etmiştir. Bu ülkede günlük sıcaklık ortalaması (Artic çember dışında) nihayet -49°C 'a kadar inmektedir [50].

Tablo 8.2 : -28°C ve -48°C itabari sınırları hakkında bir yorum.

Olaya daha yakından bakarsak, ferritik çeliğin sünekliğini soğuktada devam ettirmesinin onun mekanik özelliklerine de bağlı olduğunu görürüz. Düşük dayanımlı yumşak çelik soğuktan az yüksek dayanımlı çelik ise çok etkilenir. Yüksek dayanım alaşım katkılarını artırarak kazanılır.

Tablo 8.3 : atmosfer ve daha üst sıcaklıklar için üretilmiş bulunan ferritik çeliklerin sıfır altı sıcaklıklarda kullanılma koşullarını özetlemektedir. Ama ; bu koşullar gözde büyütülmemelidir . Zira; yapı çeliklerinin büyük çoğunluğu, tablodaki sonuncu gruba girer ve bunlar -29°C 'ye kadar önkoşulsuz olarak inebilirler.

Çekme dayanımı Kg/mm^2	-29°C sıcaklığa kadar kullanılma koşulları Not 1
> 60	Kullanılamaz
50 - 59	Ancak zorunlu hallerde ve özel önlemlerle kullanılabilir
43 - 49	Kaynak sonrası gerilim giderme yapılmak koşuluyla kullanılabilir
> 42	Önkoşulsuz kullanılabilir

Not 1. -29°C sıcaklığın altında kullanılabilecek ferritik çelikler için Tablo - 8.4 'e bakınız

Tablo - 8.3: Normal Ferritik Çeliklerin sıfır altı Sıcaklıklarla Kullanılması Koşulları.

8.4. Soğuk hizmet için ferritik çelikler

-29 C sıcaklığın altı soğuk hizmet olarak tanımlanır. Bu sınırın altında kullanılacak ferritik çelikler soğuk için özel üretilirler. Tablo - 8.4, bu tür çeliklere ait bazı özellikleri ve kullanılabilecekleri taban soğuklukları içermektedir.

Ferritik çeliği soğua dayanıklı kılmak için iki imkan vardır. Bunlar ; - Bünyeyi yabancı kalıntılardan ve kusurlardan arındırmak ve taneleşme yapısını küçültmek.

Nikel ile alaşımlandırmak. Dolayısıyla, soğuk hizmet ferritik hizmetleri iki ana gruba ayrılırlar.

8.4.1. Tam sakın ve ince taneli karbonlu çelikler

Ergimiş çeliğin içinde çözünmüş bulunan oksijen gazını almak ve taneleşme yapısını küçültmek onun soğua dayanımını önemli ölçüde artırır. Bunlar ilave işlemler gerektirdiği için maliyeti de yükseltir. Fakat karbonlu çeliğin soğua dayanımı böylece - 49 C sınırına kadar ötelenebilir. Tablo - 8.4.1'ün ilk iki sütununda yer olan çelikler bu türdendir. Ergimiş çeliğin içindeki oksijen gazını almaya onu (sakınleştirme) denir. Bu işlemin derecesine göre çeliğe (yarı sakın) veya (sakın) çelik isimleri verilir. Sakın çeliğin bünyesi temizdir, segnegasyon azdır ; kimyasal bileşim yapı içinde her yerde homojendir. Böyle olunca mekanik dayanım yüksek olur, çelik daha yüksek sıcaklıklara ve daha derin soğuklara dayanır.

Çeliğin soğua dayanımını artıran ikinci işlem tane küçültmesidir. Daha açık ifadeyle, tane küçültmesi, sünnek gevrek dönüşüm sıcaklığını derin soğukluklara doğru ötelere ve geçiş eğrisinin (ş- 8.1) eğimini azaltır. Tane küçültmek için ergimiş çeliğin içine bir miktar Al katılır. Ancak bu işlemle tane küçültmesi olurken çekme dayanımı da azalır. Çekme dayanımının yüksek kalmasının istendiği durumlarda ; tane küçültmesi, V, Zr, Nb katkıları ilave edilir. Bu katkılar katılma sırasında çelik tanelerinin sınırlarında çökelirler ve komşu tanelerinin birbirleriyle kaynamasına mani olup tane büyümesine engel olurlar.

Anılan bu iki işlem ; yani sakınleştirme ve tane küçültme, çeliğin yüksek sıcaklığa ve basınca dayanımını da artırır dolayısıyla, çeliği o tür koşullara hazırlamada da baş vurulan yöntemlerdir.

8.4.2. Nikel alaşımlı çelikler

Ni katkısı ferritik çeliğin soğua dayanımını önemli ölçüde artırır. Tablo - 8.4'ün son üç sütunu bu tür çeliklere ait örneklerdir. Tablodan görüldüğü gibi, % 2, % 3.5 ve % 9 Ni katarı sırasıyla - 73, -101, ve -196 C soğukluklara inebilir.

Malzeme Türü	Karbonlu Çelikler		Ni Alaşımlı Çelikler		
	A 333		veya	A 334	
ASTM Kodu	Grade 1	Grade 6	Grade 9	Grade 3	Grade 8
ASME P No.	1		9 A	9 E	11 A
DIN Eşdeğeri	TT St 35 N.V	TT St 45 N.V	—	10 Ni 14	X Ni 9
Kullanılabileceği en düşük sıcaklık °C	-46		-73	-101	-196
Oda sıcaklığında Çekme Dayanımı Kg/mm ²	38	41	43	45	69
Akma Dayanımı Kg/mm ²	21	24	32	24	52
Bileşimi %					
C mak.	.30	.30	.20	.19	.13
Mn	.40-1.06	.29-1.06	.40-1.06	.31-.64	.90 mak
Si		.10 min	—	.18-.37	.13-.32
Ni			1.60-2.24	3.18-3.82	8.40-9.60
Cu			.75-1.25		
Karbon Eşdeğeri %	.42	.41	.52	.29	—

Tablo -8.4 Soğuk hizmet için ferritik çelikler.

8.5. Cidar kalınlığının ve gerilim gidermenin etkisi

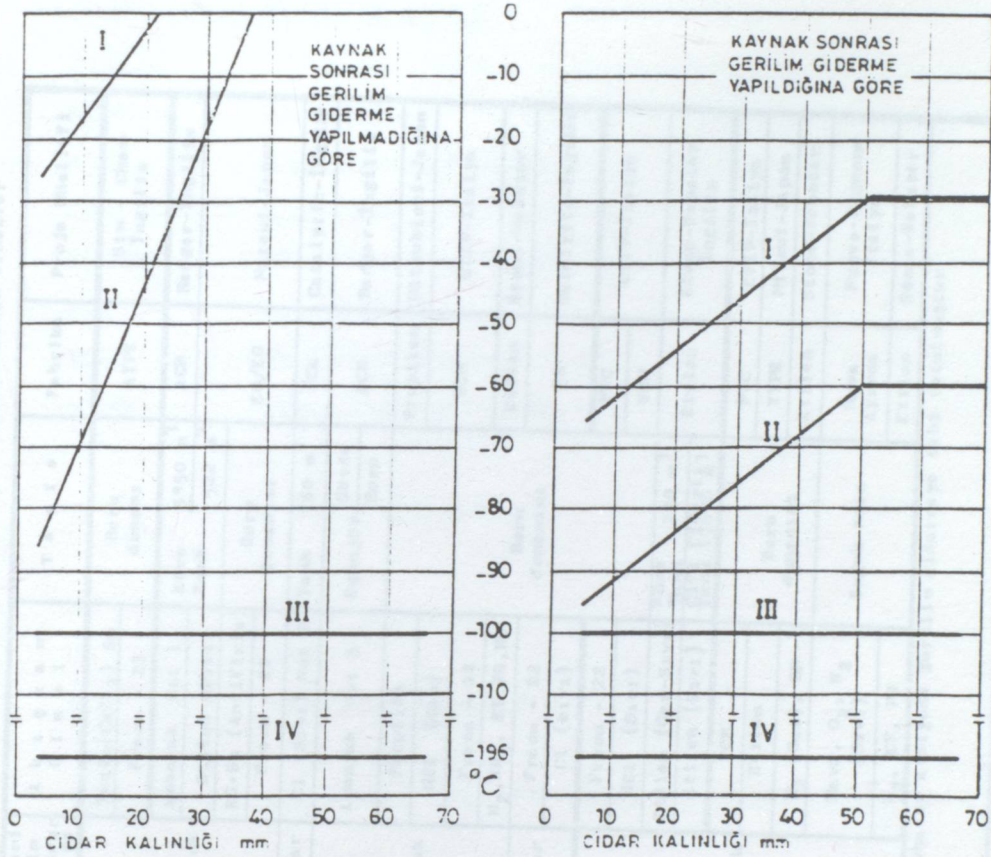
Çeliğin soğuğa dayanımı üzerinde metalurjik yapıdan başka cidar kalınlığı da çeliğin özellikle karbonlu çeliğin soğuğa dayanımı üzerinde birinci derecede rol oynar. Cidar kalınlığı azaldıkça, karbonlu çelik daha derin soğukluklara dayanır. Diğer taraftan kaynak sonrası gerilim giderme işlemi de karbonlu çeliği soğuğa dayanımını önemli ölçüde artırır. Bunlar, karbonlu çelikler içindir. Nikel alaşımlı çeliğin soğua dayanımı cidar kalınlığı ve gerilim giderme işlemi ile değişir.

Şekil - 8.2 anlatılanların grafik gösterilişidir. Şekilde eğik duran 1 v 2 numaralı doğrular karbonlu çeliklere, yatay duran 3 ve 4 numaralı nikel alaşımlı çeliklere aittir. Doğruların eğikliği, ilgili malzemenin cidar kalınlığına bağlılığına, yataylığı ise bundan bağımsızlığını gösterir. (ÖZDEN 1985)

Şekilde yanyana duran iki grafiğin mukayesesinden söz konusu malzemeler üzerinde kıyasını görmek mümkündür. ısıtılma işleminden sonra, karbonlu çeliklere ait olan yatay doğrular yerlerini aynen korumaktadırlar. Burdan çıkan iki sonuç şudur;

- Kaynak sonrası gerilim- giderme ısıtılma işlemi, karbonlu çelilerin daha derin soğukluklarda kullanabilmelerini sağlar.

- Soğuk hizmet için hazırlanmış nikel alaşımlı çeliklerde kaynak sonrası ısıtılma işlemi gerek yoktur.



Şekil- 8.2 : Ferritik çeliklerin kullanılabilecekleri soğukluklar. (ÖZDEN - 1985)

- I Atmosferik veya daha yüksek sıcaklıklar için hazırlanmış karbonlu çelikler; örneğin A 106 veya API 5L borular veya A 285 levha.
- II Soğuk hizmet için özel hazırlanmış karbonlu çelikler; örneğin A 333 Gr 6 boru veya A 516 levha.
- III % 3,5 Ni'li çelik; örneğin A 333 Gr 3 boru.
- IV % 9 Ni'li çelik; örneğin A 333 Gr 8 boru veya A 353 levha.

Tablo - 9.5 Soğuk Hizmette Kaynak Sonrası Isıl İşlemin Yapıldığı ve Yapılmadığı Uygulamalardan Örnekler

Sıra No	Malzeme		Elektrod	Isıl İşlem Sıcaklığı	Geri Alım Gideri	Akışkan Cinsi	Tesis	Fabrika	Proje Miliyeti
	Cinsi	ASTM Sınıfı							
1	Karbonlu Çelik	API 5L Gr B	SFA-5.1/E 7016	- 20		Tuzlu (CaCl ₂) Su	Boru donanımı	AYFE	Sin - Chem İngilis
2				- 20		Freon - 22			
3		A 516 Gr 65	SFA-5.5/E 4019-C1	- 6		Amonyak Not 1	Kilre 5450 m ³	ACN	Radger-İngilis
4		Gr 70		- 10	Yok	Etilen Oksit	Tank 522 m ³		
5		A 333 Gr 1	SFA-5.5/E 7016 G	- 20		EG+Su (Antifiriz)	Boru donanımı	EO/EG	Mitsui-Japon
6				- 20		Freon - 22			
7		A 516 Gr 70	SFA-5.5/E 7019 G	- 20	Var	Cl (Sıvı) Not 2	Tank 160 m ³	CA	Catalytic-İngilis
8	Tem Sakin Karbonlu Çelik	Gr 60	SFA-5.5/E 4019 G	- 34		Amonyak Not 3	Egenjör Güvde Boru	ACN	Radger-İngilis
9		A 334 Gr 6		- 40	Yok	Propilen		Propilen	Mitsubishi-Japon
10		A 333 Gr 1		- 40		HCl (Gaz)		VCM	CTIP-İtalya
11		A 334 Gr 6	Kük: SFA-5.19/E 70S-2	- 46		Freon - 22		Etilen	Stone-Webster
12			Doluğu: SFA-5.5/E 4019 G	- 46		H ₂ , NH ₃ , ET, PR, HD		CA	Catalytic-İngilis
13		A 333 Gr 6		- 49	Var	Freon - 22	Boru donanımı		
14				- 49		Cl (Sıvı)		PVC	CTIP-İtalya
15		A 333 Gr 3	SFA-5.5/E 4019-C2	- 55		Freon - 22		VCM	
16	H4 Alüminyum Çelik	A 333 Gr 3		- 55		HCl (Sıvı)			
17		A 333 Gr 4	ESAB OK 69.45	- 98		Etilen (Gaz-Sıvı)	Kilre 270 m ³	Etilen	Stone-Webster İngilis
18				- 104		Etilen (Sıvı)	Tank 160 m ³		
19				- 50	Yok	VCM		PVC	CTIP-İtalya
20	Östenitik Paslanmaz Çelik	A 312 1p 304	Kük: SFA-5.9/ER 309	- 100		Etilen	Boru donanımı	YYPZ	Mitsui-Japon
21			Doluğu: SFA-5.4/E 309	- 100		H ₂ (Gaz), DN		Etilen	Stone-Webster
22		A 312 Tp 304	SFA-5.9/ER 309 L	- 204		Hava, O ₂ , N ₂ (Sıvı)			
23	Al Alüminyum	B 209/ 50A3 3003	SFA-5.10/ER 535	- 204			Soğuk Kutu	Hava Ayırma	Nuovo-Pignone İtalya
24			ER 1100	- 204		H ₂ , ET, PR		Etilen	Stone-Webster

Not 1 Yalnız Geliş defektlerinin ve nozulların yerleştirilme levhaları atölyede görülüm gidermeye tabi tutulmuştur.

2. Cidar kalınlığı 24 mm'dir.

3. Boruların U direksiyonlarına ısıtılma işlemi uygulanmıştır.

4. Elde edilen ısıtılma sıcaklığı 100°C'dir.

FABRİKALAR

ACN	Akrilonitril
AYPE	Alçak Yoğunluk Polietilen
CA	Klor - Alkali
EO / EG	Etilen Oksit / Etilen Glikol
PVC	Polivinil Klorür
VCM	Vinil Klorür Monomer
YYPE	Yüksek Yoğunluk Polietilen

AKIŞKANLAR

ET	Etilen
PR	Propan
BD	Arıza Hali Boşaltma Hattı

Tablo - 8.6. Bir önceki tabloda (Tablo - 8.5.) kullanılan kısaltmaların açıklaması

Tablo - 8.5. Uygulamadan örnekleri içermektedir. Petkim Aliğa Kompleksine dahil fabrikalar zincirinin montaj şartnamelerinden derlenmiştir. Kendi kapsanlarına giren fabrikalarda soğuk hizmet için yapmış oldukları malzeme, elektrod ve gerilim- giderme seçinileri tek bir tabloda özetlenmiştir.

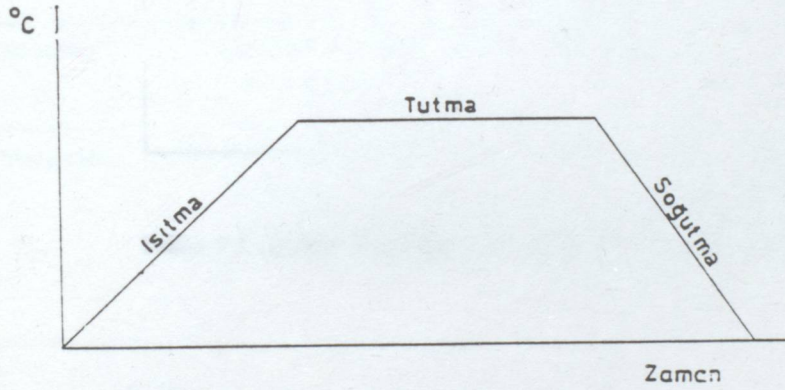
Tablonun incelenmesinde göze çarpan ilk husus, verilen 24 örnekten 21' inde gerilim gidermenin olmayışıdır ! Demekki ; soğuk hizmet de kullanılacak malzeme ve elektrod (ve cidar kalınlığı) uygun seçilmek sureti ile, kaynak sonrası gerilim giderme işleminden tamamen kurtulunabilir. Bunun bazen, ne büyük tasarruf ve kolaylık sağlayacağını örnekten görmek mümkündür. Söz konusu örnek, 17670 m³ hacminde, 30 m çapında ve 28 m yüksekliğinde çift cidarlı silindirik bir tanktır. - 104 C soğukta, sıvı etilen depolayacaktır. Feritik çelikten yapılmıştır. Buna rağmen ısıtılma işlemi öngörülmemiştir.

9. GERİLİM GİDERME ISIL İŞLEMİ

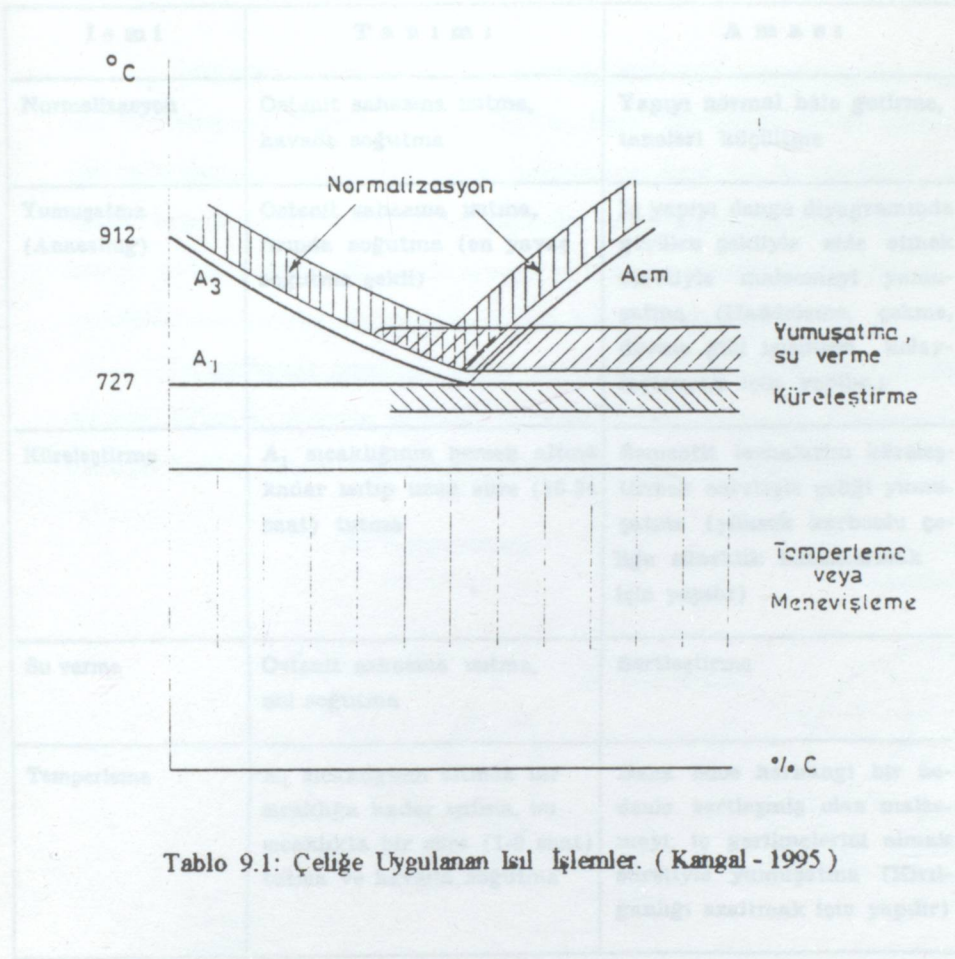
Tarif olarak gerilim giderme tavlaması, malzemeyi A1 alt kritik sıcaklığının altında herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtmak o sıcaklıkta bir süre bekletmek ve yavaşça soğutmaktır. Bu işleme temperlenme veya menevişleme isimleri de verilir. Şekil 9.1 gerilim giderme ısı çevriminin grafiğidir.

Tablo 9.1 çeliğe uygulanan belli başlı ısı işlemleri ve bunların amaçlarını topluca göz önüne sermektedir. Şekil 9.2 bu işlemlerde çıkılan tavan sıcaklıkların Fe-C denge diyagramında gösterilmiştir.

Kaynak söz konusu olduğu zaman, bizi ilgilendiren sadece temperlenmedir. Temperlenme, aslında, sertleştirici bir ısı işleminin, örneğin su verme işleminin veya kaynak işleminin ardışık işlemidir. Birincil ısı işleminin iç yapıda bıraktığı gerilmelerinin giderilmesidir.



Şekil 9.1: Gerilim Giderme Isıl İşlemi.



Tablo 9.1: Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler. (Kangal - 1995)

İ s m i	T a n ı m ı	A m a c ı
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 küreletirmek 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 (Kırılabilirliği azaltmak için yapılır)

Şekil 9.2 : Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler.

9.1 : Makroskobik Gerilmelerin Giderilmesi :

Bir fizik kuralı olarak malzemenin dayanımı sıcaklıkla azalır. Isınan malzemenin akma dayanımı mevcut iç gerilmelerinin düzeyine indiği zaman kalıcı deformasyon başlar. Bu ise, içerde hapsolmuş gerilmelerin çözülmesi, malzemenin rahatlaması, yumuşaması demektir.

9.2. Mikroskobik Gerilmelerin Giderilmesi:

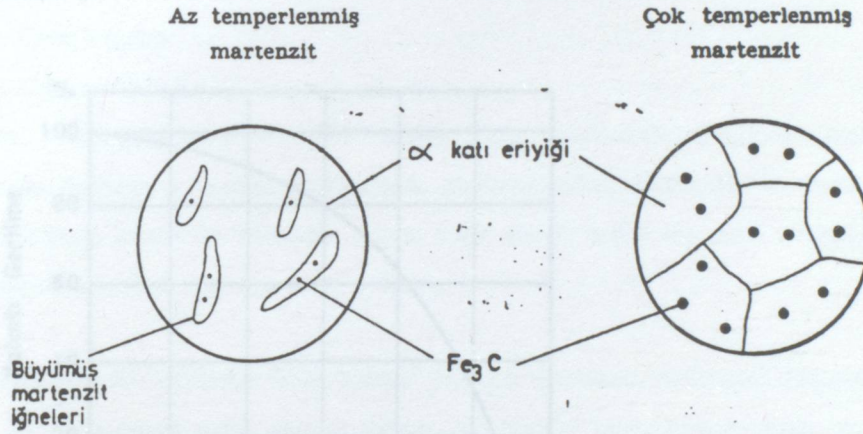
Ön ısıtma, pasolar arası sıcak tutma ve son ısıtma gibi önlemlere rağmen gene de oluşma fırsatı bulunmuş olan martenzit temperleme işlemiyle yumuşatılır.

Billur kafesi içinde sıkışan büyükçe atomları mikroskopik gerilmelere neden olurlar. Yapı bu haliyle yarı kararlıdır. bu yapı yüksek sıcaklıklara doğru ısıtılırsa içerde sıkışmış C atomları hareketlilik kazanırlar; demir atomlarıyla kinyasal bağ kurarak Fe₃C (Sementit) molekülleri halinde çökelirler. Bünyede sıkıntı yaratan C fazı, böylece kristal kafesini terk ederken Fe atomları denge konumlarını alırlar. Neticede, küp şeklinde kristal kafesine sahip kararlı martenzit doğar.

Temperleme işleminin henüz başlangıç aşamasında meydana gelen bu yapısal değişiklikleri ışık mikroskopuyla görmek mümkün değildir. Fakat temperleme devam ettikçe yapısal değişimler artık ışık mikroskopuyla izlenebilecek kadar belirginleşir. Şekil 9.3 de görüldüğü gibi martenzid önceleri iğneler halinde büyür, sonra iğneler şişmanlar ve temperlenmenin ileri aşamalarında martenzit taneleri haline döner. Bu arada ayrılan ve çökelen açimentit molekülleri de önceleri küçük topluluklar oluştururlar. Sonraları bunlar da büyür ve küreleşir.

Temperlenmiş martenzit, çelikte özelliklerin en iyi olduğu yapı türüdür. Hem sert, hem sünektir. Diğer bir ifadeyle, mekanik dayanımı yükseltir ve üstelik darbelere de dayanıklıdır. Bu iki özelliğin birlikte olması, teknikte her zaman arzu edilir. (Kangal - 1995).

(Kangal - 1995)



Şekil 9.3 : Temperlenmiş martenzitin Mikroskop altında şematik görünüşü. (Kangal - 1995).

9.3. Kalıntı Gerilmelerin Sıcaklıkla Azalması

Şekil 9.4. Kalıntı gerilmelerin sıcaklıkla azalmasının tipik eğrisidir. Bu eğri değişik bir ölçekle, aynı zamanda, sertlik azalmasını da temsil eder. Düşey ekseninde yer alan kalıntı gerilmelerinin yüzdesi aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır,

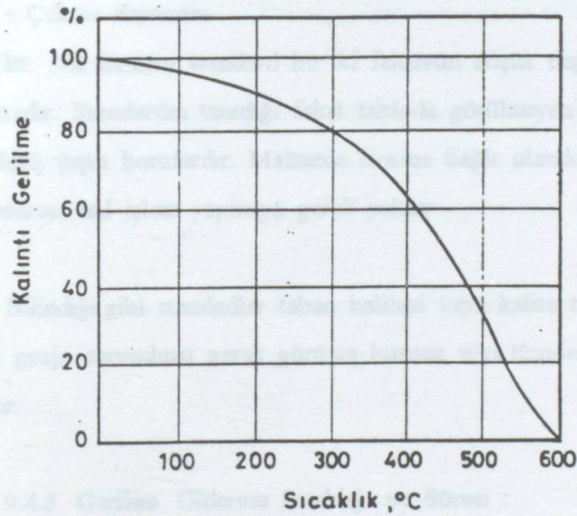
$$\% \text{ Kalıntı Gerilmeler} = \frac{\text{Kalıntı Gerilmeler}}{\text{Malzemenin oda sıcaklığında akma dayanımı}} \times 100 \quad (9.1)$$

Formülden anlaşılacağı gibi bu tanım aslında iç gerilmelerin bağıl değeridir.

Eğriden görüldüğü gibi temperlemenin başlangıcından iç gerilmelerdeki azalma gayet yavaş ilerler. Fakat daha sonra sıcaklıkla gerilim boşalması hız kazanır. Temperleme sıcaklığına gelindiğinde örneğimizde 600 C 'da iç gerilmeler sıfıra iner. Gerilim giderme tamamlanmıştır.

Her şeye rağmen, iç gerilmelerin tam olarak giderilebilmesi için temperleme sıcaklığında bir süre belemesi gerekir. Zira gerilmeler yüzünden ısıtılırlar ve ulaştıkları sıcaklıklar gene yüzeyden ölçülürler. Malzemenin derinliklerinin de aynı sıcaklığa gelmesini sağlamak için ulaşılan temperleme sıcaklığına uygun bir süre beklenmesi zorunludur. Bekleme süresi malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlıdır. Sayısal değerler Tablo 9.1'de verilmiştir.

Şekil 9.1'den de görüldüğü gibi temperleme sıcaklığına çıkış ve buradan iniş yavaş yapılmalıdır. Hızlı soğutma ise tekrar martenzit oluşumuyla sertleşme ve dolayısıyla çatlama yaratabilir. bunlara dikkat edilmesse yapılan ısıtılmanın anlamı kalmaz. Isıtma ve soğutma hızları bir taraftan malzeme beraber cinsine, diğer taraftan diğer kalınlığına bağlı hususlardır.
(Kangal - 1995).



Şekil 9.4. İç Gerilmelerinin Sıcaklıkla Azalması
(Karbonlu Çelikte)

9.4. Gerilim gidermenin kapsamı, sıcaklığı ve süresi

9.4.1. Kapsam

Tablo 9.2. kaynak ısıtıl işlemi uygulanacak malzeme gruplarını ve ısıtıl işlem koşullarını vermektedir. İş kolu düzeyinde ve uluslararası geçerlikte bir standardda alınmıştır. Diğer iş kolu düzeyinde standartlarda da ufak tefek değişikliklerde benzeri koşullar yer alır. Bu tablo kısaca şu şekilde gruplanmıştır :

- Yalın karbonlu çelikler
- Düşük alaşımlı çelikler
- Yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklerin martenzitin türlerine içermektedir.

Ancak bir konuyu hemen vurgulamak gerekir. İlk bakışta da anlaşılacağı gibi tablo sadece malzeme ve cidar kalınlığı koşullarını içermekte, işletme koşullarına hiç değinmemektedir. Tablonun ait olduğu standard işletme koşullarının gerektirebileceği ısı işlemlerinin kararını proje sahiplerine bırakmıştır.

9.4.2. İstisnalar :

Tablo 9.2' de ön ısıtma ve gerilim giderme ısı işlemlerini ön koşulu olarak sadece iki şartta yer verilmektedir.

Bunlar :

- Cidar kalınlığı ve
 - Çekme dayanımı
- 50 mm'dir. Söz konusu standard bu iki faktörün düşük değerlerinde ısı işlemlerinde istisnalar tanınmaktadır. Standardın tanıdığı fakat tabloda görülmeyen başka istisnalar da vardır. Bunlardan bir örnek küçük çaplı borulardır. Malzeme cinsine bağlı olarak, belirli bir çapın altındaki boruları kaynak sonrası ısı işlem yapmaya gerek yoktur.

Bilindiği gibi standartlar taban kaliteyi veya kalite tabanını belirlerler. Dolayısıyla söz konusu istisnalar proje sorumlusu gerek görürse kısmen veya tümünden kaldırabileceği gene aynı standardta kayıtlardır.

9.4.3. Gerilim Giderme Sıcaklığı ve Süresi :

Tablo 9.2' de ön ısıtma ve hemde gerilim giderme sıcaklıkları verilmiştir. Ön ısıtma için sadece eşit sıcaklığı söz konusudur. Bunun aşınması, genellikle, zararsız olduğundan ayrıca bir üst sınır konmasına gerek duyulmamıştır.

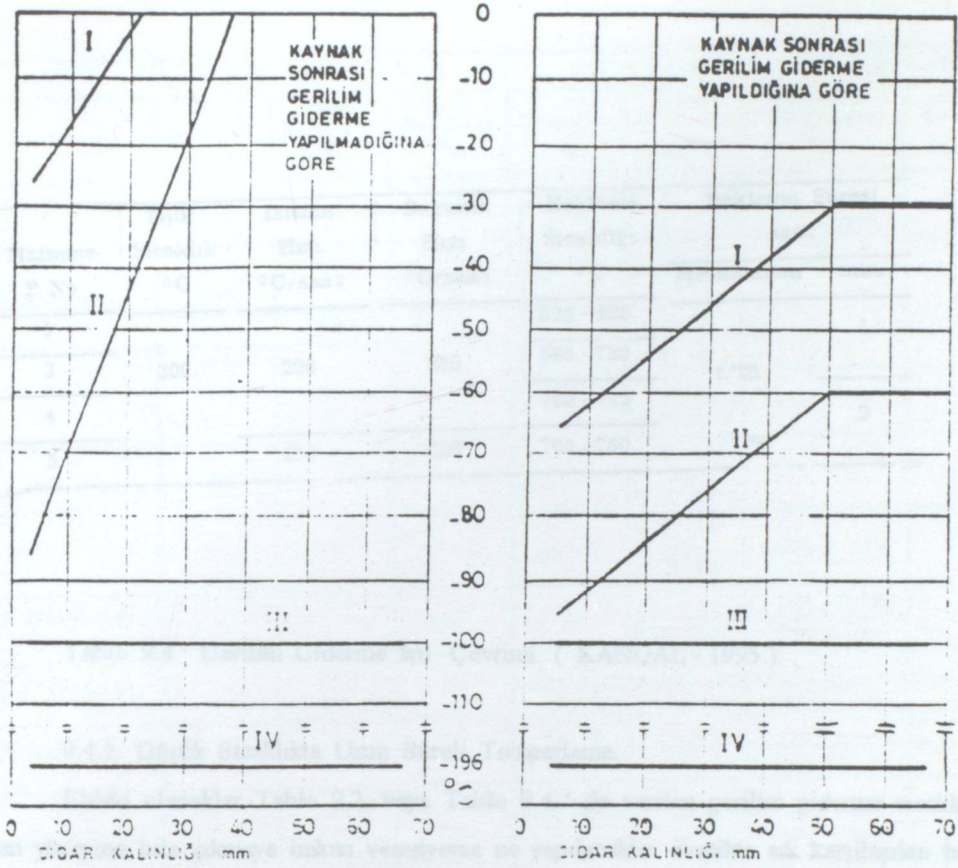
Gerilim giderme sıcaklığı ise hem taban ve hem tavan sınırları getirilmiştir. Taban sıcaklığının altında kaynakta beklenen yunuşama sağlanamaz. Şekil 9.4. sıcaklıkla yunuşamanın eğrisiydi ve olayı yeter açıklıkla gösteriyordu. Tavan sıcaklığının aşınmasının halinde ise kristal dönüşüm ve dolayısıyla yapısal özelliklerin bozulması olasılığı belirir.

Tabloda (9.2) Malzemeler, ASME standardına göre gruplandırılmış olarak yer almaktadırlar. Bu gruplandırma yani P numaraları, malzemelerinin kaynak sırasındaki davranışlarına veya bir diğer deyişle kaynak kabiliyetlerine göre yapıldığından amacınıza uygundur. Alaşım katkıları arttıkça temperleme sıcaklığının ve bu sıcaklıkta bekleme süresinin arttığını görüyoruz. Karbonlu Çelikler (P 1) için ortalama 620 C sıcaklıkta 1 saatlik temperlere yeterli olabilirken, düşük alaşımlı Cr - Mo türü (Pu ve Ps) çelikler sırasıyla ortalama 725 C ve 735 C sıcaklıklarda en az 2 saat beklemeyi gerekli kılmaktadır. (KANGAL - 1995).

Yüksek alaşımlı martenzitin paslanmaz çelikler (Po) ise ortalama 760 C istenmektedirler.

Buraya kadar olanlardan bütün standartlar hem fikirdir. Ancak soğuk teknik için geliştirilmiş Ni alaşımlı çeliklerin (P9 A, P9, P11) kaynak sonrası gerilim giderme giderme işleminde görüş ayrılıklar ve tereddütler vardır. Örneğin, tablonun en alt satırında yer alan %9 Ni alaşımlı çelik için 50 mm cidar kalınlığı üzerinde, düşürülmüş bir sıcaklıkla (ortalama 568 C) ve düşürülmüş bir soğma hızıyla (150o / saat) ısıtıl işlem öngörülmektedir. Halbuki aynı konuda anlamı standart tereddüt belirtmekte, ısıtıl işlemin Ni alaşımlı çeliklere olumlu katkısının kesin olmadığını vurgulamaktadır. Nitekim bir başka kaynaktan alınmış olan Şekil 9.5 . bu yargıyı doğrulamaktadır.

Tablo 9.3' de yer alan örneklerin bu bilgilerin ışığında incelenmesi ile konu çok daha çok daha iyi anlaşılmış olacaktır.



ŞEKİL 9.5 : Ferritik Çeliklerin Kullanabilecekleri Soğukluklar. (bk2. §-8.2)

9.4.4. Isıtma ve Soğutma Hızları:

Tablo 9.4. Başlıca malzeme grupları için gerilim giderme ısı çevrimiyle ilgili tüm bilgileri topluca vermektedir. Tablodan da görüleceği gibi sıcaklık kontrolü 300 C üzerinde önemlidir. Bu sıcaklığa kadar hızlı bir ısıtma ile, örneğin 10-15 dakika içinde çıkabilir. Fakat söz konusu sınırın üzerinde artık, tabloda belirtilen ısıtma hızları aşılmamalıdır. Soğutma sırasında da gene tabloda yer alan hızların altında kalınmalıdır. 300 C 'a inildiğinde sıcaklık kontrolüne son verilebilir ve kaynak dikişinin üzerindeki ısı yalıtım örtüsü kaldırılmadan sakın havada kendi halinde soğumaya terkedilir.

Malzeme	Eşik Sıcaklık °C	Isıtma Hızı °C/saat	Soğuma Hızı °C/saat	Bekleme Sıcaklığı °C	Bekleme Süresi saat	
					Hesaplanan	min.
1				595 - 620		1
3	300	200	250	595 - 720	t/25	
4				705 - 745		2
5		150	200	705 - 760	Not 1	

Tablo 9.4 : Gerilim Giderme Isıl Çevrimi. (KANGAL - 1995).

9.4.5. Düşük Sıcaklıkta Uzun Süreli Temperleme.

Eldeki olanaklar Tablo 9.2. veya Tablo 9.4. ' de verilen gerilim giderme sıcaklıklarının taban yüzeyine bile çıkmaya imkan vermiyorsa ne yapılacaktır. Pratikte sık karşılaşılan bu sorun için standartlar sadece karbonlu çeliklere, daha doğrusu P1 ve P3 grubu malzemeler özgül kalmak kaydıyla bir kolaylık getirmişlerdir. Beklemek süresini uzatmak.

MALZEME	ÖN ISITMA			GERİLİM GİDERME				
	Kalınlık mm	Çekme Dayanımı kg/mm ²	Min. Sıcaklık °C	Kalınlık mm	Çekme Dayanımı kg/mm ²	Sıcaklık Sınırları °C	Min. Süre Saat	Max. Sertlik BS
C veya C-Mn Çelikleri	< 25	< 50	10	< 19	-	-	-	
	> 25	-	40	> 19	-	595 - 650	1	
P - Mn veya % Cr < 0,5 Çelikleri	< 13	< 50	10	< 19	< 50	-	-	225
	> 13	-	40	> 19	-	595 - 720	1	
	-	> 50	40	-	> 50	-	-	
0,1 < % Cr < 2 Çelikleri	-	-	150	< 13	< 50	-	-	225
	-	-	-	> 13	-	705 - 745	2	
	-	-	-	-	> 50	-	-	
2,25 < % Cr < 10 Çelikleri	-	-	175	< 13	Cr < %3 veya C < %0,25	-	-	241
	-	-	-	> 13	Cr > %3 veya C > %0,25	705 - 760	2	
Martenzitik Paslanmaz Çelikler	-	-	150	-	-	770 - 790	2	241
	-	-	-	-	Not (1)	620 - 660	-	
% 2 Ki Ala. Çelikleri	-	-	95	< 19	-	-	-	
	-	-	-	> 19	-	595 - 635	1	
Mn - V Çelikler	-	-	40	< 19	< 50	-	-	225
	-	-	-	> 19	-	595 - 705	1	
Cr - V Çelikler	-	-	150	< 13	< 50	-	-	225
	-	-	-	> 13	-	595 - 730	1	
	-	-	-	-	> 50	-	-	
% 4 Ni Alaşımı	-	-	10	< 51	-	-	-	
	-	-	-	> 51	-	550 - 585 Not (2)	1	

Not (1) A 240 Gr 429 kalite malzeme içindir.

Not (2) Sıcaklık 315°C'a ininceye kadar soğuma hızı 150°C/saat'in üzerinde kalacaktır.

Tablo 9.2 : (Kangal - 1995).

Tablo 9.5. Azalan sıcaklığa karşı uzayan süreleri vermektedir. Görüldüğü gibi karbonlu çeliklerde 595 C altına kadar, yani 475 C' a kadar inen sıcaklıklarda gerilim giderme mümkündür. Fakat bunun için bekleme süresini normalin 10 katına kadar uzatılması gerekmektedir.

Önerilen sıcaklık tabanından (595°C) düşüklük °C	En kısa tutma süresi saat
0	1
30	2
60	3
90	5
120 (sınır)	10

Tablo 9.5: Düşük Sıcaklıklarda Uzayan Bekleme Süreleriyle Gerilim Giderme
(Karbonlu Çelikler)

475 C sıcaklığın altında karbonlu çelikler ne kadar uzun süre bekletilirse beketilsin gerilim yeterli bir çözülme olmamaktadır.

Söz konusu sıcaklıkların en düşük değerli bile, karbonlu çeliğini normal çalışma sıcaklığının üzerindedir. Dolayısıyla çeliğin kaldıracabileceği yüksek sıcaklıklarda uzun süre bekletilmesi bazı sakıncalara gebedir. Onu bozulmaya götürebilir. Birbirinden bağımsız iki zararlı etki söz konusudur. Bunlar ;

1. Grafitleşme :

Çeliğin yapısındaki karbonun ayrışıp çökmesidir. Tablo 9.6.'den karbonlu çelikte bu olayın 415 C ' da başlamaya başladığını görüyoruz.

ASME P. No	MALZEME	°C
1	C çelik	415
3	C - Mo çelik	470
	% 0.6 Cr - Mo çelik	525

Tablo 9.6 : Çelik Yapısındaki Karbonlu Grafitleşme Eğiliminin Başladığı Sıcaklıklar.

2. Oksitlenme:

Bilindiği gibi oksit reaksiyonları genellikle sıcaklıkla hız kazanır. Fakat her metal için öyle karakteristik bir sıcaklık sınırı vardır ki, bunun ötesinde, oksitlenme reaksiyonu artık atağa kalkar. Tablo 9.7. Bir çok tür çelikler için oksitlenmenin atağa kalktığı sıcaklıklardır. Karbonlu çelik için bu sınır 565 C dir. Bu nedenle normal 1 saatlik gerilim giderme sürecinde bile, malzemenin dış ve iç yüzeylerinde oldukça oksitlenme olur. Sürenin uzatılması korozyonun işine yarar ve yüzeylerde kalın tufal tabakası oluşur. Malzemenin bu şekilde kaybolması korozyon payının erimesi, yani cidar kalınlığında bırakılan işletme payının daha başlangıçta yitirilmesi demektir. Ayrıca yüzey düzgünlüğü kaybolur, malzeme yıllarca hurdalıkta beklenişçesine pürüzlenir.

Bu nedenle, uzun süreli gerilim giderme işleri yan etkileri olan bir çözümdür. Hele kontrollü atmosferde, yani fırında da yapılmıyorsa zararı yararını aşabilir. Ancak kesin zorunlu olduğu hallerde ve sonuçları hesaba katılarak başvurulmalıdır.

ASME P. No	MALZEME	°C
1	C çelik	565
3	C - Mo çelik	565
	0.5 Cr - Mo çelik	576
4	1.25 Cr - 0.5 Mo çelik	593
5	2.25 Cr - 1.0 Mo çelik	635
	5 Cr - 0.5 Mo çelik	650
8	18 Cr - 8 Ni (paslanmaz) çelik	870
	25 Cr - 12 Ni (paslanmaz) çelik	1150
	25 Cr - 20 Ni (paslanmaz) çelik	1150

Tablo - 9.7 : Havada Oksitlenmenin Hız Kazandığı Sıcaklıklar. (KANGAL - 1995).

9.4.6. Aşırı Yüksek Sıcaklığa Çıkmanın Zararları :

Tablo 9.2' de görülen taban sıcaklıkların üzeri gerilim giderine yapanlar için yasak bölgedir. Bu bölgede malzeme yapısının ve dolayısıyla özelliklerinin bozulması riski vardır. Risk sıcaklıkla giderek artar. Başlıca sakıncaları şöyle sıralanabilir

a) Grafikleşme ve oksitlenme

Bir önceki altbölümde anlatılmış bulunan bu sakıncalar söz konusu sıcaklık bölgesini hız kazanır.

b) Kristal dönüşüm

Şayet sıcaklık alt kritik sıcaklığın üzerine, karbonlu çelikte 727 C, çıkarsa yapıda temel değişiklikler olur.

Bunları şöyle sıralayabiliriz

-Kristal dönüşümü

-Tane irileşmesi

-Önceki ısı işlemleriyle kazanılmış olan mekanik özellikleri bozulması.

c) Karbonsuzlanma

920 C sıcaklığın da üzerine çıkılırsa iki zararlı etki daha filizleşir. Bunlardan birincisi yüzey karbonun yanarak Co ve Co₂ gazları halinde çeliği terketmesidir. Böylece çelik, en azından yüzey tabakalarında özelliğini yitirir.

d) Tane sınırı oksitlenmesi

Gene 910 C sıcaklığın üzerinde oksitlenme reaksiyonu tane sınırlarından içeriye doğru işler. Çelik derinlenmesine oksitlenir.

Son iki olayın ortak etkisine çeliğin yanması adı verilir.

10. ISIL İŞLEMİN BAŞARISININ KONTROLÜ, SERTLİK ÖLÇME

10.1. Başarının kontrolü

Kaynak sonrası gerilim giderme ısıtıl işleminin amaçlanan hedefe ulaşip ulaşmadığı iki şekilde kontrol edilir. Her iki kontrol de olumlu sonuç verirse, gerilim gidermenin başarılı olduğuna karar verilir. Söz konusu iki kontrol yöntemi aşağıdadır.

10.1.1. Isıl işlem grafipinin kontrolü

Uygulanan ısıtıl çevrim otomatik olarak kayda alınan grafik üzerinden bir değerlendirmeye tabi tutulur. Şekil - 9.1 'de böyle bir grafiğin şematik gösterilişidir. Grafik üzerinde başlıca şu hususlar incelenir;

- Isıtma ve soğutma hızları
- Tav sıcaklığı ve süresi
- Grafiğin düzgünlüğü veya bir diğer deyimle ani sıcaklık değişimini gösterir herhangi bir süneksizliğin bulunup bulunmadığı.

Grafik, bu yönleriyle olumlu izlenimi veriyorsa, gerilim giderme yönteminin kusursuz uygulandığına karar verilebilir.

Çok kanallı bir kaydedici kullanmak suretiyle sıcaklık, tavlama parçanın veya tavlama fırının birkaç yerinde izleniyorsa, aynı kağıt üzerine, aynı anda birden fazla grafik çiziliyor demektir. Bütün grafiklerin yukarıda tanımlanan düzgünlükte olmaları, birbirine çok yakın ve her an paralel seyretmeleri gerekir. Böylece parçanın veya fırının izlemeye alınan noktaları arasında sıcaklık farklarının müsaade edilen sınırlar içinde kalıp kalmadığını belirlenmek olanağına doğar.

Grafik, gerilim giderme de ısıtıl işlem çevriminin önceden planlandığı şekilde gelişip gelişmediğini ortaya koyar. Kusursuz bir grafik, gerilim giderme ısıtıl işleminin başarısı hakkında gerek şarttır, fakat yeter şart değildir.

10.1.2. Sertlik kontrolü

İç gerilmeleri alınmış malzeme yumuşar. Malzemedeki yumuşama iç gerilmelerdeki azalmanın bir ölçüsüdür. Bu nedenle standartlar gerilim giderme ısıtıl işleminin sertlik ölçmek suretiyle kontrolünü şart koşarlar. Örnek olarak boru kaynaklarını ele alalım; Şayet kaynaklar yerel olarak ve birer birer ısıtıl işleme tabi tutulursa, sonunda her bir dikişin sertliğinin ayrıca ölçülmesi gerekir. Fakat, borular partiler halinde ısıtıl işleme tabi tutulursa, kaynak dikişlerini % 10 ' unu sertliğinin ölçülmesiyle yetinilebilir. Bu ölçümler, sertlik için öngörülen kabul sınırını aşmıyorsa, gerilim giderme ısıtıl işleminin başarılı olduğuna karar verilir.

İlke olarak, kaynak dikişi ana malzeme ile aynı sertlik mertebesinde olmalıdır. Bir diğer deyimle, dikişin ve ana malzemenin sertlikleri arasında fazla fark bulunmamalıdır. Dikişin, ana malzemeden fazla sert olması da, fazla yumşak olmasıda kusurdur. Çünkü; sertlik çekme dayanımı ile doğru orantılıdır. Dikişin fazla yumşaklığı kopmanın oradan olacağını fazla sertliğin ise yine çatlamanın oradan olacağını delildir. Tablo 10.1.'in son sütununda kaynak dikişlerinin kabul olunabilir en yüksek sertlikleri verilmiştir. Gerilim giderme ısı işleni, sertliği bu sınırların altına indirmişse, başarılı olmuş demektir.

Bu tabloda bazı çelikler için sertlik sınırı verilmemiştir. Örneğin karbonlu çelik için böyle bir sınır belirtilmemiştir. Karbonlu çelik ailesi çok geniş olduğundan ve bunların analizlerine, geçirdiği imalat ve ısı işlemlere göre sertlikleri geniş sınırlar içinde değiştiğinden, tümü için geçerli bir sertlik sınırı vermekten standartlar kaçınılmaktadırlar. Bu gibi durumlarda Kriter, ana malzemenin kendisidir. Ana malzemenin sertliği ölçülmeli ve dikişin sertliği bununla mukayese olunmalıdır.

MALZEME		ÖN ISITMA			GERİLİM		GİDERME		
ASME P No.	İsim	Kalınlık mm	Çekme Dayanımı kg/mm ²	Min. Sıcaklık °C	Kalınlık mm	Çekme Dayanımı kg/mm ²	Sıcaklık Sınırları °C	Min. Süre Saat	Max. Sertlik HRC
1	C veya C-Mn Çelikleri	< 25	< 50	10	< 19	-	-	-	-
		> 25	-	80	> 19	-	595 - 650	1	-
2	C - Mn veya % Cr < 0,5 Çelikleri	< 13	< 50	10	< 19	< 50	-	-	-
		> 13	-	80	> 19	-	595 - 700	1	-
		-	-	80	-	< 50	-	-	-
4	0,5 < % Cr < 2 Çelikleri	-	-	150	< 13	< 50	-	-	-
		-	-	-	> 13	-	705 - 755	2	225
		-	-	-	-	> 50	-	-	-
5	2,25 < % Cr < 10 Çelikleri	-	-	175	< 13	Cr < 4,3 ve C < 0,25	-	-	-
		-	-	-	> 13	Cr > 4,3 ve ya C > 0,25	705 - 760	2	251
6	Martenzitik Paslanmaz Çelikleri	-	-	150	-	-	730 - 790	2	251
		-	-	-	-	Not (1)	620 - 660	-	-
9A 9B	% 2 Ni % 3,5 Ni Ala. Çelikleri	-	-	95	< 19	-	-	-	-
		-	-	-	> 19	-	595 - 635	1	-
10A	Mn - V Çelikleri	-	-	80	< 19	< 50	-	-	-
		-	-	-	> 19	-	595 - 705	1	225
10B	Cr - V Çelikleri	-	-	150	< 13	< 50	-	-	-
		-	-	-	> 13	-	595 - 730	1	225
		-	-	-	-	> 50	-	-	-
11	% 9 Ni Alaşımı	-	-	10	< 51	-	-	-	-
		-	-	-	> 51	-	550 - 585	1	-
Not 1		Yalnız A 240 Gr 429 kalite malzeme içindir.							
Not 2		Sıcaklık 315°C'a ininceye kadar soğuma hızı 150°C/saat'in üzerinde kalacaktır.							

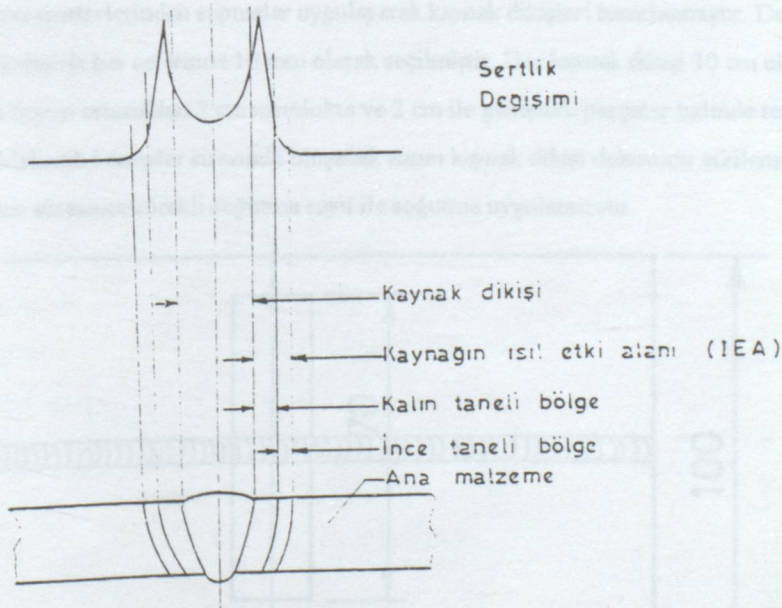
Tablo - 10.1. ANSI B 31.1 Standardının Öngördüğü Isıl İşlem Koşulları (Özden - 1985)

10.2. Kaynak dikişi ve çevresinde sertlik değişimi

Kaynak dikişi ve çevresinde sertlik çok değişkendir. Sertliğin doruğa ulaştığı yer dikişin kendisi değil, fakat ana malzemenin dikişe ol sınır olan kesimidir. Ergime sınırından en çok 0.3 mm ötede ve 50 mikron kadar genişlikte bir şerit içinde sertlik, en yüksek değerine ulaşır. Şekil 10.1. , bu değişimin tipik grafiğidir.

Kaynağın yüksek ısısından kalıcı olarak etkilenen kesim (ısı etki alanı (IEA)), her ne kadar 1 - 3 mm genişlikte ise de bunun ilk % 15 'lik bölgesinde bu etki en yüksek mertebededir. Burada kaba taneler oluşur. En yüksek martenzit oluşumu da yine bu bölgededir. Bu gelişmelerin doğal sonucu olarak, aynı bölgede sertlik de yüksektir. Kaynak dikişlerinde, çatlamların genelde buralarda yani dikişin kenarlarında meydana geldiğini biliyoruz.

Akla şu soru gelebilir: Sertliğin doruğa ulaştığı yer neden tam sınırdadır değil? Her ne kadar, ana metalin kaynaktan en fazla etkilendiği yer ve dolayısıyla en kaba taneler tam ergime sınırında ise de, kaynak sırasında burada hafif C kaybı olduğundan martenzit oluşumunun ve dolayısıyla sertliğin doruk noktası biraz içerilere girer. Kaynak elektrodunun C oranı genelde ana malzemeden biraz daha düşüktür. Dolayısıyla, ana malzemenin sınır tabakalarından karbonca fakir olan ergimiş kaynak banyosu içine, sıcaklığın yüksek değerlerde kaldığı süre içinde belirgin bir C difüzyonu olur. Sonuçta, ana metalin sınır tabakaları içinde C oranı azalır. Dolayısıyla bu tabakaların sertleşme kabiliyetinde düşme olur.



Şekil - 10.1 Kaynak dikişi ve çevresinde sertlik değişiminin tipik eğrisi. (Özden - 1985)

11. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

11.1. Genel

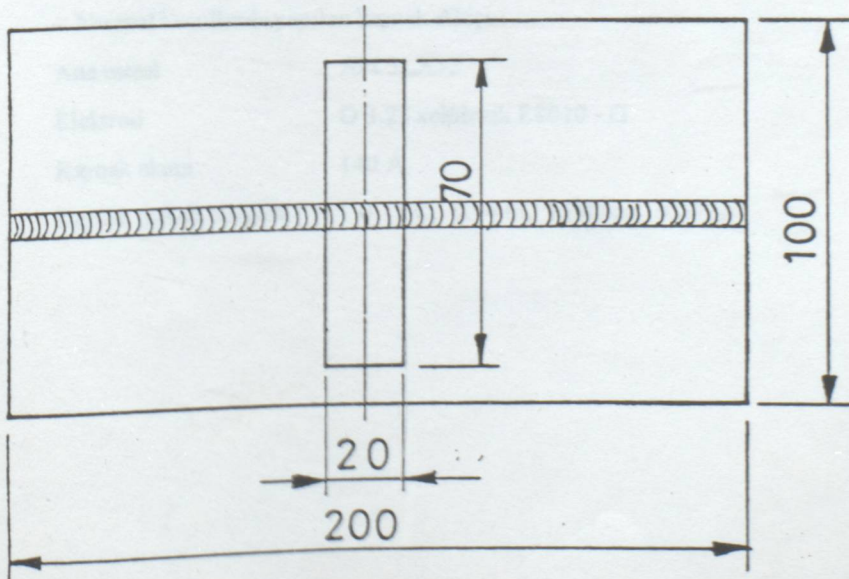
Deneysel Çalışmalarda ana malzeme olarak, bir boru çeliği olan API 5LX 52 çeliği kullanılmıştır.

Bu çeliğin kimyasal bileşimini ve mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir;

Kimyasal Analiz (%)	Bu malzemenin karbon eşdeğeri ;	
C : 0.30	$C_{es} = C + \frac{Mn}{4}$	11.1
P : 0.04	4	
Mn : 1.35	$C_{es} = 0.30 + \frac{1.35}{4} = 0.63$	
S : 0.05	4	

Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)
358 (52 000 PSİ)	455 (66 000 PSİ)	22

Adı geçen çelik malzemenin kaynak deneyleri öncesinde V- Kaynak ağızları hazırlanmıştır. Daha sonra seçilen elektroda göre ve parça kalınlığına göre elektrod standardında gösterilen parametreler aynen uygulanarak kaynak dikişi çekilmiştir. Daha sonraki örneklerde, seçilen elektrodun elektrod kataloğunda verilen işlem parametrelerinden sapmalar uygulayarak kaynak dikişleri hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan ana malzeme kalınlığı her seferinde 10 mm olarak seçilmiştir. Her kaynak dikişi 30 cm olarak çekilmiş, numuneler bu boyun ortasından 7 cm uzunlukta ve 2 cm ile genişlikli parçalar halinde testere ile kesilerek çıkarılmıştır. Mekanik kesmeler sırasında oluşacak ısının kaynak dikişi dokusunu etkilemesini önleyebilmek amacıyla, kesme süresince sürekli soğutma suyu ile soğutma uygulanmıştır.



- Düşük kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

Ana metal

API 5LX52

Elektrod

O 3.25 selülozik E8010 - G

Kaynak akımı

100 A

Kaynak metal bileşimi (%) 0.02 C, 0.02 Si, 0.02 Mn, 0.02 Ni

- Yüksek kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

11.2. Yapılan deneyler

Yapılması düşünülen deneylerden aşağıdaki hususların belirlenmesi, bu durumların yorumlanması, ve olanaklar ölçüsünde ıslah edilebilmesi amaçlanmıştır.

- a) Kullanılan elektroda göre standart içi ve standart dışı parametrelerle kaynakların yapılması ve incelenmesi.
- b) Kaynak banyosunda oluşan dokusal durumun araştırılması ve yorumlanması.
- c) Kaynak geçiş bölgesindeki dokusal durumun araştırılması ve yorumlanması.
- d) Kaynak banyosundaki sertlik dağılımının kök pasosundan üst pasolara doğru saptanması ve yorumlanması.
- e) Isıdan etkilenen bölgede sertlik değişiminin (ana metale göre) saptanması.
- f) Gerilim giderme tavlı sonrasında sertlik dağılımının ve dokusal durumun incelenmesi.
- g) Normal tavlama sonrasında sertlik dağılımının ve dokusal durumun incelenmesi.

11.2.1. Uygulanan kaynak tipleri

Elinizdeki malzemeye; normal koşullarda, düşük kaynak akımında, yüksek ve çok yüksek kaynak akınlarında kaynak yapılmıştır. Burada ortak olarak görünen, her bir kaynakta kaynak ağzına doldurulan her paso, bir öncekinin üzerinde ısı etkisini göstermiştir.

- Normal koşullarda yapılan kaynak dikişi;

Ana metal

API 5LX52

Elektrod

O 3.25 selülozik E8010 - G

Kaynak akımı

140 A

Kaynak metal bileşimi (%) 0.15 C, 0.14 Si, 1.00 Mn, 0.20 Ni.

11.2.2. Mükemmel Kaynak

1. Normal koşullarda yapılan kaynak dikişi

- Düşük kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

Ana metal API 5LX52

Elektrod O 3.25 Rutil E6013

Kaynak akımı 100 A

Kaynak metali bileşimi (%) 0.08 C, 0.50 Mn, 0.40 Si.

- Yüksek kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

Ana metal API 5LX52

Elektrod O 3.25 Rutil E6013

Kaynak metali bileşimi (%) 0.08 C, 0.50 Mn, 0.40 Si.

- Yüksek kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

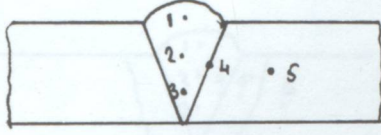
Ana metal 5LX52

Elektrod O 3.25 Rutil E6013

Kaynak metali bileşimi (%) 0.08 C, 0.50 Mn, 0.40 Si.

11.2.2. Mikrografik Muayeneler

1. Normal koşullarda yapılan kaynak dikişi



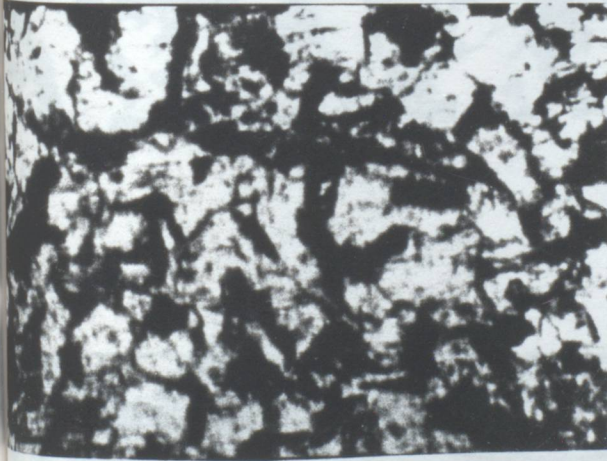
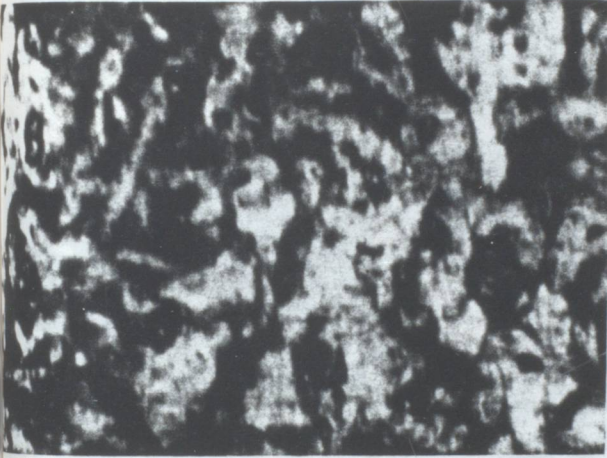
1 - Kaynak banyosu üst paso

2 - Kaynak banyosu orta paso

3 - Kaynak banyosu kök paso

4 - Geçiş bölgesi

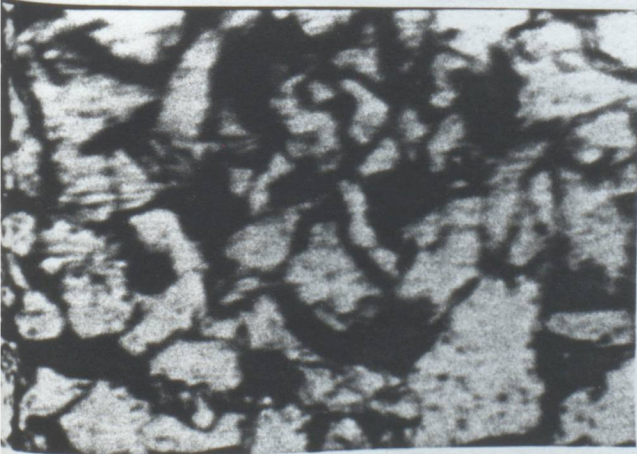
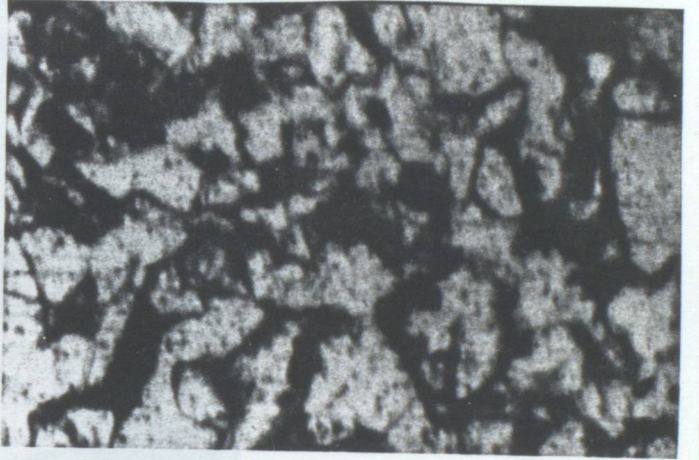
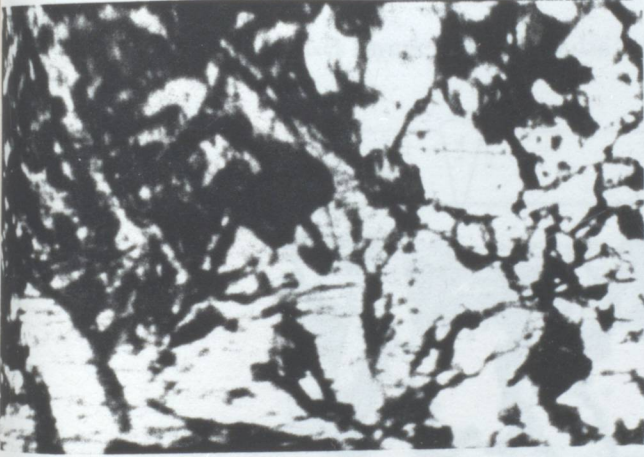
5 - Ana metal

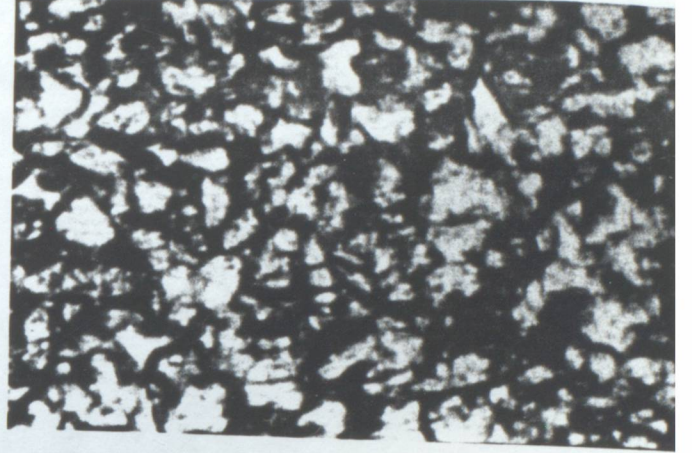
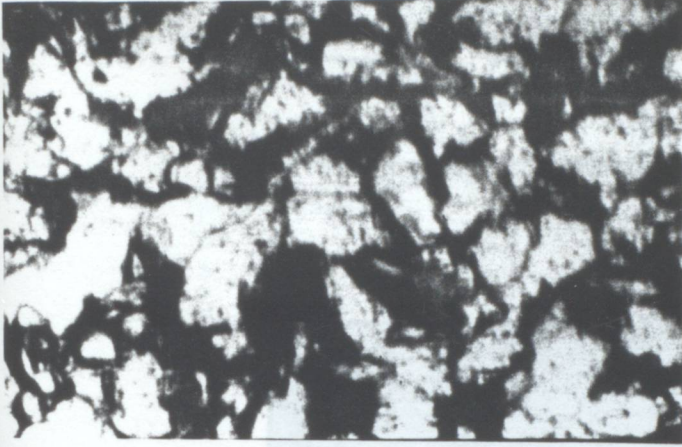


2. Düşük kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

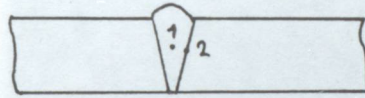


- 1 - Kapak pasosu
- 2 - Kaynak banyosu ortası
- 3 - Kök paso
- 4 - Geçiş bölgesi
- 5 - Isıl etki alanı
- 6 - Ana malzeme



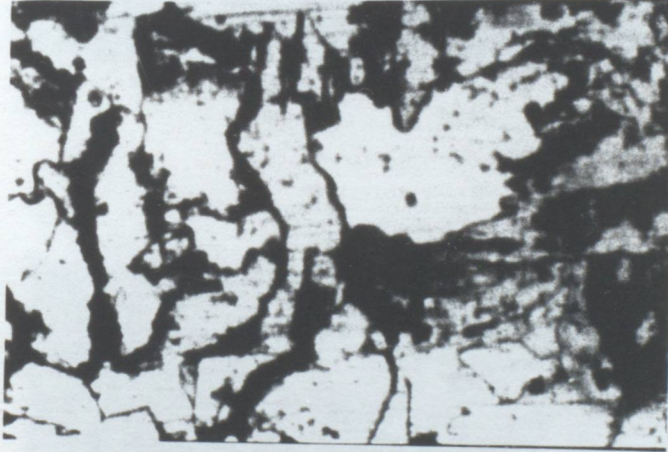


3. Yüksek kaynak akımında yapılan kaynak dikişı

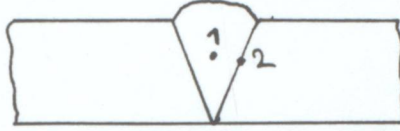


1 - Kaynak banyosu

2 - Geçiş bölgesi

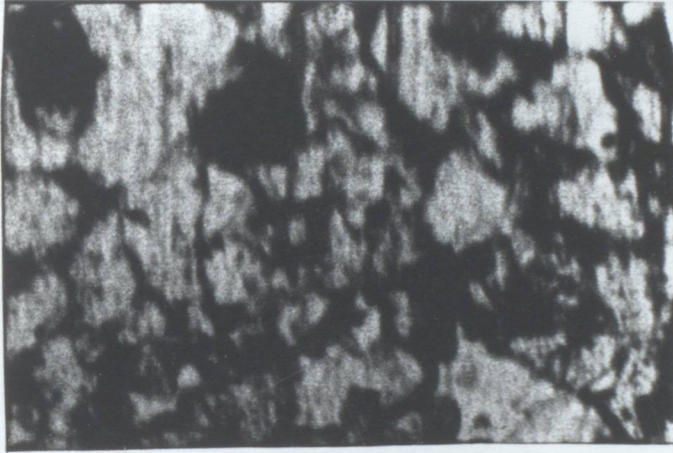


4. Yüksek kaynak akımında (200 A) yapılan kaynak dikişi



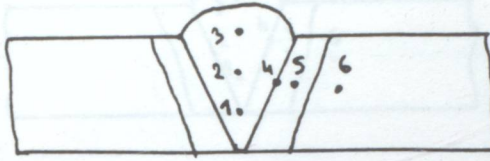
1 - Kaynak banyosu

2 - Geçiş bölgesi



11.2.3. Kaynak edilmiş parçalarda sertlik dağılımı

1. Düşük kaynak akımından yapılan kaynak dikişi



Ana malzeme - 5LX52

Elektrot - o 3.25 Rutil E6013

Kaynak akımı - 100 A

1 - 200 Hv3

2 - 221 Hv3

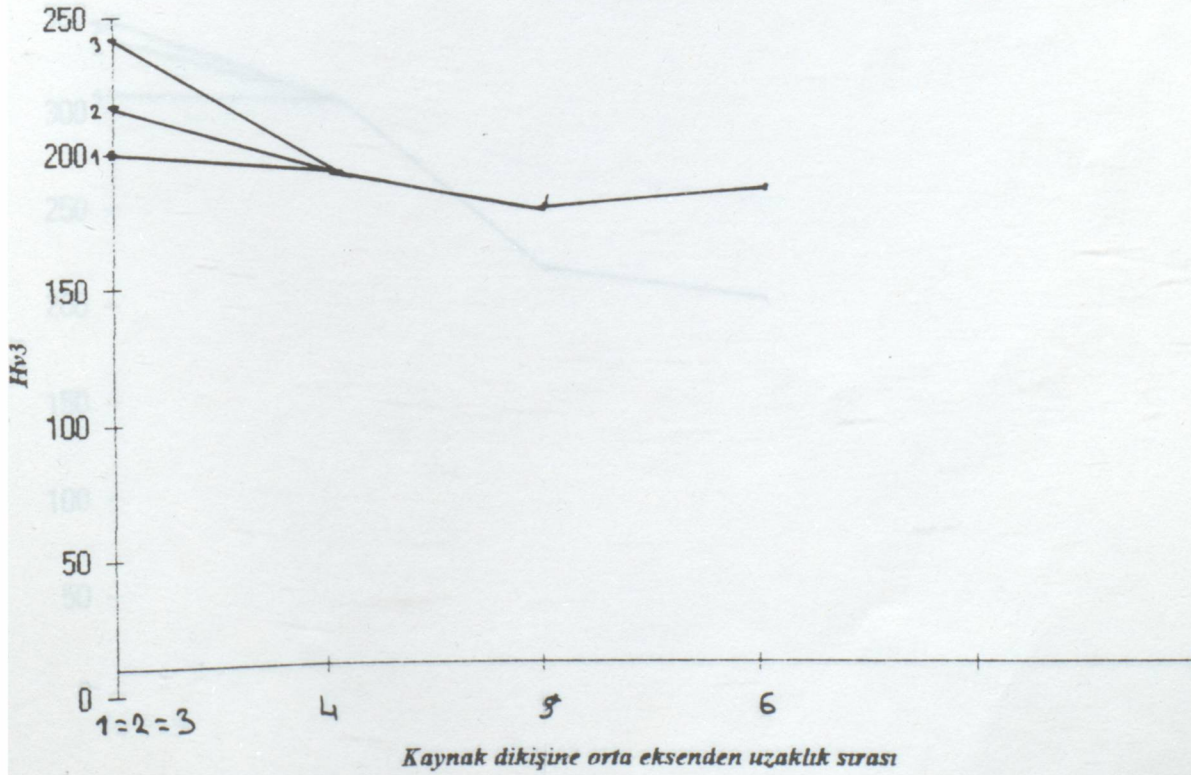
3 - 240 Hv3

4 - 190 Hv3

5 - 176 Hv3

6 - 182 Hv3

Isıl işlem görmemiş



2. Normal kaynak akımında yapılan kaynak dikişı

Ana malzeme - 5LX52

Elektrot - o 3.25 Selülozik E8010 G

Kaynak akımı - 140 A



1 - 310 Hv3

2 - 336 Hv3

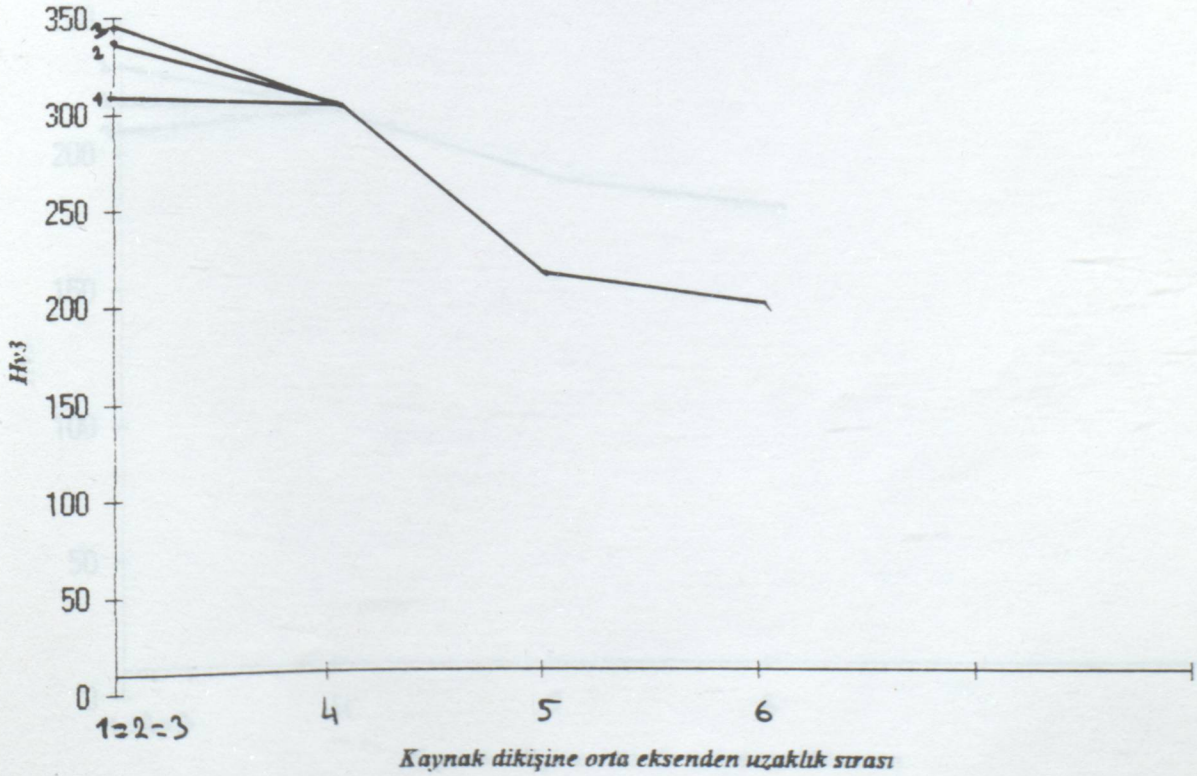
3 - 342 Hv3

4 - 305 Hv3

5 - 207 Hv3

6 - 190 Hv3

Isıl işlem görmemiş

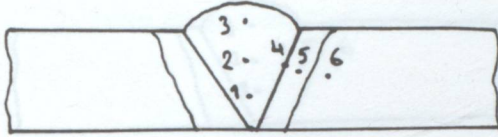


3. Yüksek kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

Ana malzeme - 5LX52

Elektrot - ϕ 3.25 Rutil E6013

Kaynak akımı - 200 A



1 - 210 Hv3

2 - 220 Hv3

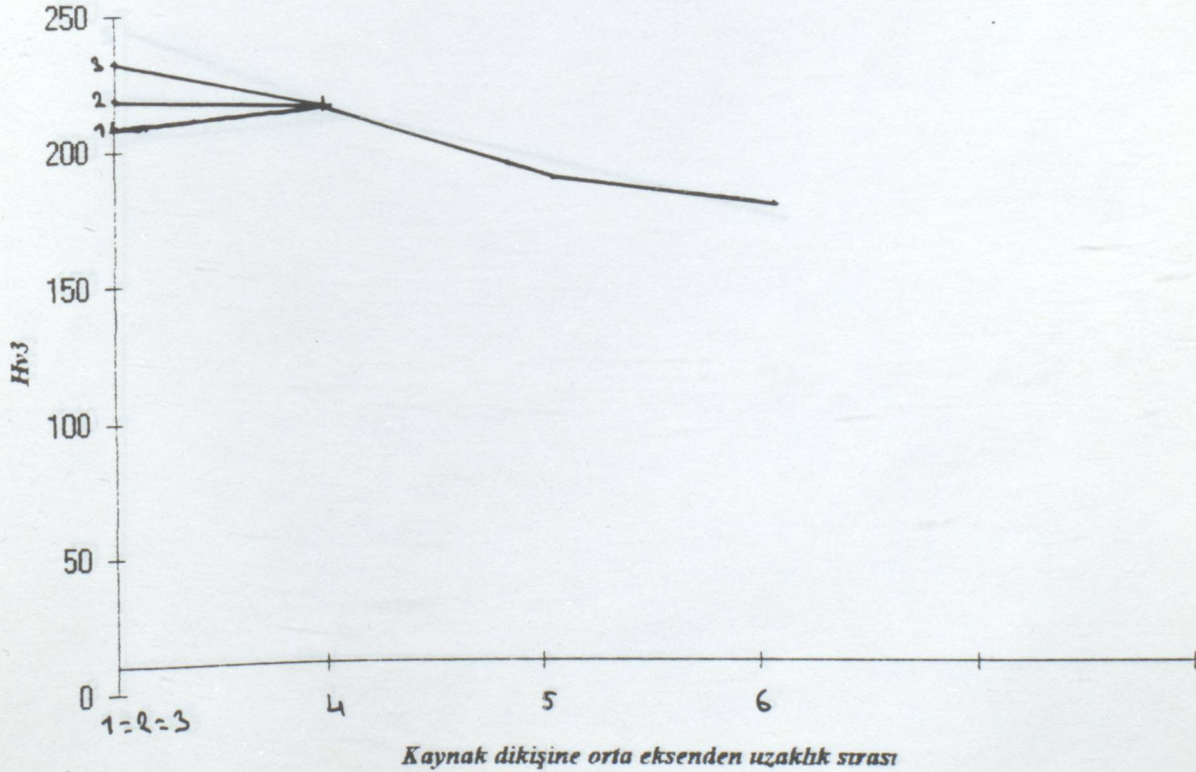
3 - 235 Hv3

4 - 215 Hv3

5 - 190 Hv3

6 - 180 Hv3

Isıl işlem görmemiş



4. Yüksek kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

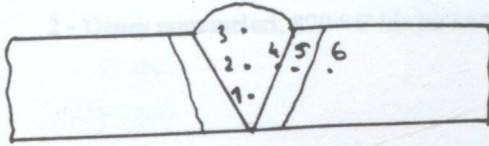
11.2.4.1. Genel

Yukarıda belirtilen, detaylı özellikler ve boyutları, ana malzeme - 5LX52

Şu şekilde belirtilen kaynak işlemi parametreleri ile Elektrot - 3.25 Rutil E6013

yapılmıştır. Bu amaçla, kapalı pozisyonda, deney parametreleri Akım - 160 A

1 - Deney numarası, 600 °C'de boyutlandırılmıştır. 1 - 202 Hv3



2 - 218 Hv3

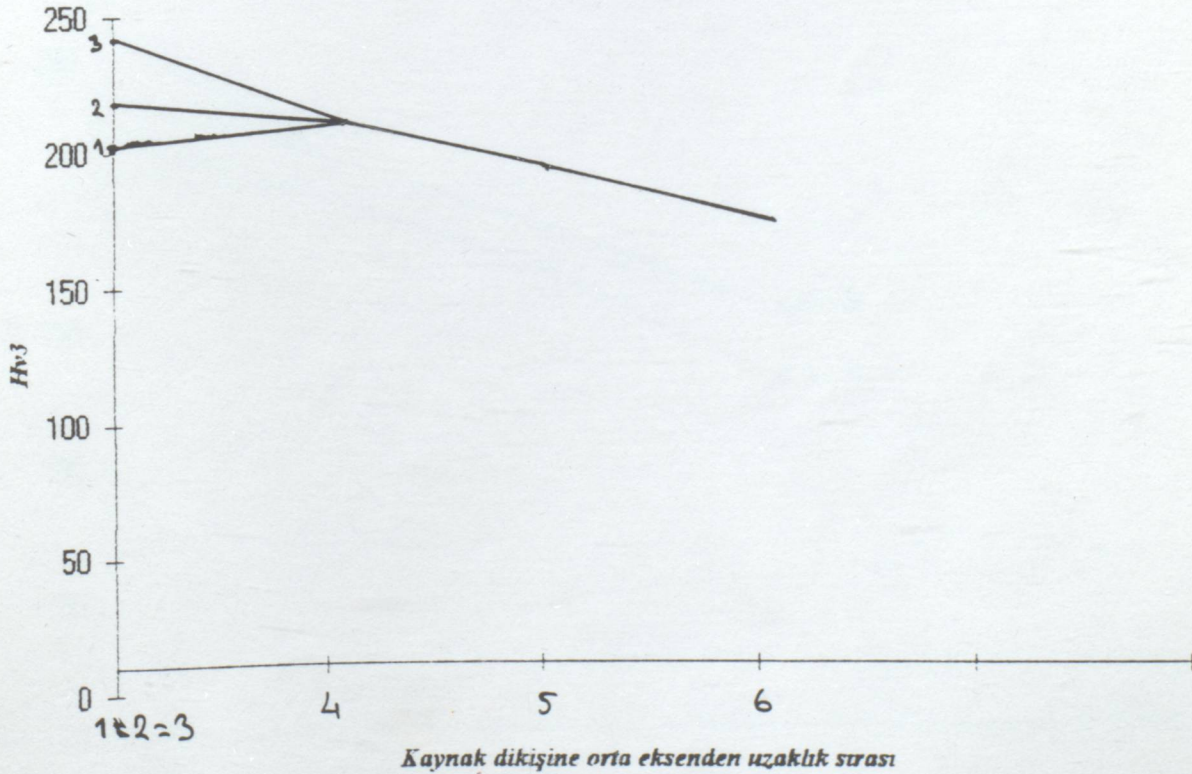
3 - 243 Hv3

4 - 210 Hv3

5 - 195 Hv3

6 - 180 Hv3

Isıl işlem görmemiş

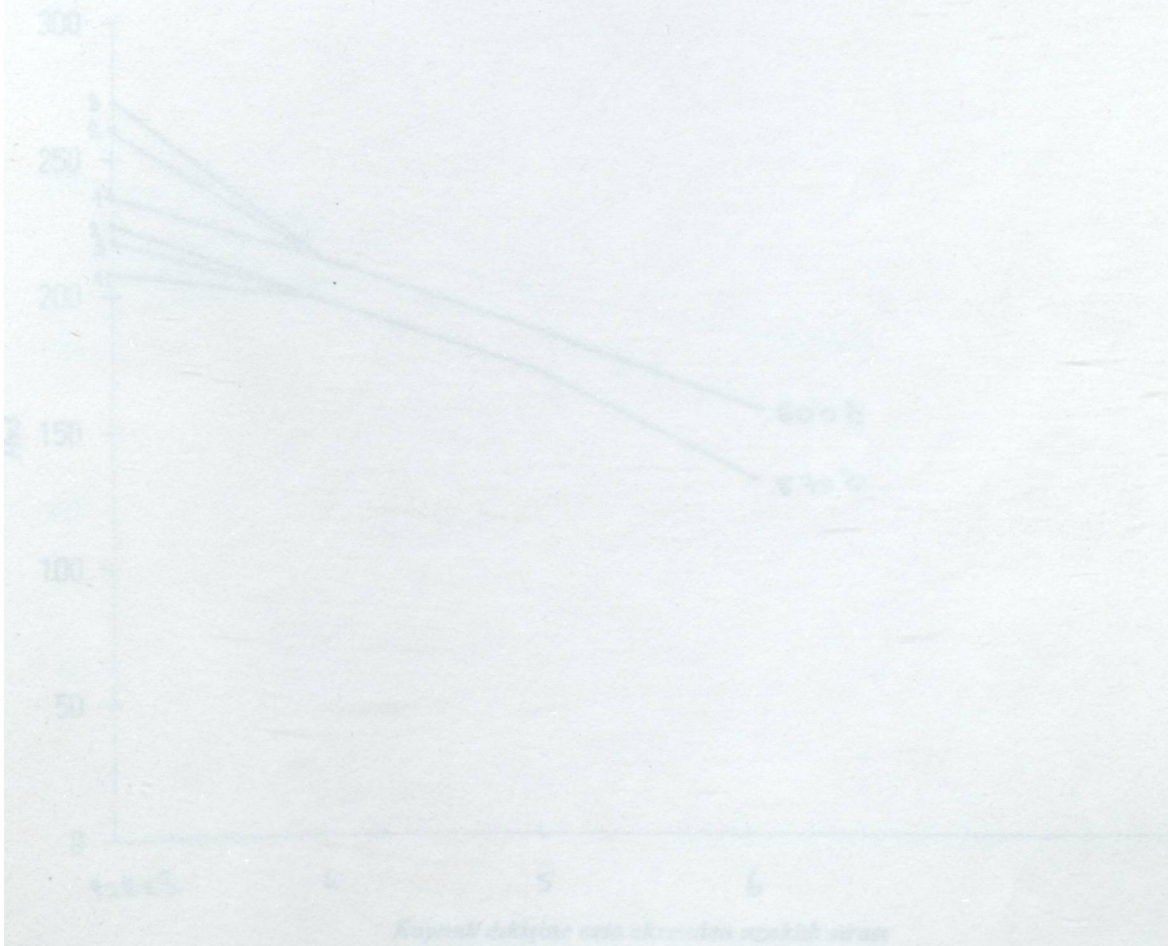


11.2.4. Isıl işlem sonrasında kaynaklı parçalardaki sertlik dağılımı

11.2.4.1. Genel

Yukarıda belirtilen, dokusal özellikler ve bunlara bağlı sertlik değerlerinin saptanması, deneyler önçesinde belirlenen kaynak işlemi parametrelerinin mekanik özelliklere etkisinin ortaya çıkarılması için yapılmıştır. Bu amaçla; kaynak sonrasında, deney parçaları sırasıyla aşağıdaki ısıtılmalara tabi tutulmuştur.

- 1 - Deney numuneleri; 600 °C 'de bir saat süreyle gerilim giderme tavına tabi tutulmuşlardır.
- 2 - Deney numuneleri; 870 °C 'de bir saat süreyle normalizasyon tavına tabi tutulmuştur.



- Normal kaynak akımında yapılan kaynak dikişı

Gerilim - Giderme Tavlama Sonrası

1 - 238 Hv3

2 - 258 Hv3

3 - 265 Hv3

4 - 210 Hv3

5 - 185 Hv3

6 - 157 Hv3

Normal Tavlama Sonrası

1 - 206 Hv3

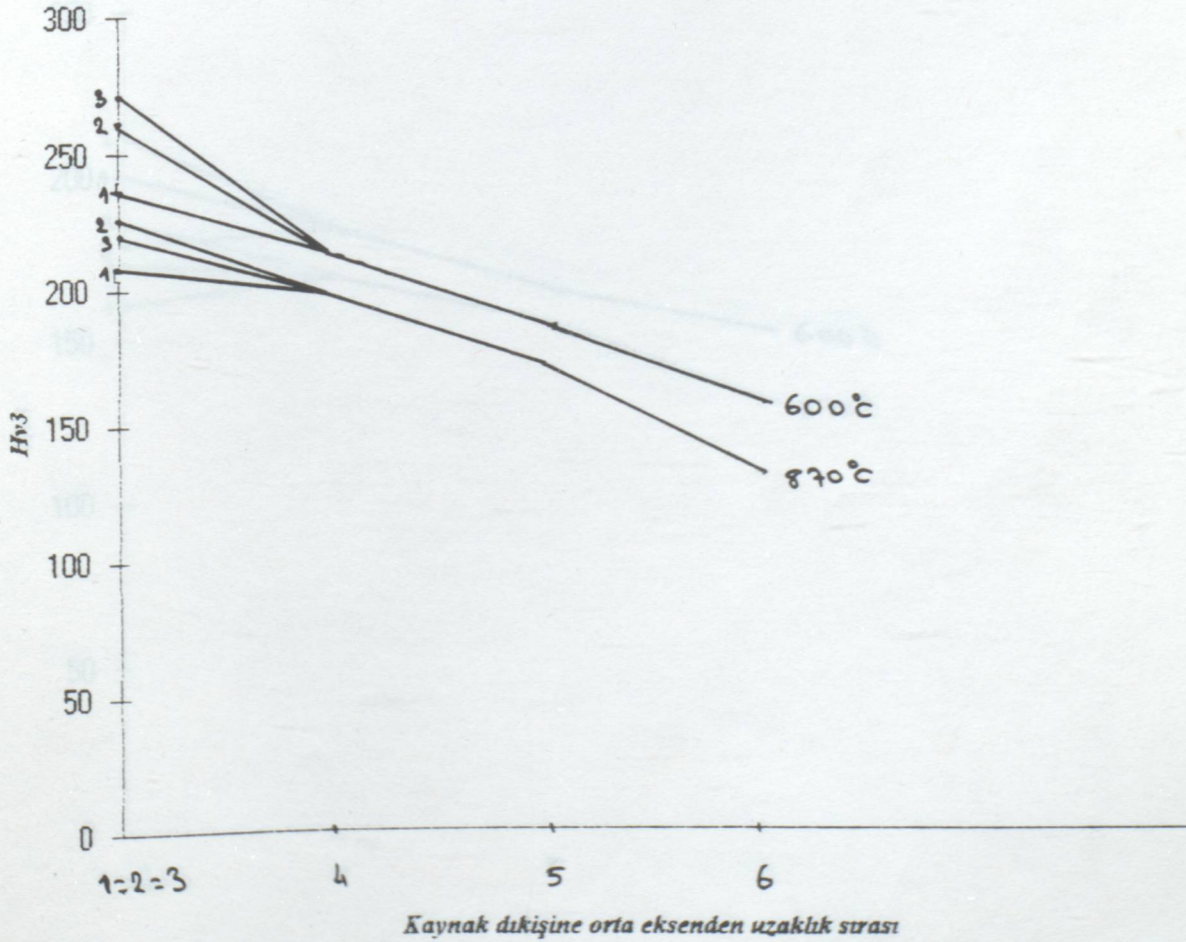
2 - 228 Hv3

3 - 224 Hv3

4 - 200 Hv3

5 - 185 Hv3

6 - 140 Hv3



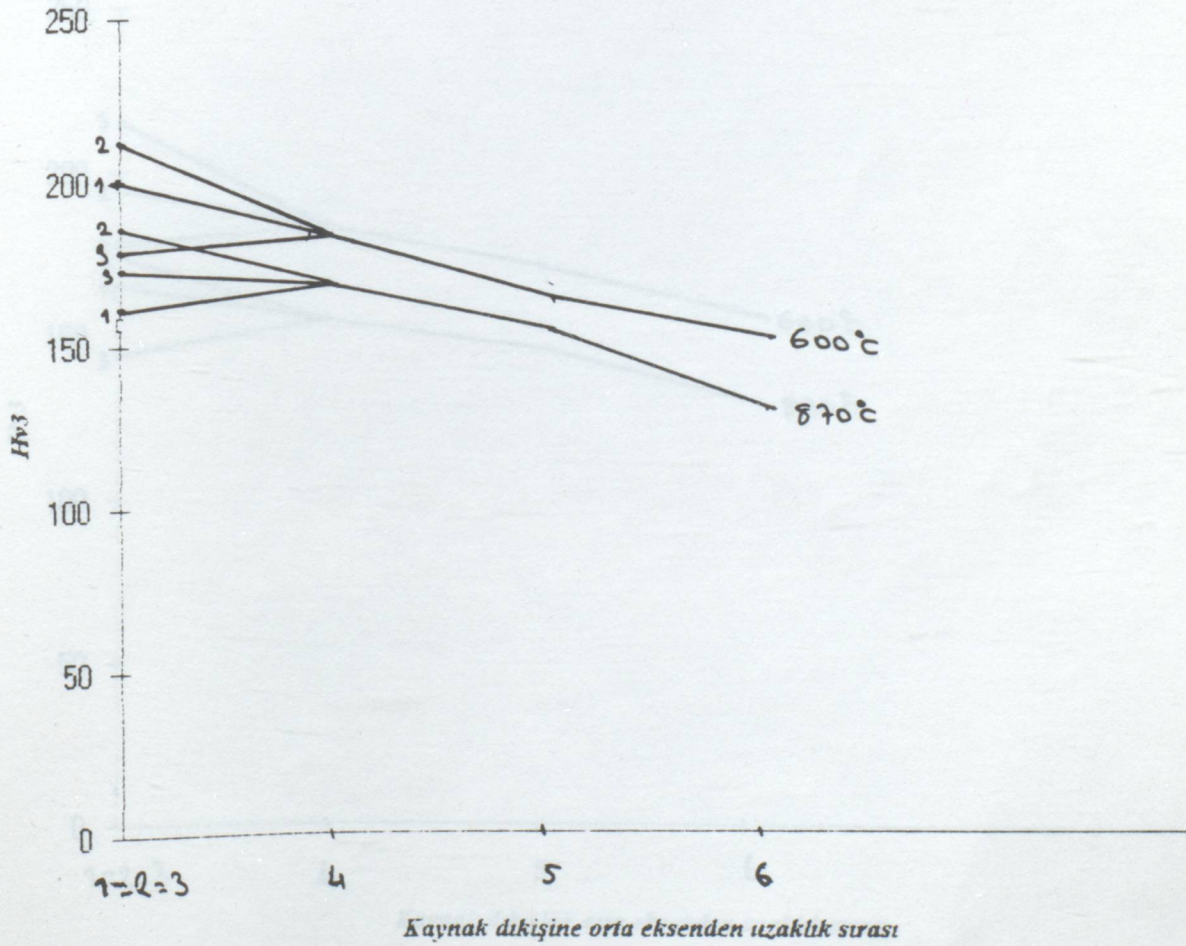
- Düşük kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

Gerilim - Giderme Tavi Sonrası

- 1 - 200 Hv3
- 2 - 210 Hv3
- 3 - 176 Hv3
- 4 - 178 Hv3
- 5 - 163 Hv3
- 6 - 154 Hv3

Normal Tavlama Sonrası

- 1 - 157 Hv3
- 2 - 186 Hv3
- 3 - 170 Hv3
- 4 - 166 Hv3
- 5 - 161 Hv3
- 6 - 139 Hv3



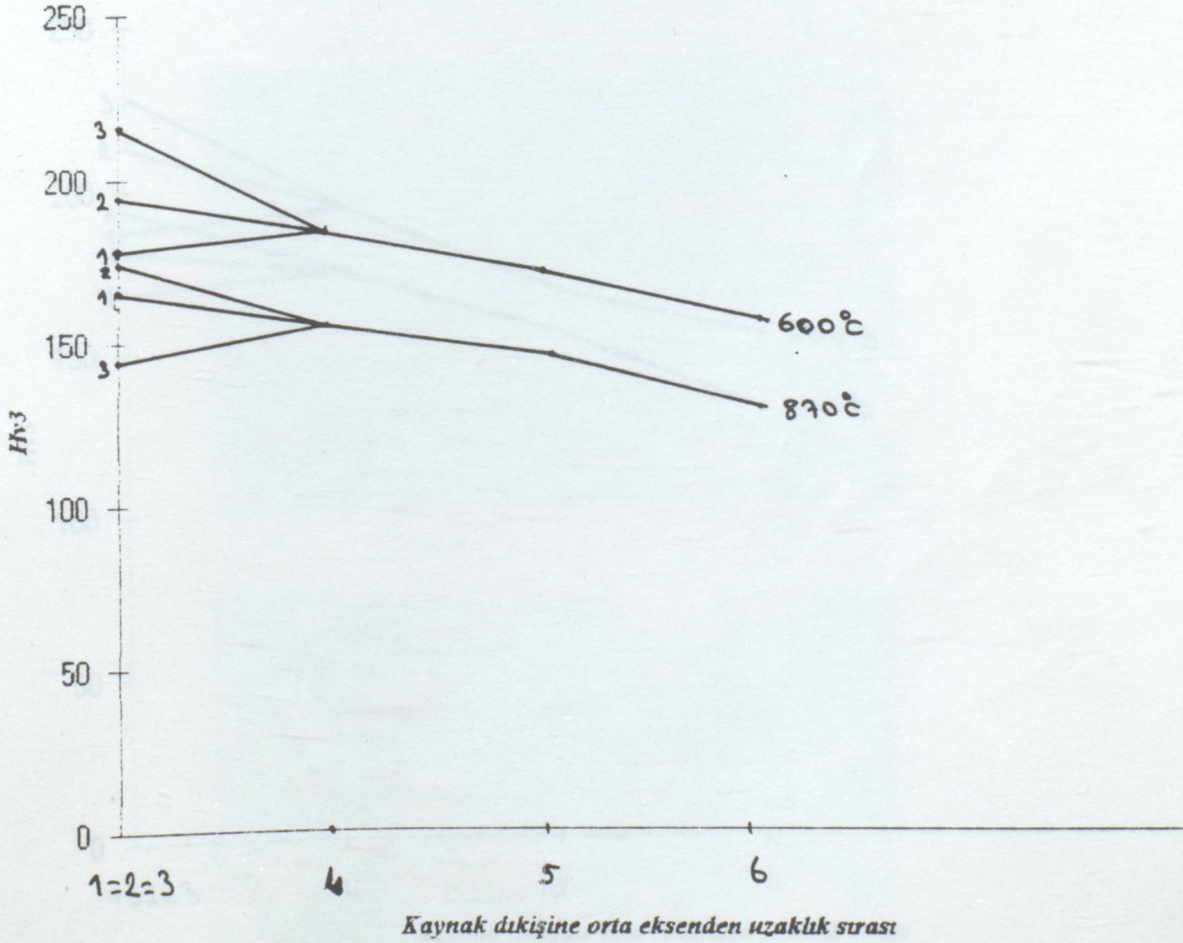
- Yüksek kaynak akımında yapılan kaynak dikişi

Gerilim - Giderme Tavlama Sonrası

- 1 - 178 Hv3
- 2 - 195 Hv3
- 3 - 217 Hv3
- 4 - 182 Hv3
- 5 - 164 Hv3
- 6 - 156 Hv3

Normal Tavlama Sonrası

- 1 - 163 Hv3
- 2 - 176 Hv3
- 3 - 146 Hv3
- 4 - 154 Hv3
- 5 - 150 Hv3
- 6 - 139 Hv3



- Yüksek kaynak akımında (200 A) yapılan kaynak dikişi

Gerilim - Giderme Tavlama Sonrası

1 - 188 Hv3

2 - 212 Hv3

3 - 229 Hv3

4 - 193 Hv3

5 - 172 Hv3

6 - 156 Hv3

Normal Tavlama Sonrası

1 - 184 Hv3

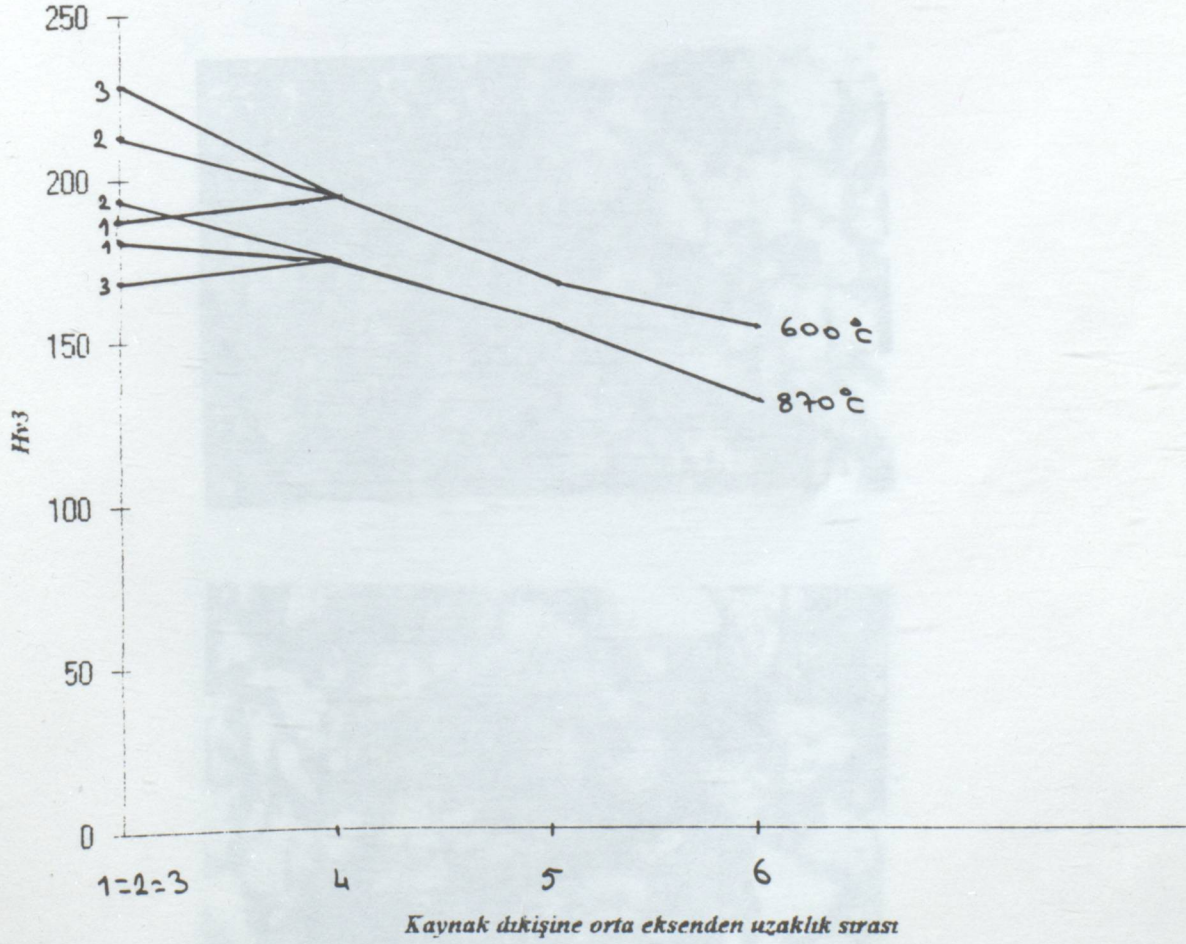
2 - 193 Hv3

3 - 170 Hv3

4 - 178 Hv3

5 - 162 Hv3

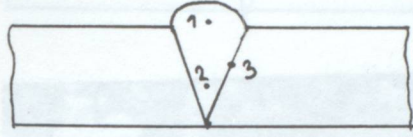
6 - 139 Hv3



11.2.5. Isıl işlem sonrası kaynaklı parçaların mikroyapıları

a) Normalizasyon tavlı sonrası

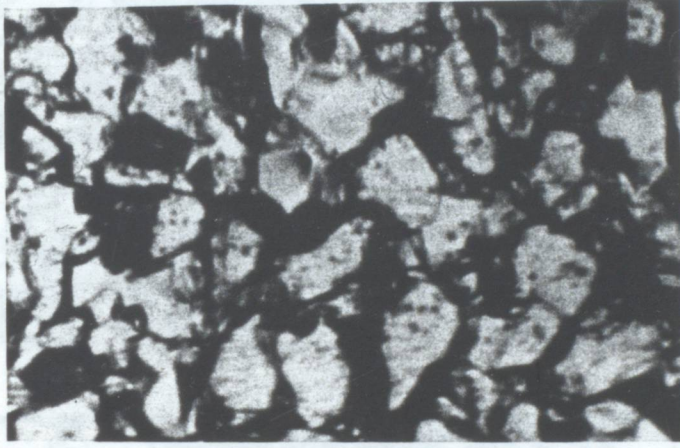
- Normal koşullardaki kaynak dikişi



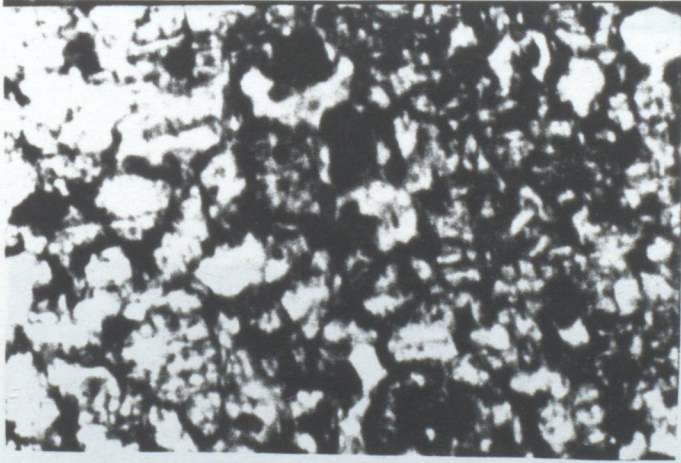
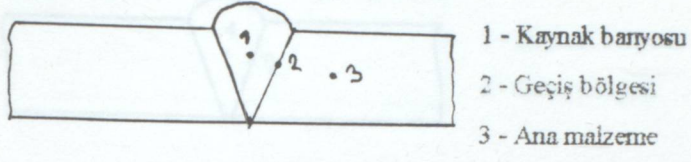
1 - Kapak pasosu

2 - Kök pasosu

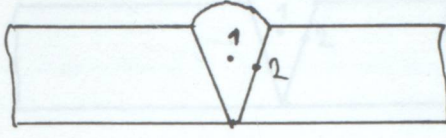
3 - Geçiş bölgesi



- Yüksek kaynaklı akımdaki kaynak dikişı

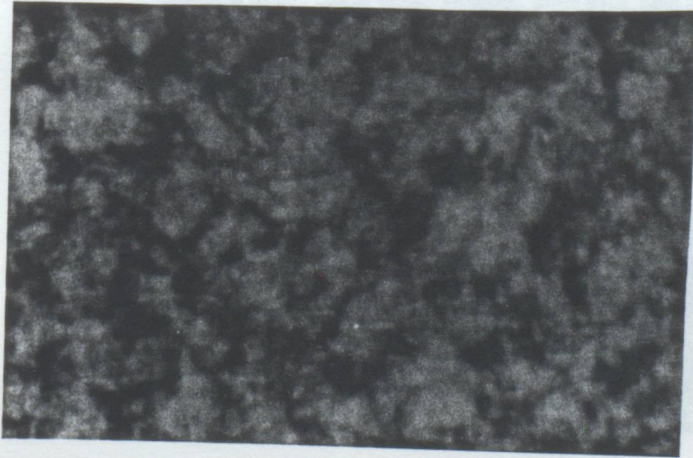
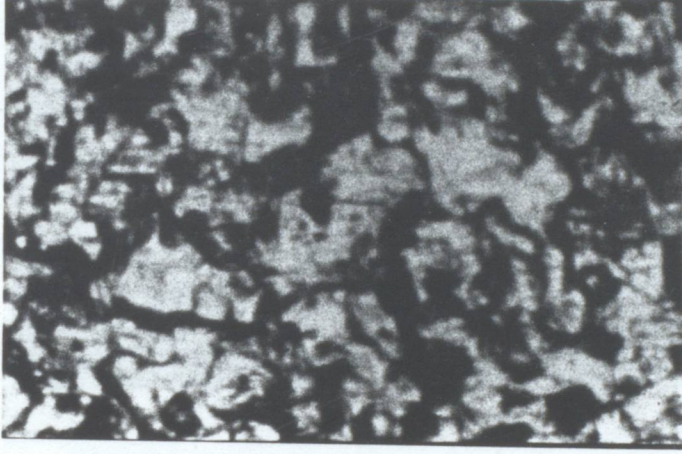


- Düşük kaynak akımında kaynak dikişi

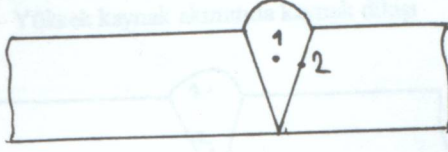


1 - Kaynak banyosu

2 - Geçiş bölgesi

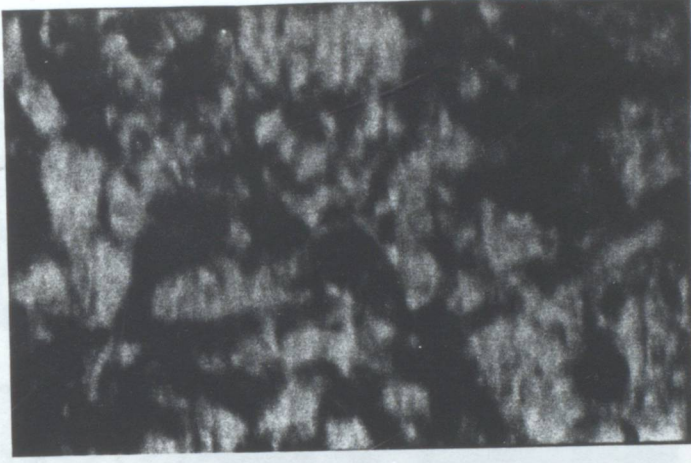


- Yüksek kaynak akımında (200 A) kaynak dikişı



1 - Kaynak banyosu

2 - Geçiş bölgesi



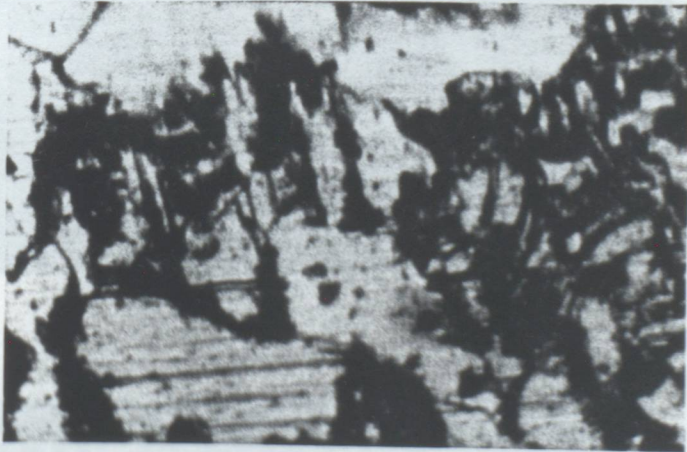
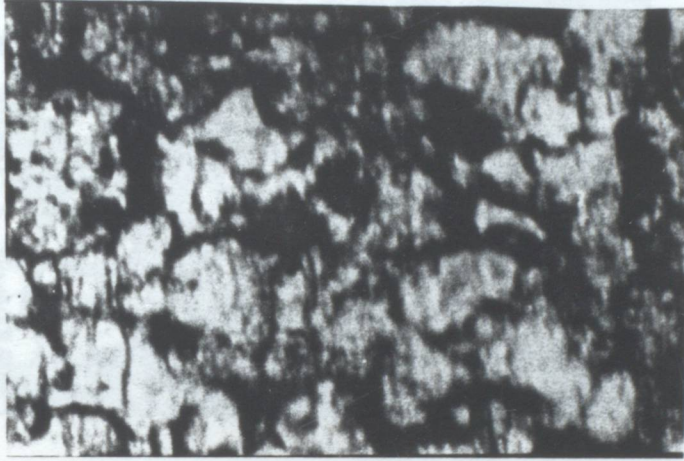
b) Gerilim Giderme tavlama sonrası

- Yüksek kaynak akımında kaynak dikişi

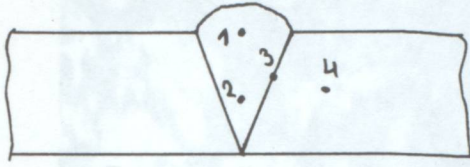


1 - Kapak pasosu

2 - Kök pasosu



- Düşük kaynak akınında kaynak dikişi

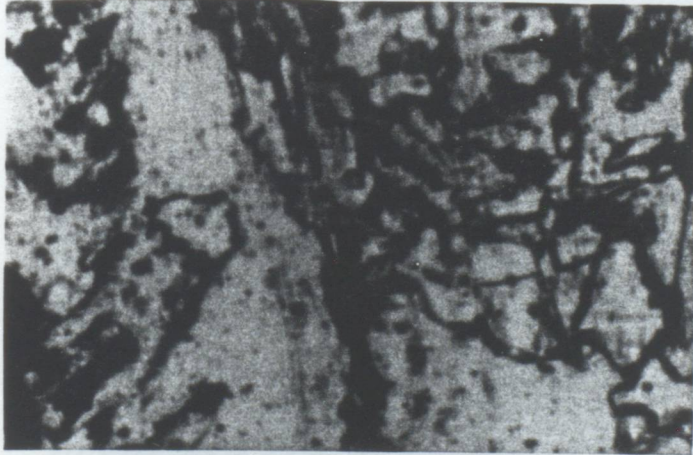


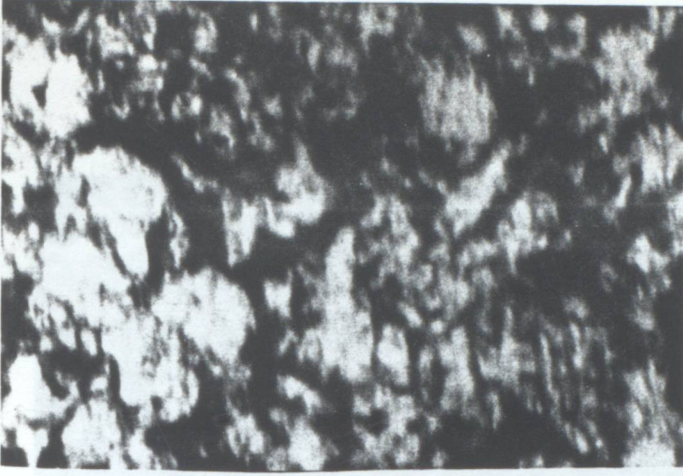
1 - Kapak pasosu

2 - Kök pasosu

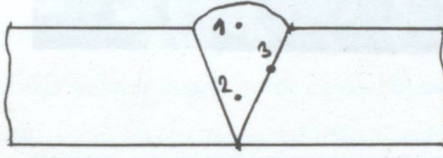
3 - Geçiş bölgesi

4 - Ana malzeme





- Yüksek kaynak akımındaki (200A) kaynak dikişı



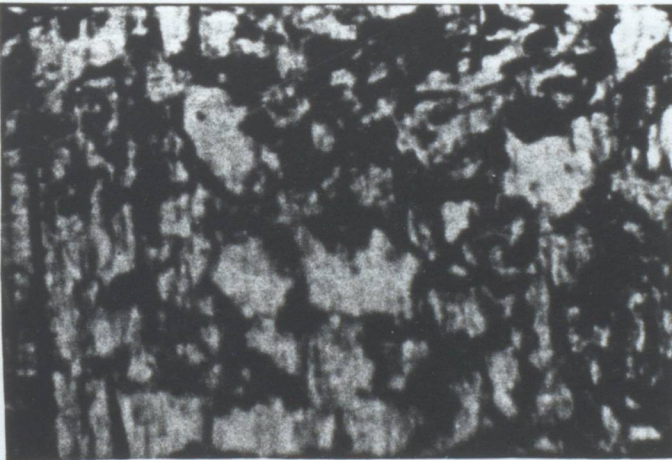
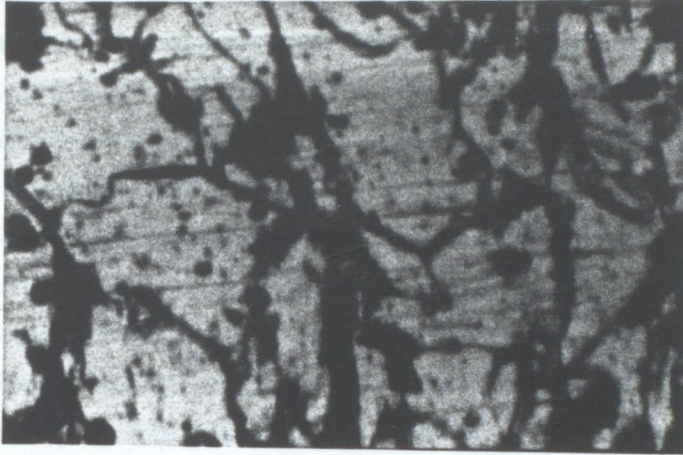
1 - Kapak pasosu

2 - Kök pasosu

3 - Geçiş bölgesi



11.2.4. Deneysel sonuçlar (mikroskop)



11.2.6. Deney sonuçlarının irdelenmesi.

Yukarıdaki sertlik dağılımı diyagramlarından görüleceği gibi , gerilim - giderme tavlı sonrasında sertlik değerlerinde önemli sayılabilecek düşüşler ortaya çıkmıştır. Mesela; normal koşullarda yapılmış olan kaynaklı birleştirmedeki kök pasosunda sertlik değeri 310 Hv 3 olmasına karşılık, 600°C 'de yapılan gerilim giderme tavlı sonrasında bu değer yaklaşık 72 Hv 'lik bir düşüş göstermiştir. 870°C sıcaklıktaki normalizasyon tavlı sonrasında yine önemli ölçüde bir sertlik azalışı izlenmiş ve bu değer 206 Hv dolaylarına kadar düşmüştür. Hemen hemen bütün kaynak dikişlerinden, kök pasosunun başlangıç sertliğinin 2. ve 3. no ' lu noktalarından daha düşük olmasının nedeni, işlem başlangıcında ana malzemenin henüz, oda sıcaklığında bulunmuş olması ve ona bağlı olarak kaynak banyosunda ana malzemeye ısı kaçışının yüksek olmasındandır. Kök pasosunu izleyen pasolarda ise malzeme sıcaklığı, bir önce çekilen pasodan dolayı yükselmiş bulunduğundan ısı kaçış hızının burda düşük olması sonucunu doğurur, bunun da sonucu olarak 2 ve 3 noktalarındaki sertlik ve iç gerilme değerleri yüksekçe olur. Buna karşılık; metalografik inceleme de, çekilen her bir pasonun bir önceki dikiş üzerine, bir ısıl işlem etkisi yaparak iç gerilmeleri önemli oranda azalttığı da bir gerçektir. İç yapı incelemeleri bu görüşü kristalografik yönden de doğrulamaktadır. Bazı doku resimlerinden görüldüğü gibi , kapak pasosu kolonsu tanelerden oluşmuştur. Bu duruma neden olarak, kapak pasosuna ısıl işlem etkisi yapacak ek bir ısı enerjisinin verilmemiş olması gösterilebilir. Beklentilere uygun olarak; gerilim - giderme tavlı sonrasında sertlik düşüşlerinin profilo ısıl işlemi görmemiş deney numunesindeki sertlik profiline paralel bir gidiş gösterilmiştir. Normalizasyon tavlı sonrasında, değişik koşullarda kaynak edilmiş deney numunelerinin herbirinde uniform bir sonuç ortaya çıkmış olduğu gösterilmektedir.

12. GENEL SONUÇLAR

Kaynaklı birleştirmelerde uygulanan ısıt işlemler, genellikle kaynak sonrasında kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölgede meydana gelebilecek olumsuz yöndeki dayanç ve sertlik değerlerinin, normal değerlerde tutulması veya normal değerlere getirilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla yapılan işlemler başlıca, kaynaktan önce ön ısıtma ve kaynaktan sonra yapılan gerilim - giderme tavi ve normalizasyon tavi olarak sınıflandırılmaktadır. Bu işlemlerdeki parametreler; malzemenin karbon oranı, alaşım elementlerinin cinsi ve oranı ve malzemenin et kalınlığı ile değişmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan iki ana konu öncelikle önem kazanmıştır. Bunlardan biri; kaynaklı bağlantının yapılmış olduğu bölgede dokusal özelliklerin tam ve homojen olarak tersinir olmayan bir biçimde bozunuma uğradığı, diğeri ise kriptoloğrafik değişime bağlı olarak mekanik özelliklerinin de genelde istenmeyen yönde değiştiğidir. Kaynak edilecek ana malzemenin, kırıyasal bileşimine uygun olarak seçilmiş kaynak akını, kaynak hızı ve kaynak gerilimi parametrelerle yapılmış kaynak dikişinde sözünü ettiğimiz bu değişimler çarpıcı bir biçimde ortaya çıkmaktadır. Oldukça sınırlı ve genellikle statik yük taşıyankonstrüksiyonların kaynaklı birleştirmelerinde işlem sonu dokusal durumun ve mekanik özelliklerinin kabul edilebilirliği söylenebilirse de, özellikle orta ve yüksek alaşımli ve ayrıca yüksek karbonlu çelik malzemelerin kaynak dikişleri, işlem sonrasında mutlaka bir ısıt işlem veya işlemler dizisine alınmalıdır. Bu nedenle; yaptığımız deneysel çalışmaların ışığında da ulaştığımız genel sonuç şöyle olmuştur; Kaynak işlemine uygulanacak gerilim giderme tavi ve normalizasyon tavi yardımı ile olumsuz yöndeki metalurjik değişimlerin bir kısmı azaltılabiliyor ve konstrüksiyonun güvenilirliğini büyük ölçüde sağlayabiliyorsa da, dikiş bölgesinde ve ana malzeme bölgesinde bütünüyle bir homojenliğin gerçekleştirilebilmesi mümkün olamamaktadır. Bu nedenle; bir kaynak işleminin başarı düzeyi, dikiş ve dikişe yakın malzeme bölgesindeki, yukarıda sayılan değişimlerin en azda tutulabilmesi ile ölçülmelidir.

13. KAYNAKLAR

1. AKÇAM Özgür, BATIGÜN Caner - 1995

Kaynaklı çelik birleştirmelerinin ısıt işlemleri metalurji dergisi - TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası , İSTANBUL : 27 - 31

2. ANIK Selahattin - 1991

Kaynak tekniği el kitabı, yöntemler ve donanımlar , Ergür Matbaası , İSTANBUL : 15 - 23 ; 41 - 59 ; 96 - 118

3. AYDOĞAN Kazım - 1993

Çeliklerin kaynağı ile bağlantılı ısıt işlemleri - İSTANBUL : 3 - 21

4. AYKANAT Veli - 1994

Kaynak dikişlerinde olası hata tipleri ve bu hataların uygun tahribatsız muayene yöntemleri ile belirlenmesi, metalurji dergisi TMMOB - Metalurji Mühendisleri Odası İSTANBUL : 40 - 45

5. KANGAL . A. Berk - 1995

Yalın karbonlu çeliklerin kaynak dikişlerinde ısıt işlemi yardımıyla mekanik ve dokusal özelliklerin denetlenmesi M.T.Ü. Kinyo - Metalurji Fak. Metalurji Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi İSTANBUL : 48 - 56 ; 63 - 82

6. ÖZDEN , Prof. Dr. Nezihi - 1985

Kaynağın ısıt işlemi, Nurettin UYCAN cilt basım sanayi A.Ş İSTANBUL : 17 - 23 ; 74 - 112

7. WELDİNG Handbook

Volume - I , Seventh edition
Heat Treatment of Welded structures.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi		: 02. 01. 1973
Doğum yeri		: Siirt
İlkokul	Başlama	: 1978 Siirt Atatürk İlkokulu
	Bitiş	: 1983 Siirt Atatürk İlkokulu
Ortaokul	Başlama	: 1983 Konya Kuşça Ortaokulu
	Bitiş	: 1986 Konya Kuşça Ortaokulu
Lise	Başlama	: 1986 Cihanbeyli Lisesi
	Bitiş	: 1989 Cihanbeyli Lisesi
Üniversite	Başlama	: 1989 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü
	Bitiş	: 1993 Y.T.Ü. Konya - Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	Başlama	: 1993 Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Malzeme Bilimleri
	Bitiş	: Devam Ediyor

