

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YDK  
67832

ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA  
ISIL İŞLEMLERİN ISI ETKİSİ ALTINDA  
KALAN BÖLGEDEKİ OLUŞUMLARA ETKİSİ

Mak. Müh. İlknur ÇAVUŞOĞLU

F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usülleri Programında  
hazırlanan

YÜKSEK LİSAS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Nurullah GÜLTEKİN

İSTANBUL, 1997

## İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	III
TABLO LİSTESİ.....	VI
TEŞEKKÜR .....	VII
TÜRKÇE ÖZET .....	VIII
İNGİLİZCE ÖZET (ABSTRACT).....	IX
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak Metali (Ergime Bölgesi).....	2
1.2. Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB).....	7
1.2.1. Tek Paso ile Normal Elektrik Ark Kaynağı Yapılan Kaynakda Isının Tesiri Altında Kalan Bölge .....	9
1.2.2. Tek Paso İle Normal Elektrik Ark Kaynağında Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Boyutu .....	12
1.2.3. (V) - Alın birleştirmesinde Isının Tesiri Altında Kalan Bölge.....	13
1.2.4. Soğuma Hızının, Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin İç Yapısı Üzerinde Etkisi.....	15
1.2.5. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Sertliği ile Kimyasal Bileşim Arasındaki Bağıntı ve Karbon Eşdeğeri .....	17
1.2.6. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Sertliği.....	21
1.2.7. ITAB'da Isı Akışı .....	21
1.3. Kaynak Kabiliyeti .....	31
1.3.1. MIG-MAG Kaynağında Kaynak Kabiliyeti.....	36
1.3.2. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağında, Kaynak Kabiliyeti .....	45
2. ISIL İŞLEMİN TANIMI VE ÖNEMİ.....	51
2.1. Isıl İşlem Yöntemleri ve Değiştirebildikleri Özellikler .....	52
2.2. Çelikte Tavlama Yöntemleri .....	55
2.2.1. Difüzyon Tavlama (Homojenleştirme Tavlama).....	56
2.2.2. Normal Tavlama.....	57
2.2.3. Gerilim Giderme Tavlama.....	58
2.2.4. Rekristalizasyon Tavlama.....	59
2.2.5. Yumuşak Tavlama.....	60

2.2.6. Kaba Tane Tavlamaşı.....	61
2.2.7. Perlitleştirme Tavlamaşı.....	61
2.2.8. Patentleme Tavlamaşı.....	62
2.3. Sertleştirme.....	62
2.4. Temperleme.....	63
3. ISININ TESİRİ ALTINDAKİ BÖLGE.....	64
3.1. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Sertliği ve Kimyasal Bileşim Arasındaki Bağıntı ve Isıl İşlemin Etkileri.....	64
3.2. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Isıl Çevrimleri ve Isıl İşlemin Etkileri.....	68
3.3. Isının Tesiri Altında Kalan Bölge Sertliği ve Isıl İşlemin Etkileri.....	73
4. DENEY ÇALIşMASININ PLANI.....	75
4.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme.....	76
4.1.1. Deney Parçasının Kimyasal Bileşimi.....	76
4.1.2. Deney Parçasının Boyutları.....	76
4.2. Kaynak Metali (İlave Metal).....	77
4.3. Deneylerde Kullanılan Aletler.....	78
4.3.1. Kaynak Makinası.....	78
4.3.2. Sertlik Ölçme Aleti.....	79
4.4. Deneylerin Yapılışı.....	79
4.4.1. Deney Parçalarının Hazırlanması.....	79
4.4.2. Kaynak İşlemi.....	80
4.4.3. Makro Fotoğraflarının Çekilmesi.....	83
4.4.4. Sertlik Ölçümü.....	83
4.5. Parçaların Makro Fotoğraflarının ve Sertliklerinin Görünüşü.....	85
4.6. Parçaların Sertlik Ölçümlerinin Değerlendirmesi.....	101
4.7. Normalizasyon Tavlamaşından Sonra Ölçülen Sertlik Değerleri.....	111
4.8. Normalizasyon Tavlamaşı Sonundaki Sertlik Değerlerinin Değerlendirmesi.....	115
4.9. Sonuç.....	116

## ŞEKİL LİSTESİ

1. Şekil 1-1 Bir kaynak bağlantısının çeşitli kısımları (1)..... 1
2. Şekil 1-2 Bir V-Alın kaynak bağlantısında ısının tesiri altındaki bölge ile buradaki sertlik ve sıcaklık dağılımının Fe-Fe<sub>3</sub>C diyagramı ile birlikte şematik olarak gösterilişi. (2)..... 8
3. Şekil 1-3 % 0,12 karbonlu bir yapı çeliğinde ısının tesiri altında kalan bölgenin demir-sementit diyagramı karşısındaki durumu. (1) ..... 10
4. Şekil 1-4 Bazik, Rutil, Selülozik ve rutil-selülozik elektrotlarla kaynak yapılmış çeşitli yapı çeliklerinin I. sıralarındaki sertlikler. .... 11
5. Şekil 1-5 Bazik, rutil, rutil-selülozik ve selülozik elektrotlarla kaynak yapılan % 0,12 ve % 0,31 C'lu iki yapı çeliğine ait ısının tesiri altında kalan bölgelerin şematik durumları.(1)..... 13
6. Şekil 1-6 Kaynaktan önce soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulmuş bir metalin, kaynak sırasında yeniden billurlaşma sıcaklığına erişen kısımlarında tanelerin şekli (1) ..... 14
7. Şekil 1-7 Soğuk şekil değiştirmiş saf demirin kaynağında, ısının tesiri altındaki bölgede, dönüşme ve yeniden billurlaşmaya maruz kalmış bölgeler (1) ..... 14
8. Şekil 1-8 Az karbonlu adi çeliğin kaynağında ısının tesiri altında kalan bölgenin hızlı soğuması halinde meydana gelen iç yapı değişiklikleri F=Ferrit, P=Perlit, A=Ostenit, M=Martenzit (1) ..... 16
9. Şekil 1-9 Kaynak edilen kalın ve ince levhalarda ısı akış şekilleri (9)..... 22
10. Şekil 1-10 İnce bir levhada kaynak işlemi (9)..... 22
11. Şekil 1-11 Kalın levhalarda kaynak uygulaması (9)..... 23
12. Şekil 1-12 (a) ince levhalarda ve (b) kalın levhalarda ölçülen sıcaklık dağılımı kaynak metali geometrisinde etkili olmaktadır. Kaynak hızı arttıkça kaynak ısı girdisi azalmakta ve bunun sonucu olarak kaynak metali azalmakta ve ısınan bölge küçülmektedir. (1)..... 24
13. Şekil 1-13 Aynı kalınlıktaki alaşımsız çelik levhaların elektrik ark kaynağında kaynak hızının eş sıcaklık eğrileri dağılımı üzerinde etkisi (1) ... 25
14. Şekil 1-14 Kaynak metali'nin şematik sürekli soğuma diyagramı (14)..... 26

15.	Şekil 1-15 Çelik levhalarda ısı girdisinin ve ön tavlamanın ITAB soğuma hızı üzerindeki tesiri (14) .....	27
16.	Şekil 1-16 Levha kalınlığı ve ön tavlama sıcaklığının 700, 540 ve 300°C sıcaklığındaki soğuma hızı üzerindeki etkileri (9) .....	28
17.	Şekil 1-17 Kaynak ısı girdisinin ergime hattında 700, 540 ve 300 °C deki soğuma hızı üzerindeki tesiri IPM inc/dak Kaynak ilerleme hızı) (9) .....	29
18.	Şekil 1-18 Kaynak dikiş uzunluğunun levha üzeri kör dikişlerde ve iç köşe kaynaklarında ITAB soğuma hızı üzerindeki tesirleri. (9) .....	30
19.	Şekil 1-19 Kaynak kabiliyetinin şematik olarak tanımlanması (11) .....	32
20.	Şekil 1-20 Çeşitli tür metal ve alaşımlarının kaynağında ITAB'de ortaya çıkabilecek iç yapılar. (19) .....	38
21.	Şekil 2-1 Isıl işlemde, genel olarak işlem prosesi.(18).....	51
22.	Şekil 2-2 Değişik Isıl İşlemler için Sıcaklık Sahaları (1).....	56
23.	Şekil 2-3 Difüzyon Tavlaması (1) .....	57
24.	Şekil 2-4 Normalizasyon Tavlaması (1).....	58
25.	Şekil 2-5 Gerilmelerin Zararsız Hale Getirilmesi Tavlaması (1).....	59
26.	Şekil 2-6 Rekristalizasyon Tavlaması (1).....	59
27.	Şekil 2-7 Yumuşatma Tavlaması (1) .....	60
28.	Şekil 2-8 Kaba Tane Tavlaması (1) .....	61
29.	Şekil 2-9 Çeşitli Sertleştirme Şekilleri (1).....	62
30.	Şekil 2-10 Temperleme Sıcaklık-Zaman Eğrisi (1) .....	63
31.	Şekil 3-1 Deney parçasının şematik görünüş ve çentik darbe deney parçalarının pozisyonu. (3) .....	73
32.	Şekil 4-1 Deney parçasının boyutları.....	77
33.	Şekil 4-2 4-Pasolu elektrik ark kaynağındaki kullanılan elektrodların dizilişi.....	77
34.	Şekil 4-3 10 Pasolu elektrik ark kaynağındaki kullanılan elektrod dizilişi ....	78
35.	Şekil 4-4 Mikro sertlik cihazı .....	79
36.	Şekil 4-5 Deney numunesinin kaynak öncesindeki boyutları .....	80
37.	Şekil 4-6 Sertlik ölçülen noktaların gösterilişi .....	83
38.	Şekil 4-7 Mikro Sertlik Cihazında Sertlik Ölçümünün Görünüşü .....	84

39. Şekil 4-8 Yaptığımız normalizasyon tavlama sıcaklık - zaman diyagramı .....	115
40. Şekil 4-9 Bir Köşe Kaynağındaki Sertlik Dağılımı (12).....	117
41. Şekil 4-10 Bir Köşe Kaynağındaki Sertlik Dağılımı (12).....	118



## TABLO LİSTESİ

1.	Tablo 1-1 Kaynak işlemi esnasında meydana gelen en önemli yer değiştirme reaksiyonları (ekzotermik reaksiyonların ısı yayılması + işareti ile gösterilmiştir.) (1).....	5
2.	Tablo 1-2 Kompleks bileşiklerin en önemli teşekkül reaksiyonlarına bazı örnekler (1).....	7
3.	Tablo 1-3 Kaynakta kullanılan alaşımsız çeliklerin bileşiminde bulunan başlıca alaşım elemanları ve bunların kaynak kabiliyeti üzerine tesirleri (1)..	18
4.	Tablo 1-4 Elektrik nokta direnç kaynağında, alaşımsız çeliklerin bileşiminde bulunan elemanların kaynak kabiliyetine etkileri (toplam % olarak) (11).....	32
5.	Tablo 1-5 Örtülü elektrodla ergitme kaynağında, alaşımsız yapı çeliklerinin kaynak kabiliyetleri (11) .....	33
6.	Tablo 2-1 Isıl işlemden ana yöntemlerin sınıflandırılması .....	53
7.	Tablo 3-1 Cidar kalınlığına bağlı olarak ön ısıtma sıcaklıkları (6).....	66
8.	Tablo 3-2 Isıl İşlem Gerektiren ve Isıl İşlemden Doğan Durumların Bir Özeti (7).....	71
9.	Tablo 3-3 Deney parçalarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri(3).....	72
10.	Tablo 4-1 10 mm eşit kalınlıktaki esas malzemenin kimyasal kompozisyonu.....	76

## **TEŞEKKÜR**

Çalıőmalarım sırasında, teorik kısmın düzenlenmesinde, deneysel çalıőmalarımın yürütülmesinde bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Nurullah GÜLTEKİN' e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalıőmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarım, dostlarım ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin bilgisayar yazımı sırasında bana yardım eden değerli eşim Baykan BELİRDİ' ye teşekkür ederim.



## ÖZET

Bu teorik ve deneysel çalışmalarda, kaynakla birleştirme yönteminde, ısı ışlemlerin çeliklerde ısının etkisi altında kalan bölgedeki oluşumlara etkisi incelenmiştir.

Bilindiği gibi kaynakla birleştirme yöntemi günümüzde yaygın uygulama alanına sahiptir. Çeliğin yapısına bağlı olarak, ısı ışlem gerektirip gerektirmediği, bir takım ampirik formüller yardımıyla ve bir takım saptamaların önceden yapılmasıyla belirlenebilir. Bu sayede malzememizin ısı etkisi altında kalması sonucu olabilecek oluşumlara önceden istenen yönde değişiklik verilebilir.

Bu çalışmada önce kaynak bölgeleri ve kaynak edilebilirlik hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Daha sonra kısaca ısı ışlemler tanıtılmış ve ısının etkisi altındaki bölgenin incelenmesi üzerinde durulmuş, bunun ısı ışlemlerin etkisiyle nasıl bir değişikliğe uğradığı araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda ise iki ayrı yapıdaki malzemenin tavlamasız ve tavlmalı kaynağı sonunda oluşan makro yapı incelenmiştir.

## **ABSTRACT**

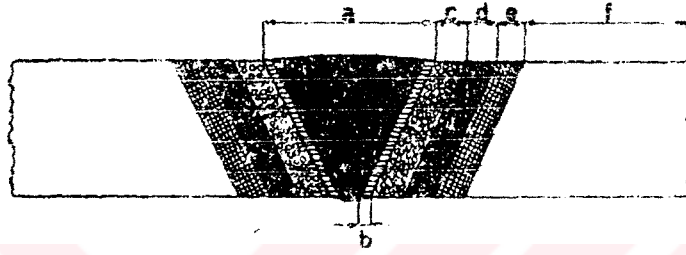
In these theoretical and experimental studies, the effect of heat treatments on the HAZ (Heat Affected Zone) in the method of joining with welding is studied.

As known, joining with welding has widely used in the field. Depending of the steel structure, with the help of some ampiric formulas and acquiring some determinations before welding, whether a heat treatment is needed or not, can be determined. In this way, changes can be done to the development of structures that begin to occur after the effect of heat to our material, in the direction we want.

In this study firstly a general information about welding zones and weldability is given. After that, heat treatments are shortly described and examining of HAZ; how it changes in HAZ with the effect of heat treatments is studied. In the experimental studies, the resultant macro structures after welding of two different structured materials with and without treatment are examined.

## 1. GİRİŞ

Kaynak edilen metaller uygulama sırasında birkaç kaynak yöntemi dışında kaynak yerinin erime veya metalin solidüsüne üstten yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılarak yapılırlar. Burada, kaynak tekniğinde kullanılan ısı kaynağının tatbik edilen kaynak yöntemine göre değiştiğini de unutmamak gerekir. Öte yandan metallerin yüksek sıcaklığa kadar ısıtılması, esas metalde bir iç yapı değişikliği meydana getirir ve çevresindeki atmosferle sıcak veya erimiş haldeki metal veya alaşım elemanları arasında bazı kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine sebep olur. Bu işlem sırasında, esas metal ve kaynak metal ile curuf arasında da bazı reaksiyonlar meydana gelmektedir. (1)



- a ve b — Kaynak metal (Erime bölgesi)  
c — İri taneli geçiş bölgesi ( $A_3$  ilâ  $A_4$  arasının ısıtılmış)  
d — İnce taneli bölge ( $A_3$ 'ün biraz üstünde ısıtılmış)  
e — Kısmen dönüşen bölge ( $A_1$  ilâ  $A_2$  arasında ısıtılmış)  
f — Esas metal (Isının tesiri ile herhangi bir iç yapı değişikliğine uğramayan bölge.)

Şekil 1-1 Bir kaynak bağlantısının çeşitli kısımları (1)

Kullanılan genel terimler :

A) Kaynak Metal (Ergime Bölgesi) : Yapılan birleştirmenin ergitilen kısmıdır. Bu kısım uygulanan yöntemle bağlı olarak sadece esas metalden oluşabileceği gibi ilave metal ile esas metalin karışımından da ortaya çıkar.

B) Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (Geçiş Bölgesi) : Sınırları uygulanan kaynak metaline bağlı kalmak koşuluyla ergiyik kaynak metaline komşu ısı etkisi altında iç yapı ve özellik bakımından değişikliğe uğramış bölgedir.

C) Kaynak Bölgesi : Ergiyen ve ısı tesiri altında kalan bölgelerin toplamıdır.

D) Esas Metal : Kaynak işlemi süresince iç yapı ve özellik bakımından etkilenmeyen bölgedir. (12)

### 1.1. Kaynak Metali (Ergime Bölgesi)

Yapılan birleştirmenin ergitilen kısmıdır. Bu kısım uygulanan yöntemle ilgili olarak sadece esas metalden oluşabileceği gibi kaynak banyosunda meydana gelen türbülansın dolaylı katılmasından evvel iyice birbirine karışmış ilave metal ile esas metalin karışımından da ortaya çıkar. (12)

Esas metalin kaynak metaline oranı çeşitli kaynak usullerine bağlı olup, geniş bir aralık içerisinde değişir. Belirli bileşim ve miktardaki kaynak ve esas metalin karışımından oluşan eriyen bölgenin hesaplanan bileşimi, kimyasal analiz neticesi ile aynı değildir. Buna sebep, bazı alaşım elemanlarının kaynak esnasında yanma dolayısıyla kayba uğramasıdır. Yanma derecesi ısı kaybına, kaynak yerini çevreleyen atmosfere ve kullanılan usule göre değişir. Eğer hava atmosferine karşı korunma tam değilse, erime tarafından oksijen ve azot absorbe edilir. Oksijen kaynak yerinde önemli bir rol oynar ve kaybedilmesi zor olan birçok yanmalara sebep olur.

Oksijen, kaynak yerinde mevcut birçok elemanlarla birleşerek kaynağın kalitesine olumlu veya olumsuz yönde tesir eden oksitler meydana getirir. Örneğin, kaynak banyosunda erimiş haldeki çeliğin içinde bulunan karbonla birleşerek karbonmonoksit hasil eder ve bu gaz katılma esnasında dışarı çıkarken gözenekler meydana getirebilir.

İyi kaliteli bir kaynak bağlantısı elde etmek için, kaynak yerini havanın tesirinden korumak veya diğer bir deyimle meydana gelecek kimyasal ve metalurjik reaksiyonları kontrol etmek gerekir.

Oksijenle meydana gelen reaksiyonları kontrol için kullanılan usullerden biri, ilave kaynak metaline (tel veya elektrod) manganez, silisyum ve bazen de alüminyum ve titanyum gibi dezoksidan maddelerin ilavesidir. Örtülü elektrodlarla yapılan ark kaynağında, yanan elemanları karşılamak ve aynı zamanda kaynak dikişinden istenen bazı özellikleri sağlamak gayesiyle katıklar elektrod örtüsüne ilave edilir. Çıplak elektrot ve koruyucu gaz atmosferi altında yapılan ark kaynağında ise katılan elemanlar, elektrot teline ilave edilmelidir. Karbondioksit

gazının koruyucu gaz olarak kullanıldığı alaşımsız ve hafif alaşımlı çeliklerin elektrik ark kaynağında, elektrot teline dezoksidan olarak silisyum ve manganez katılır. Böylece ark atmosferinde karbondioksidin ayrışmasından çıkacak olan oksijenin sebebiyet vereceği porozite önlenmiş olur.

Oksidasyon reaksiyonlarının sonunda, metallerin çeşitli oksitleri meydana gelir. Eğer oksit molekülü, herhangi bir metalin ve oksijenin atomlarından ibaret ise, bunlar basit olabilirler. Örneğin, FeO, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi. Oksit molekülünde birden fazla elemanın birleşmesi halinde bunlar kompleks olurlar. Örneğin, demir silikatları: FeO.SiO<sub>2</sub> ve (FeO)<sub>2</sub>.(SiO<sub>2</sub>), kalsiyumsilikat (CaO.SiO<sub>2</sub>) gibi.

Oksidasyon reaksiyonlarının işlemleri, meydana gelen oksitlerin esas metal içerisinde çözülmemeleri ve düşük bir özgül ağırlığa sahip olmaları şeklinde tanzim edilir. Bundan dolayı oksitler, kaynak işlemi sırasında erimiş metalin yüzeyine çıkarlar ve bunun üzerinde bir koruyucu tabaka teşkil ederler. Böylece metal, ark atmosferinden ayrılır ve erimiş metalin müteakip oksitlenmesi önlenmiş olur. Cürufun mekanik koruyucu tesiri bundan ibarettir.

Eğer cüruf içerisinde oksijene karşı ilgisi esas metalinkinden daha büyük olan oksitlenmemiş elemanlar mevcut ise, cüruf ve metal banyosu arasındaki sınırdaki esas metalin dezoksidasyonu kendini gösterir. Cürufun kimyasal koruyucu tesiri de bundan ibarettir. Nihayet esas metalin oksitleri, cüruf içerisinde çözülebilir oldukları müddetçe, yayınma kanununa uygun olarak, esas metalden cürufun içerisine doğru sevk edilirler. Böylece sıvı metalin oksitlerden arınmasına ulaşılır. Cürufun fiziksel koruyucu tesiri de budur.

Eğer özel tedbirler alınmış ise, metalin kaynak işlemi sırasında çok değişikliğe uğradığına yukarıda temas etmiştik.

Çelik içerisinde, yüksek kaynak sıcaklıklarında ve ark içerisinde de oksijenin mevcut olması halinde; karbon, silisyum, manganez krom ve diğer elemanlar oksitlenir ve bunların ağırlık oranları da önemli miktarda düşer. Bu arada demir de az veya çok miktarda oksitlenir ve meydana gelen FeO bilhassa kaynak metalinin özelliklerini büyük ölçüde kötüleştirir.

Eğer kaynak metalinin kimyasal bileşimi ve yapısı, esas metalinkinden farklı değilse, kaynak bağlantısının kalitesi yüksek değerlidir. Bu isteğin yerine getirilmesi, kaynak işleminde aşağıdaki şartların sağlanmasını gerektirir:

A) Esasmetalın dezoksidasyonu ve meydana gelen oksitlerin, dikiş içerisinde, erimiş metalden bertaraf edilmesi;

B) Kaynak yapılan esas metalin yanan elemanlarının, yerini tutan elemanlarla alaşımlandırılması. Bazen kaynak metali, esas metal içerisinde hiç bulunmayan veya çok az mevcut olan elemanlarla alaşımlandırılır.

Kaynak işleminde, oksijene karşı ilgileri, esas metale karşı olan ilgilerinden daha büyük olan elemanlar şiddetle yanarlar. Bu da, kaynak metalinin sonra yeniden alaşımlandırılmasını gerekli kılar. Böyle elemanlar, esas itibariyle esas metal için dezoksidasyon maddesi olarak vazife görebilirler. Bir taraftan metali dezokside etmek, diğer taraftan onu yeniden alaşımlandırmak vazifeleri onların karakterlerine göre birbirlerinin zıttıdır ve esas metal ile ilave edilen eleman arasındaki tek reaksiyonu iki yönlü yararlar. Birinci durumda, esas metali redükliyerek ilave edilen eleman okside dönüştürülmek istenir. İkinci durumda ise, ilave edilmiş eleman oksitlenmiş halde muhafaza edilir.

Bununla beraber, lüzumlu alaşım oranına havi kaynak metalinin sağlanması, genellikle zorluklar doğurur. Alaşım ve dezoksidasyon maddelerini elektrot örtüsüne katmak pratik olarak daha kolaydır. Kaidede, bu elemanlar ya saf halde veyahut da uygun denemelerden sonra örtünün bileşimi içerisine katılan ferro alaşımları şeklinde kullanılırlar. Oksijene affiniteleri esas metale karşı affinitelerinden daha küçük olan elemanlar (örneğin; çeliğin kaynağında bakır ve nikel gibi) örtü içerisinde oksitler halinde bile ilave edilebilirler. Esas metalin ve dezoksidasyon maddesinin tesiriyle, bu metaller oksitlerden kolayca redüklenir ve kaynak metaline geçer.

Çeliğin kaynağında meydana gelen başlıca reaksiyonları Tablo.1'de 15 reaksiyon halinde sıralamıştık. Tablo' daki 10 ila 15 arasındaki reaksiyonlarda demir, manganez, silisyum ve fosforun, karbon tarafından redüklendiklerini görürüz. Bu reaksiyonlarda meydana yeni bir gaz fazı (karbonmonoksit) gelmekte ve metalin kuvvetle kaynaması ve püskürmesi işlemine refakat etmektedir.

Karbonun yanması esnasında sıcaklık düşer. Zira bütün dezoksidasyon reaksiyonları, karbon vasıtasıyla endoterm olarak önemli ısı çekmesi altında olur.

**Tablo 1-1 Kaynak işlemi esnasında meydana gelen en önemli yer değiştirme reaksiyonları (ekzotermik reaksiyonların ısı yayılması + işareti ile gösterilmiştir.) (1)**

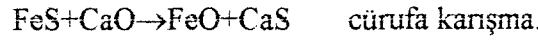
Reaksiyon numarası	Reaksiyonlar	Yayınan ısı (cal)
1	$3 \text{ Fe O} + 2 \text{ Al} \rightleftharpoons \text{Al}_2 \text{ O}_3 + 3 \text{ Fe}$	+187300
2	$3 \text{ Fe O} + 2 \text{ V} \rightleftharpoons \text{V}_2 \text{ O}_3 + 3 \text{ Fe}$	+
3	$3 \text{ Fe O} + 2 \text{ Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}_2 \text{ O}_3 + 3 \text{ Fe}$	+
4	$2 \text{ Fe O} + \text{ Si} \rightleftharpoons \text{Si O}_2 + 2 \text{ Fe}$	+ 62194
5	$2 \text{ Fe O} + \text{ Ti} \rightleftharpoons \text{Ti O}_2 + 2 \text{ Fe}$	+
6	$2 \text{ Cr}_2 \text{ O}_3 + 3 \text{ Si} \rightleftharpoons 3 \text{ Si O}_2 + 4 \text{ Cr}$	+ 55060
7	$\text{Fe S} + \text{ Mn} \rightleftharpoons \text{Mn S} + \text{ Fe}$	+ 44101
8	$5 \text{ Fe O} + 2 \text{ P} \rightleftharpoons \text{P}_2 \text{ O}_5 + 5 \text{ Fe}$	+ 35835
9	$\text{Fe O} + \text{ Mn} \rightleftharpoons \text{Mn O} + \text{ Fe}$	+ 24047
10	$\text{Fe O} + \text{ C} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{ Fe}$	+ 37283
11	$\text{Fe O} + \text{ Fe}_3 \text{ C} \rightleftharpoons \text{CO} + 4 \text{ Fe}$	- 42400
12	$\text{Mn O} + \text{ C} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{ Mn}$	- 66330
13	$\text{Si O}_2 + 2 \text{ C} \rightleftharpoons 2 \text{ CO} + \text{ Si}$	-137500
14	$\text{Cr}_2 \text{ O}_3 + 3 \text{ C} \rightleftharpoons 3 \text{ CO} + 2 \text{ Cr}$	-193810
15	$\text{P}_2 \text{ O}_5 + 5 \text{ C} \rightleftharpoons 5 \text{ CO} + 2 \text{ P}$	-222300

Sıcaklık azalması ve karbon oranının düşmesi nedeniyle yanma hızı yavaşlar. Buna uygun olarak arka arkaya alüminyum, titan, silisyum ve en son pozitif ısı yayılması ile cereyan eden krom ve manganezin yanma reaksiyonlarının hızları yükselir.

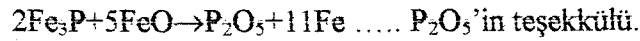
Sonuçlar sıvı metalin soğumasını biraz ayarlar. Bu da, dezoksidasyon işlemi üzerine faydalı etkide bulunur. Çünkü bu reaksiyonlar tam olarak cereyan ederler. Dezoksidasyon reaksiyonlarının neticeleri, metal içerisinde çözülmeyen (veya hemen hemen çözülmesi mümkün olmayan) bileşiklerdir (Oksitler).

Metallerin ve oksitlerin özgül ağırlıklarının farklı olması nedeniyle, sonuncular zamanla yükselir ve cüruf tabakası içerisine ulaşır. Bununla beraber metalin sıvı halde kalma süresi çok az ise, oksitlerin bir kısmı metal içerisinde, metal olmayan artıklar halinde kalır ve kaynak metali katılaştırırken de cüruf halinde, arı halden uzaklaşmış olur.

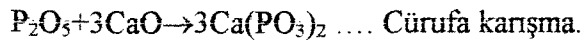
Burada önemli olan, metali erime veya kaynak işlemleri sırasındaki zararlı kalıntılardan, bilhassa fosfor ve kükürttten temizleme zorluğudur. Kükürt demirde birleşerek demirin mekanik özelliklerini önemli derecede kötüleştirir. Manganezin etkisiyle demirsülfür Tablo.1'deki 7 numaralı reaksiyona göre manganer sülfüre dönüştürülür. Manganer sülfür, demirde çözülemeyen bir bileşiktir. Bu bileşik kısmen cürufa karışır kısmen de metal içerisinde kalıntı halinde kalır. Metalurjik işlemlerde manganer yalnız dezoksidasyon maddesi olarak değil, bilhassa kükürtle birleşerek onu bağlayan bir eleman olarak önemlidir. Kükürdün cürufa karışması şöyle olur:



Fosforun giderilmesi ise çok zordur. Oksijenle birleşme suretiyle fosfor, fosforasit anhidritine dönüştürülebilir. Bununla beraber bu reaksiyon yalnız alçak sıcaklıklarda ve çok yavaş cereyan eder. Fosfor sadece kuvvetli bazik karakterli bir cürufun mevcudiyeti halinde bertaraf edilebilir. Asit karakterli bir cürufun mevcudiyeti halinde önemsenmeyebilir. Asit karakterli cüruf halinde bu mümkün değildir. Zira cüruf içerisinde bulunan az miktardaki bazlar, asit karakterli oksitler tarafından, (örneğin,  $\text{SiO}_2$ ) bağlanır.



Serbest kalan  $\text{P}_2\text{O}_5$  daha kuvvetli dezoksidasyon maddelerinin etkisi ile parçalanır ve fosfor oksitten, örneğin Tablo.2'deki 15 numaralı denkleme göre redüklenir veya aşağıdaki reaksiyonla cürufa karışır. Metalden fosforun bertaraf edilmesinin temin etmeyen asit karakterli cürufları meydana getiren elektrot örtülerinin kullanılması halinde, bilhassa başlangıç maddelerinin sarfiyat derecesine çok dikkat edilmelidir. Örtü içerisinde bulunan fazla miktardaki zararlı karışımları ait bileşenlere izin verilmez.



Tablo 1-2 Kompleks bileşiklerin en önemli teşekkül reaksiyonlarına bazı örnekler (1)

Reaksiyon numarası	Reaksiyonlar	Yayınan ısı (cal)
1	$4 \text{ CaO} + \text{P}_2 \text{ O}_5 \rightleftharpoons (\text{CaO})_4 \text{ P}_2 \text{ O}_5$	+196500
2	$4 \text{ CaO} + \text{P}_2 \text{ O}_5 \rightleftharpoons (\text{CaO})_4 \text{ P}_2 \text{ O}_5 + 3 \text{ FeO} (\text{FeO})_3$	+108340
3	$3 \text{ FeO} + \text{P}_2 \text{ O}_5 \rightleftharpoons (\text{FeO})_3 \text{ P}_2 \text{ O}_5$	+ 52360
4	$\text{Al}_2 \text{ O}_3 + \text{Si O}_2 \rightleftharpoons \text{Al}_2 \text{ O}_3 \cdot \text{Si O}_2$	+ 4600
5	$2 \text{ CaO} + \text{Si O}_2 \rightleftharpoons (\text{CaO})_2 \cdot \text{Si O}_2$	+ 28300
6	$2 \text{ FeO} + \text{Si O}_2 \rightleftharpoons (\text{FeO})_2 \cdot \text{Si O}_2$	+ 22236
7	$\text{FeO} + \text{Si O}_2 \rightleftharpoons \text{FeO} \cdot \text{Si O}_2$	+ 10600
8	$\text{MnO} + \text{Si O}_2 \rightleftharpoons \text{MnO} \cdot \text{Si O}_2$	+ 6500
9	$\text{CaO} + \text{Fe S} \rightleftharpoons \text{CaS} + \text{FeO}$	+ 5673
10	$\text{CaO} + \text{MnS} \rightleftharpoons \text{CaS} + \text{MnO}$	- 13484
11	$2 \text{ CaF}_2 + 3 \text{ Si O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ CaO} \cdot \text{Si O}_2 + \text{Si F}_4$	- 80700
12	$2 \text{ CaF}_2 + \text{Si O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ CaO} + \text{Si F}_4$	-122800

Kaynak işlemi ve çeliğin erimesi sırasında cereyan eden dezoksidasyon reaksiyonları, cereyan ediş şekline ve bu esnada meydana gelen reaksiyon ürünlerinin hal durumlarına bağlı olarak üç gruba ayrılabilirler.

- Kondanse edilmiş reaksiyon ürünleriyle dezoksidasyon.
- Gaz şeklindeki reaksiyon ürünleriyle dezoksidasyon.
- Diffüzyon dezoksidasyonu.

## 1.2. Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)

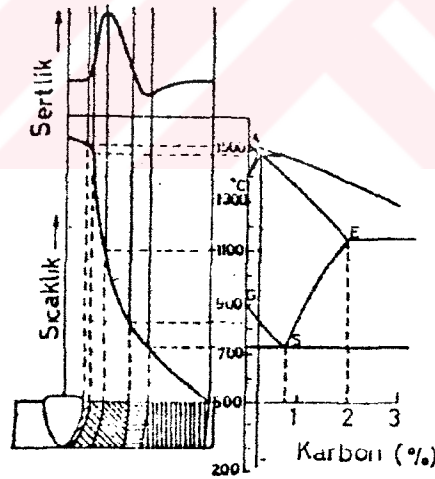
Isının tesiri altındaki bölge türkçede "ITAB", İngilizcede "HAZ:Heat Affected Zone", Almancada "WEZ:Waermebeeinflusste Zone" olarak kısaltılmıştır.

Isının tesiri altındaki bölge, kaynak metalinin yani eriyen bölgenin, esas metal ile birleştiği kısımdan itibaren takriben 1450 ile 700 °C arasındaki bir sıcaklığa maruz kalan bölgedir. Eğer ITAB'de erişilen en yüksek sıcaklık, kaynağın

merkezinine olan mesafenin bir fonksiyonu olarak bilinir, esas metalin tipi ve şartları da tanınırsa, kaynak işlemi sonunda meydana gelecek yapıyı önceden tahmin etmek mümkündür. Ayrıca Soğuma hızının da hesaba katılması gerekir. Bilhassa  $900^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde tavlanan bölgede, kalın parçaların kaynağında soğuma daha çabuk olacağından bir nevi su verme işlemine göre, bu kısımda çok yüksek bir sertlik elde edilir ve gevrek bir bölge meydana gelir. (2)

Kaynaklı yapılarda karşılaşılan kırılma olaylarında kırılmanın, kaynak bölgesinde, daima ITAB'da mevcut bir hatadan veya oluşmuş bir çatlaktan başlayarak geliştiği görülmektedir. Bazı metal ve alaşımlar normal sıcaklıklarda sünek bir davranış göstermelerine rağmen, belirli bir sıcaklık derecelerinin altında, aniden gevrek bir davranış gösterirler. Bu halin meydana geldiği sıcaklığa geçiş sıcaklığı adı verilir. (3)

ITAB, bir kaynak bağlantısının en kritik bölgesini teşkil eder ve birçok çatlama ve kırılmalar burada olur. ITAB' nin sertleşmesi, bilhassa karbon miktarının % 0,25'in üzerinde bulunan alaşımsız karbonlu yapı çelikleri ile yüksek mukavemetli hafif alaşımlı yapı çeliklerinin kaynak kabiliyetini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Kaynak bağlantısındaki sertleşme (kaynak sertleşmesi), genellikle ITAB' deki maksimum sertlikle belirlenmektedir. (2)



**Şekil 1-2 Bir V-Alın kaynak bağlantısında ısının tesiri altındaki bölge ile buradaki sertlik ve sıcaklık dağılımının Fe-Fe<sub>3</sub>C diyagramı ile birlikte şematik olarak gösterilişi. (2)**

Milletlerarası Kaynak Enstitüsü'nün IX numaralı Kaynak Kabiliyeti Komisyonunun Raporuna göre, ITAB' nin maksimum sertliği için 350 (400) Vickers değeri kriter olarak teklif edilmiştir. Teklifte, sertliğin daha fazla olması halinde, özel tedbirlerin alınmasının gerektiğine de ayrıca temas edilmiştir. (2)

### **1.2.1. Tek Paso ile Normal Elektrik Ark Kaynağı Yapılan Kaynakda Isının Tesiri Altında Kalan Bölge**

Isının tesiri altında kalan bölge, kaynak esnasında 1450 °C ile 700 °C arasında bir sıcaklığa maruz kalmakta ve üst sınırı erimiş haldeki kaynak metalini, alt sınırı da A<sub>1</sub> noktası, yani iç yapı değişmesine uğramayan esas metal çevrelemektedir. Şekil.3' de demir-çelik diyagramı ile kaynak dikişinden itibaren çeşitli mesafelerde erişilen en yüksek sıcaklık eğrisi ve % 0,12 karbon içeren bir yapı çeliğinde ısının tesiri altında kalan bölgenin iç yapı birlikte verilmiştir. Isının tesiri altında kalan bölgenin sertliği şekilde ve I, II, III, IV rakkamlarıyla gösterilen dört sıra üzerinden ölçölmüştür. I.sıra kaynak metalinin yani eriyen bölgenin hemen altında, II. sıra, I. sıradan takriben 1 mm kadar daha altta, III. sıra A<sub>1</sub> çizgisinin üstünde ve IV. sıra da A<sub>1</sub> çizgisinin altında bulunmaktadır.

Bu dört sıra içerisinde en sert bölgeyi kaynak metalinin hemen altına tesadüf eden ve iri taneli bir iç yapıya sahip olan I. sıra teşkil eder (şekil.4). Genel olarak % 0,20 ye kadar karbon ihtiva eden alaşımsız yapı çeliklerinde kaynak metalini, ısının tesiri altında kalan bölgeden daha serttir. Daha yukarı karbon yüzdelerinde ise durum bunun tersidir.

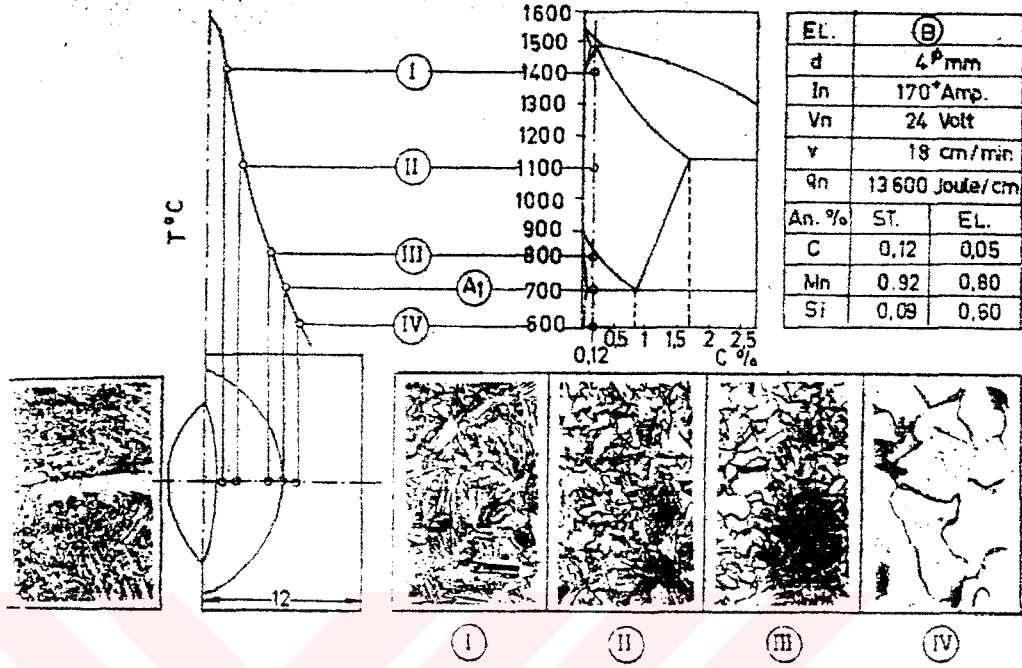
Isının tesiri altında kalan bölge iç yapı bakımından aşağıdaki durumları arzeder. (1)

#### **A) İri Taneli Bölge (I)**

Kaynak metalinin (eriyen bölgenin) hemen altına tesadüf eden ve kaynak esnasında 1450 °C ile 1200 °C arasında bir sıcaklığa maruz kalan bölgedir. Çeliğin bileşine, levha kalınlığına, kaynak geometrisine, kaynak ısısına, dikişin boyuna, ön tavlama ve soğuma şartlarına göre martenzitik veya temperlenmiş martenzitik bir iç yapıya ve en yüksek sertliğe sahiptir.

### B) İnce Taneli Bölge (II)

Kaynak yapılırken 1200 ile 900 °C arasındaki bir sıcaklığa erişen bölgesidir. İç yapı bakımından birinciye (I) benzer ve onun bir devamıdır. Fakat daha ince tanelidir.



Şekil 1-3 % 0,12 karbonlu bir yapı çeliğinde ısının tesiri altında kalan bölgenin demir-sementit diyagramı karşısındaki durumu. (I)



Şekil 1-4 Bazik, Rutil, Selülozik ve rutil-selülozik elektrotlarla kaynak yapılmış çeşitli yapı çeliklerinin I. sıralarındaki sertlikler.

B=Bazik elektrot, R=Rutil elektrot, C=Selülozik elektrot, RC=Rutil-Selülozik elektrot

37=St 37 çeliği, 42=St 42 çeliği, 50=St 50 çeliği, 52=St 52 çeliği, 60=St 60 çeliği, 70=St 70 çeliği, III=S III gemi sacı. (1)

### C) Kısmen Dönüşmüş bölge (III)

İnce taneli bölgenin (II) devamı olup, kaynak sırasında  $A_3$  ile  $A_1$  arasındaki bir sıcaklıkla karşılaşan bölgedir.

### D) İç Yapı Bakımından değişmeye uğramayan veya temperlenmiş bölge (IV)

Bu bölgenin sıcaklığı kaynak esnasında  $A_1$  noktasının altında bulunur ve genel olarak bir iç yapı değişmesine maruz kalmaz.  $A_1$  çizgisinin dışında kalan esas metale ait değişmeye uğrayan bir bölgedir.(1)


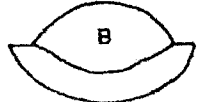
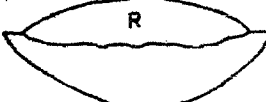
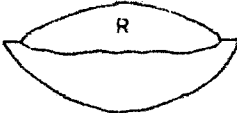


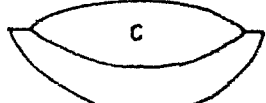
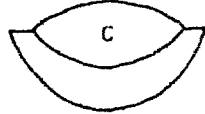
### 1.2.2. Tek Paso İle Normal Elektrik Ark Kaynağında Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Boyutu

4 mm çapındaki bazik, rutil, rutil-selülozik ve selülozik elektrotlarla, 12 mm kalınlığındaki levhaya, bir paso halinde ve oda sıcaklığında yapılan kaynak dikişlerine ait ısının tesiri altında kalan bölgelerinin durumları Şekil.5’de şematik olarak verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, biri % 0,12 diğeri de % 0,31 karbonlu olmak üzere, iki ayrı grup yapı çeliği kullanılmıştır. Deneylerdeki kaynaklar, selülozik elektrotların dışında, hepsi 170 amper akım şiddetinde ve 18 cm/dak kaynak hızında yapılmıştır.

Bazik, rutil-selülozik ile selülozik elektrotlarda yığılan metalin kalınlığı genel olarak 4-5 mm ve rutil elektrotlarda da 3-3,5 mm arasında değişmektedir. Isının tesiri altında kalan bölgenin derinliği ise, bazik elektrotlarda 2-2,5 mm, rutil-selülozik ve selülozik elektrotlarda 2,5-3,5 mm ve rutil elektrotlarda 3,5-4 mm arasında değişmektedir. Burada, rutil elektrotlar hariç, diğer üç tipte yığılan kaynak metalinin kalınlığından daha küçüktür.

Elektrot örtüsünün değişmesi, kimyasal reaksiyonun ısısını, ısı iletkenliğini, örtünün veya cürufun erime noktasını ve dolayısıyla de ısı çevrimi etkilemektedir.

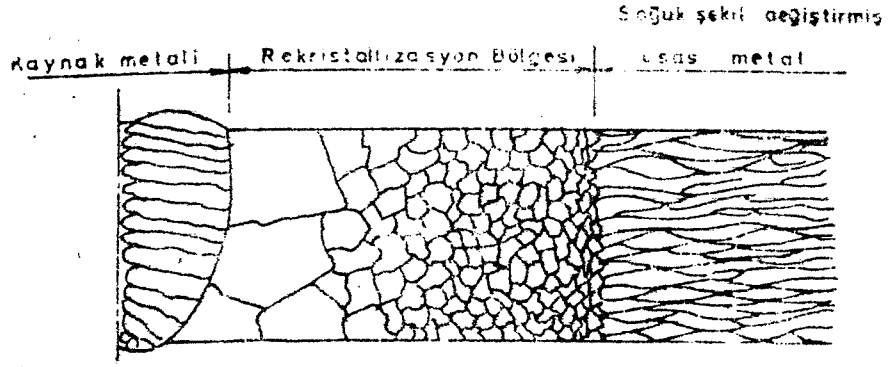
Çeşitli elektrot tipi ve çelik cinslerinden başka, ısının tesiri altında kalan bölgenin büyüklüğüne tesir eden diğer önemli bir faktör de, parçaya kaynaktan evvel tatbik edilen ön tavlama sıcaklığıdır. Genel olarak, sıcaklık arttıkça, ısının tesiri altında kalan bölge de büyümektedir. (1)

			
			
			
			
C	0,12	C	0,31
Mn	0,92	Mn	0,53
Si	0,09	Si	0,32
$v = 18 \text{ cm/min.} \quad d = 4 \text{ } \phi \text{ mm.}$			

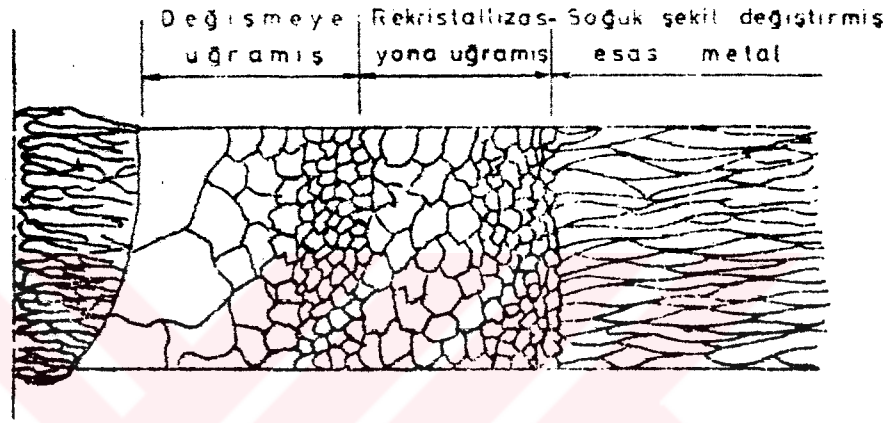
**Şekil 1-5 Bazik, rutil, rutil-selülozik ve selülozik elektrotlarla kaynak yapılan % 0,12 ve % 0,31 C'lu iki yapı çeliğine ait ısının tesiri altında kalan bölgelerin şematik durumları.(1)**

### 1.2.3. (V) - Aın birleştirmesinde Isının Tesiri Altında Kalan Bölge

Soğuk şekil değiştirmeye maruz kalmış metallerde, örneğin soğuk haddelenmiş bir levhada, sıcaklığın, o metalin yeniden billurlaşma ve deformasyon derecesini aştığı kısımlarında, yeniden billurlaşma meydana gelir. Sıcaklığın yeniden billurlaşma noktasına hemen eriştiği yerlerde taneler küçük, fakat aştığı kısımlarda ise büyük olur. Katı halde yalnız bir kararlı fazı bulunan bir metal için yeniden billurlaşma Şekil.6' da şematik olarak verilmiştir.



**Şekil 1-6 Kaynaktan önce soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulmuş bir metalin, kaynak sırasında yeniden billurlaşma sıcaklığına erişen kısımlarında tanelerin şekli (1)**



**Şekil 1-7 Soğuk şekil değiştirmiş saf demirin kaynağında, ısının tesiri altındaki bölgede, dönüşme ve yeniden billurlaşmaya maruz kalmış bölgeler (1)**

Soğuk şekil değiştirmiş saf demirde kaynağın tesiri şematik olarak Şekil.7' de verilmiştir. Saf demir katı halde iki kararlı faza sahip olduğundan ( $910\text{ }^{\circ}\text{C}$  nin üzerinde  $\gamma$  ve altında da  $\alpha$ - demiri), yeniden billurlaşma bölgesine ilaveten bir dönüşme bölgesini haiz bulunacaktır. Isının tesiri altında kalan bölgede sıcaklığın  $910\text{ }^{\circ}\text{C}$  yi aştığı yerlerde yeniden billurlaşmaya maruz kalmış ( $\alpha$ ) taneleri ( $\gamma$ ) tanelerine dönüşür. Soğuma esnasında da ( $\gamma$ ) taneleri ( $\alpha$ ) demirine dönüşür. Maksimum sıcaklığın  $910\text{ }^{\circ}\text{C}$  yi aştığı yerlerdeki dönüşmeden sonra meydana gelen taneler çok küçüktür. Erime çizgisine yakın sıcaklıkta tane büyümesi vuku bulur. Meydana gelen iri ( $\gamma$ ) taneleri soğuma sırasında hemen iri ( $\alpha$ ) tanelerine dönüşür.

Eriyen kaynak metalinde soğuma, katılaşma sırasında meydana gelen silindirikvari ( $\gamma$ ) taneleri 910 °C ye kadar soğuyunca ( $\alpha$ ) demirine dönüşür ve nispeten daha ince taneli bir yapı meydana gelir. Mamafih normal olarak ( $\alpha$ ) taneleri de oldukça iri ve uzatılmış ( $\gamma$ ) tanelerinin formuna sahiptir.

Soğuk şekil değiştirmiş metallerde yapılan kaynakta sertlik ve çekme mukavemeti, esas metalin yeniden billurlaşma bölgesinde azalır. Zira soğuk şekil değiştirme ile elde edilen sertlik burada nötralize olmuştur.

Yaşlandırma sertleşmesine tabi tutularak mukavemeti artırılmış bir alayışında ısının tesiri altında kalan bölgenin mukavemetinde de bir azalma olur.

Soğuk şekil değiştirmiş veya yaşlandırma yoluyla sertleştirilmiş levhalar seçilirken ekseriye en yüksek mukavemetin, normal olarak tavllanmış metalin mukavemetinden daha iyi olmadığını da unutmamak gerekir. (1)

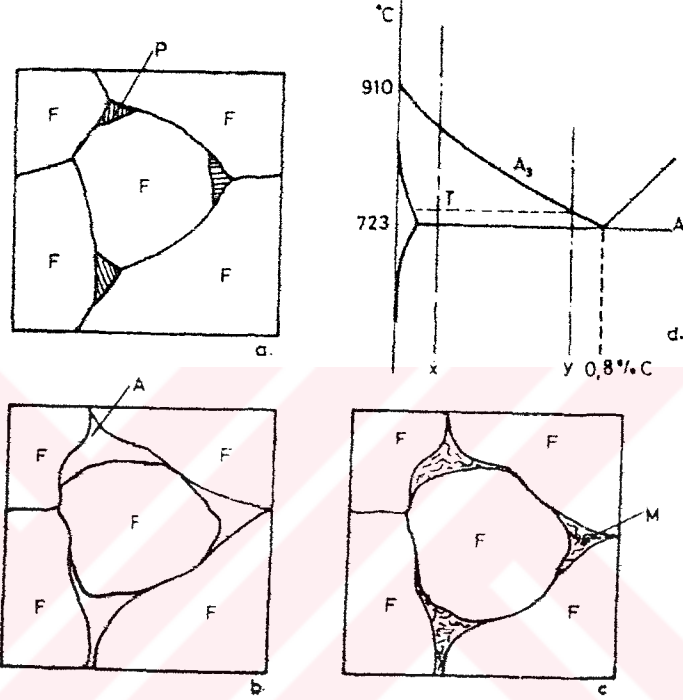
#### 1.2.4. Soğuma Hızının, Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin İç Yapısı Üzerinde Etkisi

Çeliğin ark kaynağında sıcaklık değişimleri genellikle çok çabuk oluşur ve bu kadar hızda artık normal denge şartları gerçekleşemez. Bu sebepten ötürü de çabuk soğumanın ısının tesiri altında kalan bölgeye etkisini etüd etmek önemlidir. Eğer hesap yoluyla ısının tesiri altında kalan bölgenin çeşitli noktalar için zamanın fonksiyonu olarak sıcaklık değişimi belirtilebilir ve ayrıca çeşitli ostenitleşme sıcaklıklarında C-T diyagramı bilirse, meydana gelecek yapılar büyük bir olasılıkla önceden tahmin edilebilir.

Erime bölgesinin çabuk soğutulması halinde, ostenit daha yüksek sıcaklık aralığında ( $M_s$  sıcaklığının altında) martenzite dönüşür. Birçok yapı çeliklerinin kaynağında, çok daha az karbon iktive eden kaynak metali kullanıldığından, normal yapı çeliklerindeki erime bölgesinde martenzit tehlikesi o kadar büyük değildir.

Kaynak esnasında ısının tesiri altında kalan (I) numaralı bölge tamamen ostnitleşmiştir. Bu bölgedeki soğuma hızı, kritik soğuma hızını geçerse tamaniyle martenzitik bir iç yapı meydana gelir. Bazı çeliklerde daha yavaş soğuma halinde, eğer çeliğin C-T diyagramı müsait ise, beynitik yapı meydana gelebilir. Çok defa bütün (I) numaralı bölgede yalnız kaynak çizgisi boyunca martenzitik yapıya

rastlanır. Buna sebep burada ostenitleşme sıcaklığı en yüksek ve ostenit tanelerinin büyük olmasıdır. Bu ikisinde de kritik soğuma hızının düşürme etkisi vardır. Bu da, martenzitin meydana gelme tehlikesini arttırır. Isının tesiri altında kalan bölgedeki sertleşme tehlikesi büyük çapta çeliğin bileşimine ve soğuma hızına bağlıdır. Örtülü elektrotlarla yapılan ark kaynağında, kalın kesitlerde büyük kaynak hızı ve düşük akım şiddeti (ince elektrot) kullanılırsa, normal karbonlu çelik, düşük karbonlu çelik bir ilave metal ile kaynak edilse bile, kaynak çizgisi boyunca (I. numaralı bölge) martenzit meydana gelebilir.



**Şekil 1-8 Az karbonlu adi çeliğin kaynağında ısının tesiri altında kalan bölgenin hızlı soğuması halinde meydana gelen iç yapı değişiklikleri F=Ferrit, P=Perlit, A=Ostenit, M=Martenzit (1)**

Şekil.8 ısının tesiri altında kalan bölgenin (III) numaralı kısmında, hızlı soğuma sonunda meydana gelen yapı değişikliklerini şematik olarak göstermektedir. Örnek olarak az karbonlu bir çeliğin durumu göz önüne alınmıştır.

Oda sıcaklığında kaynaktan önceki yapı, biraz perlit ihtiva eden ferrittir. 723 °C ( $A_1$ ) sıcaklığına erişince, perlit aynı miktarda karbon içeren ostenite dönüşür.

Maksimum sıcaklığın ( $A_1$ ) in üstüne çok az çıktığı burada, yalnız ferritin çok az bir kısmı ostenitleşir ve Şekil.8' de görüldüğü üzere ostenit çok yüksek miktarda karbon ihtiva eder. Ostenitin ihtiva ettiği karbon miktarı çeşitli maksimum sıcaklıklar için denge diyagramından okunabilir.

Meydana gelen ostenit Şekil.8-b' de görüldüğü gibi, ferrit taneleri sınırı boyunca yayılır. Çok karbon ihtiva eden ostenit, ostenit dönüşmesinin tamamlandığı bölgedeki az karbon ihtiva edene nazaran daha düşük bir kritik soğuma hızına sahiptir. Çabuk soğumada ferrit taneleri arasındaki ostenit martenzite dönüşebilir. Eğer tane sınırları etrafında yayılmış ise, ferrit taneleri arasında yüksek karbonlu bir martenzit ağı teşekkül eder. (1)

#### 1.2.5. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Sertliği ile Kimyasal Bileşim Arasındaki Bağını ve Karbon Eşdeğeri

Kaynak işlemi neticesinde, ısının tesiri altında kalan bölgede bir sertleşme meydana gelir. Kaynak ısı çevrimi nedeniyle ısınma sırasında, ısının tesiri altında kalan bölge ostenit haline geçer ve soğuma esnasında da bir takım dönüşmelere maruz kalır. Kaynak dikişinin kenarında, soğuma hızı öyle bir değerdedir ki, ostenit, ferrit ve perlitte dönüşecek vakit bulamaz, bunun yerine çok daha sert ve sünekliği çok daha az olan martenzit veya temperlenmiş martenzit meydana gelir. Böyle sert bir bölgenin meydana gelmesi, sertleşme kabiliyetini arttıran karbon ve alaşım elemanlarının miktarına bağlıdır. Alaşım elemanlarının miktarı arttıkça martenzitin teşekkül etme meyli de artar. Karbon miktarının yükselmesi, meydana gelen martenzitin sertliğinin yükselmesine ve sünekliğin azalmasına sebep olur.

Alaşım elemanları çeliğin kritik soğuma hızına tesir ederler. Çok kullanılan bazı alaşım elemanları bazı özellikler kazandırmak gayesi ile ilave edildiği gibi, bir kısmı da çevreden veya çeliğin *istihsalı* sırasındaki işlemlerden gelen istenilmeyen kalıntılardır.

Çeliğe katılan alaşım elemanları iki ana gruba ayrılır. Bunlardan birincisine ferrit alanını ve ikincisine de ostenit alanını genişleten elemanlar adı verilir. Birinci grupta Cr, Al, Si, P, V, Mo, W ve ikinci grupta da Mn, Ni, Co, C, N bulunur.

Kaynağın neticesine tesir eden en önemli faktör, esas metalin bileşimidir. Tablo.3' de kaynakta kullanılan alaşımsız çeliklerin bileşiminde bulunan başlıca elemanların azami miktarı ile genel olarak bu elemanların kaynak kabiliyeti üzerindeki tesirleri bir araya toplanmıştır.

**Tablo 1-3 Kaynakta kullanılan alaşımsız çeliklerin bileşiminde bulunan başlıca alaşım elemanları ve bunların kaynak kabiliyeti üzerine tesirleri (1)**

Alaşım elemanları	Max. miktarı (%)	Kaynak kabiliyetine tesirleri
Karbon	0,30	1-Çeliğin mukavemetini ve sertleşme meylini artırır. 2-Karbon miktarı arttıkça sıcak ve sertleşme çatlama riskosu da artar. 3-Karbon miktarının çok az olması da iyi değildir. (0,05% den az)
Silisyum	0,60	1-Alaşım elemanlarının muntazam olarak yayılmasını sağlar. 2-Burada verilen max değer in kaynak kabiliyeti üzerine bariz bir tesiri yoktur.
Manganez	1,80	1-Çeliğin mukavemetini ve sertleşme meylini artırır. 2-Manganez miktarı arttıkça dikis altı çatlağı ve tam dönüşmemiş bölgedeki sertleşme çatlağı riskosu da artar. 3-Az miktardaki manganez de gozenek teşekkulu riskosunu ortaya çıkarır.
Fosfor	0,08	1-Esas metalin safiyetini bozar. 2-Kaynak metali gevreklesir.
Kükürt	0,06	1-Esas metalin safiyetini bozar. 2-Kaynak metalindeki sıcak çatlama riskosunu artırır.
Azot	0,009-0,015	1-Esas metalin safiyetini bozar. 2-Isinin tesiri altında kalan bölgenin yaşlanmasını teşvik eder.
Krom	0,30	Verilen maksimum değer in kaynak kabiliyeti üzerine tesiri gayet azdır.
Bakır	0,40	Verilen maksimum değer in kaynak kabiliyeti üzerine tesiri gayet azdır.

Fosfor, kükürt ve azot kaynak kabiliyeti üzerine zararlı tesir icra eden elemanlar olduğundan çeliğin bileşiminde mümkün olduğu kadar az olması istenir.

Bilhassa karbon ve manganez, alaşımsız çeliğin kaynak kabiliyetine tesir eden başlıca iki elemandır. Karbonun kaynak kabiliyeti bakımından alaşımsız çeliklerin bileşimindeki maksimum miktarı hakkındaki görüşler biraz farklıdır. Örneğin, İsveç'te gazı alınmış çeliklerde maksimum karbon miktarı olarak % 0,25 va gazı alınmamış çeliklerde ise % 0,22'ye kadar müsaade edilmektedir. Romanya'da ise, alaşımsız çeliklerdeki maksimum karbon miktarı olarak % 0,26

değerine müsaade edilmekte ve ayrıca bütün kaynak işlemi boyunca 200 °C lik bir ön tavlamanın tatbik edilmesi şart koşulmaktadır.

Alaşımız yapı çeliklerindeki manganez miktarı, bileşimde bulunan karbon miktarına bağlı olarak değişir. Genel olarak karbon arttıkça, manganez; manganez arttıkça karbon azalır ve  $C_{eş} = \%C + \%Mn/6$  formülüne göre hesaplanan karbon eşdeğeri nazari itibare alınır. Birçok memleketlerde ve çeşitli nizamnamelerde karbon ve manganez miktarları sınırlandırılmıştır. Zira bu iki eleman çeliğin sertleşme meylini arttırdıklarından, miktarları fazlalaştığı takdirde, sertleşme ve çatlakların teşekkül rizikosu artar.

Hafif alaşımlı ve yüksek mukavemetli çeliklerde, karbon ve manganezden başka diğer elemanların da, bu sertleşme ve çatlak teşekkülü üzerine tesirleri vardır. İşte bu alaşım elemanları belirli bir nispet dahilinde, bileşimdeki karbon miktarına (burada manganez de nazari itibara alınmıştır) ilave edilerek, neticede karbonun etkisi gibi mütalea edilir. Elde edilen bu yeni değere "Karbon Eşdeğeri" adı verilir.

Karbon eşdeğerinin hesaplanması konusunda, literatürde çok değişik formüllere rastlanılmaktadır. Bunlar sadece bilimsel açıdan düşünüldüğünde, ne çelikleri sınıflandırmak için kriter olabilmekte ve ne de kaynak kabiliyetinin bir ölçüsü olarak kullanılabilirler. Ancak, uygulamada kullanılabilen ve doyurucu sonuçlar veren amperik bağıntılardır.

Bugün en fazla kullanılan karbon eşdeğeri formülleri şunlardır:

1) Dearden ve HO. Neill karbon eşdeğeri formülü;

$$C_{eş} = C + 1/6 Mn + 1/15 Ni + 1/5 Cr + 1/4 Mo + 1/5 V \quad (1.1)$$

2) Kihara, Suzuki ve Tamura'nın geliştirdiği karbon eşdeğeri formülü;

$$C_{eş} = C + 1/6 Mn + 1/24 Si + 1/15 Ni + 1/5 Cr + 1/4 Mo + 1/13 Cu + 1/2 P \quad (1.2)$$

3) B.J. Bradstreet'e göre karbon eşdeğeri formülü;

$$C_{eş} = C + 1/20 Mn + 1/10 Cr + 1/10 Mo + 1/10 V + 1/15 Ni \quad (1.3)$$

4) Sociêtê National de Chemin de Fer (Fransa)'ın kullandığı karbon eşdeğeri formülü;

$$C_{eş} = C + 1/6 Mn + 1/2 P + 1/5 Cr + 1/13 Cu + 1/4 Mo + 1/15 Ni \quad (1.4)$$

5) K. Winterton'a göre karbon eşdeğeri formülü;

$$C_{es} = C + 1/6 Mn + 1/10 Cr + 1/40 Cu + 1/20 Ni + 1/50 Mo + 1/10 V \quad (1.5)$$

6) Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) IX No'lu komisyonuna (Kaynak Kabiliyeti Komisyonu) göre karbon eşdeğeri formülü;

$$C_{es} = C + 1/6 Mn + 1/5 Cr + 1/5 Mo + 1/5 V + 1/15 Ni + 1/15 Cu \quad (1.6)$$

7) Daniel Seferian'a göre karbon eşdeğeri formülü;

$$360 C_{es} = 360 C + 40 (Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo \quad (1.7)$$

Görüldüğü gibi, bütün formüllerde, karbon ve kısmen Mangan haricindeki bütün elementlerin etkinlikleri farklı öngörülmektedir.

Daniel Seferian'ın dışındaki  $C_{es}$  formüllerinin geçerli olabilmesi için çelikteki alaşım elementleri sınırı şu şekildedir:

$$C \leq \% 0,5; Mn \leq \% 1; Cr \leq \% 1; Ni \leq \% 3,5; Mo \leq \% 0,6$$

Bir yapı çeliğine uygulanacak öntavlama karbon eşdeğeri ile belirten birtakım formüller varsa da en garantili yol hiç formül kullanmadan aşağıdaki tavlama değerini uygulamaktır.

#### KARBON EŞDEĞERİ (%) ÖNTAVLAMA SICAKLIĞI (°C)

0,45'ten küçük	Normal atmosfer koşullarında gerek yoktur
0,45 ile 0,60	100 ile 200
0,60'tan büyük	200 ile 350

Görüldüğü gibi karbon eşdeğeri tamamen çeliğin bileşimi ile ilgili olup, kaynağa uygulanan enerji, kaynak ağız formu, parçanın geometrisi ve kalınlığı ile ilgili faktörleri içermemektedir. Bunlar, soğuma hızını birinci derecede etkileyen ve dolayısı ile ısının tesiri altında kalan bölgede oluşan içyapıyı da belirleyen faktörlerdir. Örneğin; 20 mm kalınlığında ve karbon eşdeğeri % 0,45 civarında olan bir çelik ön tavlama yapılmadan kaynak edildiğinde, IIW tarafından kritik sertlik derecesi diye kabul edilen 350 HV' den daha sert bir ısının tesiri altında kalan bölge göstermektedir. Aynı parça 100 °C'lik ön tavlama uygulanarak kaynatıldığında, ısının tesiri altında kalan bölgenin sertliği, hemen kritik sertlik değerinin altına düşmektedir. Bu olayı gözönünde bulundurarak Daniel Seferian, parça kalınlığının,

soğuma hızına olan etkisini de içeren bir ön tavlama sıcaklığı tespit formülü önermektedir; buna göre ön tavlama sıcaklığı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$T_{\text{öntav}} = 350\sqrt{C'_{\text{es}} - 0.25} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.8)$$

$$C'_{\text{es}} = C_{\text{es}} (1 + 0,005 d)$$

d : mm olarak sac kalınlığı (1), (8), (4)

### 1.2.6. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Sertliği

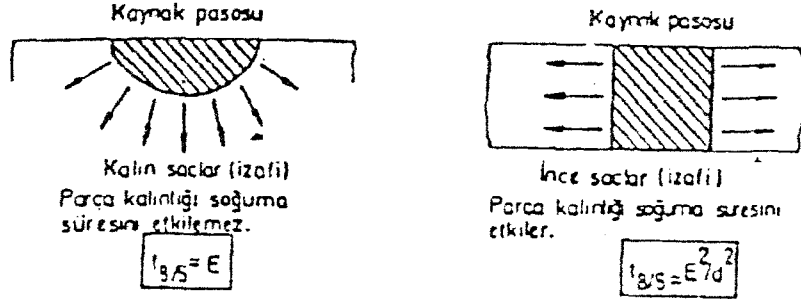
Kaynak yapılırken, ısının tesiri altında kalan bölgede bir sertleşmenin meydana geldiğine ve bunun da kaynak kabiliyeti bakımından arzu edilmediği bilinmektedir. Bilhassa ısının tesiri altında kalan bölgede oluşan sertleşme, sünekliği ortadan kaldıracak, dolayısıyla da çatlama ve kırılmaya sebep olacaktır. Mn-V-Ti hafif alaşımlı ve yüksek mukavemetli yapı çelikleri üzerinde yapılan deneylere göre maksimum sertliğin, kaynak pasosunun hemen yanındaki iri taneli martenzitik bölgede olduğunu tespit etmiştir. Su verilmiş ve temperlenmiş hafif alaşımlı yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde yapılan deneylere göre ise ısı tesiri altında kalan bölgenin ( $A_1$ ) çizgisine yakın kısımda küçük bir yumuşama görülmüştür. (8)

Bir kaynak bağlantısında soğuk çatlama teşvik eden faktörlerin başında ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesi gelir. Yapılan bu çalışmada, birçok değişkenler sabit tutularak, ısının tesiri altında kalan bölgedeki sertleşme meylini etkileyen faktör olarak, kenar tesiri alınmış ve sertliklerin değişimi etüd edilmiştir.(8)

### 1.2.7. FTAB'da Isı Akışı

Kaynak edilen parçalarda ısı akışı iki veya üç boyutlu olur. Şekil.9' da iki veya üç boyutlu ısı akışını şematik olarak görmekteyiz. Kalın levhada ısı akışı levha içerisinde üç yönde gerçekleşmektedir. İnce levhada ise ısı akışı levha yüzeyine paralel olarak gerçekleşmektedir. Kaynak yöntemi, malzeme fiziksel özellikleri ve kalınlığı ısı iletim şeklini tesbit eder. Mesela elektrocuruf kaynağında 300 mm kalınlıktaki levha, ince levha olarak kabul edilmektedir ve bu levhada ısı iletimi iki boyutlu olmaktadır. İnce levhalarda tam nüfuziyet elde etmek için genellikle dört sayısından daha az paso çekilmektedir. Mesela 25 mm kalınlıkta bir çelik levhayı

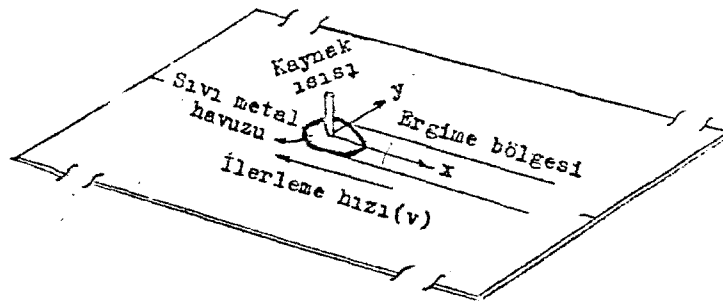
ele alalım. Bu levhada tozaltı kaynak yönteminde tek paso ile tam nufuziyet sağlanmaktadır. Bu kaynak şartında levha ince levha karakterinde olup ısı transferi iki boyutludur. Eğer aynı levhaya 25 pasolu MAG kaynağı yaparsak levha kalın levha karakterde olup ısı akışı üç boyutludur. Kalın levhalarda ise genellikle altıdan fazla kaynak dikişi çekilmektedir.



Şekil 1-9 Kaynak edilen kalın ve ince levhalarda ısı akış şekilleri (9)

#### A) İki Boyutlu Isı Akış Hali

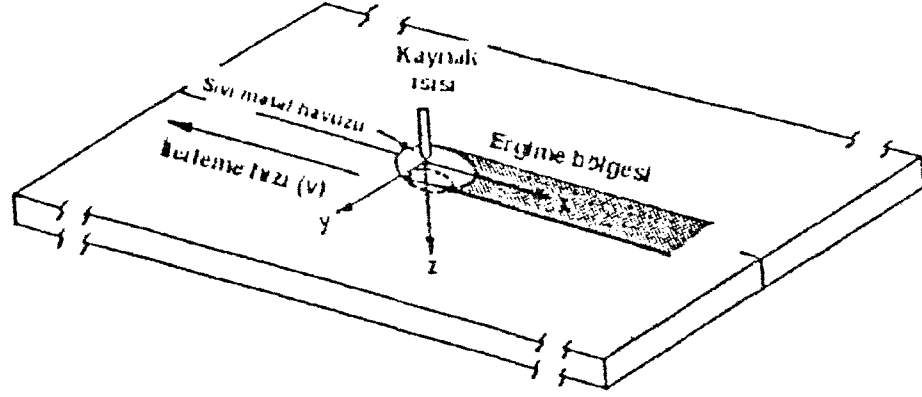
Şekil .10' da ince levha kaynağı şematik olarak görülmektedir. Levha ince olduğundan kalınlık doğrultusunda sıcaklık değişimi ihmal edilecek seviyededir ve ısı akışı iki boyutludur. Bu levhada kaynak bölgesi incelendiğinde ergime (kaynak metali) sınırları şekil.9' daki ince levhadaki gibi birbirine paralel ve levha düzlemine diktir. Bu kaynak metali geometrisi de ısı akışının iki boyutlu olduğunu göstermektedir. Şekli.10' daki ısı kaynağı x doğrultusunun ters yönünde v hızı ile ilerlemektedir. Koordinat sisteminin orijini de ısı kaynağı ile beraber ilerlemektedir. Kaynağın başlangıç ve bitiş kısımları hariç levhada ısı akışı kararlı haldedir. Bir başka deyimle ısı kaynağı ile ilerleyen bir gözlemci için sıcaklık dağılımı ve sıvı metal havuz geometrisi zaman ile bir değişiklik göstermemektedir.



Şekil 1-10 İnce bir levhada kaynak işlemi (9)

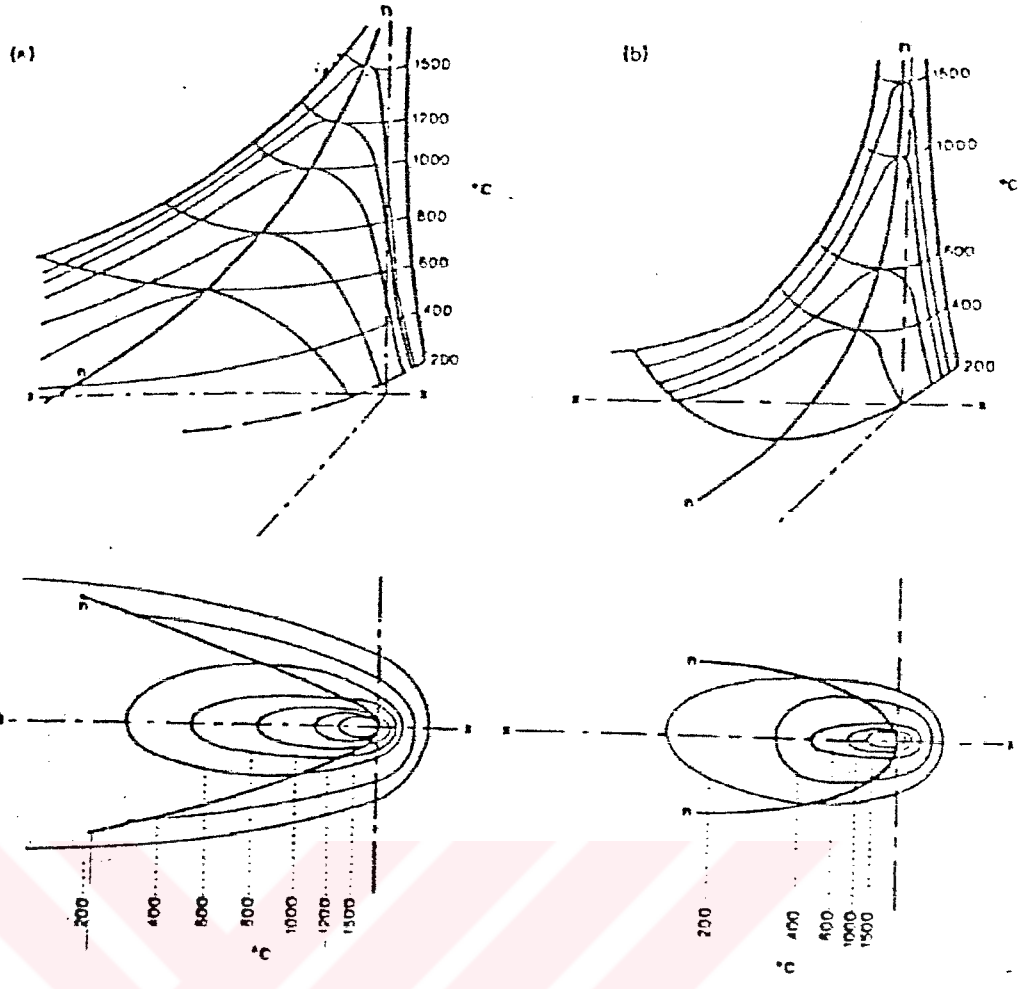
### B) Üç Boyutlu Isı Akış Hali

Şekil.11' de kalın levha kaynağı şematik olarak görülmektedir. İnce ve kalın levhalarda sıcaklık dağılımının mukayesesi şekil.12' de görülmektedir. Kalın levhalarda kaynak ısısının katı levha içerisinde dağılımı daha hızlı olmaktadır.

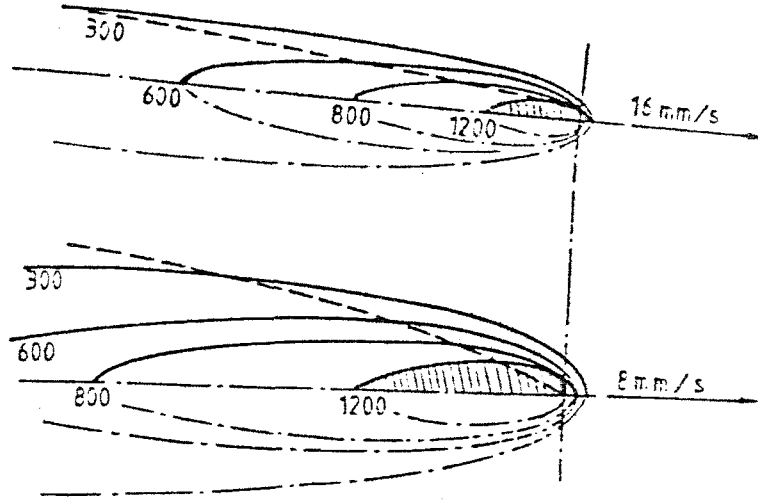


**Şekil 1-11 Kalın levhalarda kaynak uygulaması (9)**

Bunun sonucu olarak üç boyutlu ısı dağılımında sıcaklık profili daha dik olmaktadır. Şekillerde görülen n-n eğrileri levhada sıcaklığın düşme ve yükselme sınırlarını göstermektedir. n-n eğrilerinin solunda kalan noktalar soğumaya başlayan ve sağında kalan noktalar ısınmakta olan kısımları gösterir. Kaynak hızının artması Şekil. 13' de görüldüğü gibi kaynak metal geometrisinde etkili olmaktadır. Kaynak hızı arttıkça kaynak ısı girdisi azalmakta ve bunun sonucu olarak kaynak metal azalmakta ve ısınan bölge küçülmektedir.



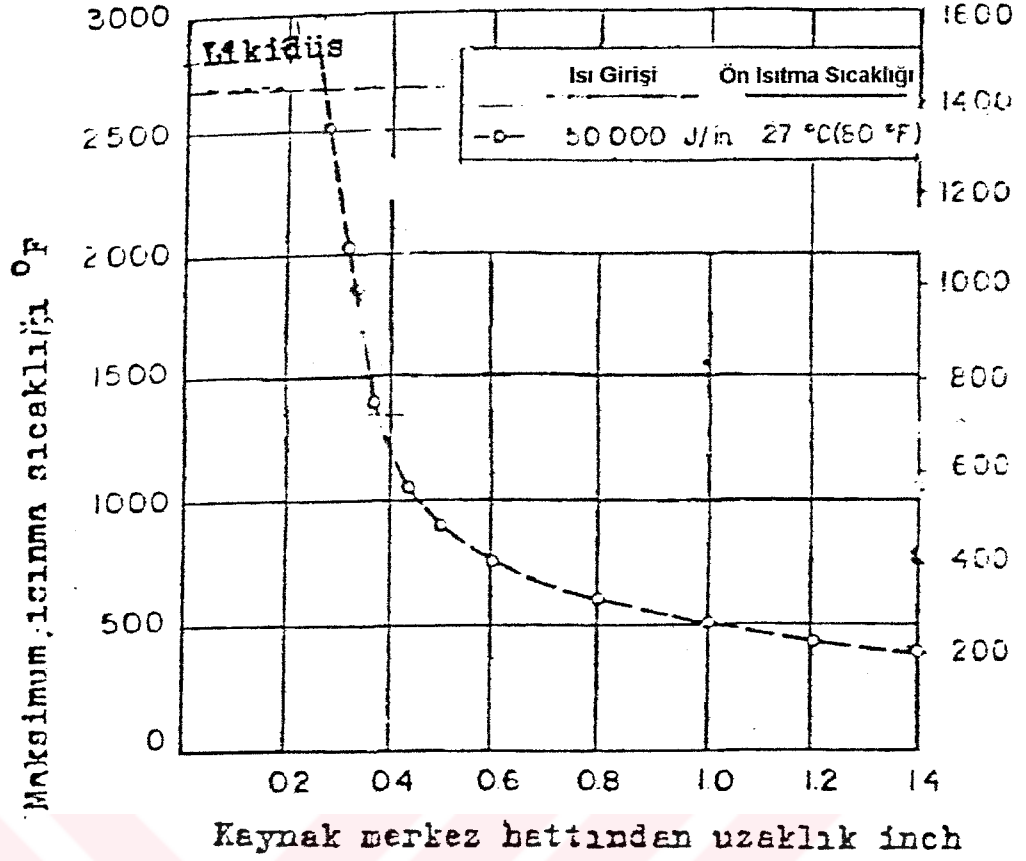
**Şekil 1-12 (a) ince levhalarda ve (b) kalın levhalarda ölçülen sıcaklık dağılımı kaynak metali geometrisinde etkili olmaktadır. Kaynak hızı arttıkça kaynak ısı girdisi azalmakta ve bunun sonucu olarak kaynak metali azalmakta ve ısınan bölge küçülmektedir. (1)**



**Şekil 1-13 Aynı kalınlıktaki alaşımsız çelik levhaların elektrik ark kaynağında kaynak hızının eş sıcaklık eğrileri dağılımı üzerinde etkisi (1)**

Kaynak metaline komşu olan ve kaynak sırasında ergimeyen ana metalde, kaynak ısısının tesiri ile ısınma meydana gelir. Kaynak metaline bitişik kısımda en fazla ısınma sıcaklığı ergime ve solüdis sıcaklığına kadar yükselir. ITAB genişliğinin sınırı genellikle kaynak edilen iş parçasının mikro yapısında gözle görülür değişiklik yapan en düşük sıcaklığa ısınan nokta olarak tanımlanır. Normalize edilen çeliklerde ITAB alt sınırı, perlit yapısının ostenite dönüşüm yaptığı en düşük sıcaklık veya perlitin ostenite dönüşme yaptığı en son nokta olarak tanımlanmaktadır. Soğuk şekil verilmiş tek fazlı malzemelerde ITAB alt sınırı yeniden kristalleşmenin son bulunduğu en düşük sıcaklık ile tanımlanır.

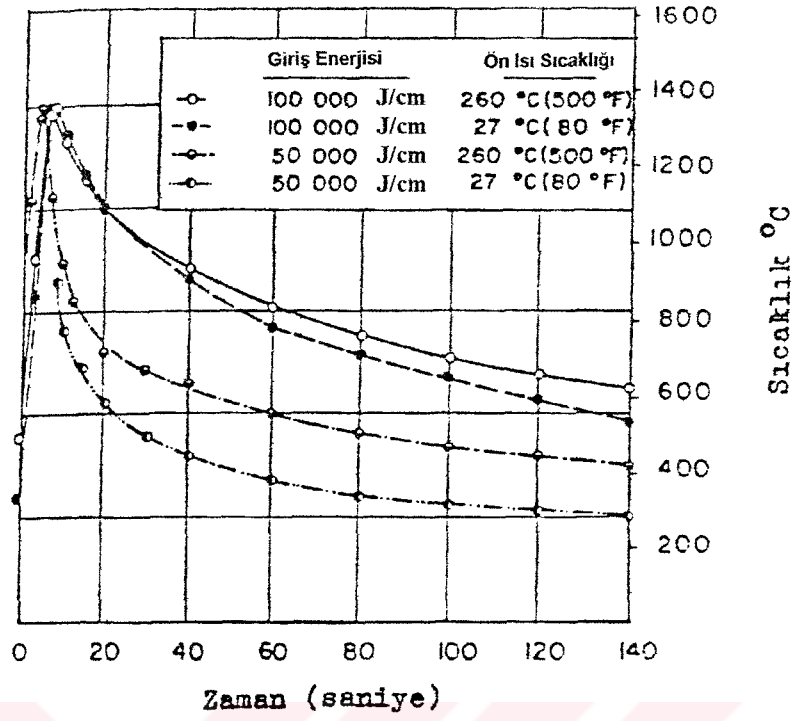
ITAB'daki herhangi bir noktanın ısındığı maksimum sıcaklık bu noktanın ergime hattına olan mesafesine bağlı olarak değiştiğini şekil. 14' te görmekteyiz.



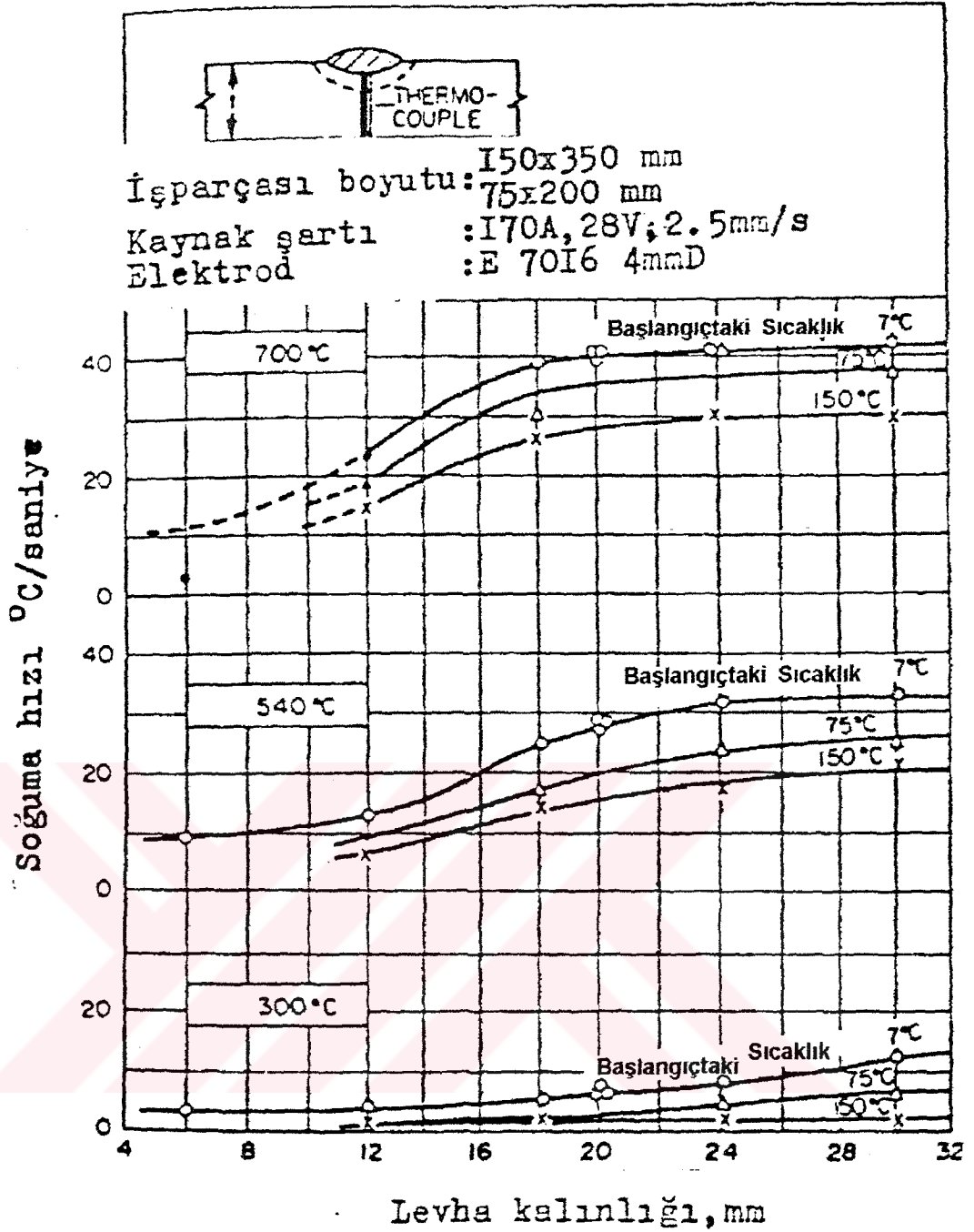
Şekil 1-14 Kaynak metali'nin şematik sürekli soğuma diyagramı (14)

Çelik levhelarda ön tavlama sıcaklığı ile kaynak ısı girdisinin termal çevrimi üzerindeki tesiri Şekil.15'de görülmektedir. 13 mm kalınlaktaki levhalarda 1365 °C'ye ısınan noktalarda soğuma hızı ön tavlama ve ısı girdisi ile azalmaktadır.

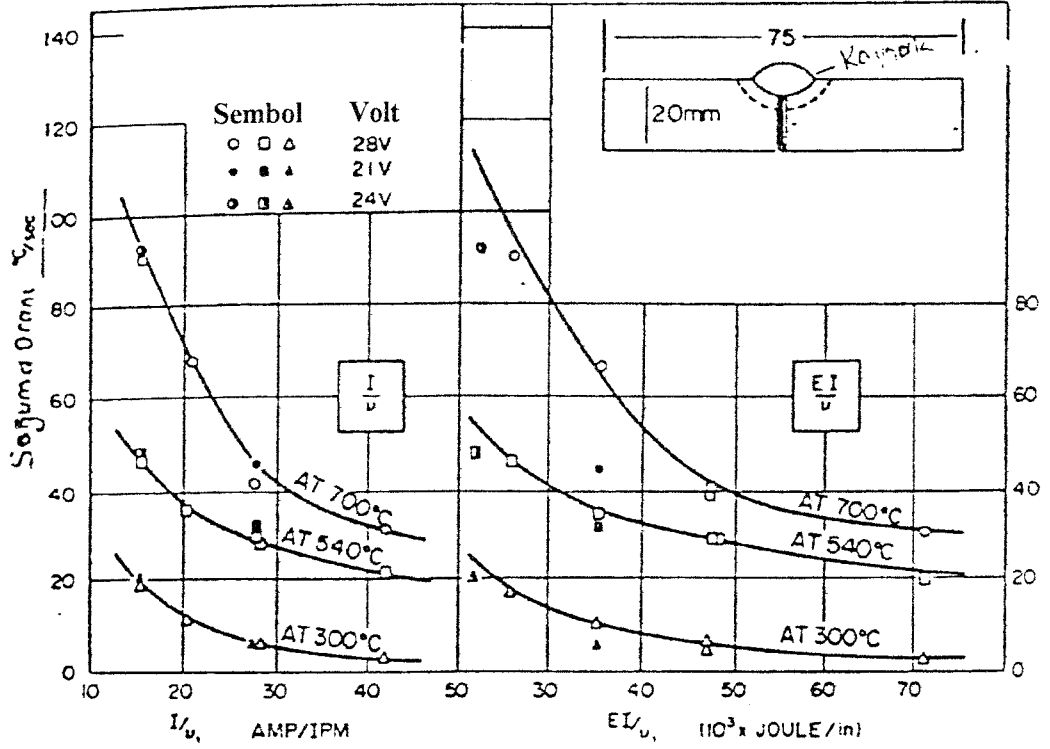
Şekil.16 ve 17'de ITAB'ın kaynak metaline komşu olan noktalarında 700 °C, 540 °C ve 300 °C sıcaklıklarındaki soğuma hızının levha kalınlığı, ön tavlama sıcaklığı ve kaynak ısı girdisiyle değişimini görmekteyiz. Soğuma hızı levha kalınlığı artışıyla artarken ön tavlama sıcaklığı ve kaynak ısı girdisinin artması halinde düşme göstermektedir. Bu sonucu önceki diyagramlarda da görmekteyiz.



Şekil 1-15 Çelik levhalarda ısı girdisinin ve ön tavlamanın ITAB soğuma hızı üzerindeki tesiri (14)

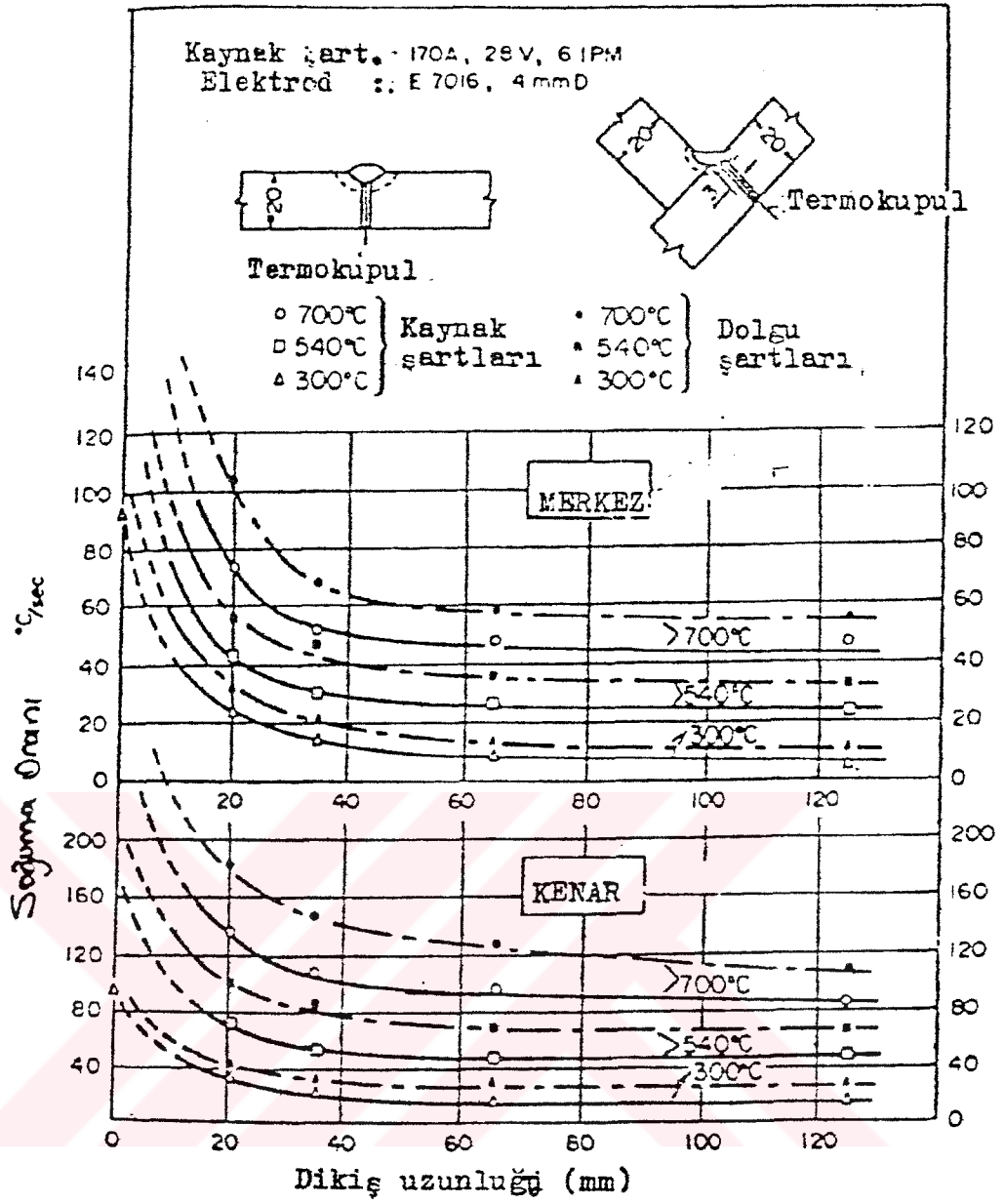


Şekil 1-16 Levha kalınlığı ve ön tavlama sıcaklığının 700, 540 ve 300°C sıcaklığındaki soğuma hızı üzerindeki etkileri (9)



Şekil 1-17 Kaynak ısı girdisinin ergime hattında 700, 540 ve 300 °C deki soğuma hızı üzerindeki tesiri IPM inc/dak Kaynak ilerleme hızı) (9)

Şekil. 18'de kaynak dikiş uzunluğunun ve birleştirme (kaynak) geometrisinin ITAB soğuma hızı üzerindeki tesiri görülmektedir. İki tip kaynak yapılmıştır: levha üzeri kaynak ve T iç köşe kaynağı. Bu iki tip dikişde ITAB soğuma hızı ölçülmüştür. Ölçme noktaları iki tanedir: dikiş uzunluğunun ucunda ve merkezinde. Uç kısımlarda soğuma hızı daha yüksek olmaktadır. Dikiş boyu kısaltıldıkça soğuma hızı artmaktadır. İç köşe kaynağının soğuma hızı levha üzeri dikişlere nazaran % 40 daha fazladır. Çünkü levhada iki doğrultuda ısı dağılırken iç köşe kaynağında üç doğrultuda ısı yayılmaktadır.



Şekil 1-18 Kaynak dikiş uzunluğunun levha üzeri kör dikişlerde ve iç köşe kaynaklarında ITAB soğuma hızı üzerindeki tesirleri. (9)

### 1.3. Kaynak Kabiliyeti

Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün IX numaralı Komisyonuna göre kaynak kabiliyeti şöyle tarif edilir:

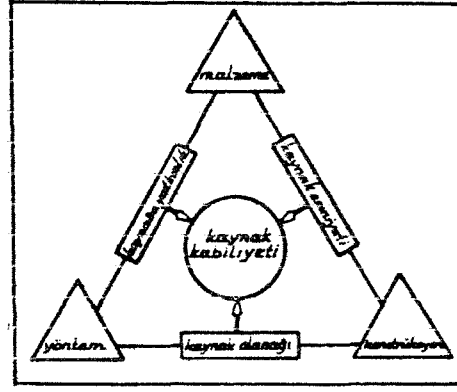
“Bir metalik malzeme, verilen bir usul ile bir maksat için, bir dereceye kadar kaynak yapılabilir diye kabul edilir. Uygun bir usul kullanarak kaynaklı metalik bağlantı elde edildiği zaman, bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona tesirleri bakımından tayin edilmiş bulunan şartları sağlamalıdır.”

Bundan da anlaşılacağı üzere, kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye bağlı bir özellik değil, aynı zamanda kaynak usulüne ve kaynak konstrüksiyonuna da bağlıdır. Bir metal veya alaşım, bir kaynak usulünde gayet iyi derecede bir kaynak kabiliyeti göstermesine rağmen, diğer bir usulde çok zayıf bir kaynak kabiliyetine sahiptir.

Bir malzemenin yüksek derecede kaynak kabiliyetine sahip olması; kaynak şartları geniş bir aralıkta hiçbir tedbire baş vurmadan tatminkar bir kaynak kalitesinin elde edilebileceği anlamına gelir. Düşük derecede kaynak kabiliyetinden de tatminkar bir netice alabilmek için özel tedbirelere ihtiyaç olduğu ve kaynak şartlarının çok dar limitler arasında tutulmasının anlamı çıkar.( 3)

Metalsel malzemeler, kaynak işlemi ile şekillendirilmeye aynı derecede yatkın bulunmamaktadırlar. Kaynağa elverişlilik olarak tanımlanabilecek bu teknolojik kavram, bir birleştirme veya dolgu işleminde seçilen malzeme, uygulanan yöntem ve konstrüksiyon ile kalınlık faktörlerinin bir arada düşünülmesiyle anlam kazanmaktadır.

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 1-19 Kaynak kabiliyetinin şematik olarak tanımlanması (11)**

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

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

**Tablo 1-4 Elektrik nokta direnç kaynağında, alaşımsız çeliklerin bileşiminde bulunan elemanların kaynak kabiliyetine etkileri (toplam % olarak) (11)**

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

Kaynak yöntemlerinin, kaynak kabiliyeti kavramı içinde özel bir yeri bulunmaktadır. Bu yöntemlerin geliştirilmesindeki ana amaç, kaynak kabiliyetlerinde artımlar sağlamaya yönelik bulunmaktadır. Seçilen bir yöntemle "iyi

kaynak edilebilen” bir malzeme, kalınlığın artması ile aynı yöntemle, bir ön tavlama işlemi koşulu ile “kaynak edilebilmekte” farklı bileşimdeki bir malzeme ise, örnek olarak alınan bu yöntemle ancak “şartlı olarak” ya da hiç kaynak edilememektedir.  
(11)

**Tablo 1-5 Örtülü elektrodla ergitme kaynağında, alaşımsız yapı çeliklerinin kaynak kabiliyetleri (11)**

Malzeme	Ergiyikte % 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 kadar, et kalınlıkları ve P-,S- sınırlamalarına uygun olma durumlarında iyi kaynak edilebilir.
St35, St45 (Boru Çelikleri DIN 1629, 17175)	<0,22	
HI, HII, HIII (Kazan Saçları DIN 17155)	<0,22	
C10, C15 (C22), (Semantasyon ve Kalite Çelikleri DIN 17210, 17200)	<0,18 (<0,25)	kaynak edilebilir.
St 52	<0,20, fakat Mn- ve Si-oranları yüksek	
St 50	0,30(yaklaşık)	şartlı kaynak edilebilir.
St 60 , C 35	0,40(yaklaşık)	özel elektrodlar kullanılarak ön ve son tavlama ile kaynak edilebilir.
St 70 , C 45	0,50(yaklaşık)	özel önlemlerle şartlı olarak kaynak edilebilir.

Bileşimindeki karbon miktarı takriben % 0,25'in üzerinde bulunan normal karbonlu yapı çelikleri ile hafif alaşımlı yüksek mukavemetli yapı çeliklerinin sertleşme kabiliyetleri, düşük karbonlu ve alaşımsız yumuşak çeliklere nazaran daha fazla olduğundan ısının tesiri altına kalan bölge sertleşerek gevrekleşir ve soğuk çatlama hassasiyeti de artar. Kaynak bağlantısındaki sertleşme, (kaynak sertleşmesi) genellikle ısının tesiri altında kalan bölgedeki maximum sertlikle belirlenmektedir.

Isının tesiri altında kalan bölgedeki sertleşme, bir kaynak bağlantısı için çatlama tehlikesi yarattığından, kaynak kabiliyeti bakımından bütün dünyada, bu konunun daima araştırılmasına yönelinmiştir.

Bugün, bir çeliğe iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptir diyebilmek için aşağıdaki iki hususun bir arada bulunması gerekir.

a) Kaynaktan evvel ve sonra iyi bir süneklige sahip olmalıdır.

b) Kaynak metali esas metal ile karistigi zaman gevrek olmayacak bir kimyasal bileşim vermelidir.

Bu iki nokta ilk bakışta gayet basit görünmesine rağmen, gerçekte birçok şartların biraraya getirilmesine ihtiyaç göstermektedir. Elektrik ark kaynağında kaynak kabiliyetine ve çatlama rizikosuna tesir eden faktörleri şöyle gruplayabiliriz:

A) Esas metal

- a) Bileşim
- b) Kalınlık
- c) Isıl işlem durumu
- d) Süneklilik
- e) Sıcaklık
- f) Safiyet ve homojenlik

B) İlave metal

- a) Bileşim
- b) Akma sınırı ve süneklilik
- c) Hidrojen muhtevası
- d) Safiyet ve homojenlik
- e) Elektrot çapı (kaynak sırasında parçaya verilen ısı miktarı)

C) Diğer faktörler

- a) Erime derecesi (ağzın formu)
- b) Rijidite
- c) Forum faktörü (geçiş)
- d) Kaynak sırası
- e) Kaynakçının şahsiyeti

Çatlama tesir eden faktörleri, bir başka şekilde de, aşağıdaki üç grupta toplamak mümkündür.

**A) Dış faktörler (direkt kontrol edilebilenler)**

- a) Esas metalin bileşimi**
- b) Esas metalin kalınlığı ve sıcaklığı**
- c) Kaynak ağzının boyutları**

- d) Rijidite veya zorlama
- e) Elektrot örtüsü, çapı ve bileşimi
- f) Ark gerilimi, akım şiddeti ve kaynak hızı.
- B) İç faktörler (indirekt olarak kontrol edilebilenler)
  - a) Soğuma hızı
  - b) Nüfuziyet miktarı ve dikiş kalınlığı
  - c) Kaynağın şekli
  - d) Dış zorlamalardan hasil olan kuvvet dağılımı
  - e) Kaynak bağlantısının geometrisi.
- C) Tabii faktörler (deney ile kontrol altında tutulabilenler)
  - a) Isıl geçirgenlik
  - b) Çeşitli sıcaklıklardaki fiziksel özellikler
  - c) Çeliğin allotropik dönüşümleri.

Sıcaklığın kimyasal reaksiyonlar üzerine etkin tesirinin olduğu bilinen bir gerçektir. Örneğin; yüksek sıcaklıklarda birçok reaksiyonlar çok daha çabuk meydana gelir; difüzyon işlemi gibi. Öyleyse sıcaklık ve sıcaklık hızı, ısının tesiri altında kalan metalde, husule gelen iç yapı değişiklikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Diğer taraftan, erime kabiliyeti de sıcaklığa bağlı bir faktördür.

Bir metalin çekme mukavemetinin erime noktasında sıfıra düşmesi ve bunun neticesi olarak da, o metalin hiçbir çekme zorlamasına karşı koyamaması; artan sıcaklık daima o metalin mekanik özelliklerini düşürür. Kaynak işlemi sırasındaki lokal ısınmalardan ötürü, ısınma ve soğuma anında gerilmeler meydana gelir ve ısıtma işlemi esnasında büyük sıcaklık farklarının meydana getirdiği plastik deformasyonlar, metalde meydana getirdiği plastik deformasyonlar, metalde kalan gerilmelerin doğmasına sebep olur.

Kaynak kabiliyeti derecesini belirten özellikler çeşitli çelik tipleri için değişir. Örneğin, birçok tiplerde en önemli faktör, iyi mekanik özelliklerin elde edilmesidir. Fakat ostenitik tip paslanmaz çeliklerde kaynak kabiliyeti derecesi, ısının tesiri altında kalan bölgenin korozyona karşı dayanıklılığının azalmasıdır.

Alaşımatsız adi karbonlu ve yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde kaynak kabiliyeti aşağıdaki halleri kapsar:

- a) Kaynak metalinde meydana gelen sıcak çatlaklar, gözenekler ve diğer kaynak hatalarının teşekkülüne istidat
- b) Isının tesiri altında kalan bölgede sertleşmeye veya martenzit teşekkülüne istidat (çatlakların teşekkül meyli)
- c) Gevrek kırılma tehlikesi. (8)

### 1.3.1. MIG-MAG Kaynağında Kaynak Kabiliyeti

Bir kaynak bağlantısının özelliğine etkiyen faktörlerin en önemlisi kaynak işlemi esnasında uygulanan sıcaklığın dağılım ve değişimi karşısında esas metalin davranışdır. Bütün eritme kaynak yöntemleri temel olarak bir döküm işlemi andırır. Kaynak metali, elektrik arkı veya gaz alevinin yüksek sıcaklığı karşısında erir ve daha önceden hazırlanmış olan kaynak ağızı içine dökülür, bu arada kaynak ağızının kenar yüzeyleri de bir miktar erir ve dolayısı ile erimiş metal ve esas metal karışarak kaynak ağızı içinde katılaştır. Bu işlem anında, kaynak edilen malzemelerin kaynak dikişine bitişik kısımlarında, metalin erime sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar, değişik sıcaklık derecelerinde ısınmış bölgeler ortaya çıkar.

Sıvı haldeki metal içinde atomlar birbirleri arasında hareket serbestisine sahiptirler. Soğuma anında; sıcaklık , metal veya alaşımın katılma noktasına kadar düşünce, atomların kristal kafesleri meydana getirmek üzere birleşmeleri ile çekirdek oluşur. Bu sırada metalden ısı çekilir ve soğutmaya devam edilirse, çekirdekler taneleri oluşturmak üzere yeni atomların ve kristal kafeslerin ilavesi ile büyümeye devam eder. Katılma anında ortaya çıkan erime ısı tabii soğuma hızını etkileyerek tanelerin fazla büyümesini önler. Tanelerin büyüebilmesi için ısının sürekli olarak metalden çekilmesi gereklidir. Kaynak halinde ısının büyük bir kısmı erime bölgesinden kondüksiyonla esas metale iletilir, dolayısı ile soğuma yönünde paralel, oldukça iri silindirik taneler oluşur. Erime çizgisine dik doğrultuda oluşan bu iri taneler, bir kalıp içinde katılan döküm yapısını andırır.

Kaynak esnasında ısı girdisinin artması, parçanın yüksek sıcaklıkta daha uzun süre tutulması, ön tav uygulanması, erime bölgesinde tanelerin irileşmesine neden olur. Kaynak bölgesinde soğuma hızının artması, tane yapısının incelmelerini sağlarsa da, gevrek ve kırılmalı bir yapı oluşturduğundan uygulamada tercih edilmez.

ITAB'de ortaya çıkan iç yapısal değişiklikler erişilen sıcaklığın fonksiyonu olarak esas metalin türüne, bileşimine, ısıl işlem ve üretim durumuna bağlı olarak çok çeşitlidir. Bu iç yapısal değişiklikler, o bölgede erişilen azami sıcaklık derecesi ve etkiye süresi bilirse esas metalin türü, bileşimi ve üretim durumu gözönünde bulundurularak önceden tahmin edilebilir ve buna bağlı olarak da bölgenin fiziksel ve kimyasal özellikleri saptanabilir. Çeşitli türlerdeki metal ve alaşımlarının kaynağında ITAB'de karşılaşılabilecek iç yapılar şekil.20'de verilmiştir.

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı günümüzde çeliklere en sık uygulanan kaynak yöntemlerinden bir tanesidir. Çeliğin içerdiği karbon ve diğer alaşım elementleri, kaynak metalinin sertliğini ve sertleşebilme kabiliyetini ve dolayısı ile de uygulanması gereken ön tav sıcaklığını etkiler. Sertlik ve sertleşebilme kabiliyeti birbirlerinden anlam olarak çok farklı iki kavramdır. Sertlik genel olarak çeliğin içerdiği karbon miktarının bir fonksiyonudur ; sertleşebilme kabiliyeti ise çeliğin ostenit bölgesinden itibaren ani olarak soğutulması sonucu ortaya çıkan martenzitik yapının oluşma kolaylığının bir ölçüsüdür. Sertleşebilme kabiliyeti düşük çelikler ancak kaynak işlemini takiben çok şiddetli bir şekilde soğutulduklarında martenzit oluştururlar, sertleşebilme kabiliyeti yüksek çelikler ise çok yavaş bir şekilde soğutuldukları halde dahi sert martenzitik yapı oluştururlar. Bu bakımdan sertleşebilme kabiliyeti, çeliğin kaynak sonrası kaynak bölgesinde göstereceği sertliğin bir bakıma ölçüsüdür.

Çeliklerde kaynak anında erime çizgisine bitişik olan esas metal, solidüse yakın bir sıcaklığa eriştiğinden ostenit içinde fazla miktarda tane büyümesine rastlanır. Bir çeliğin kaynak edilebilirliği açısından tane büyümesi çok önemlidir, çünkü soğuma olayı sürecinde oluşan dönüşümlere ostenit tane büyüklüğünün etkisi oldukça şiddetlidir.



1150 °C civarında tümü çözültü haline geçtiğinden, artık bunların da tane büyüme olayına engel olma olasılıkları ortadan kalkar.

Sertleşmeye meyli olan, karbon eşdeğeri % 0,45'ten daha büyük olan çeliklerin emniyetle kaynatılabilmesi için kaynak anında aşağıdaki hususlara özen gösterilmelidir:

- 1) Uygun seçilmiş bir öntavlama sıcaklığı tüm parçaya uygulanmalıdır.
- 2) Bütün kaynak işlemi süresince bu sıcaklığın aynı kalmasına özen gösterilmelidir.
- 3) Parçaya bir gerilme giderme tavlaması uygulanacaksa, olabildiğince kaynaktan hemen sonra, parça soğumadan uygulanmalıdır. Parça, tavlamadan sonra fırında 300 °C'ye kadar soğuduktan sonra çıkarılmalı ve sakın havada soğumaya terkedilmelidir.

Sıcaklık ve zaman karşısında davranışlarını gözönünde tutarak kaynak kabiliyeti bakımından çelikleri şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- 1) İyi bir kaynak kabiliyetine sahip olan çelikler; bilinen konvansiyonel kaynak yöntemleriyle hiçbir önlemi gerektirmeden kaynak edilebilirler ve ısının tesiri altında kalan bölgelerinde tane büyümesi dışında bir yapı değişikliği ve sertleşme meydana gelmez. Bu özellik genellikle karbon eşdeğeri % 0,45'ten küçük olan çeliklerde vardır.
- 2) Orta derecede kaynak kabiliyetine sahip olan gruba giren çeliklerde emniyetli bağlantılar elde edebilmek için kaynak yöntemi ve malzemesi özenle seçilmeli; uygun bir öntavlama yapılmalı ve gerekli hallerde kaynaktan sonra gerilme giderme tavlaması uygulanmalıdır. Bu gruba giren çeliklerin karbon eşdeğeri % 0,45 ile 0,60 arasındadır.
- 3) Kötü derecede kaynak kabiliyetine sahip çelikler: Bu gruba giren çelikler ancak özel koşullar altında kaynak edilirler. Bunlara ancak tamir ve doldurma işlemlerinde ve insan hayatında zarar vermeyecek durumlarda kaynak uygulanır. Bu çelikler, özel kaynak metali kullanarak ve yüksek bir öntavlama sıcaklığı ve kontrollü bir soğutma uygulanarak kaynak edilebilirler. Genellikle ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmeyeceği garanti edilemez. Bu son husus özellikle

karbon eşdeğeri % 1'den büyük olan yüksek alaşımli ve karbonlu çelikler için önemlidir.

Çeliklerin kaynağa yatkınlığına, diğer bir deyimle kaynak kabiliyetine etki eden önemli faktörlerden bir tanesi de çeliğin eldesindeki gaz giderme işlemidir.

DIN 17102'de, bu tür çelikler normal yapı çeliklerinden farklı olarak çekme mukavemeti yerine, akma mukavemeti değerleri ile simgelenmiştir. İnce taneli yapı çelikleri, geçiş sıcaklıkları oldukça düşük, tok, yüksek mukavemetli olmalarının yanısıra, düşük karbon içerikleri nedeni ile kaynağa da uygun malzemelerdir.

İslah edilmemiş ince taneli yapı çeliklerinin en önemli dezavantajı, bunlarda haddeleme esnasında kalınlık doğrultusunda bir anizotropinin ortaya çıkmasıdır. Bu çeliklerin kalınlık doğrultusundaki mekanik özellikleri oldukça kötüdür ve bu doğrultuda zorlandıklarında lameler yırtılma adı verilen, sanki parçada katmer varmış gibi ortaya çıkan teras kırılmaları ile karşılaşılır.

Bu olay kaynak açısından çok önemlidir, kaynaklı birleştirmelerde kaynak ağzları bu tür kırılmaya yer vermeyecek biçimde dizayn edilmelidir. Lamelar yırtılmaya karşı günümüzde, bir takım metalürjik önlemler de alınabilmektedir, yalnız bunlar çeliğin maliyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Çeliğe vakum veya elektro-curuf yöntemi ile yeniden eritme uygulamak kalınlık doğrultusunda sünekliğin artmasına neden olmakta ve bu da lameler yırtılma tehlikesini azaltmaktadır.

İnce taneli yapı çelikleri grubu içinde çok önemli bir yeri olan bu türde, iç yapıda az karbonlu martenzit oluşturan, çeliğin kaynak kabiliyetini önemli bir kayba uğramadan, akma ve çekme mukavemetleri yükseltilmiş ve tokluğu arttırılmıştır.

İnce taneli yapı çelikleri karbon ve alaşım elementi içeriğine getirilmiş olan sınırlamalardan ötürü oldukça iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptirler. Çeliklerin kaynak bölgelerinde 900 °C'nin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısınmış kısımların özelliklerini etkileyen en önemli etken, kaynaktan sonraki soğuma hızıdır. Klasik yapı çeliklerinde, soğuma hızının mümkün olduğu kadar yavaşlatılabilmesi için de öntav ve yüksek enerji girdisi ile kaynak yapılır. İnce taneli yapı çeliklerinde özellikle islah edilmiş türlerde öntav gayet dikkatli bir biçimde uygulanmalı ve

özgül enerji girdisi de belirli sınırlar arasında tutulmalıdır. İnce taneli yapı çeliklerinde soğuma hızının yavaşlaması esas metalde erime çizgisine bitişik bölgede ostenitizasyona uğramış kısımların ferrit ve yüksek karbonlu martenzit veya kaba beyrit bölgelerinden oluşmuş bir iç yapıya dönüşmesine neden olur ve bu da tokluğun azalması ve mukavemet özelliklerinin kötüleşmesi sonucunu doğurur. Bu bölgeye bitişik olan kısımda aşırı bir temperlemeye uğramış olduğundan, genel mekanik özelliklerde bir kötüleşme ortaya çıkar. Bu olay özellikle yüksek derecede öntav uygulanmış ve tek paso ile kaynak edilmiş bağlantıların ITAB'inde kendisini hissettirir. Çok pasolu kaynak halinde ise her paso, bir önceki pasonun kaynak bölgesine bir temper uyguladığından kaynak bölgesinde tek paso haline nazaran bir iyileşme görülür.

Genellikle uygun bir öntav, birçok nedenden ortaya çıkabilecek olan çatlak oluşumuna karşı etkin bir önlemdir. Özellikle kalın ve şiddetle zorlanan konstrüksiyonlarda bu konu çok önemlidir.

Öntav sıcaklığı, özgül enerji girdisi ve parça kalınlığı kaynak bölgesinin soğuma hızını etkileyen en önemli üç faktördür; bu bakımdan ince taneli yapı çeliklerinde kaynak bölgesinin özelliklerini kontrol altında tutabilmek için bu üç etkenin bir arada muteala edilmesi gereklidir.

Çeliklerin kaynak bölgesinin özelliklerine etkime bakımından 800 ile 500 °C arasındaki soğuma süresi ( $t_{8/5}$ ) çok önemlidir. Bu sürenin azalması sertliğin ve mukavemetin artmasına buna karşın çatlama eğiliminin yükselmesine neden olur.

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında ortam sıcaklığı 5 °C'nin altında olduğu hallerde parçalara muhakkak bir öntav uygulanıp uygulanmama konusunda parça kalınlığı ve malzemenin akma sınırı bir kriter olarak kullanılır.

İnce taneli yapı çeliklerine ark kaynağı yöntemleri, öntav sıcaklığı, özgül enerji girdisi ve 800 ile 500 °C arasındaki soğuma hızı ( $t_{8/5}$ ) sınırlarına dikkat etmek koşulu ile kolaylıkla uygulanabilir. Günümüz endüstrisinde bu tür malzemelerden yapılmış kalın kesitli parçaların kaynağında tozaltı, ince kesitli parçaların kaynağında ise gazlatı yöntemleri tercih edilmektedir.

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında, bazik karakterli örtülü elektrodlar da, günümüzde gittikçe azalan bir oranda da olsa, önemli bir uygulama alanına

sahiptir. Bu tür çeliklere uygun örtülü elektrodların özellikleri DIN 8529'da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu tür çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodların örtülerinin bazik karakterli ve dolayısı ile de higroskopik olmaları nedeni ile bunların kullanılmadan önce muhakkak tavlama ve kurutulmaları gerekmektedir. Zira örtüdeki nemin, kaynak esnasında ayrılarak hidrojeninin kaynak metaline geçmesi sonucu çatlaklar oluşmaktadır. Akma sınırı 355 N/mm<sup>2</sup>'den küçük olanlar 250 °C'de, daha büyük olanlar ise 350 °C'de asgari iki saat ile tavlama yapılarak kurulmalıdır.

Örtülü elektrodlar ile yapılan ark kaynağında ark gerilimi ve akım şiddeti çok dar bir aralık içinde değiştiğinden, özgül enerji girdisi ancak kaynak hızının değiştirilmesi ile kontrol altında tutulabilir.

Kaynaklı konstrüksiyonlarda ekonomikliğin ve süratin ön plana çıkması sonucu son yıllarda ince taneli yapı çeliklerinin birleştirilmesinde MAG kaynağı büyük bir önem kazanmıştır.

MAG kaynak yönteminde özgül enerji girdisi, tel çapı, tel sürme hızı, kaynak hızı ve ark gerilimi değiştirilerek kontrol altında tutulabilmektedir. Bu yöntemin otomasyona ve özellikle kaynak robotları tarafından kullanıma çok uygun olması uygulama alanının genişlemesine yardımcı olmaktadır.

Paslanmaz çeliklerin hemen hemen bütün türleri MIG yöntemi ile kolaylıkla kaynatılabilirler. 303, 416, 416Se, 430 ve 430Fse gibi yüksek miktarda kükürt ve selenyum içeren paslanmaz çelikler ile yüksek oranda karbon içeren 440 türü çeliğin kaynatılması oldukça zordur. Paslanmaz çelikleri diğer çeliklerden ayıran en önemli özellik krom içeriklerinin çok yüksek (% 12) olmasıdır. Çeliğin yüzeyini kaplayan refrakter ve tonas kromoksit tabakası çeliği korozyondan ve paslanmaktan korur. Ostenitik, ferritik ve martenzitik olarak üç ana grupta toplanan paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan metalurjik olaylar, çeliğin bileşimi ve soğuma hızı ile ilgili olduğundan, kaynak yönteminin türü bu konuda büyük bir etkide bulunmaz. Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, diğer çeliklere nazaran malzemenin ısı iletkenliğinin düşük, ısı genleşmesinin fazla ve erime sıcaklığının daha düşük olması nedeni ile yumuşak çeliklerden daha düşük akım şiddeti ile çalışılır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında çeşitli ark türleri de

kullanılabilmektedir, bilhassa son yıllarda distorsiyon ve çarpılmayı azalttığından darbeli akım yöntemi çok geniş çapta uygulanmaktadır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerde ısının tesiri altında kalan bölgede ani soğumanın etkilerini yoketmek çok zor olduğundan kaynak kabiliyetleri çok zayıftır ve metalurjik yapılarından ötürü gerek elektrik ark gerekse de gazlatı kaynak yöntemleri ile birleştirilmelerinde ciddi sorunlar ortaya çıkar. Bu tür paslanmaz çeliklerin çok gereksinme duyulmadıkça kaynak edilmelerinden kaçınılır.

Kromlu ferritik paslanmaz çelikler % 16-30 Cr ve % 0,05-0,25 C içerirler ve bu bileşimlerinden ötürü iç yapılarında ostenit oluşumu yok denebilecek kadar azdır ve soğuma esnasında ostenit-ferrit dönüşümü yoktur, dolayısı ile de su verme yolu ile sertleştirilemezler. Soğuma esnasında martenzit oluşumu tehlikesi bulunmadığından, kaynak kabiliyetleri martenzitik türe nazaran daha iyidir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında en büyük sorun, malzemenin 1150°C'nin üzerinde tane büyümesine karşı olan eğilimidir. Kaynak esnasında ısının tesiri altında kalan bölgenin bir kısmı bu sıcaklığa erişir ve buralarda tane büyümesi başlar. Kromlu ferritik çelikler normal olarak ince taneli sünek bir yapıya sahiptirler, iri taneli hale geçince yapı gevrekleşir, çentik darbe mukavemeti düşer, geçiş sıcaklığı yükselir ve bu iri taneleri de ısı işlemlerle tekrar ince hale getirmek mümkün değildir.

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı normal koşullarda doğru akımda elektrod (tel) pozitif kutuba bağlanarak gerçekleştirilir. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında spreyc ark kullanılması halinde Argon +%1 Oksijen karışımı koruyucu gaz ve kısa ark için ise Helyum + Argon + %2 Karbondioksit koruyucu gaz karışımı tavsiye edilir. Uygulamada en iyi koruyucu gaz, arka metal taşınımının biçimi kadar kaynak edilecek esas malzemeye de bağlıdır.

Krom-Nikelli Ostenitik paslanmaz çelikler bileşimlerinde %12-25 karbon ve %8-25 Nikel içerirler. Nikel kuvvetli bir ostenit yapıcı olduğundan, bu çeliklerde katılaşma esnasında ortaya çıkan ostenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklık derecelerinde dahi dönüşmeden kalır. Soğuma esnasında ostenit ferrit dönüşümü olmadığından bu tür paslanmaz çelikler de su verme yoluyla sertleştirilemezler. Antimagnetik olan bu tür paslanmaz çeliklere, ekseri hallerde korozyon

mukavemetini arttırmak gayesi ile bir miktar da Molibden katılır. Bu çeliklerin kaynak kabiliyeti açısından en önemli özellikleri şunlardır :

a. Isı iletme katsayıları oda sıcaklığında az alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerin 1/3'ü kadardır.

b. Isıl genleşme katsayıları sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin takriben 1.5 mislidir, yani %50 daha fazladır.

c. Alaşımsız karbonlu çelikler düşük bir elektrik iletme direncine sahiptirler, bu tür paslanmaz çeliklerde ise bu değer 5 ila 7 misli daha büyüktür.

Bu fiziksel olayların yansıra iki önemli metalürjik etken de krom nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağını zorlaştırır. Bunlardan birincisi delta ferrit fazının oluşumu, diğeri ise karbür çökmesi olayıdır.

Krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılıp hızla soğuduğundan ve elektrod olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de çok düşük olduğundan, kaynak metali için karbür çökme olayı tehlikesi yoktur. Buna karşın ısının tesiri altında kalan bölge kaynak süresi kadar 500-900°C sıcaklıkları arasında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğu için, karbon içeriğinin yüksek olması halinde, ostenit tane sınırlarında tanelerarası korozyonun başlamasına neden olacak ve karbür çökmesi olayı meydana gelecektir. Belli bir karbon içeriği için, karbür çökmesi olayının şiddeti sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çökme başlamadan evvel sıcaklıkla değişen bir kuluçka periyodu vardır, sıcaklık ve çeliğin karbon içeriği arttıkça bu süre kısalır. Her karbon içeriği için, karbür çökme olayının en kısa süre zarfında başladığı bir sıcaklık vardır ve buna kritik sıcaklık denir.

Karbür çökmesinin meydana gelebilmesi için karbonun belirli bir miktarın üzerinde olması lazımdır, yukarıda verilmiş tablodan da görüldüğü gibi karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzattığından bu tehlike ortadan kalkacaktır. Bu bakımdan kaynakla birleştirilmesi gereken krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerin karbon içeriği azami % 0,6 tercihen % 0,03 civarında olmalıdır.

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, yeterli asal gaz koruması altında ilave metalin arkta taşınımı esnasında alaşım elementlerinin

kaybı çok azdır ve titanyum gibi reaktif elementlere dahi arkla kaynak banyosuna iletilebilir. Bu bakımdan bu yöntemde ostenitik krom-nikelli ve titanyum ile stabilize edilmiş kaynak ilave metallerinin kullanılması mümkündür. Argon gazı koruması altında, % 95'in üzerinde bir geçiş verimi sağlanır. Doğru akımda, elektrod (tel) pozitif kutupta ve koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında arkta metal taşınımı spreylenmiş ark ile gerçekleştirilebilir, bu ise 26-33 V arasında bir ark geriliminde uygun bir akım yoğunluğu ile sağlanır. Bu değerlerin altında çalışmada arkta metal taşınımı, büyük damlalar halindedir ve bu da aşırı sıçramalara ve ark dengesizliğine neden olur; dengeli bir spreylenmiş ark için akım değeri 1,6 mm tel çapı için 300 A civarında seçilmelidir. Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı kısa ark ve darbeli ark kullanılarak da gerçekleştirilebilir. MIG kaynağının bu ark türleri düşük akımlarda ve 18-24 V arasındaki ark gerilimlerinde oluşur. Bu ark türleri çok ince (0,25 mm) paslanmaz çelik saçların kaynağında dahi kullanılabilir. Bu tekniklerde ısı girdisi spreylenmiş ark halinde daha düşük olduğundan çarpılmalar da minimum seviyede oluşur. Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında argon, argon-oksijen, argon+helyum ve argon+helyum+karbondioksit içeren koruyucu gazlar kullanılır. Argon-oksijen karışımları, kaynak banyosunda biraz oksidasyona neden olmalarına rağmen saf argondan daha iyi ıslanma kabiliyeti ve ark stabilitesi sağlarlar. Argon+ % 1 Oksijen, spreylenmiş ark için çok kullanılan bir karışım gazdır. % 2-3 karbondioksit ilaveli Argon+Helyum karışımları kısa devreli ark halinde çok sık kullanılır. Sadece karbondioksit gazı kullanılması, silisyum ve mangan kaybına neden olur. Özellikle az karbonlu paslanmaz çeliklerde karbon miktarının artması kaynak bağlantısının korozyon direncini azaltabilir, dolayısı ile karbondioksit, ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı için tavsiye edilmez. (19)

### 1.3.2. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağında, Kaynak Kabiliyeti

Bütün eritme kaynak yöntemlerinde özellikle, elektrik ark kaynağında soğuma hızı; sertleşme eğilimi fazla olan çeliklerde, gereken önlemler alınmadığı zaman, ısının tesiri altına kalan bölgede, martenzit adı verilen, çeliğin su verme işleminden sonraki sert halini belirten yapının oluşumunu sağlayacak şiddettedir. Kaynak metali için yani erime bölgesi için böyle bir tehlike yoktur; zira, elektrod

üreticileri tarafından, kaynak metalinin bileşimi, hızlı soğuma halinde dahi sertleşme oluşturmayacak şekilde ayarlanmıştır.

İnce taneli yapı çelikleri, karbon ve alaşım elementi içeriğine getirilmiş olan sınırlanmalardan ötürü oldukça iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptirler. Alışılmış yapı çeliklerinde soğuma hızının mümkün olduğu kadar yavaşlatılabilmesi için öntav ve yüksek karbonlu martenzit veya kaba beynit bölgelerinden oluşmuş bir iç yapıya dönüşmesine neden olur ki bu da tokluğun azalması ve mukavemet özelliklerinin kötüleşmesi sonucunu doğurur. Bu olay, özellikle yüksek derecede öntav uygulanmış ve tek paso ile kaynak edilmiş bağlantıların ITAB'inde kendini şiddetli bir biçimde hissettirir. Çok pasolu kaynak halinde ise, her paso bir önceki pasonun kaynak bölgesine bir temperleme uyguladığından tek paso haline göre kaynak bölgesinin özelliklerinde bir iyileşme görülür. Özellikle kalın ve şiddetle zorlanan konstrüksiyonlarda uygun bir öntav, birçok nedenlerden ortaya çıkabilecek olan çatlak oluşumuna karşı etkin bir önlemdir.

İnce taneli yapı çeliklerinde ark kaynağı yöntemleri, öntav sıcaklığı, özgül enerji girdisi ve 300-500 °C arasındaki soğuma hızı sınırlarına dikkat etmek koşuluyla kolaylıkla uygulanabilir.

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında, bazik karakterli örtülü elektrodlar da, günümüzde gittikçe azalan bir oranda da olsa, önemli bir uygulama alanına sahiptir. Bu tür çeliklere uygun örtülü elektrodların özellikleri DIN 8529'da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu tür çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodların örtülerinin bazik karakterli ve dolayısı ile de higroskopik olmaları nedeni ile bunların kullanılmadan önce muhakkak tavlama kurutulmaları gerekmektedir. Zira örtüdeki nemin, kaynak esnasında ayrılarak hidrojenin kaynak metaline geçmesi sonucu çatlaklar oluşmaktadır. Akma sınırı 355 N/mm<sup>2</sup>'den küçük olanlar 250 °C'de, daha büyük olanlar ise 350 °C'de en az iki saat süre ile tavlama kurutulmalıdır.

Basınçlı kapların üretiminde uygulanan tek birleştirme yöntemi olan kaynağa çeliğin yatkınlığı konusu da çok önemlidir. Kazan saçlarının kaynak kabiliyeti iyi olmalı, büyük bir zorlukla karşılaşmadan emniyetli bir biçimde kaynak ile birleştirilebilmelidir.

Kazan çeliklerinin kaynağında çeliğin bileşimi kadar iç yapı ve ısı işlem durumu da çok önemlidir; bu bakımdan kazan çelikleri kaynak kabiliyeti açısından sınıflandırılırken ısı işlem durumları da gözönüne alınmıştır.

Normalize durumdaki kazan çeliklerinin kaynak esnasındaki davranışları normal az alaşımli yapı çeliklerinininkinden farksızdır ve bilinen tüm konvansiyonel kaynak yöntemleri ile fazla bir önlem almadan kaynak edilebilirler. Bu çeliklerin kaynağında ısının tesiri altına kalan bölgede genelde hissedilebilir bir sertleşme sorunu ile karşılaşılmaz; yalnız HIII, HIV ile az alaşımli kazan çeliklerinin kaynak ile birleştirilmesinde parça kalınlığı arttıkça soğuma şiddetlendiğinden ITAB'de az da olsa bir sertleşme eğilimi görülür, bu bakımdan özellikle özgül ısı girdisinin çok yüksek olmadığı hallerde 150 °C'lik bir ön tav uygulaması önerilir. Bu tür çeliklerin birleştirilmesinde örtülü elektrod ark kaynağı ile MAG ve tozaltı gibi yarı otomatik yöntemler geniş bir uygulama alanına sahiptir. Örtülü elektrod kullanılması halinde, kalın kesitlerde TS 563'e uygun bazik örtülü elektrodlar tercih edilmelidir. Özellikle 15 mm'den daha kalın kesitli saçların kullanıldığı basınçlı kaplar halinde bir gerilme giderme tavi uygulanması önemle önerilen bir konudur; tav sıcaklığı olarak 17Mn4 ile 19Mn5 halinde 550-620 °C, diğerleri için ise 600-650 °C seçilmesi uygundur.

Sertleştirilmiş temperlenmiş (ıslah edilmiş) kazan çelik bileşimi ve iç yapısı gereği önlem alınmadan yapılan kaynak bağlantılarının gerek kaynak metalinde ve gerekse de ısının tesiri altında kalan bölgelerinde çatlaklara rastlanılır. Karbon içeriğinin düşük olmasına rağmen bu çeliğin kaynağında, kalınlığa bağlı olarak 100 ile 300 °C arasında bir öntav uygulamak ve ayrıca kaynak esnasında da pasolar arası sıcaklığın bu öntav sıcaklığının altına düşmemesine ve 450°C'yi aşmamasına dikkat etmek gereklidir. Endüstride bu çeliklerin kaynağında örtülü elektrod, MIG-MAG ve tozaltı kaynak yöntemleri yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı uygulanması halinde muhakkak iyi kurutulmuş bazik elektrodlar kullanılmalıdır. Kaynak esnasında düşük özgül enerji girdisi uygulayarak (yüksek kaynak hızı ve düşük akım şiddeti) mümkün olan en düşük öntav sıcaklığında işlem gerçekleştirilmeli ve kaynak dikisinde yanma oluşu, krater gibi gerilme yığılmasına neden olabilecek kaynak hatalarından kaçınılmalıdır. Bu tür

çelikten üretilmiş olan kaynaklı yapılara işlem sonrası 650-720 °C arasında bir gerilme giderme tavlı uygulanmalıdır.

Paslanmaz çeliklerin kullanıldığı konstrüksiyonlarda, bu çeliklerin birleştirilmesinde örtülü elektrodla ark kaynağı, gazaltı kaynak yöntemleri (MIG, TIG, plazma), tozaltı kaynağının yanısıra elektron ışın ve laser ışın kaynağı gibi modern kaynak yöntemleri de uygulama alanı bulmaktadır. Farklı türlerdeki paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri de birbirinden farklıdır ve bu olay da kaynak işlemlerinde önemli rol oynamaktadır. Kromlu paslanmaz çeliklerin ısı iletme katsayıları, alaşımsız çeliklerin yarısı kadardır. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerinki ise, alaşımsız çeliklerinkinin üçte biri kadardır. Bu durum kaynak bölgesinde ısının uzun süre kalacağını gösterir ki, bu durum da bazı problemlerin ortaya çıkmasına neden olur. Kromlu paslanmaz çelikler genellikle alaşımsız çelikler ile aynı ısıl genişleme katsayısına sahiptirler. Ostenitik krom-nikelli çeliklerde ise bu değer karbonlu ve az alaşımlı çeliklerden % 50 daha fazladır.

Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler tavllanmış, yarı sertleştirilmiş gerilme azaltma tavlamasına tabi tutulmuş veya temperlenmiş durumlarda kaynak edilebilirler. Isıl işlem durumu ITAB'nin sertliğine ve dolayısı ile kaynak kabiliyetine minimum ölçüde etkilidir. Bu tür çeliklere gereksinimlere bağlı olarak, 650 °C'de gerilmeleri azaltma, 925 °C'de yumuşatma tavlaması uygulanabilir. Martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca etkili element karbondur. Karbon miktarı, ITAB'nin sertliği üzerinde etkilidir ve bu bir dereceye kadar kaynak yöntemi ile kontrol edilebilir. ITAB'nin sertliği artarsa soğuk çatlama hassasiyet artar ve tokluk azalır. Bu bakımdan, az karbonlu martenzitik paslanmaz çelikler, bir takım önlemler alınarak kaynak edilebilir, yüksek karbon içerenler ise olabildiğince kaynak edilmemelidirler.

Martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynak dikişinin mukavemetinin çok önemli olmadığı ve parçanın da kükürlü bir ortamda çalışmadığı durumlarda ostenitik paslanmaz, krom-nikelli, örtülü elektrodlar kullanılır. Ostenitik kaynak metalinin akma sınırının düşük olması, kaynaktan sonra oluşacak kendini çekme gerilmelerinin ortaya çıkaracağı çatlama tehlikesini

ortadan kaldırır. Parçanın kükürtlü bir ortamda çalışacağı durumlarda ferritik, sade kromlu, örtülü elektrodlar ile kaynak yapılabilir.

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetleri de martenzitik paslanmaz çeliklere nazaran çok daha iyidir. Bu tür paslanmaz çelikler ark kaynağı, gazaltı kaynak yöntemleri, tozaltı kaynağı, elektrik direnç kaynağı yöntemlerinin yanısıra modern kaynak yöntemleri ile de rahatlıkla kaynak edilebilmektedirler. Kaynakta ortaya çıkan problemler, önceden bilindiğinde, üretim aşamasında kazandırılan özellikler sayesinde ve kaynak öncesi ile sonrasında alınacak önlemler ile ortadan kaldırılabilir. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında yapılacak bir ön tavlama, martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağından farklı metalurjik etkilere sahiptir. Bu tür çeliklerin kaynaklı bağlantıları yavaş soğutulduğu zaman tane irileşmesi ve tokluk azalması gösterirler. Bazı ferritik paslanmaz çelikler de tane sınırlarında martenzit oluşumuna eğilimlidirler. Bu çeliklere uygulanan ön tavlama ITAB'de çatlama tehlikesini ortadan kaldırır ve kaynaktan doğan gerilmeleri sınırlar. Ön tavlama sıcaklığı, bileşime, arzu edilen mekanik özelliklere, kalınlığa ve artık gerilmelere bağlı olarak saptanır. Öntav sıcaklığı normalde 150-250 °C arasında uygulanır ve pasolar arası sıcaklıklar da öntav sıcaklığının biraz üzerinde tutulabilir.

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri martenzitik kromlu ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Bu bakımdan, paslanmaz çelikler içinde çok yaygın olarak kullanılan bu türün çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilmesi de büyük önem taşımaktadır. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerini etkileyen fiziksel özelliklerinin yanında bir dizi metalurjik etken de bu tür çeliklerin kaynağında önemli rol oynar; bunlar delta ferrit fazının oluşumu, tanelerarası korozyona hassasiyet, gerilmeli korozyona hassasiyet ve sigma fazının oluşmasıdır.

Az alaşımli ve ince taneli düşük sıcaklık çeliklerinin kaynağında özgül ısı girdisini kontrol altında tutarak ITAB'nin mümkün olduğu kadar dar oluşması sağlanmalıdır. Bu çelikler kaynak dikişinde hidrojen içeriğini en azda tutabilmek için kurutulmuş bazik örtülü, DIN 1913 ve TS 563'e göre 9, 10 ve 12 nolu örtü

türüne sahip ve kaynak metali bileşiminde de % 0,06-0,08 Cr, % 1-1,4 Mn ve % 0,4-0,6 Mo içeren elektrodlarla kaynak edilebilirler.

Düşük sıcaklıklarda kullanılan çeliklerin kaynağında en yaygın yöntem örtülü elektrod ile ark kaynağıdır. Son yıllarda ısı girdisini kontrol altında tutan darbeli akım MIG yönteminin geliştirilmesi bu yöntemin, özellikle özlü elektrodlar ile uygulama alanını genişletmiştir. Tozaltı kaynak yöntemi ise bu tür çeliklerde çok seyrek ve özel durumlarda uygulanmaktadır.

Yüksek manganlı ostenitik sert çeliğin de ısı ve elektriksel özellikleri diğer ostenitik çeliklere yakındır. Kaynak esnasında bu çeliğin ısı genleşmesi az alaşımli çeliklerin takriben 1,5 katıdır. Karbürlerin ayrışması ve perlit dönüşümü 400-800 °C arasındaki özellikleri etkiler. Bu çeliğin ısı iletkenliği oda sıcaklığında az alaşımli çeliklerin % 25'i kadardır bu da kaynak esnasında dikişte ısı birikimi oluşmasına neden olur. Manganlı ostenitik sert çelikler, ostenitik yapılarından ötürü ısı iletkenliklerinin çok az, ısı genleşmelerinin çok yüksek olmasına rağmen bazı önlemler ile kolaylıkla kaynak edilebilirler. Önceden de açıklanmış olduğu gibi bu tür çelikler uzunca bir süre 400-800 °C arasında tutulduklarında karbür oluşması nedeni ile gevrekleşir ve çatlama eğilimleri artar; bu bakımdan çelikler yalnız eriyen elektrod ile elektrik ark kaynağı yöntemleri ile, mümkün olduğu kadar az ısı girdisi uygulanarak kaynatılırlar; TIG ve oksitli asetilen kaynağı parçada fazla ısınma oluşturduklarından burada önerilmez.

Takım çeliklerinin kaynağında örtülü elektrod, özlü elektrod, MIG ve plazma kaynak yöntemleri geniş bir uygulama alanına sahiptir. TIG kaynağı çok önce parçaların veya küçük yüzey hatalarının düzeltilmesinde tozaltı kaynağı ve özlü elektrod yöntemleri ile büyük dövme kalıplarının ve hadde merdanelerinin doldurulmasında uygulanmaktadır. Öntav sıcaklığının düzgün ve kontrol altında tutulabilmesi için, ideal olarak bu işlemin fırında yapılması gereklidir; bu özellikle sertleştirilmiş haldeki takım çelikleri için önemlidir. (4)

## 2. ISIL İŞLEMİN TANIMI VE ÖNEMİ

Bir parçaya belirli özellikler kazandırmak üzere, katı halde çeşitli usullerle çeşitli sıcaklıklar tatbik edilirse, genel olarak buna ısıtma işlemi diyebiliriz. Çeliklere uygulanan ısıtma işlemlerinde, kimyasal bileşimin önemi büyüktür. Çeşitli ısıtma işlemlerindeki esas gaye, malzemenin iç yapı değişikliği üzerinden giderek, ona belirli bir işleme ve kullanılma özelliği kazandırmaktır. Tatbik edilen sıcaklık çevrimi ile iç yapı değişikliğine göre ısıtma işlemleri üç ana gruba ayrılabilir :

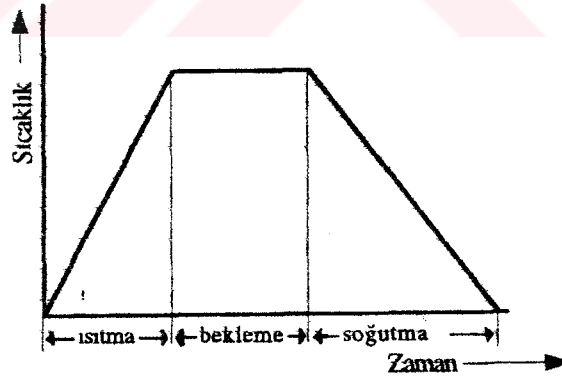
- a- Tavlama
- b- Sertleştirme
- c- Temperleme (Sertleştirme ve Tavlama)

Üç ana ısıtma grubundan tavlama işlemleri oldukça büyüktür.

Her ısıtma işleminde üç kademe vardır. Bu kademeleri de şöyle sıralayabiliriz.

- a- Isınma kademesi
- b- Bekleme kademesi
- c- Soğuma kademesi (1)

Parçaların belirli bir sıcaklığa ısıtılması "ısıtma", bu sıcaklıkta uygun süre tutma "bekleme" ve belirli bir programa uygun olarak sıcaklığın oda sıcaklığına düşürülmesi "soğutma" ile üç kademede özellik değişimleri sağlanır. Derin soğutmalı ısıtma işlemi türü dışında, her tür ısıtma işlemi için geçerli olan bu proses Şekil.21'de dir. (18).



Şekil 2-1 Isıtma işleminde, genel olarak işlem prosesi.(18)

### 2.1. Isıl İşlem Yöntemleri ve Değiştirebildikleri Özellikler

Metal malzemelerde ısıl işlemle özellik değişimleri sağlanırken, malzemenin kimyasal bileşiminde değişiklik yapılmadan, kristal yada kafes yapısında düzenlemeler yapılabilir. Termik yöntem yada ısıl yöntem adı verilen bu tür ısıl işleme örnek olarak, difüzyon tavlaması (homojenleştirme tavlaması), kaba tane tavlaması, gerilim giderme tavlaması, yumuşak tavlama, normal tavlama gibi çeliklerdeki tavlama işlemleri ile sertleştirme ve meneviş işlemleri söylenebilir. Malzemenin tümünde ya da yalnızca cidarına (yüzeyinde) kimyasal bileşimde değişme yapılarak, özellik değiştirme de olanaklıdır. Kimyasal-termik yöntem ya da kimyasal-ısıl yöntem adı verilen bu tür işlemlere örnek olarak sementasyon, nitrasyon, karbonitrasyon, sülfonitrasyon, sülfokarbonitrasyon, silisyumlama, borlama, metal ya da metal olmayan element ya da bileşiklerinin difüzyonu gösterilebilir. Ayrıca, teknolojik ve termik işlemler birbiri peşi sıra uygulanarak mekanik-termik yöntem (termomekanik yöntem) yada mekanik-ısıl yöntem ile örneğin rekristalizasyon tavlaması, toparlanma tavlaması, patentleme tavlaması ve bazı özel sertleştirme işlemleriyle özellikle iyileştirilmesi yapılabilir. Ana hatları ile belirtilen yöntemler, çoğu zaman birbiri peşi sıra uygulanabilmektedir. Tablo.6'da, ısıl işlem yöntemlerinin sınıflandırılmaları verilmiştir.



Isıl işlem yöntemi ayrımı yapmaksızın genel olarak, metal ve alaşımlarında ısıl işlemle değiştirilebilen özellikler, şu şekilde özetlenebilir:

- Herhangi bir yöntemle sertleştirilmiş yapı yumuşatılabilir. Malzemede talaşlı ve talaşsız işlenebilirlik artırılır.
- Malzemenin iç yapısında, daha homojen ve ince yapıli taneler elde edilebilir.
- Ötektik ya da ötektoid yapıdaki intermetalik bağlantılar, lamel halden küresel forma dönüştürülebilir.
- Tane sınırlarında bulunan lamel ya da plaka formundaki intermetalik bağlantılar parçalanır ve küresel forma dönüştürülebilir.
- Döküm ya da haddeleme sonrası yapıda kalabilen alaşım elementlerinin homojen olmayan dağılımı (makro ve mikro düzeyde bileşim farklılıkları), ısıl işlemle büyük ölçüde giderilebilir. Ayrıca, daha önceden ayrılmış özellikleri bozan partiküler tavlama ile parçalanarak, yapıda homojen faz elde edilebilir.
- Dökümden sonraki katılaşmadan, tane sınırları arasındaki empürite (artılamayan elemanlar) bağlantılarından belirli bir sıcaklıkta çözülebilenleri, tane içerisinde homojen olarak dağıtılabılır. Çözülmeyen empüriteler ise parçalanarak, malzemedeki kötü etkileri azaltılabilir, ayrıca homojen dağılımları sağlanabilir.
- Soğuk şekillendirme ile şekillendirme doğrultusunda uzamış kristaller, daha küçük ve küresel forma dönüştürülebilir. Malzeme yumuşatılır ve tekrar soğuk şekillenebilirlik özelliği kazandırılır.
- Talaşlı şekillendirilebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla, tane kabalaşması sağlanabilir.
- Düşük karbonlu çeliklerde, ostenitik alandan uygun soğutma yapılarak, ferrite nazaran perlit oranı artırılarak, yani perlitleştirme yaptırılarak talaşlı şekillenebilirlik iyileştirilebilir.
- Soğuk şekillendirme, kaynak işlemi, döküm ya da sıcak şekillendirme sonucu yapılan soğutma esnasında ya da daha önce uygulanmış bir diğeri ısıl işlem sonucu oluşmuş iç gerilmeler (artık gerilmeler) ısıl işlemle azaltılarak, malzemenin işlenmesinde ya da kullanımında sorun yaratmayacak seviyeye indirilebilir.

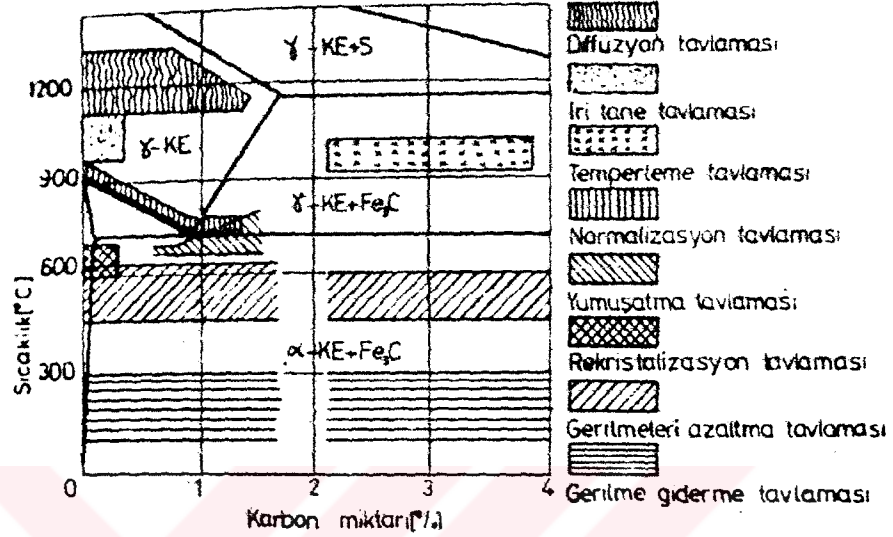
- Çeliklerde ostenit stabilleştirilmesi yapılmak suretiyle, kalite yükselmesi sağlanır, soğuga ve korozyona dayanım artırılabilir.
- Emaye, laklama ve benzer yüzey kaplama işlemleri için malzeme yüzeyini hazırlamak amacıyla, parlak yüzey sağlanabilir.
- Yüzeye yabancı atom difüzyonu ile ya da dayanıklı bir oksit tabakası oluşturarak, atmosfere ve diğer korozif ortamlara karşı korozyon direnci artırılabilir.
- Katı halde dönüşüm meydana getirebilen alaşımlarda, yavaş soğumada meydana gelebilecek yapıların hızlı soğutma yapılarak engellenmesi ve tamamen farklı yeni yapıların oluşturulmasıyla (örneğin, çeliklerde martensitik ya da bainitik yapı teşekkülü), yüzeyde ya da tüm malzeme kesitinde önemli ölçüde sertlik artması sağlanabilir.
- Aşırı doymuş katı çözeltiler teşekkül ettirilir ve ardından sertliği yüksek partiküller çöktürülerek (yaşlandırma, dinlendirme, ayrıştırma), çökeltme sertleşmesi yapılabilir.
- Difüzyon yoluyla, malzeme yüzeyine yeni atomlar nüfuz ettirilerek, çeliklerin yüzeylerinde nitrür bağlantıları gibi sert yüzey sağlanabilir ya da normal koşullarda yeterli sertleşmeyi yapmayan çeliklerde difüzyonla karbon nüfuz ettirmek suretiyle, yüzeyde yüksek sertlik değerlerine ulaşılması sağlanabilir.
- Döküm malzemelerde yapı yeniden düzenlenebilir. Örneğin, metastabil sistemde ilk katılaşmasını yapmış döküm parçalar, siyah ya da beyaz temper döküm haline gelecek tarzda işlem uygulanarak, mekanik ve teknolojik özellikleri çok iyi duruma getirilebilir. (18)

## 2.2. Çelikte Tavlama Yöntemleri

Genel olarak kritik sıcaklık civarına kadar ısıtılıp, belli bir müddet bu sıcaklıkta tutmaya müteakip yavaş yavaş soğutma işlemidir (13)

Demir-Karbon diyagramı esas alınarak teknik ısıtma yöntemleri , dönüşümün etkili olmadığı ısıtma işlemleri ve dönüşüme bağımlı ısıtma işlemleri olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Birinci grupta, demir olmayan diğer tüm metallerde uygulanabilen bileşim farklılıklarının dengelenmesi için difüzyon tavlama, talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek için kaba tane tavlama, soğuk şekillendirmeye

İzelenmiş dayanım ve sertliğin giderilmesi için rekristalizasyon tavlaması, iç gerilmelerin azaltılması için gerilim giderme tavlaması ve dayanım yükseltilmesi için çöktürme sertleştirme işlemleri sayılabilir. Perlit içeren çeliklerdeki yumuşak tavlama da bu gruba aittir. Yalnız çelikler için söz konusu olan ve daha fazla öneme sahip ikinci grupta ise, normal tavlama, sertleştirme, islah ve ara kademeli islah işlemleri söylenebilir. (18)

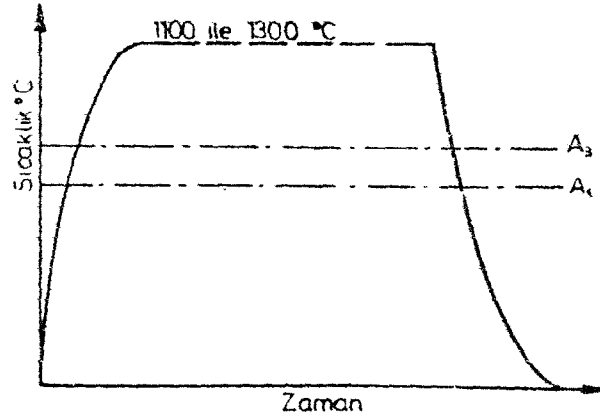


Şekil 2-2 Değişik Isıl İşlemler için Sıcaklık Sahaları (1)

### 2.2.1. Difüzyon Tavlaması (Homojenleştirme Tavlaması)

Metal Malzemelerin dökümden sonraki primer yapısı, genel olarak dentrik haldedir ve büyük ölçüde bileşim farklılıkları nedeniyle yapıda homojensizlik vardır. Difüzyon olaylarının etkin olduğu homojenleştirme işlemi ile yapı homojen hale getirilerek, bünyedeki elemanların, özellikle empüritelerin bölgesel bileşim farklılıkları dengeye getirilmesi ve dentrit yapının yok edilmesi amaçlanır. (18)

Difüzyon tavlamasına tabi tutulacak parça, üst dönüşme noktası olan  $AC_3$  sıcaklığının üzerindeki sıcaklıkta uzun süre tutulur ve sonra nispeten yavaş soğutulur. Difüzyon sıcaklığına eriştikten sonra burada bekleme süresi, malzemede mevcut bölgesel yapı ve bileşimdeki farkları engelleyici şekilde ayarlanır.



**Şekil 2-3 Difüzyon Tavlaması (1)**

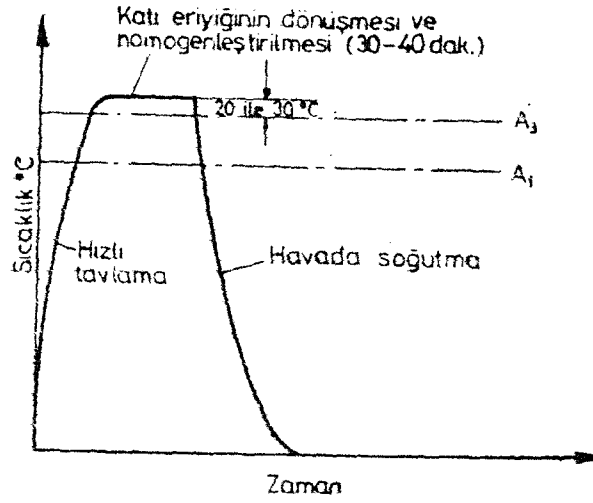
Difüzyon tavlamasına örnek olarak, yüksek alaşımlı çelik döküm için önemlidir, sıcak şekillendirilecek kütüklerde de yapının homojen hale getirilmesinde, yüksek karbonlu çeliklerde istenmeyen karbür ayrışmasını ve otomat çeliklerindeki kükürt dağılımını uygun hale getirmek ile sementasyon çeliklerinde yüzeye karbon vermek üzere yapılan tavlamaları verebiliriz.

30 ile 40 saat gibi yüksek sıcaklıkta yapılan uzun süreli difüzyon tavlamaları sonunda çok büyük östenit taneleri meydana gelir. Bu taneleri ufaklaştırmak üzere, sonradan uygun bir tavlama yapmak genel bir kaidedir. (1)

### 2.2.2. Normal Tavlama

Normalizasyon olarak da adlandırılan normal tavlama, daha çok çeliklerin tane yapısının inceltilmesi için uygulanır. Tane küçültmenin yanında, yapı daha homojen hale gelir, Perlitik yapı daha ince lamellerden oluşur ve mekanik özelliklerde iyileşme meydana gelir. Normal tavlama sonunda karbürlerin daha ince lameller haline gelmesi ya da ötektoit üstü çeliklerde tane sınırı karbürlerin küreselleşmesinden dolayı, çeliğin sertleştirme amacıyla ısıtılmasından daha çabuk östenitik yapıya ulaşılır. (18)

Normalizasyona tabi tutulacak malzeme,  $AC_3$  dönüşme sıcaklığının takriben 20 ile 50°C üzerindeki bir sıcaklıkta uygun bir süre bekletildikten sonra sakin havada soğumaya bırakılır. Bu ısıtma işlemde tavlama önce  $\alpha$ - $\gamma$  soğumada da sonra  $\gamma$ - $\alpha$  dönüşmeleri meydana gelir. (1)

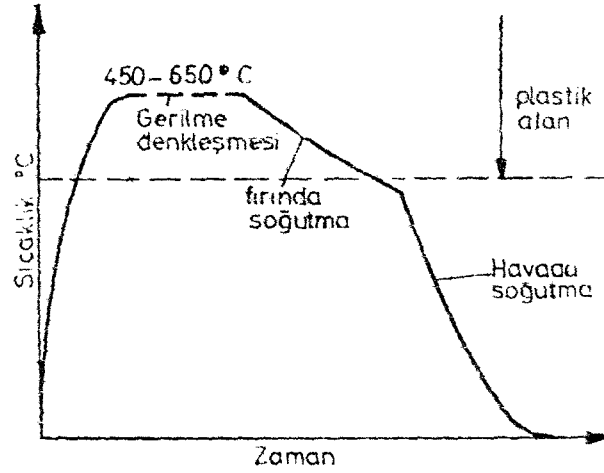


Şekil 2-4 Normalizasyon Tavlaması (1)

### 2.2.3. Gerilim Giderme Tavlaması

Parçalar, döküm (kaynak işlemi döküme benzer bir işlemdir) ya da sıcak şekillendirme sonrası soğumada dengesiz sıcaklık akımı nedeniyle ya da işletmedeki mekanik zorlamalardan dolayı, genellikle iç gerilme içerirler. Eğer bu iç gerilmeler, malzemenin elastiklik ve akma sınırlarını aşarsa, plastik şekil değiştirme meydana getirirler ve gerçek akma sınırını yükseltirler. Ayrıca bu iç gerilmeler daha da yüksek olur ve kopma gerilmesine ulaşılır ya da aşarsa, plastik deformasyonla birlikte kırılma meydana gelir. Parçalardaki iç gerilmeler genellikle akma sınırının önemli ölçüde altında olduğundan, ilave bir yükleme yapılmadığında malzemenin deformasyonu için etkin değildirler. Ancak, mekanik bir işleme yapılırsa, örneğin talaşlı şekillendirme sonucunda kesit küçüleceğinden etkin duruma getirebilirler. (18)

Gerilmelerin zararsız hale getirilmesi, tavlama sırasında bahis konusu parça, alt dönüşme noktası olan  $AC_1$ 'in altında ve ekseriyetle 450 ile 650°C arasında olmak üzere tavlama yapılır. Sonrada iç gerilmeler eşit oluncaya kadar fırında soğutulur. Fırındaki soğutma havada olur. (1)

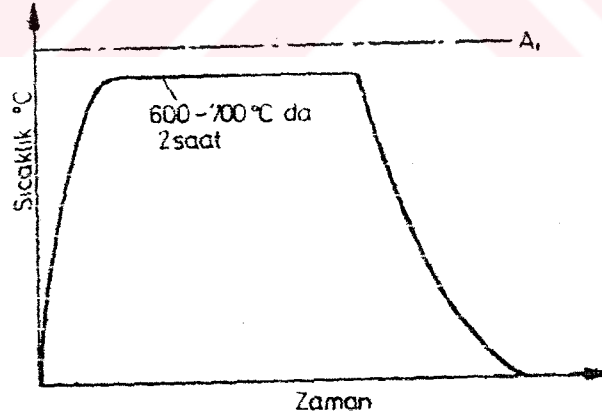


Şekil 2-5 Gerilmelerin Zararsız Hale Getirilmesi Tavlaması (1)

#### 2.2.4. Rekristalizasyon Tavlaması

Rekristalizasyon Tavlaması'nda amaç soğuk şekillendirme ile oluşmuş yönlü yapıyı (anizotropik), Ferrit-Östenit dönüşmesi olmaksızın yeniden ve yöne bağımlı olmadan (izotropik) teşekkül etmektir. (18)

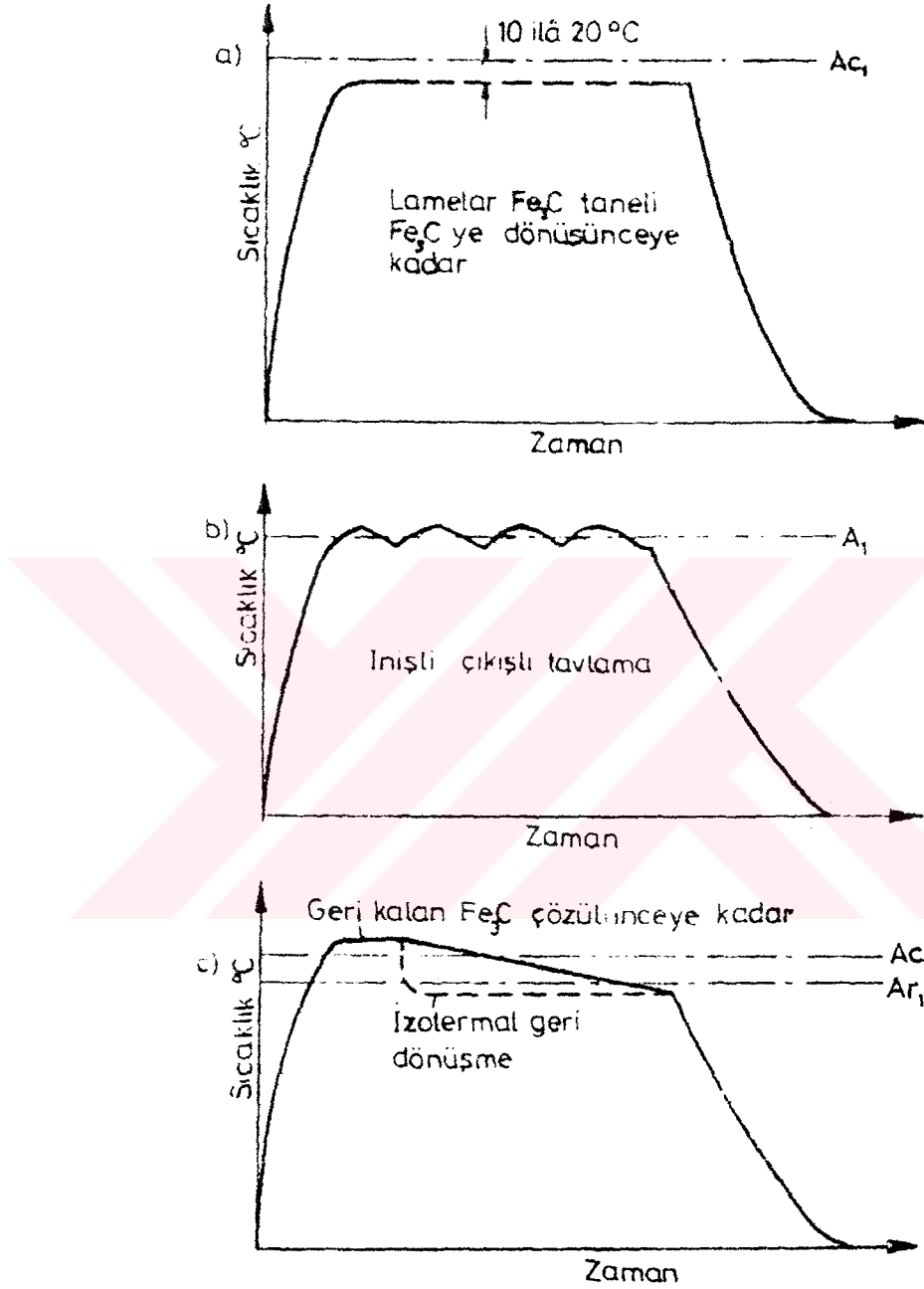
Rekristalizasyon Tavlaması'nda parça takriben 600 ile 700°C arasında (Rekristalizasyon entervali) 2 saatlik bir süre kadar ısıtılır ve sonra yavaş soğutulur. Burada sıcaklık  $AC_1$ 'in üzerine çıkmadığı gibi, tavlama süresi de genellikle, yeniden billurlaşma işleminin sona ermesine kadar devam eder. (1)



Şekil 2-6 Rekristalizasyon Tavlaması (1)

### 2.2.5. Yumuşak Tavlama

Yumuşak Tavlama ile çelik mümkün olduğu kadar yumuşak hale getirilir ve genellikle şekil alma kabiliyeti iyileştirilir. Genel olarak parçanın,  $AC_1$  alt dönüşme sıcaklığının altında bazen  $AC_1$  sıcaklığının etrafında zikzak yaparak,



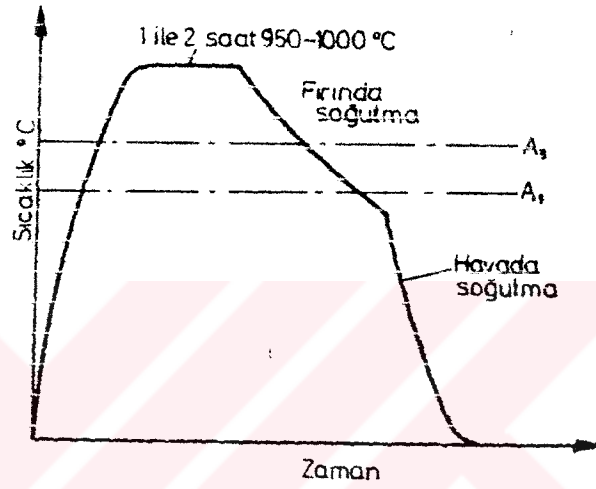
Şekil 2-7 Yumuşatma Tavlaması (1)

bazen de artık sementitin çözülmesi için  $AC_1$  sıcaklığının üzerine çıkarak ısıtılıp, sonra da yavaş soğutulması ile yapılır. Yumuşatma tavlamasında genellikle, lamelli

sementit, taneli sementite dönüşür. Onun için tavlama süresi oldukça uzun olup bu sürenin de tavlama boyunca tam olarak muhafazasına dikkat edilmelidir. (1)

### 2.2.6. Kaba Tane Tavlaması

Kaba Tane Tavlaması'nda çelik, önce  $AC_3$  dönüşme noktasının üzerindeki (duruma göre 1-2 saat,  $950-1100^\circ C$  arasında) bir sıcaklığa çıkararak burada belirli bir süre bekletildikten sonra çok yavaş olarak fırında  $AR_1$  alt dönüşme sıcaklığına kadar soğutulur. Daha sonra da havada yavaş bir şekilde soğumaya bırakılır. Parça soğumayı müteakip kaba taneli bir yapıya sahiptir. Bu ısıl işlem ile daha ziyade iyi bir talaş kaldırarak parçayı işleme imkanı elde edilir. (1)



Şekil 2-8 Kaba Tane Tavlaması (1)

### 2.2.7. Perlitleştirme Tavlaması

$A_1$  sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta östenitik halde bulunan bir çeliğin  $A_1$  sıcaklığının altında perlit kademesinde sabit sıcaklıkta soğutulmasına perlitleştirme adı verilir. Dönüşümün büyük bir kısmının perlit kademesinde gerçekleştirilme olanağından dolayı perlit kademesinde değişmeyen sabit sıcaklıkta izotermik dönüşüm yaptırılır. Çoğu zaman, ferrit dönüşmesine de etki edebildiğinden ısıtma sıcaklığı  $A_3$  sıcaklığının üzerinde seçilir. Östenitleştirme sıcaklığının, normal tavlama sıcaklığına eşit olması uygundur. En kısa bekleme süresine, perlit dönüşüm hızının maksimum olduğu sıcaklıkta ulaşılır. Perlitleştirme tavlaması, normal tavlama sıcaklığından ya da sıcak şekillendirme sıcaklığından,

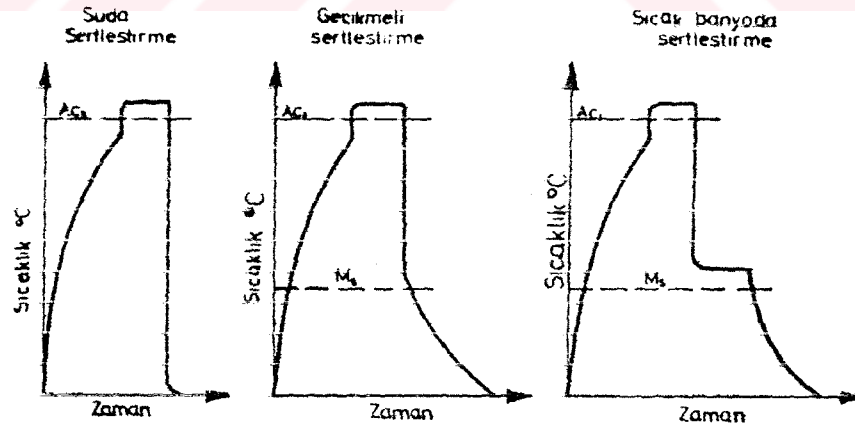
sıcak banyoya hızlı soğutmakla yapılabilir. Bu durumda, kalın parçalarda bile cidar ve çekirdek arasında dengeli bir yapı ve pek az gerilme sağlanır. Böylece, belirli bir dayanıma ve işlenebilirliğe ulaşılır. Ayrıca, daha sonra yapılacak ısı işlemlerde, bainit ve martenzitin yanında, artık östenit bulunması da azaltılabilir. Bundan başka, östenit-ferrit dönüşmesinin hızlı olması nedeniyle lamel yapının teşekkülü önlenebilir, en azından azaltılabilir. (18)

### 2.2.8. Patentleme Tavlaması

Patentleme Tavlaması, perlitleşirmenin özel bir durumu olarak tanımlanabilir. Bant ve tel olarak imal edilen çeliklerde, önce ince lamelli perlitik yapı oluşturulur ve daha sonra, soğuk şekillendirme yapılır. Genellikle alaşımsız çeliklerde  $AC_3$  sıcaklığının üzerindeki östenitleşme sıcaklığı  $920^\circ C$ 'den,  $450$  ila  $520^\circ C$  sıcaklıkları arasındaki alt perlit kademesine hızlı soğutma yapılır ve bu sıcaklıklarda izotermik dönüşüm süresince bekletilir. Patentleme işleminde soğutma, alaşımsız çeliklerde kurşun ya da tuz banyolarında, alaşımlılarda havada yapılır. (18)

### 2.3. Sertleştirme

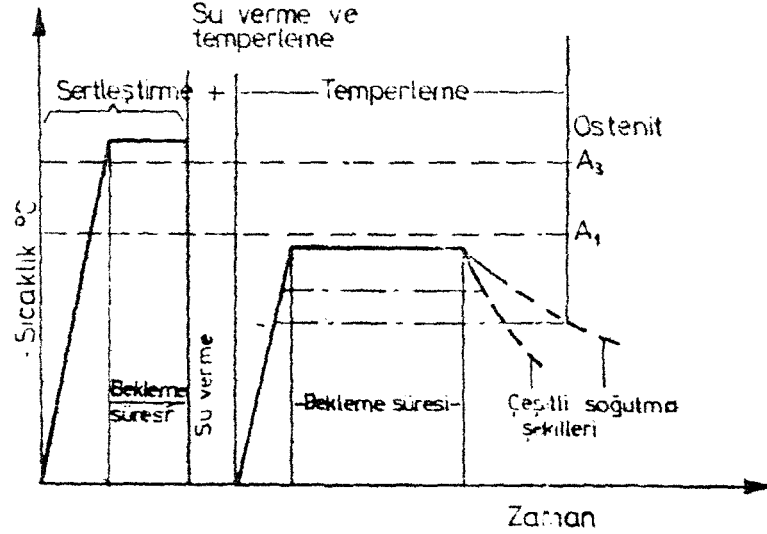
Sertleştirme deyiminden genel olarak, çeliği  $A_3$  (ötektoit altı çeliklerde) dönüşme sıcaklığının üzerine (ötektoit üstü çeliklerde ise  $A_1$  dönüşme sıcaklığının üzerinde) kadar yapıp, belirli bir süre bekletildikten sonra, aniden soğutma ısı işlemi hatıra gelir. Bu soğutma sonunda, iyi bir sertleşmeden sonra martenzitik bir yapı hasil olur. (1)



Şekil 2-9 Çeşitli Sertleştirme Şekilleri (1)

## 2.4. Temperleme

Temperleme işleminde çelik evvela sertleştirilir, sonra da belirli bir süneklik ve çekme mukavemeti elde edecek şekilde dönüşme sıcaklığının altında tavllanır.



Şekil 2-10 Temperleme Sıcaklık-Zaman Eğrisi (1)

Böyle bir temperleme işlemi genellikle yapı çeliklerine tatbik edilir. Örneğin, akma sınırını yükseltmek ve iyi bir süneklik özelliği elde etmek gibi. Temperleme sıcaklığı istenen akma ve çekme mukavemetlerine uygun bir şekilde seçilir. Temperlemede sıcaklık arttıkça, çekme ve akma mukavemeti düştüğü gibi uzama ve büzülme miktarları ile çentik darbe mukavemeti de yükselir.

Temperlemenin diğer bir tatbik alanı da su verilmiş çeliklerdeki martenzitik iç yapıyı temperlenmiş martenzit haline sokarak su vermenin meydana getirdiği gevrekliği ortadan kaldırmaktır. Bu durumda tetragonal hacim merkezli martenzit kafesi, kübik hacim merkezli martenzite dönüşmüş olur. (1)

### 3. ISININ TESİRİ ALTINDAKİ BÖLGE

#### 3.1. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Sertliği ve Kimyasal Bileşim Arasındaki Bağntı ve Isıl İşlemin Etkileri

Kaynak sonrasında, ısının tesiri altında kalan bölgede bir sertleşme meydana gelir. Kaynak ısıl çevrimi nedeniyle ısınma sırasında, ısının tesiri altında kalan bölge ostenit haline geçer ve soğuma esnasında da bir takım dönüşmelere maruz kalır. Kaynak dikişinin kenarında, soğuma hızı öyle bir değerdedir ki, ostenit, ferrit ve perlitte dönüşecek vakit bulamaz, bunun yerine çok daha sert ve sünekliği çok daha az olan martenzit veya temperlenmiş martenzit meydana gelir. Böyle sert bir bölgenin meydana gelmesi, sertleşme kabiliyetini arttıran karbon ve alaşım elemanlarının miktarına bağlıdır. Alaşım elemanları ve karbon miktarı attıkça martenzitin teşekkül etme meyli de artar. Karbon miktarının yükselmesi, meydana gelen martenzitin sertliğininin yükselmesine ve sünekliğin azalmasına sebep olur.(8)

Geliştirilen yeni yöntemler sayesinde kaynak hızı yükselmiş erime gücü büyümüş ve kaynak ile birleştirilen malzemenin kalınlığı da artmıştır. Bunun sonucu olarak da kaynak işlemi sırasındaki enerji girdisi-çıktısı erime ve kristalizasyon oranları erime sıcaklığında ortaya çıkan reaksiyonlar fazlar arasındaki bağıntılar ve esas metale bitişik bölgedeki kaynak metalinin katılaşması neden olmuştur. (3)

Yüksek bir sıcaklık derecesine kadar süratli bir ısınma ve bundan sonra oldukça şiddetli bir soğuma, malzemede iç gerilmelerin oluşmasından başka, kaynak bölgesinde tane büyümesine, difüzyon reaksiyonlarına ve katıhal faz dönüşümlerine sebep olmaktadır. (3)

ITAB'nin, ostenitleşme sıcaklığına kadar ısınmış kısımları, kaynaktan sonra, soğuma sırasında kritik soğuma hızını aştıklarında, martenzitik yapı oluşur. Martenzit genellikle, erime çizgisi boyunca ince bir şerit halinde bulunur ve burada martenzitin varlığı, soğuk çatlakların oluşumunu teşvik eder. Erime bölgesi sınırında, martenzit oluşumu olasılığı esas metalin bileşimi ile kaynağın soğuma hızına bağlıdır. (3)

ITAB'de oluşan çatlaklara, esas malzemenin kimyasal bileşimi ve

homojenliği, parçanın ve kaynak ağzının geometrisi, kaynak için kullanılan enerjinin şiddeti, erişilen en yüksek sıcaklık derecesi ve uygulanan ısı işlemler sebep olur; kullanılan kaynak metalinin ITAB'inde oluşan çatlaklara ve gevrekleşmeye hiç bir etkisi yoktur. (3)

Ön ısıtma, dört temel sebepten biri için kaynağa bir yardımcı olarak gerekebilir. Birinci olarak, bir kaynağın ITAB'ındaki soğuma oranını kontrol etmek için ihtiyaç duyulabilir; ikinci olarak, kaynak bağlantısındaki hidrojenin difüzyon oranını kontrol edebilir; üçüncü olarak, kaynak sırasında özellikle yüksek termal genişleme katsayılı düşük ergime noktalı malzemelerde termal gerilmeleri azaltabilir ve dördüncü olarak; termal iletkenliği yüksek malzemelerde ergimeye yardımcı olabilir. Ön ısıtma ihtiyacı, malzemeye, kaynak işlemi ve prosedürüne, kalınlığa ve bağlantı zorlamasına bağlıdır. Ön ısıtma ile ne demek istendiği konusunda önemli karışıklık vardır. İdeal olarak, iş parçasının bütünü, ihtiyaç olduğu düşünölen ön ısıtma sıcaklığına eşit sıcaklıkta olmalıdır. Bu ideal, pratikte nadiren başarılabilir, fakat bağlantının her iki tarafında tabaka kalınlığının 6 ila 12 katı boyunca aynı sıcaklıkta bir bant elde edilmelidir. Bu tercihan kaynak başlamadan önce bağlantının tamamı boyunca elde edilmelidir ve kaynağın tümü tamamlanana kadar sürdürölmelidir.(7)

Ön ısıtma sıcaklığına ait değerler, malzemenin cinsine ve cidar kalınlığına bağlı olarak, oldukça geniş bir aralıkta değişim gösterirler. Aşadıda sadece cidar kalınlığına göre verilen tablo.3-1'de, bu değişim görölebilir. Ön ısıtma sıcaklığının, aynı zamanda malzemenin cinsine de bağlı oluşu, yani genel olarak alaşımlı ve alaşımsız yapı çelikleri arasındaki farklar ile, kazan çeliklerini sıcağa dayanıklı çeliklerden ayıran özellikler tablo.3-1'de bulunmaz. Diğer bir eksik nokta ise, kaynak dikişinin şekli veya gerilme sınırının alt değerleri hakkında bilgi verilmemiş olmasıdır.

Tablo 3-1 Cidar kalınlığına bağlı olarak ön ısıtma sıcaklıkları (6)

Kural	Ön ısıtma sıcaklığı: $\theta_v$		Cidar Kalınlığı:	
	minimum °C	maximum °C	minimum mm.	maximum mm.
D 1	80	200	> 8	> 30
D 2	Farklı Değerler		Farklı Değerler	
D 8	75	400	> 8	> 30
D 9	0	220	-	-
DDR 1	100	350	> 6	> 40
DDR 2	100	400	Hepsi	
F 1	10	200	< 30	> 50
GB 1	5	200	< 12	> 30
I	100	250	< 15	> 40
J 1	95	150	< 12	> 32
A 1	100	200	< 10	> 50
RO 4	200	230	-	-
CS 1	150	250	< 25	> 25
CS 2	150	350	< 25	> 25
H 1	100	300	< 10	> 50
H 1	100	-	-	-
H 1	200	-	-	-
USA 1	80	200	-	-
USA 2	80	200	> 13	> 25

Pek çok durumda bu güçlük ön ısıtma uygulaması ile önlenabilir. Ön ısıtma soğuk çatlakların önlenmesinde iki sebepten dolayı faydalıdır. Birincisi, kaynağın yavaş soğuma oranlarının ITAB' da duyarlı mikroyapıların oluşumunu engellemesidir. İkincisi, ön ısıtma ITAB' ı, hidrojen seviyesinin bağlantıdan uzağa doğru difüzyon tarafından azalmasına zaman verecek şekilde, gevrekleşmenin azaldığı sıcaklıkta tutar. Bu tür çatlak sadece hidrojenin bulunduğu duyarlı mikro yapılar ve çekme gerilimi altında oluşur. C/Mn çelikleri için böyle mikroyapıların varlığının makul bir göstergesi, martenzit ve bazı hallerde beyrit içeren mikroyapıların oluşumuna karşılık gelen, 350 HV' yi aşan sertlikler tarafından verilebilir. 350HV' den büyük sertlikte mikroyapılara dönüşüm, kompozisyona bağlı olarak 550°C' den başlayıp 200°C' ye kadar sürebilir, ve çatlaklara olan duyarlılık ve 300°C' deki soğuma oranı arasında iyi bir korelasyon bulunmuştur. Böylece, 300°C' ye kadar olan ön ısıtma sıcaklıklarının, 300°C' deki soğuma oranı ve dolayısıyla çatlak olasılığı üzerinde önemli bir etkisi olacaktır. (7)

Östenitik çeliklerde hidrojen çatlakları oluşmaz ve ısıtma ne gerekir ne de bu güçlüğü önlemek için kullanılmaz, buna rağmen ferritik malzeme tarafından gerekiyorsa ferritik/östenitik karışımı hallerinde dikkate alınmalıdır. Östenitik çelik kaynakları, daha sonra tartışılacağı gibi yüksek sıcaklıklı ısıtma işlem ve gerilim giderme sırasında ITAB çatlakları'nın bir şekline konu olabilir. 600°C civarındaki ısıtma kaynağı takip eden soğuma oranını öyle bir azaltabilir ki, tekrar ısıtma sırasında oluşan sonraki gevrekleşmeyi önleyen bir formda soğuma sırasında tortu oluşur. Bu seviyedeki ısıtmaların uygulanması, 500°C' ye kadar olan ısıtmaların belirli tipte yüksek alaşımlı (17%Cr) malzemelerin kaynak edilmesi için kullanılmalarına rağmen kaynakçıya verdikleri şiddetli rahatsızlık sebebiyle pratikte çok güçtür.(7)

Orta basınçlı buhar kazanlarının, basınçlı kapların imalinde kullanılan HI, HII, 17 Mn 4 ve 19 Mn 5 çeliklerinin kaynak kabiliyetini incelenmesi ve kaynaklı bağlantıların kalite ve emniyeti açısından büyük bir önem arzeden ITAB'nin özelliklerini optimize edilmesi sonucunda; konvansiyonel karbon eşdeğeri yöntemine göre ön tav verilmeden kaynak yapılması öngörülen çeliklerde net ısı girdisi değiştirerek ITAB'nin özelliklerini etkilemenin mümkün olması, sonucuna varılmıştır. (3)

Hidrojen çatlakları riskini arttıran karbon ve manganez yüksek seviyelere ulaşmadıkça, kaynaktan sonra C/Mn çelikleri için ısıtmanın ve paso arası sıcaklığın devamı şeklinde sürdürülecek bir sonradan tavlama genellikle gerekmez. Fakat 0,6' yi aşan karbon eşdeğerleri için sonradan tavlamanın kullanımına dikkat edilmelidir. En sık uygulanan direk kaynak ısıtma işlemleri gerilim giderme ve normalizasyondur. Gerilim korozyonu ve kırılma gevrekliğine direnci geliştirmede ısıtma gerilim giderme tavlama faydalı olabilir. Bazı uygulama esaslarında kaynaklı konstrüksiyonlarda gerilim giderme zorunludur. Örneğin, 1.Sınıf basınç kazanlarında gerilim ısıtma olarak giderilmelidir. Pek çok konstrüksiyon vardır fakat fabrikasyonun doğası ve boyutu yüzünden gerilim giderme ısıtma işlemleri uygulanabilir değildir. Gerilim giderme ihtiyacı artan malzeme kalınlığı ve kaynak bağlantılarının büyüyen boyutu ile büyümektedir. Kalın malzemelerdeki çok zorlanan bağlantılarda servis yüküyle eklenen zorlamalar altında kaynak edilen

bağlantıda çatlamlar oluşabilir ve bu çatlamlar en iyi olarak kaynaktan sonra yapılacak bir gerilim giderme tavlaması ile önlenabilir. Orta seviyeli gerilim giderme tavlamaları bazen kullanışlı olabilir fakat sadece çatlamaı önleyebilecek başka bir metod yoksa kullanılabilir. (7)

Basınçlı kapların kaynaktan sonra uygulanan ısıı işlemlerden; yüksek sıcaklıkta uygulanan ısıı işlemler çoğunlukla yumuşatma tavlaması, normalizasyon, su verme ve temperleme veya çözelti ısıı işlemleridir. Tüm bu işlemler, şekillendirme veya kaynak nedeniyle oluşan önemli bir bozulmayı takiben malzemeye başlangıç formunu kazandırmak için veya yumuşatma şartlarında üretilmiş bir malzemenin karakteristik özelliklerini, su verme ve temperleme işlemi ile arttırmak istendiği zaman uygulanır. Orta derece sıcaklıkta uygulanan ısıı işlemler ise, gerilme giderme, yumuşama tavlaması (örneğin; martenzitik yapıların) veya dayanım artırıcı işlemlerdir (çökeltme sertleşmeli alaşımlarda). (5)

Gerilme giderme ısıı işleminde, basınçlı kaplar 500 °C ile AC<sub>1</sub> sıcaklığı arasındaki bölgeye kadar ısıtılır. Böylece oda sıcaklığındakine göre ısıı işlem sıcaklığındaki akma dayanımında bir azalma ortaya çıkacağından, artık gerilmelerde plastikleşme sonucu bir gevşeme oluşturulur. Basınçlı kaplarda, özellikle bir gevrek kırılma veya yorulma kırılması riski olduğunda veyahutta testler esnasında veya kabin hizmet ömrü süresince bir korozunlu gerilme sözkonusu olduğunda, ısıı işlem uygulanması son derece zorunludur. Kabin kaynak dolgu metalinin tipine bağlı olarak, dolgu metali ostenitik veya % 15'inden daha fazlası ferrit olmak üzere ostenitik-ferritik olduğunda ve kaynak edilecek parçalardan en az biri ostenitik-ferritik ise, bir gerilme giderme ısıı işlemi gerekli olmayabilir. Bir ısıı işlemin uygulanıp uygulanmayacağına karar verilmesinde, esas metal ve bağlantının mekanik özellikleri ve kalınlığı, en sık kullanılan kriterlerdir. (5)

### **3.2. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgenin Isıl Çevrimleri ve Isıl İşlemin Etkileri**

Çeliğin kaynak işlemi sonunda sertleşmesinde, ısıı çevrimin büyük rolü vardır. Absorbsiyonun veya kaynak sırasında meydana gelen gerilmelerin sertleşmeye tesiri olur, fakat bunların etkisi daha azdır. (5)

Kihara, Suzuki ve Kanatani, çeşitli kaynak dikişlerindeki ısı çevrimlerinin tayini konusunda yaptığı çalışmalarda; deney parçası boyutları, kalınlığı, kaynak ısı, ön tavlama, elektrod örtüsünün cinsi, paso uzunluğu, arkın tutuşturulması, bağlama kaynağı, iç köşe kaynağı, ağız şekli gibi faktörlerin ısının tesiri altında kalan bölgedeki soğuma hızına etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmaların gayesi, kaynak geometrisi ve kimyasal bileşime göre, ısının tesiri altında kalan bölgenin maksimum sertliği için gerekli bilgileri elde etmektedir. (8)

Isıl çevrimlerin analizinde bilhassa 300, 540 ve 700 °C sıcaklıklardaki soğuma hızları alınmaktadır. Buna da sebep:

300 °C: Cotrell tarafından bu sıcaklıklardaki soğuma hızıyla, ısının tesiri altında kalan bölgedeki dikişaltı çatlakları arasında, sıkı bir bağıntının bulunduğu ortaya çıkarılmıştır.

540 °C: Bu sıcaklık, düşük karbonlu yüksek mukavemetli çeliklerin sürekli soğuma diyagramındaki burun noktasına tekabül etmektedir. Isının tesiri altında kalan bölgedeki maksimum sertlik, genellikle bu sıcaklıktaki soğuma hızıyla tayin edilmektedir.

700 °C: Bu sıcaklık pek çok araştırmacı tarafından sık sık kullanılmakta olup, yaklaşık olarak düşük karbonlu çeliklerin kritik soğuma sıcaklığına eşdeğerdedir. (8)

C/Mn çelikleri; kaynak şartlarının martenzitik bir ITAB oluşturması halinde eğer hidrojen varsa hidrojen çatlağının zorlama korozyonu şeklinin oluşması olası olmasına rağmen genel kullanım için C/Mn çelikleri zorlama korozyon etkilerine özellikle duyarlı değildir. Gerilim giderme tavlama bu gibi durumlarda kaynak bağlantısına yakın olan zorlamaların toplamını ve zorlama korozyon çatlağı olasılığını azalttığından faydalıdır. Gerilim giderme ısıl işlemlerinin en önemli faydası, kırılma gevrekliği riskinin olduğu durumlarda artar. Kaynaklı imalatlarda, ana plakayla kıyaslandığında bir kaynağın ITAB'ında kopma dayanımı daha fazla etkilenen bölgeleri olabilir. Bu, örneğin, ITAB'daki dönüşüm mekanizması veya gerilim yıpranması tarafından artabilir. Artık zorlanmalar üzerindeki belirli etkilere ek olarak, ısıl işlem, sertleştirilmiş bölgelerin ve kopma dayanımının geri kazanılması ile yıpranmış bölgelerin yaşlanma üzerine tavlama

sağlar. Bunun anlamı C/Mn çeliklerinin gerilimi giderilmiş imalatlarının aynı malzemenin kaynak edilip bırakılmış yapısından daha düşük sıcaklıklarda çalışmasına izin vermektir.(7)

C/Mn çeliklerine yapılan kaynaktan sonra uygulanabilecek diğer ısı işlem normalizasyondur. C/Mn çelik kaynak bağlantılarının normalizasyonu için en genel gereklilik elektro-cüruf kaynaklı bağlantılarda oluşur. Elektro-cüruf işlemi ki bu işlem özellikle tek geçişli bir kaynakla kalın bölümlerin kaynağı için idealdir, ITAB' in ergime sınırına yakın aşırı ısıtılmış bölgelerinde yüksek tane kabalaşması problemini birlikte getirir. Ayrıca, kaynak metalinin kendi döküm yapısının benzer kompozisyonlu plaka malzemesiyle kıyaslandığında göreceli olarak bazen daha zayıf kopma özellikleri vardır. Bazı hallerde, ITAB' in kopma dayanımı ve elektro-cüruf bağlantılı kaynak metali, taze kaynak sonrası durumda kabul edilemez olarak görülür. Bu bölgelerde kopma özelliklerinde dikkate değer gelişmeler, hem kaynak metalinde hem de ITAB' da tane boyutunda hissedilir bir azalma sağlayan bir ısı işlem olduğu sürece, kaynaktan sonra yapılacak bir normalizasyon ile elde edilebilir. Elektro-cüruf kaynaklı bağlantıların, eğer kaynak metalinde ve ITAB' da yeterli özellikler elde edilirse taze kaynak şartlarında kullanılabilmesine dair bazı kanıtlar vardır, ve ayrıca ana metalle kıyaslandığında bağlantıdaki özelliklerde bazı bozulmalar olmasına rağmen böyle bağlantılar sadece gerilim giderilmiş şartlarda kullanılabilirler.(7)

Düşük alaşımli çelik grubunda direk kaynak ısı işlemlerinin etkisi C/Mn çeliklerine göre daha karmaşık hale gelir. Ana metalde optimum özellikleri elde edilmek için yapılan temperleme kaynaktan sonra yapılan bir gerilim giderme ısı işlemi ile birleştirilebilir. Bu çeliklerin ITAB' ında hem kaynak hem de takibeden ısı işlemler sırasında oluşabilen temperleme ve cüruf etkileri, direk kaynak ısı işlemi metalürjik etkileri dikkatlice belirlenmelidir anlamına gelir. Kırılma gevrekliği dikkate alındığında, ITAB' da ve kaynak metalinde direk kaynak ısı işlemlerinin kopma dayanımı üzerindeki etkileri, eğer ısı işlem hatalı uygulanmışsa her zaman faydalı olmayabilir. Normalizasyon elektro-cüruf ısı işlemi kullanılmadıkça genellikle düşük alaşımli çeliklerin kaynağından sonra gerekmez. Bu malzemeler için normalizasyonun elektro-cüruf kaynağından sonra gözardı edilebileceğine dair

kaydadeğer hiç bir kanıt yoktur ve genelde sunulan görüş böyle bir kanıt varolana kadar normalizasyonun gerektiğidir. Tekrarlamak gerekirse, bazı düşük alaşımli çelikler ısıtma şartlarındaki küçük değişiklikler tarafından kritik olarak etkilenirler ve ısıtma sıcaklıkları ve zamanlarının yakından takibi başarılmalıdır.(7)

Östenitik çeliklerin direk kaynak ısıtma işlemi bazı şartlar için memnuniyet verici işlemler sağlamak için gereklidir. Tablo 3-2' de ısıtma işlemi gerektiren ve ısıtma işleminden doğan durumların bir özeti verilmiştir. Östenitik çeliğin, ferritik çeliğe göre artan genişleme katsayısı yüzünden, östenitik kaynaklarda deformasyon problemi daha şiddetli olabilir. Kaynaktan sonra doğru toleransları sağlamak gerektiği halde, işleme sırasında ileride olabilecek deformasyonları önlemek için, gerilim giderme tavlama gerekebilir. Tam gerilim giderme için, bu işlem 800-850 °C' yi geçen sıcaklıklarda yapılmalıdır. Tekrar ısıtma sırasındaki çatlak oluşma problemi belirli östenitik çeliklerde görülebilir.(7)

**Tablo 3-2 Isıtma İşlemi Gerektiren ve Isıtma İşleminden Doğan Durumların Bir Özeti (7)**

AISI malzeme sınıfı	Isıtma İşlemi gerektiren problemler		Gerilim Korozyonu		
	İşleme dengesi	Tekrar ısıtma çatlama	Tane Geçişi	Kristallerarası	Kaynak çürüğü
304 18/8	✓	✓	✓	✓	✓C>0.06%
316 18/8/3 Mo	✓	✓Nb>0.1%	✓	X	X
321 18/8/1 Ti	✓	✓	✓	X	X
347 18/8/1 Nb	✓	✓	✓	X	X
309 25/12	✓	✓	✓	✓	X
310 25/20	✓	✓	✓	✓	X
18/37 (döküm)	✓	X	X	✓	N/A
Notlar	Bütün malzemeler için 800-850°C' nin üstünde ısıtma işlemi	950-1050°C arasında ısıtma işlemi	Gerilim giderme için 800-850°C arasında ısıtma işlemi		önlemek için 950°C' den yüksek sıcaklıkta ısıtma işlemi

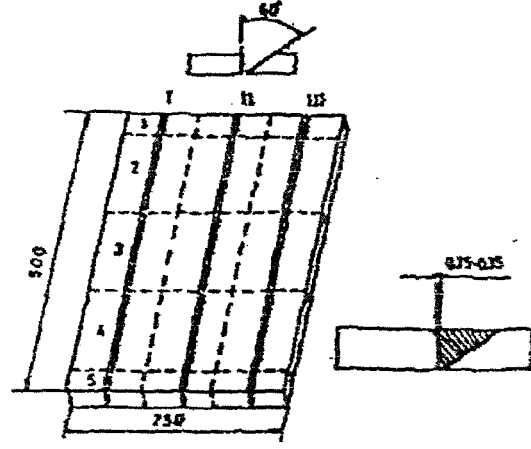
✓ Bu işaret yazıda belirtilen ilgili şartlarda oluşan problemi gösterir. Bu durumda Notlarda belirtilen önlemler alınmalıdır.

Buhar kazanları ve diğer basınçlı kapların imalinde kullanılan ve bileşimleri, karbon eşdeğeri yöntemine göre öntav uygulanmadan kaynak edilebilecek türde olan HI, HII, 17 Mn 4 ve 19 Mn 5 çeliklerinin kaynak kabiliyeti incelenmiş ve kaynak yöntemi ile gerilim giderme tavisinin etkileri saptanmıştır. Tablo.3-2'de kullanılan çelik türlerine ait kimyasal bileşimler ve mekanik özellikleri verilmektedir. Bu 4 grup çelik, elektrik ark, gazaltı (MAG) ve tozaltı kaynak yöntemleri kullanılarak çok pasolu kaynakla birleştirildi ve kaynaktan sonra gerilme giderme tavisinin uygulanmış 550 °C'de ve 650 °C'de 2 saat gerilme giderme tavlama uygulanmış deney parçalarını metalografik iç yapı sertlik, çentik darbe muayenelerine tabi tutuldu. Ölçülen sertlik değerlerinin uygulanan kaynak yöntemine göre değiştiği görüldü, aynı şekilde çentik darbe sonuçlarının da uygulanan kaynak yöntemine göre değiştiği saptandı. ITAB, kaynak sırasında, erimemekte ve kaynak metali ile karışmamaktadır. Bu bakımdan farklı kaynak yöntemi sadece ısı girdisini değiştirmekte ve dolayısı ile de ITAB'e uygulanan ısı çevrimi değiştirmektedir.(3)

**Tablo 3-3 Deney parçalarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri(3)**

Çelik Cinsi	t mm	Kimyasal Analiz (%)							Fiziksel Özellikler		
		C	Mn	Si	Al	S	P	Cu	Çekme Kuvveti Mpa	Uzunluk Mpa	X
HI	15	0.145	0.510	0.070	--	0.035	0.011	0.130	250 450	230	22
19 Mn 5	20	0.200	1.250	0.380	0.021	0.015	0.015	0.18	320 420	130	16
H II	25	0.170	0.540	0.145	0.020	0.030	0.021	--	315 505	260	20
17 Mn 4	28	0.165	1.030	0.315	0.055	0.015	0.015	-	420 560	290	18

Uygulanan ısı enerjisinin yoğunluğu arttıkça soğuma süresi ( $\Delta t_{3/5}$ ) artmaktadır. Bu da soğuma hızının yavaşlamasına dolayısı ile ITAB'de sertliğin azalmasına ve tokluğun artmasına neden olmaktadır. Bu sonuçta kırılma türünde etkilemektedir.



Şekil 3-1 Deneysel parçasının şematik görünüşü ve çentik darbe deney parçalarının pozisyonu. (3)

I:Elektrik Ark	1 ve 5 : kesilip atılan
II:Tozaltı	2 : Gerilme gidermesiz
III:Gazaltı	3 : 550°C' de 2 saat
	4 : 650°C' de 2 saat
	gerilme giderme işlemi uygulanmış.

### 3.3. Isının Tesiri Altında Kalan Bölge Sertliği ve Isıl İşlemin Etkileri

Isının tesiri altında kalan bölge kaynak metalinin (diğer bir deyişle ergimiş bölgenin), esas metal ile birleştiği kısımdan itibaren 1400 ile 700 °C arasındaki bir sıcaklığın etkisi altında bulunan bölgesidir. Eğer ısının tesiri altında kalan bölgede erişilen en yüksek sıcaklık, kaynağın merkezine olan mesafenin bir fonksiyonu olarak bilinir ve esas metal tipi ile şartları da tanınırsa, kaynak işlemi sonunda meydana gelecek yapıyı normal olarak önceden tahmin etmek mümkündür. 900 °C'nın üzerinde tavlanan bölge, kalın parçaların kaynağında soğuma daha da çabuk olacağından, bir nevi su verme işlemine tabi tutulmuş sayılır. Neticede de kaynak yapılan çeliğin bileşimine göre, bu kısımda çok yüksek bir sertlik elde edilir ve gevrek bir bölge meydana gelir. (20)

Isının tesiri altında kalan bölge kaynak bağlantısının en kritik bölgesini teşkil eder ve birçok çatlama ve kırılmalar burada olur. Bileşimindeki karbon miktarı yaklaşık % 0,25 in üzerinde bulunan normal karbonlu yapı çelikleri ile hafif

alaşımli yüksek mukavemetli yapı çeliklerinin sertleşme nitelikleri düşük karbonlu ve alaşımsız yumuşak çeliklere göre daha fazla olduğundan, ısının tesiri altında kalan bölge sertleşerek gevrekleşir ve soğuk çatlama hassasiyeti de artar. Ayrıca bu etkenler kaynak kabiliyetini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Kaynak bağlantısındaki sertleşme (kaynak sertleşmesi) genellikle ısının etkisi altında kalan bölgedeki maksimum sertlikle belirlenmektedir. (20)

Kaynak koşulları altında, malzemede maksimum sertleşme ve soğuk çatlama tehlikesinin ortaya çıktığı en kritik bölge, kaynak dikişi ile esas malzeme arasında yüksek ısınma ve soğuma hızları etkisi altında kalan ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak adlandırılan bölgedir. ITAB'de soğuk çatlama önlenmesi, iç yapıdaki martenzit yüzdesinin ve sertlik değerinin belirli sınır değerler altında tutulması ile mümkün olabilmektedir. Martenzit yüzdesinin ve dolayısıyla sertliğin artması, bu bölgedeki şekil değiştirme kabiliyetinin azalmasına ve soğuk çatlama meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, güvenilir kaynak dikişlerinde martenzit % 30'un altında tutulmalıdır. (10)

Milletlerarası kaynak enstitüsünün kaynak kabiliyeti komisyonu, çatlama karşı bir emniyet olarak ITAB'de sertliğin 350 HV'yi aşmamasını önemle tavsiye etmektedir. ITAB'nin sertliğini düşürmek için uygulanan en klasik yöntem parçaya kaynaktan önce bir ön tav uygulamak ve bu sıcaklık derecesinde kaynak yapmaktır. Uygulanacak ön tav sıcaklığı malzemenin karbon eşdeğeri yardımı ile belirlenir. (3)

#### 4. DENEY ÇALIŞMASININ PLANI

Önceden belirttiğimiz gibi kaynak koşulları altına, malzemede maksimum sertleşme ve soğuk çatlama tehlikesinin ortaya çıktığı en kritik bölge, kaynak dikişi ile esas malzeme arasında yüksek ısınma ve soğuma hızları etkisi altında kalan ve ısı tesiri altındaki bölge olarak adlandırılan bölgedir.

Çalışmalar yapılırken, deney parçası boyutları, kalınlığı, kaynak ısısı, ön tavlama, elektrod örtüsünün cinsi, paso uzunluğu, arkın tutuşturulması, bağlama kaynağı, iç köşe kaynağı, ağız şekli gibi faktörlerin ITAB'deki soğuma hızına etkileri gözönünde bulundurulmuştur. Kaynak geometrisi ve kimyasal bileşime göre ısının tesiri altında kalan bölgenin sertlik dağılımları incelenmiştir.

Deneyleri sınırlandırmak amacı ile karbon % 0,165 ve % 0,170 olan kimyasal kompozisyonları bilinen, 10 mm kalınlığındaki parçalar elektrik ark MMA ve MAG 'la ön tavlamasız ve ön tavlmalı kaynak birleştirilmeleri yapılmıştır.

Elektrik ark kaynağında MMA hem ön tavlamasız hemde ön tavlmalı olarak iki ayrı alaşımdaki malzemede de kaynak birleştirmelerinde 4 sıralı ve 4 pasolu (salımlı), 4 sıralı ve 10 pasolu doğru akım uygulanarak, rutil örtülü elektrodla kaynak yapılmıştır. Elektrik ark kaynağında hem 4 pasolu hemde 10 pasolu birleştirmede birinci sırada 2.5 mm'lik, ikinci sırada 3,25 mm'lik, üçüncü sırada 3,25 mm'lik, dördüncü sırada 4,0 mm'lik rutil elektrod kullanılmıştır.

MAG kaynağında ise yine hem ön tavlamasız hemde ön tavlmalı olarak iki ayrı alaşımdaki malzemede de kaynak birleştirmelerinde 4 sıralı ve 4 pasolu (salımlı), 4 sıralı ve 10 pasolu CO<sub>2</sub> gazı ile doğru akım uygulanarak kaynak yapılmıştır. MAG kaynağında tüm sıra ve pasolarda 0,8'lik tel kullanılmıştır.

#### 4.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme

##### 4.1.1. Deney Parçasının Kimyasal Bileşimi

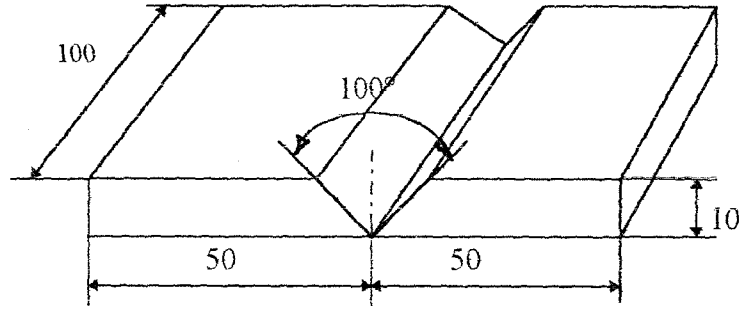
Deneylerde kullanılan esas malzeme % 0,165 ve % 0,170 C içeren alaşım elementleri bilinen çelik levhalardır. Her iki malzemenin de kalınlıkları eşittir. Isının tesiri altında kalan bölgenin sertlik dağılımı, elektrik ark MMA ve MAG kaynağı ile yapılan birleştirmelerdeki sertlik dağılımı inceleneceği için parça kalınlıkları 10 mm olarak sabit tutulmuştur. Eşit kalınlıktaki parçaların kimyasal kompozisyonu aşağıdaki tablo 4.1' de verilmiştir. Parçaların Ereğli Demir Çelikte kimyasal analizlerinin laboratuvar çalışmalarında kullanılan kodları 3554 ve 3770 dir. Biz çalışmalarımız sırasında kolaylık sağlamak maksadıyla 3554 kodlu parçaya A, 3770 kodlu parçaya B olarak adlandırdık.

**Tablo 4-1 10 mm eşit kalınlıktaki esas malzemenin kimyasal kompozisyonu**

Kimyasal kompozisyon %	Lab. Kodu	Lab. Kodu
	3554 (A)	3770 (B)
C	0,165	0,170
Mn	0,73	1,26
P	0,015	0,014
S	0,015	0,020
Si	0,190	0,5
Al	0,046	0,07

##### 4.1.2. Deney Parçasının Boyutları

Deney çalışmalarımızda elektrik ark MMA ve MAG kaynağındaki ısı etkisi altında kalan bölgede sadece sertlik ölçümü yapıldığından ve malzemenin diğer mekanik muayeneleri yapılmadığından deney parçamızın boyutları 100 x 100 x 10 mm olarak seçilmiştir. Deneylerde çok pasolu kaynak yapıldığından (birinde 4 paso, diyerinde 10 paso), kaynak ağzımız; 100 °'lik V kaynak ağzı seçilmiştir.



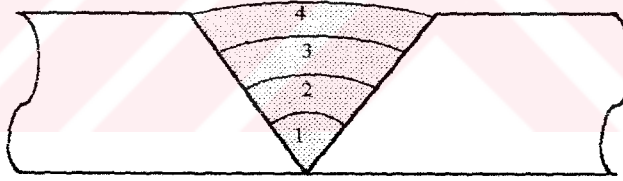
Şekil 4-1 Deneysel parçanın boyutları

#### 4.2. Kaynak Metali (İlave Metal)

Deneysel yaptığımız her iki yöntemde 4 pasolu ve 10 pasolu olmak üzere çok pasolu ile yapılmıştır. Elektrik ark kaynağında her iki cins malzeme için 4 pasolu (salımlı) kaynakla birleştirme işlemi;

- |         |         |                     |                          |
|---------|---------|---------------------|--------------------------|
| 1. paso | 2,5 mm  | TS 563 E 51 32 RR 8 | %0.08C, %0.6Mn, %0.35Si  |
| 2. paso | 3,25 mm | TS 563 E51 22 R(C)3 | %0.06C, %0.4Mn, %0.4Si   |
| 3. paso | 3,25 mm | TS 563 E51 22 R(C)3 | %0.06C, %0.4Mn, %0.4Si   |
| 4. paso | 4,0 mm  | TS 563 E 51 32 RR 8 | %0.08C, %0.65Mn, %0.35Si |

rutil örtülü elektrotla çekilmiştir. Şekil-4-2' de şematik olarak görülmektedir.



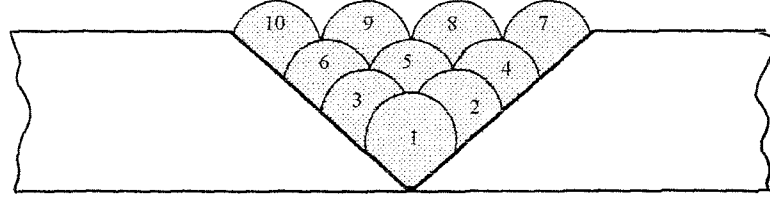
Şekil 4-2 4-Pasolu elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotların dizilişi

Elektrik ark kaynağında her iki cins malzeme için 10 pasolu kaynakla birleştirme işlemi;

- |         |         |                     |                         |
|---------|---------|---------------------|-------------------------|
| 1. paso | 2,5 mm  | TS 563 E 51 32 RR 8 | %0.08C, %0.6Mn, %0.35Si |
| 2. paso | 3,25 mm | TS 563 E51 22 R(C)3 | %0.06C, %0.4Mn, %0.4Si  |
| 3. paso | 3,25 mm | TS 563 E51 22 R(C)3 | %0.06C, %0.4Mn, %0.4Si  |
| 4. paso | 3,25 mm | TS 563 E51 22 R(C)3 | %0.06C, %0.4Mn, %0.4Si  |

5. paso	3,25 mm	TS 563 E51 22 R(C)3	%0.06C, %0.4Mn, %0.4Si
6. paso	3,25 mm	TS 563 E51 22 R(C)3	%0.06C, %0.4Mn, %0.4Si
7. paso	4,0 mm	TS 563 E 51 32 RR 8	%0.08C, %0.65Mn, %0.35Si
8. paso	4,0 mm	TS 563 E 51 32 RR 8	%0.08C, %0.65Mn, %0.35Si
9. paso	4,0 mm	TS 563 E 51 32 RR 8	%0.08C, %0.65Mn, %0.35Si
10.paso	4,0 mm	TS 563 E 51 32 RR 8	%0.08C, %0.65Mn, %0.35Si

rutil elektrodla çekilmiştir. Şekil.4-3' de şematik olarak görülmektedir.



**Şekil 4-3 10 Pasolu elektrik ark kaynağındaki kullanılan elektrod dizilişi**

MAG kaynağında ise her iki cins malzeme için hem 4 pasolu, hem de 10 pasolu kaynakla birleştirme işleminde SG 2C 52 32, %0,07C, %1,4Mn, %0,8Si, %0,025S, %0,30Cu kimyasal kompozisyona sahip 0,8'lik tel, gaz olarakta CO<sub>2</sub> kullanılmıştır.

#### 4.3. Deneylerde Kullanılan Aletler

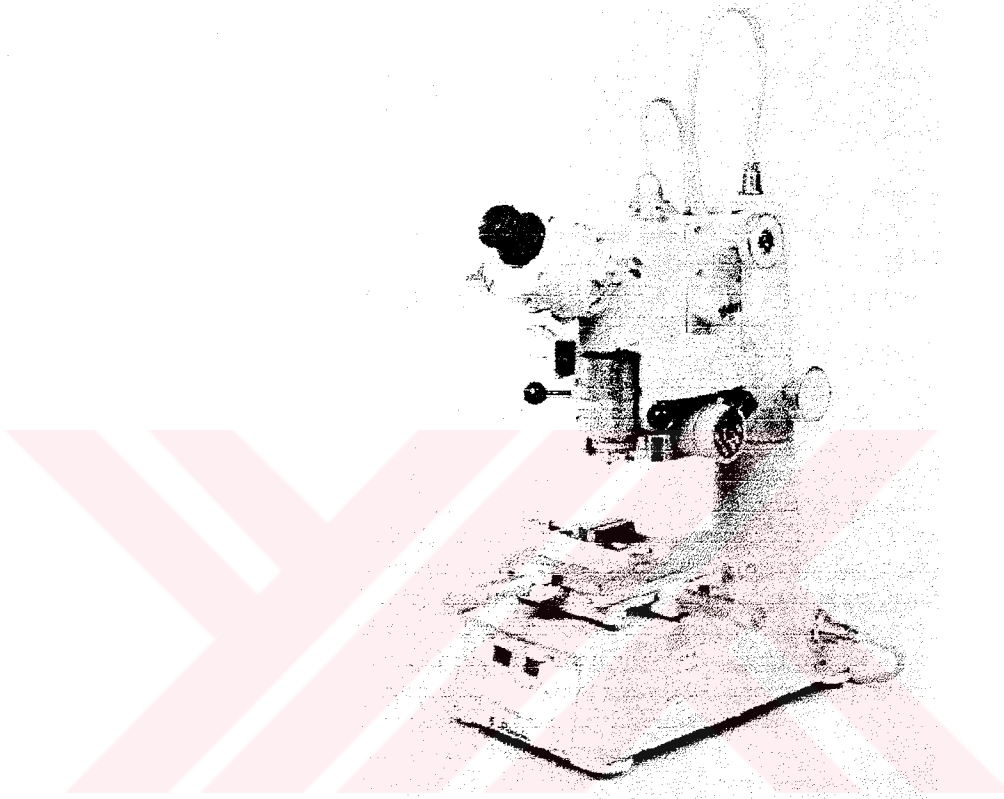
##### 4.3.1. Kaynak Makinası

Kaynak makinası olarak elektrik ark MMA kaynağında; Oerlikon T.D.355, Max 20V 350A, üç faz kapasiteli doğru akım redresöründen faydalanılmıştır. Malzememiz pozitif kutba, elektrodumuz ise negatif kutba bağlanmış ve V ağızlı yatay kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

MAG kaynağında; CO<sub>2</sub> gaz ortamında Miller Magic, Max 23V 150A, üç faz kapasiteli doğru akım redresöründen faydalanılmıştır. Kaynak teli pozitif kutba bağlanmış ve V ağızlı yatay kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

#### 4.3.2. Sertlik Ölçme Aleti

Sertlik ölçümü mikro sertlik aleti kullanılarak, vickers cinsinden ölçülmüştür. Şekil.4-4 Mikro sertlik cihazı görülmektedir. Mikro sertlik cihazımız Shimadzu M tipidir. Cihazımızla; çeşitli metal malzemelerin mikro sertliği, sertleştirilmiş yüzey tabakalarının ve işlenmiş ve değiştirilmiş tabakaların sertliği, kaynak bağlantılarının sertliği, boyanmış ve kaplanmış tabakaların sertliği ölçülebilir.



Şekil 4-4 Mikro sertlik cihazı

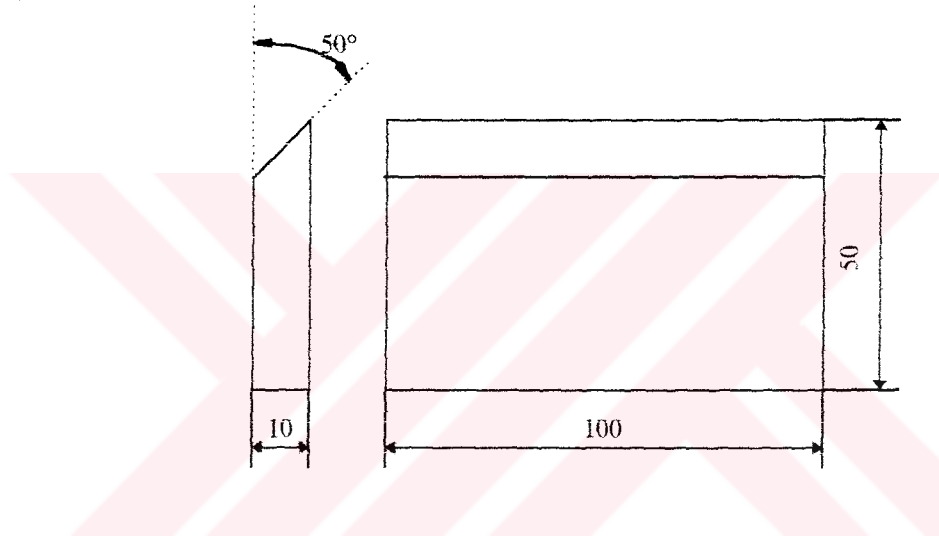
#### 4.4. Deneylerin Yapılışı

##### 4.4.1. Deney Parçalarının Hazırlanması

Her iki cins malzememizde 10 mm kalınlıktaki büyük levhalardan 100x50x10 mm boyutlarında olmak üzere, 20 mm'lik kalınlıkta levhalar kesebilen giyotin makasta kesilmişlerdir. Kesme işleminin makasla yapılmasının nedeni ITAB incelemesi yapılacak olan numunelere hiçbir ısı girdisinin olmamasını sağlamak içindir. Kaynak ağızımızı yaptığımız ilk belirlemelerde 60 ° olarak almıştık, fakat

elektrik ark kaynağı ile yapılan birleştirmelerde istenilen sonuç elde edilemediğinden parçaları kırıp, taşla işleyerek tekrar 100x50x10 mm boyutlarına getirdik. Ama kaynak çevresi bölgesel olarak ısıtıldığından büyük gerilmelerin meydana gelmiş olduğu göz önüne alınarak parçaların hepsi (elektrik ark kaynağı yapılan, yapılmayan) tüm parçalar (çünkü tüm parçaların iç yapılarının homojen ve aynı iç yapı özelliklerine sahip olmasını istediğimiz için) 700 °C'ye yavaş ve dengeli bir şekilde homojen ısıtılarak 1 saat bekleyerek gerilim giderme tavlamasına tabi tutulmuştur. Daha sonra soğutma sırasında yeni kalıcı gerilmelere sebep olmamak için fırının içinde yavaş soğutma sağlanacak şekilde soğutulmuştur.

Parçaların hepsi ikinci tespit ettiğimiz 100 °'lik kaynak ağızı freezeyle açılmıştır. Şekil 4-5' de parçaların kaynak öncesindeki boyutları görülmektedir.



**Şekil 4-5 Deney numunesinin kaynak öncesindeki boyutları**

#### 4.4.2. Kaynak İşlemi

Kaynak işlemi, elektrik ark MMA ve MAG kaynaklarında doğru akım kullanılarak yapılmıştır. Parçaların kaynak ağızları hiç aralık kalmayacak şekilde her iki ucundan puntalanmıştır. Daha sonra salımlı ve düz, ön tavlamasız ve ön tavlama olarak çok pasolu kaynakları yapılmıştır.

A ve B parçalarımızın kimyasal kompozisyonu bilindiği için ek bir işleme gerek duyulmadan IIW'a ve Seférian'a göre karbon eşdeğerleri ( $C_{es}$ ) hesaplanmıştır.

A parçası için (3554 Lab. Kodlu)

IIW'a göre  $C_{es}$ 'inin hesabı

$$C_{es} = C + \frac{1}{6}Mn + \frac{1}{5}Cr + \frac{1}{5}Mo + \frac{1}{5}V + \frac{1}{15}Ni + \frac{1}{15}Cu$$

$$C_{es} = 0,165 + \frac{1}{6}0,73 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{es} = 0,286$$

bu değere göre ön tavlamaya gerek yok.

Seferian' a göre  $C_{es}$ ' inin hesabı ;

$$C_{es} = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90}$$

$$C_{es} = 0,165 + \frac{0,73 + 0}{9}$$

$$C_{es} = 0,246$$

$$C'_{es} = C_{es} (1 + 0,005 \cdot d)$$

$$C'_{es} = 0,246(1 + 0,005 \cdot 10)$$

$$C'_{es} = 0,2583$$

$$T'_{ontav} = 350\sqrt{C'_{es} - 0,25}$$

$$T'_{ontav} = 350\sqrt{0,2583 - 0,25}$$

$$T'_{ontav} = 31 \circ C$$

$M_f$  tavlama

$T_m$  = malzemenin martenzit sıcaklığı

$$T_m = 550 - [350\%C + 4\%Mn + 35\%V + 20\%Cr + 17\%Ni + 10\%Co + 10\%Mo + 5\%W + 15\%Co] + \%Al$$

$$T_m = 550 - [350 \cdot 0,165 + 4 \cdot 0,73] + 0,046$$

$$T_m = 489,376 \text{ } ^\circ C$$

Bu malzememiz için IIW' a ve Seferian' a göre  $C_{es}$  hesaplandığında ön tavlama sıcaklığına gerek olmadığı bulunmuştur.

B parçası için (3770 Lab kodlu)

IIW' a göre  $C_{es}$ ' inin hesabı,

$$C_{es} = C + \frac{1}{6}Mn + \frac{1}{5}(Cr + Mo + V) + \frac{1}{15}(Ni + Cu)$$

$$C_{es} = 0,170 + \frac{1}{6}1,26$$

$$C_{es} = 0,38$$

bu değere göre ön tavlamaya gerek yoktur.

Seferian' a göre  $C_{es}$ ' inin hesabı,

$$C_{es} = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90}$$

$$C_{es} = 0,170 + \frac{1,26}{9}$$

$$C_{es} = 0,31$$

$$C'_{es} = C_{es}(1 + 0,005 \cdot d)$$

$$C'_{es} = 0,31(1 + 0,005 \cdot 10)$$

$$C'_{es} = 0,3255$$

$$T_{önlav} = 350\sqrt{C'_{es} - 0,25}$$

$$T_{önlav} = 350\sqrt{0,3255 - 0,25}$$

$$T_{önlav} = 96,170 \text{ } ^\circ C$$

$$T_{önlav} \cong 100 \text{ } ^\circ C$$

$M_f$  tavlama

$$T_m = 550 - [350\%C + 4\%Mn + \dots] + \%Al$$

$$T_m = 550 - [350 \cdot 0,170 + 4 \cdot 1,26] + 0,070$$

$$T_m = 485,53 \text{ } ^\circ C$$

$$T_m \cong 490 \text{ } ^\circ C$$

Bu malzememiz için Seferian' a göre karbon eşdeğeri hesaplandığında  $100^\circ C$ ' lik bir ön tavlama sıcaklığı çıkmıştır.  $M_f$  tavlama sıcaklığı da  $490^\circ C$  çıktığı için malzememizi  $100^\circ C$ ' de ön tavlama yapılmasında sakınca yoktur.

Ama biz malzememizin her ikisini de fırın soğukken yerleştirerek, fırın  $100^\circ C$ ' ye çıktıktan sonra 1 saat bekleyerek tavladık ve sıcakken soğumasına hiç izin vermeden 4 ve 10 pasolu kaynaklarımızı her iki yöntemde de yaptık.

Bunun amacı, ön tavlama gerekmeyen parçamızda da kalınlık 25 mm' den küçük olduğu halde, tavlamanın sertlik dağılımına iyi veya kötü yönde ne gibi bir etkinin olacağını tespit etmektir.

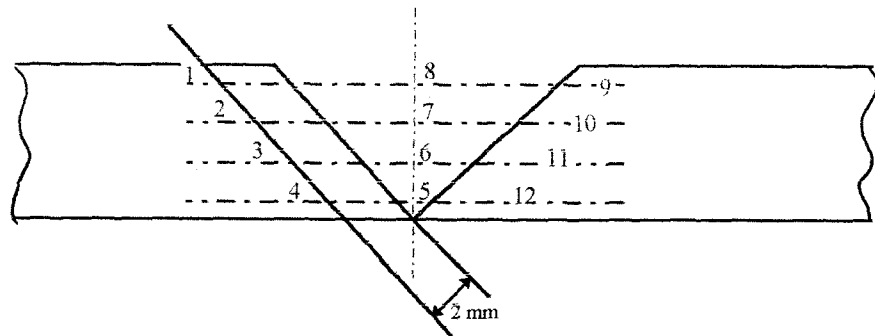
#### 4.4.3. Makro Fotoğraflarının Çekilmesi

Tüm parçaların kaynak işlemi bittikten sonra, inceleme yapacağımız yüzeyin düz olması için, kaynak dikiş eksenine dik olacak şekilde, parçaya hiç bir ısı girdisine izin verilmeden soğutma sıvılı testerede kesilmiştir. Isınmasına engel olmamızın nedeni ; kaynaktan sonraki mikro yapının ve sertlik dağılımının bağlantı bittikten sonraki herhangi bir dış etkenden kesinlikle etkilenmemesi ve bizi yanıltabilecek herhangi bir şeyin olmaması içindir.

Kesme işlemi tamamlandıktan sonra 60, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 numaralı zımparalarla döner diskte zımparalanıp, alümina ile parlatılmıştır. %5' lik nital ( $HNO_3$ ) ve %98' lik metil alkolden oluşan reaktifle parçalar dağlanmıştır (17). Dağlanmış parçaların 10 kez büyütülmüş makro fotoğrafları çekilmiştir.

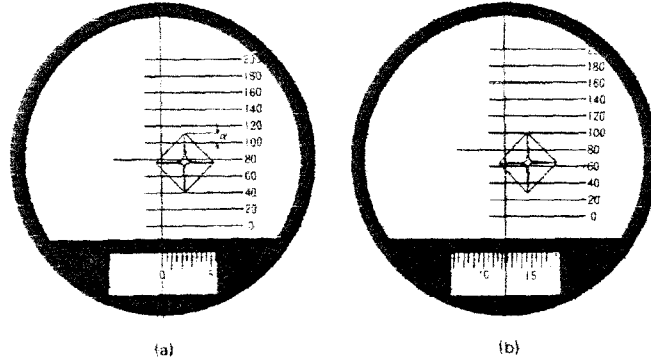
#### 4.4.4. Sertlik Ölçümü

Fotoğraf çekimleri tamamlanmış parçalar, mikro-sertlik cihazında vickers cinsinden ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan noktalar dikiş eksenini üzerinde her kaynak sırasının ortasına gelecek şekilde 4 ayrı noktadan ve ITAB' e paralel sağa, sola 2 mm mesafeden 8 ayrı noktadan, toplam 12 noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır. Şekil 4-6' da sertlik ölçülen noktalar görülmektedir.



Şekil 4-6 Sertlik ölçülen noktaların gösterilişi

Sertlik ölçümü 300 gr'lık yükü 15 sn beklemeyle yapılmıştır. Yükleme yapıldıktan sonra parça yüzeyinde görülen prizmanın boyutları mikro sertlik cihazının skalasıyla şekil. 4-7' deki gibi yapılmaktadır. Prizmanın düşey eksenini ile skalanın düşey eksenini paralel duruma getirilmekte sonra prizmanın alt ucu en yakın alt çizgiye oturtulmakta ve prizmadan artan kısım ise alt ölçekten kaydırılarak okunmaktadır.



Şekil 4-7 Mikro Sertlik Cihazında Sertlik Ölçümünün Görünüşü

#### 4.5. Parçaların Makro Fotoğraflarının ve Sertliklerinin Görünüşü

Parça No :1

A parçası

Elektrik ark kaynağı

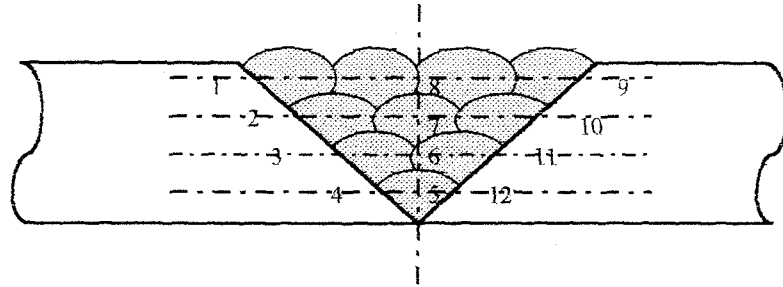
Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	48,3	238,5
2	54,6	186,6
3	56,1	176,8
4	53,2	196,6
5	60	154,5
6	55	183,9
7	56,4	174,9
8	51,9	206,5
9	52,1	205
10	55,3	181,9
11	53,1	197,3
12	51	213,9



Parça No :2

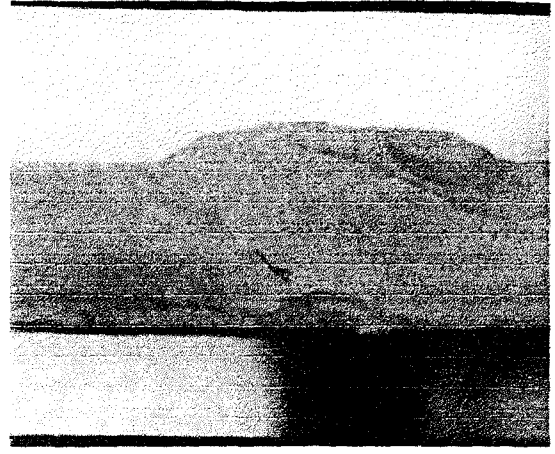
A parçası

MAG

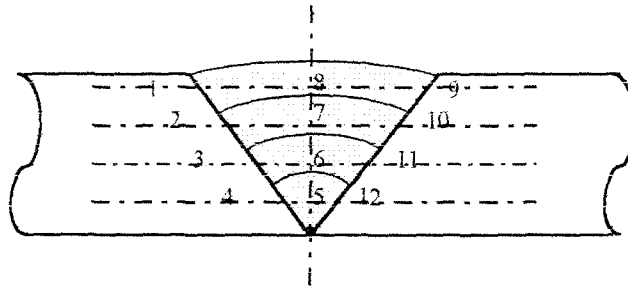
Ön Tavlmalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	66,5	125,8
2	56,7	173
3	57,2	170
4	50	222,5
5	50,3	219,9
6	55,7	179,3
7	51,1	213,1
8	50,8	215,6
9	68,1	120
10	51	213,9
11	42	315,4
12	52,6	201,8



Parça No :3

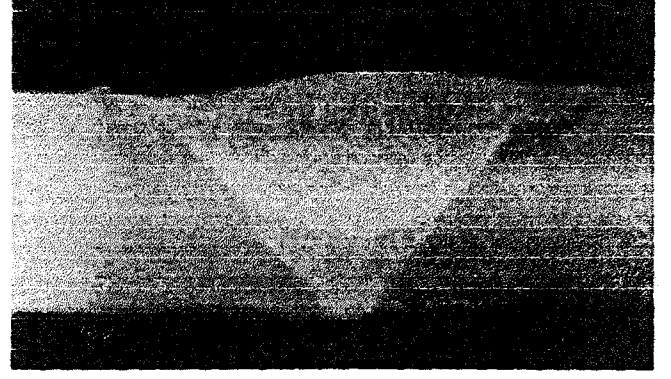
A parçası

Elektrik ark kaynağı

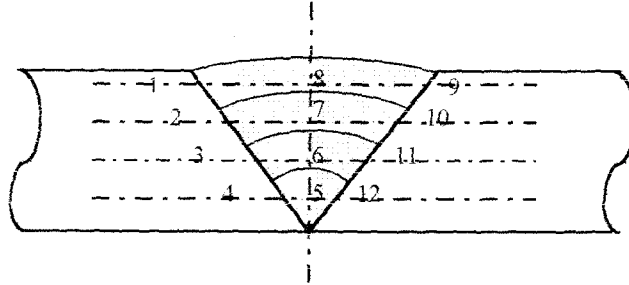
Ön Tavlamalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	59,2	158,7
2	55,9	178
3	60	154
4	56,9	171,8
5	57,2	170
6	50,6	222,5
7	52,6	201,1
8	52	205,7
9	54,7	185,9
10	52,5	201,8
11	54	190,8
12	60	154,5



Parça No :4

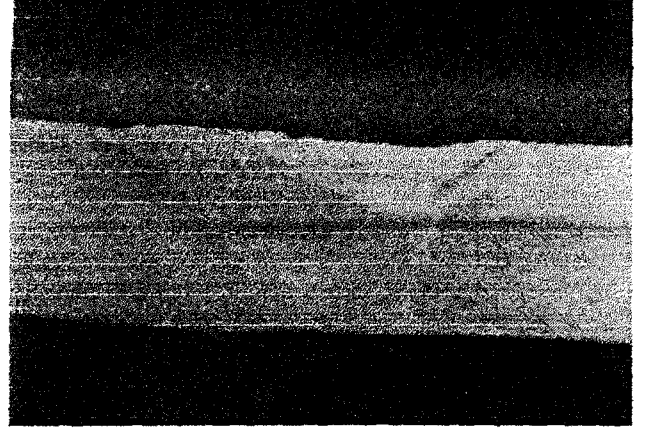
A parçası

Elektrik ark kaynağı

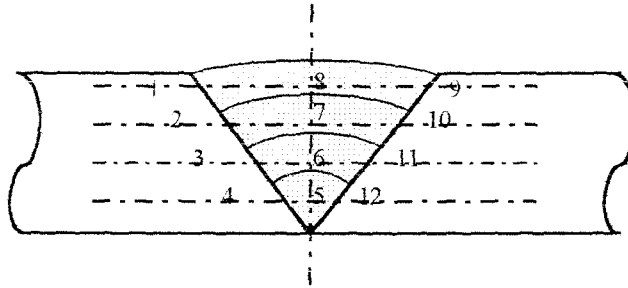
Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	56,5	174,3
2	60	154,5
3	58,5	162,6
4	60	154,5
5	58,5	162,6
6	58,5	162,6
7	56,5	174,3
8	56,7	173
9	57	171,2
10	58,6	162
11	56	177,4
12	59,5	157,4



Parça No :5

A parçası

MAG

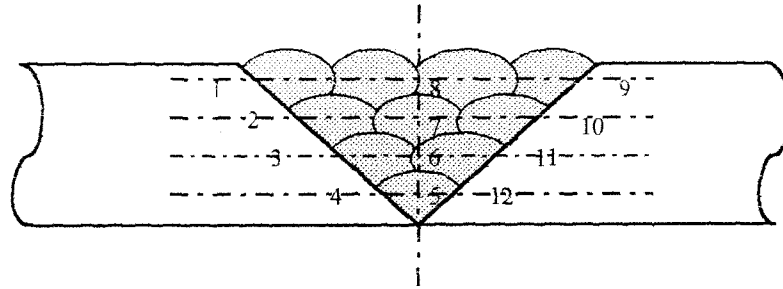
Ön Tavlmalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	60	154,5
2	57	171,2
3	60	154,5
4	57	171,2
5	53	198
6	57	171,2
7	53	198
8	56	177,2
9	55	183,9
10	52	205,7
11	56	177,4
12	58	165,4



Parça No :6

A parçası

Elektrik ark kaynağı

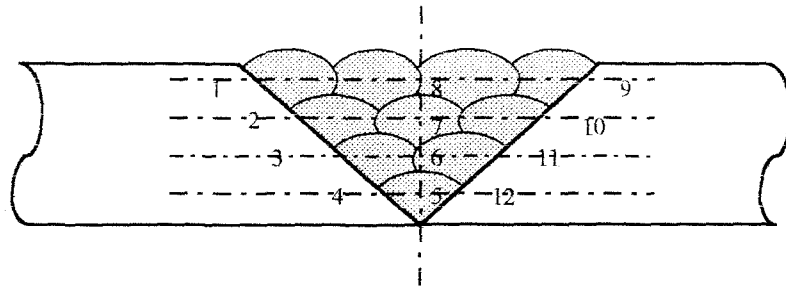
Ön Tavlamalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	50	222,5
2	57,4	168,8
3	57,2	170
4	60,5	152
5	58,2	164,8
6	59	159,8
7	56,8	172,4
8	53,1	197,3
9	53,5	194,4
10	58	165,4
11	58,7	161,4
12	61,2	148,5



Parça No :7

A parçası

MAG

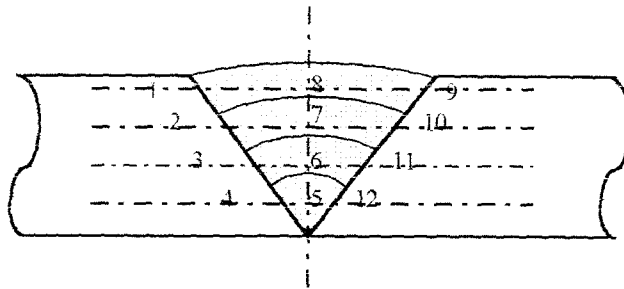
Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	57	171,2
2	59,7	156,1
3	55,9	178
4	56	177,4
5	61	149,5
6	58,5	162,6
7	60	154,5
8	60	154,5
9	56,3	175,5
10	56,7	173
11	58,5	162,6
12	59,7	156,1



Parça No :8

A parçası

MAG

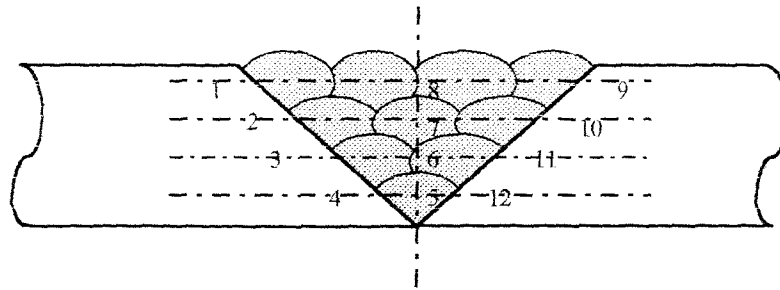
Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0.3</sub> )
1	55,1	183,2
2	57,6	167,7
3	57,8	166,5
4	57	171,2
5	51,6	209,8
6	53,5	194,4
7	60	154,5
8	58,7	161,5
9	59,5	157,1
10	55,4	181,3
11	56,6	173,7
12	59	159,8



Parça No :9

B parçası

MAG

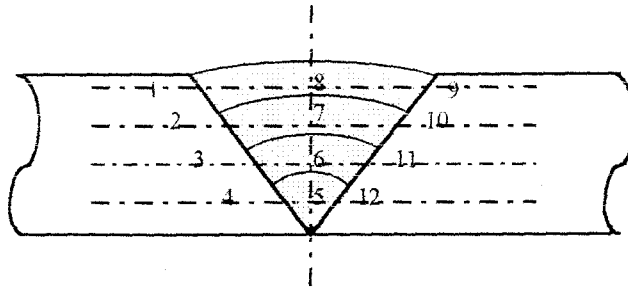
Ön Tavlamalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	54,2	189,4
2	55,8	178,7
3	55,3	181,9
4	55,2	182,6
5	55,1	183,2
6	62,1	144,3
7	60,5	152
8	56,1	176,8
9	55,3	181,9
10	58,3	163,7
11	60	154,5
12	55,3	181,9



Parça No :10

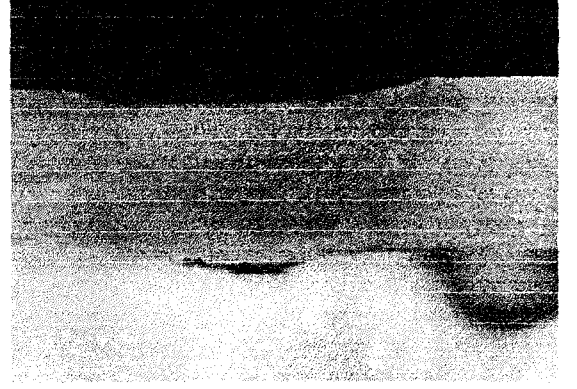
B parçası

Elektrik ark kaynağı

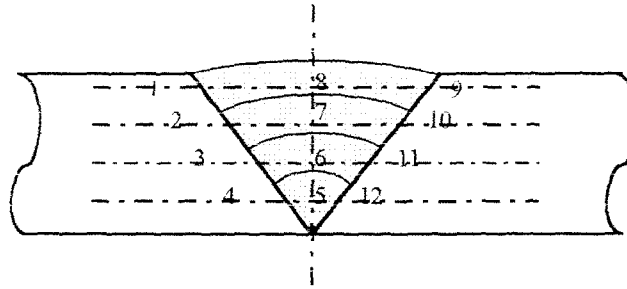
Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



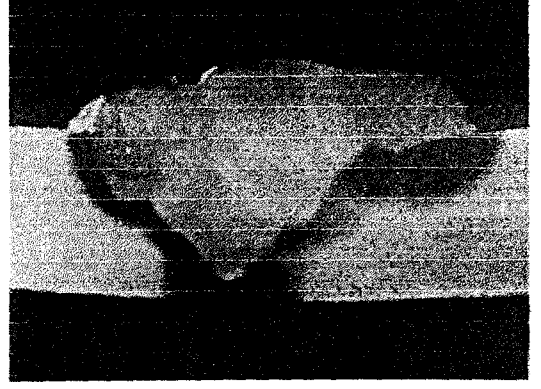
Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	52,6	201,1
2	52,4	202,6
3	53,4	195,1
4	50,6	217,3
5	54,3	188,7
6	54	190,8
7	55,3	181,9
8	54,7	185,9
9	53,6	193,6
10	53,1	197,3
11	49,9	223,4
12	52,1	205



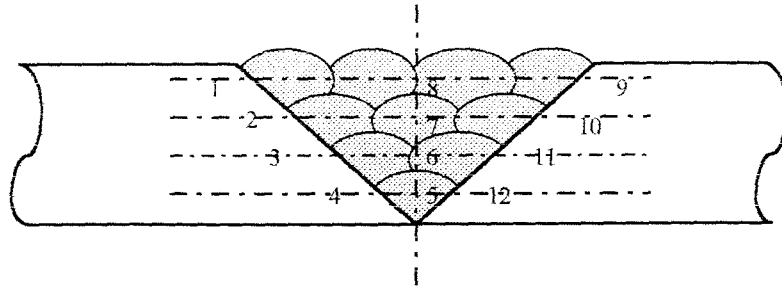
Parça No :11

B parçası  
MAG  
Ön Tavlmalı

300 gr yük  
Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	53,2	196,6
2	55	183,9
3	51,8	207,3
4	54,1	190,1
5	52,1	205
6	51,4	210,6
7	53,4	195,1
8	50,7	216,4
9	51,5	209,8
10	51,3	211,4
11	50,2	220,8
12	51,2	212,2



Parça No :12

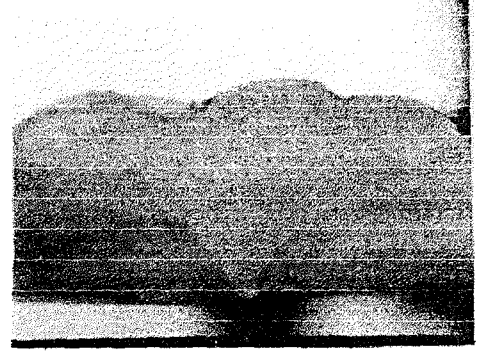
B parçası

MAG

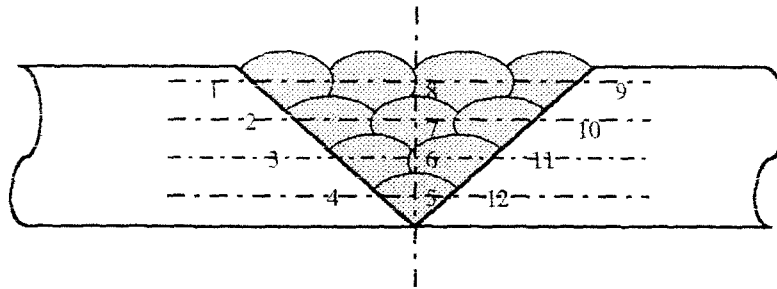
Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	53,6	193,6
2	53,5	194,4
3	54,2	189,4
4	51,1	213,1
5	52,4	202,6
6	52,2	204,2
7	53,5	194,4
8	58,8	160,9
9	54,6	186,6
10	52	205,7
11	51,4	210,6
12	54,1	190,1



Parça No :13

B parçası

Elektrik ark kaynağı

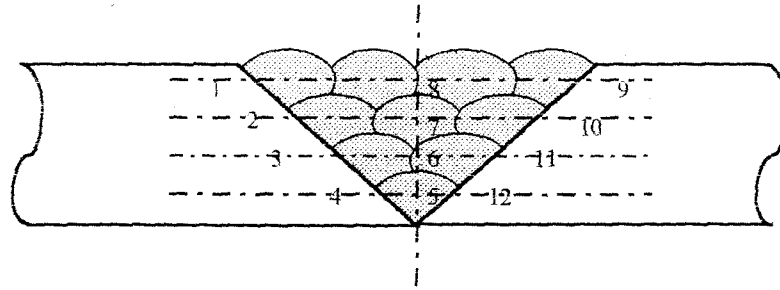
Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	54,7	185,9
2	55,2	183,2
3	56,2	176,1
4	49,4	228,9
5	48,8	233,6
6	54,2	189,4
7	55	183,9
8	51	213,9
9	55,5	180,6
10	52,8	199,6
11	52,8	199,6
12	50	222,5



Parça No :14

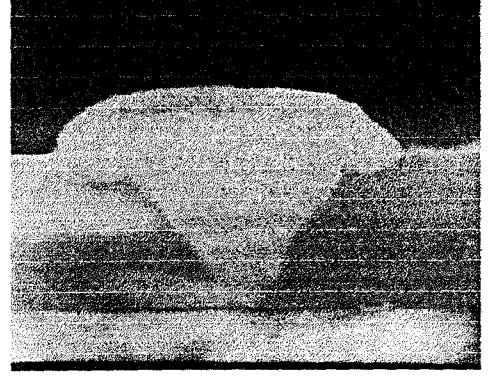
B parçası

MAG

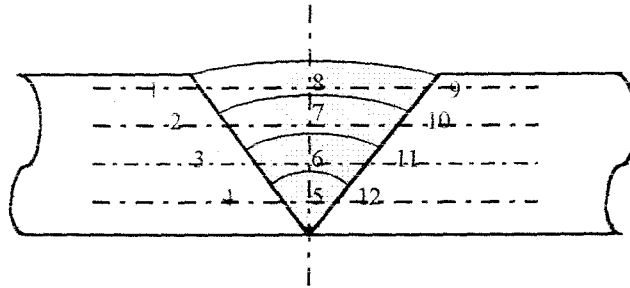
Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



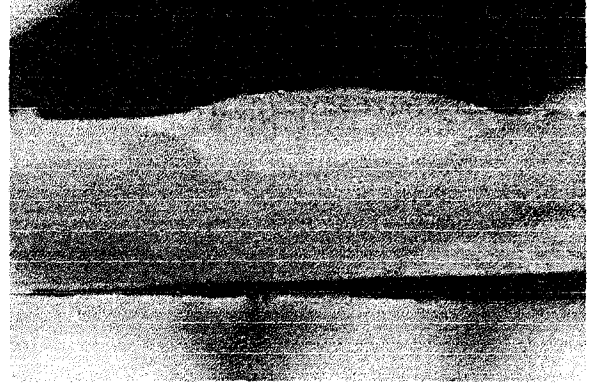
Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	54,8	185,3
2	55,4	181,3
3	53,5	194,4
4	57,2	170
5	54,4	188
6	54,3	195,8
7	60	154,5
8	63	140,2
9	60,5	152
10	56,5	174,3
11	52,2	204,2
12	57	171,2



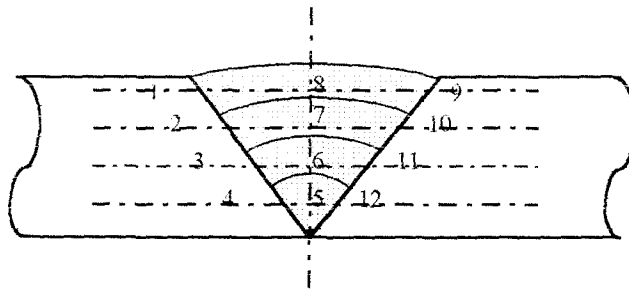
Parça No :15

B parçası  
Elektrik ark kaynağı  
Ön Tavlamalı

300 gr yük  
Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	55,4	181,3
2	55,1	183,2
3	51,5	209,8
4	50,7	216,4
5	50,8	215,6
6	56,1	176,8
7	55,7	179,3
8	54,4	188
9	54,1	190,8
10	50	222,5
11	50,9	214,7
12	50	222,5



Parça No :16

B parçası

Elektrik ark kaynağı

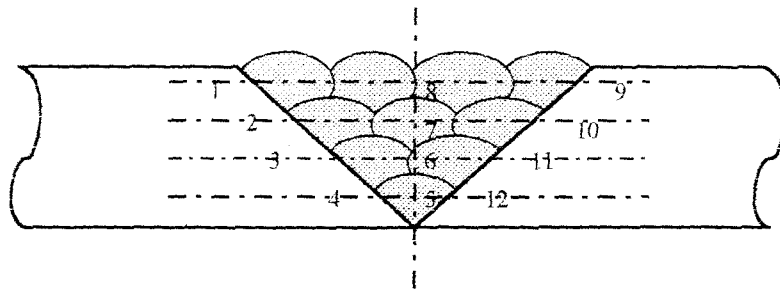
Ön Tavlamalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn



Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri (HV <sub>0,3</sub> )
1	55,8	178,7
2	54,8	185,3
3	55,2	182,6
4	53,3	195,8
5	52,3	203,4
6	57,2	170
7	56,1	176,8
8	53,7	192,9
9	56,6	173,7
10	54,5	187,3
11	54,7	185,9
12	53,6	193,6



#### 4.6. Parçaların Sertlik Ölçümlerinin Değerlendirmesi

Parça No: 1

Bir numaralı parça, A malzememizin 4 sıra, 10 paso ve ön tavlama olarak örtülü elektrodla kaynağıdır.

1. nokta : Çekilen pasonun esas metalin üzerine doğru bir kayma yapması sonucu; 9 numaralı noktaya oranla daha sert bir değer ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni metalin soğuma hızının daha fazla olması ve buna bağlı olarak sertliğin artmasıdır.

8 . nokta : Okunan değerler arasında sertliğin yüksek çıktığı noktalardan biridir. Bunun nedeni, noktanın bir sonraki pasonun ısı etkisi altındaki bölge içinde kalmasıdır.

9. nokta : Esas metalin hızlı soğuma etkisiyle oluşan bir sertliktir.

2. nokta ve 10. nokta : Üst üste çekilen pasoların neticesinde, üst pasoların ısı etkisiyle katılmış tabakaların yapılarında normalize etkisiyle yapıda ince taneler oluşmuş ve sertlikte azalma olmuştur.

7. nokta : Parçada oluşan curuf boşluğu etkisiyle; ısı kaçıışı azalmış, buna bağlı olarak yavaş soğuma etkisiyle sertlikte azalma meydana gelmiştir.

3. nokta : 7 numaralı noktada görülen, ısı kaçışının azalmasının etkisi burada sertliğin azalması yönünde yine görülmektedir.

6. nokta : Üst pasoların ısı etkisiyle oluşan normalizasyon burada da sertliğin azalması yönündeki etkisini gösteriyor.

11. nokta : Pasoların üst üste gelmesi, fazla ısınmayla yapıda sertlik oluşturmuştur.

4. nokta : Fazla ısınmanın neticesi olan sertleşme burada da görülmekte fakat 12 numaralı noktaya göre daha azdır. Bunda oluşan curuf boşluğunun etkisi de vardır.

5. nokta : Üst üste çekilen pasoların ısı etkisiyle parçada oluşan normalizasyon etkisi ve katılmanın en son burada son bulması neticesinde en yumuşak nokta burasıdır.

12. nokta : Parçaya fazla ısı girdisinin olması ve soğuma hızının etkisi ile sertlik artışının en yüksek olduğu noktadır.

Parça No: 6

Altı numaralı parça, A malzememizin 4 sıra, 10 paso ve ön tavlama olarak örtülü elektrodla kaynağıdır. Karbon eşdeğeri hesapları neticesinde ön tavlama gereği duyulmadığı halde tavlama yapılmıştır.

1. nokta : çekilen pasonun esas metalin üzerine doğru bir kayma yapması sonucu; 9 numaralı noktaya oranla daha sert bir değer ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni metalin soğuma hızının daha fazla olması ve buna bağlı olarak sertliğin artmasıdır. 1 numaralı parçaya göre bir kıyaslama yapıldığında ise; bu parçamızın ön tavlama kaynağı, sertlik değerlerinde azalmanın oluşması ve bu azalmanın 8., 9. noktalarda da görülmesinin nedenidir.

8. nokta : Okunan değerler arasında sertliğin yüksek çıktığı noktalardan biridir. Bunun nedeni bir sonraki pasonun ısı etkisi altındaki bölge içinde kalmasıdır.

9. nokta : Esas metalin oluştuğu hızlı soğuma etkisiyle oluşan bir sertliktir.

2. nokta, 7. nokta ve 10. nokta : Üst üste çekilen pasoların neticesinde, üst pasoların ısı etkisiyle katılmış tabakaların yapılarında normalize etkisiyle yapıda ince tanelerin oluşumu ve sertlikte azalma olmuştur.

3. nokta : Burada hem ön tavlama kaynağının hem de normalizasyonun etkisiyle sertlikte azalma görülmektedir.

6. nokta : 3 numaralı noktada görülen etkiler burada kendini göstermektedir. Buna ilaveten oluşan boşluğun etkisiyle azalan ısı kaçışının etkisiyle sertlik değeri biraz daha azalmıştır.

11. nokta : 3 numaralı noktada görülen etkiler burada 6 numaralı noktada görülen etkilerle birlikte görülmektedir.

4. nokta : Kaynağın ön tavlama yapılması bu noktada oluşabilecek fazla ısınmanın neticesi olan sertleşmeyi engellemiştir. Burada sertliğin azalmasına oluşan çukur boşluğunun da etkisi vardır.

5. nokta : 4 numaralı noktada görülen etkiler burada da görülmektedir.

12. nokta : 4 numaralı noktada görülen etkiler burada da görülmektedir. Ama oluşan boşluğun etkisi mesafenin yakınlığından dolayı burada daha fazladır.

Parça No: 13

On üç numaralı parça, B malzememizin 4 sıra, 10 paso ve ön tavlamasız olarak örtülü elektrodla kaynağıdır.

1. nokta : Çekilen pasonun esas metalin üzerine doğru bir kayma yapması sonucu, 9 numaralı noktaya oranla daha sert bir değer ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni metalin soğuma hızının daha fazla olması ve buna bağlı olarak sertliğin artmasıdır.

8. nokta : Bu noktada sertliğin yüksek olmasının nedeni paso sayısının çok olmasıdır.

9. nokta : Esas metalin hızlı soğuma etkisiyle oluşan bir sertlik değeridir.

2. nokta : Oluşan curuf boşluğumuzun ısı kaçışını azaltması yavaş soğuma neticesinde sertlikte azalma olmuştur.

7. nokta : Üst üste çekilen pasoların neticesinde, üst pasoların ısı etkisiyle katılmış tabakaların yapılarında normalize etkisiyle yapıda ince taneler oluşmuş ve sertlikte azalma olmuştur. Burada noktanın iki curuf boşluğunun arasında olmasının da sertliğe etkisi vardır.

10. nokta : B malzememizin karbon ve mangan yüzdelerinin A malzemesine göre daha fazla olması ve paso sayılarından dolayı fazla ısınmanın neticesidir.

3. nokta : Bu noktanın iki curuf boşluğunun arasında olması sertlik değerinde azalmanın hissedilir bir ölçekte meydana gelmesine yol açmıştır.

6. nokta : 7 numaralı noktada görülen etkiler burada da mevcuttur. Burada bir curuf boşluğunun etkisi vardır.

11. nokta : 10 numaralı noktada görülen etkiler burada da mevcuttur.

4. nokta ve 12. nokta : B malzememizin karbon ve mangan yüzdelerinin A malzememize göre daha fazla olması ve soğuma hızının göreceli hızlı olması neticesi olan sertleşme burada görülmektedir.

5. nokta : 4 numaralı noktada görülen etkiler burada görülmektedir. Bu noktanın daha sert çıkmasının bir nedeni de üst üste çekilen pasolar sonucunda her çekilen pasoda dentrit kollarının tekrar tekrar erimesi sonucu bu noktada difüzyon yolu ile karbon artması meydana geldiği  $V_{kr}$  üstü soğumanın ortaya çıktığı kanısına varılmıştır.

12. nokta : 4 numaralı noktada görülenler burada da mevcuttur.

Parça No: 16

On altı numaralı parça, B malzememizin 4 sıra, 10 paso ve ön tavlama olarak örtülü elektrodla kaynağıdır. Karbon eşdeğeri hesapları neticesinde ön tavlama gerekliliği duyulmuştur.

1. nokta ve 9. nokta : Ön tavlama yapılan kaynağın neticesinde, bu noktada görülen, metalin hızlı soğumasından dolayı oluşan sertlik, azalmıştır. Parçada ölçülen tüm noktalarda sertlik dağılımında olumlu bir azalma mevzu bahisdir.

8. nokta : Ön tavlama neticesinde çok pasolu kaynaktan oluşan sertlik değerinde de yavaş soğuma neticesinde bir azalma olmuştur.

2. nokta ve 3. nokta : Fazla ısınma sonucunda oluşan hızlı soğumadan dolayı oluşan bir sertlik mevzu bahisdir.

7. nokta ve 6. nokta : Üst üste çekilen pasoların neticesinde, üst pasoların ısı etkisiyle katılmış tabakaların yapılarında normalize etkisiyle yapıda ince taneler olmuştur ve sertlikte azalma olmuştur.

10. nokta ve 11. nokta : Paso sayısının fazla olmasından dolayı olan bir sertliktir. Burada tüm noktalardaki gibi ön tavlamanın etkisi sertliği azaltacak yönde olmuştur.

4. nokta ve 12. nokta : B malzememizin karbon ve mangan yüzdelerinin A malzememize göre daha fazla olması ve fazla ısınma sonucunda oluşan hızlı soğumanın neticesi olan sertleşme burada görülmektedir. Bu sertlik değerine karbon eşdeğerinin hesabı sonucunda ön görülen ön tavlama sıcaklığının yaptığı etki hissedilir nispettedir.

5. nokta : 4 numaralı noktada görülen etkiler burada görülmektedir. Bu noktanın daha sert çıkmasının bir nedeni de üst üste çekilen pasolar sonucunda her çekilen pasoda dentrit kollarının tekrar tekrar erimesi sonucu bu noktada difüzyon yolu ile karbon artması meydana geldiği  $V_{kr}$  üstü soğumanın ortaya çıktığı kanısına varılmıştır. Ön tavlamanın etkisi burada da büyük bir sertlik azalması şeklinde olmuştur.

Parça No: 4

Dört numaralı parça, A malzememizin 4 sıra, 4 paso (salımlı) ve ön tavlamasız olarak örtülü elektrodla kaynağıdır.

1. nokta : Bu nokta soğuma hızının yüksek olması neticesinde; en sert çıkan noktalardan biridir. Kaynağımız salımlı olarak yapıldığından, salınımlar sırasında bu nokta 9 numaralı noktaya göre daha fazla ısı etkisinde kalmıştır. Buna bağlı olarak daha serttir.

8. nokta : Hızlı soğuma neticesinde oluşan bir sertlik mevcuttur.

9. nokta : 1 numaralı noktada görülen etkiler burada da mevcuttur. Ama salınım açısından bir değerlendirme yapıldığında burada daha az ısı girdisi olmuş ve bunun neticesi olarak daha yumuşaktır.

2. nokta : Bu noktada salınımların ısıca fazla beslediği taraf burası olmuş ve üst pasonun etkisiyle daha geç soğumanın olması neticesinde sertlik azalmıştır.

7. nokta : 3. Pasonun çekildiği süre yaklaşık 4. Pasonun çekildiği süre ile aynıdır. Burada metal beslemesinin iyi olması ve daha fazla bir kütle için hızlı soğumasının neticesinde sertlik değeri yüksek çıkmıştır.

10. nokta : 2 numaralı noktada görülen etkiler burada da vardır. Ama burada salımların ısı beslemesi 2 numaralı noktaya göre azdır.

3. nokta : 2 numaralı noktada görülen etkiler burada da görülmektedir.

6. nokta : Üst pasoların ısı etkisi, katılmış tabakaların yapılarını normalize etkisiyle, ince taneler oluşmuş ve sertlikte azalma olmuştur.(16)

11. nokta : salınım nedeniyle değişen ark boyu neticesinde birim dikiş enerjisinin büyümesi ve soğuma hızının artmasının neticesidir. Bu tamamen kaynakçının meydana getirdiği faktördür.

4. nokta : Fazla ısınma bölgesinin yapısını ve dolayısıyla mekanik karakteristiklerini değiştirir. Fakat bu noktada sertlik müteakip pasolardan sonra azalır ve üçüncü pasodan itibaren sertlikte büyük bir düşme olur ve sabit kalır.(16)

5. nokta : 6 numaralı noktadaki etkiler burada da vardır.

12. nokta : 4 numaralı noktada görülen etkiler burada kendini göstermektedir.

#### Parça No: 3

Üç numaralı parça, A malzememizin 4 sıra, 4 paso (salınımlı) ve ön tavlama olarak örtülü elektrodla kaynağıdır. Karbon eşdeğeri hesapları neticesinde ön tavlama gerekliliği duyulmadığı halde parça tavlama işlemi yapılmıştır.

Bu parçada 1., 2., 3., noktaların dışındaki tüm noktalarda sertlik değerlerinde artış görülmüştür. 1., 2., 3., noktalardaki değerler ise normal sertlik değerleridir. Özellikle kaynak metalini oluşturan 5., 6., 7., 8., noktalardaki sertlik değerlerinde büyük artışlar olmuştur. Salınımdan dolayı daha büyük bir kütle meydana çıktı ve soğuma hızı daha yüksek oldu. Son pasodaki sertlik değerlerinin yüksek olmasının nedeni ise, pasodaki kaçıklıktır.

#### Parça No: 10

On numaralı parça, B malzememizin 4 sıra, 4 paso (salınımlı) ve ön tavlama olarak örtülü elektrodla kaynağıdır.

1. nokta, 2. nokta ve 11. nokta : Bu nokta soğuma hızının yüksek olması neticesinde, serttir. Kaynağımız salınımlı olarak yapıldığından, salınımlar sırasında bu nokta 9 numaralı noktaya göre daha fazla ısı etkisinde kalmıştır. Buna bağlı olarak daha serttir.

8. nokta, 7. nokta, 6. nokta : Hızlı soğuma neticesinde oluşan bir sertlik mevcuttur.

9. nokta, 10. nokta, 3. nokta : 1 numaralı noktada görülen etkiler burada da mevcuttur. Ama salınım açısından bir değerlendirme yapıldığında burada daha az ısı girişi olmuş ve soğuma hızında düşüş burada sertliğin azalması yönünde bir etki yaratmıştır.

4. nokta, 5. nokta, 12. nokta : B malzememizin karbon ve mangan yüzdelerinin A malzememize göre daha fazla olması, bu noktalarda sertliğin yüksek olmasının; kök pasoda kullanılan elektrod çapının küçük (2,5 mm) olması nüfusiyet derinliğini arttırmış, metal parçanın genişliğinin en çok olduğu bölge oluşu, soğuma hızının yüksek değerlere ulaşmasının neticesidir.

#### Parça No: 15

On beş numaralı parça, B malzememizin 4 sıra, 4 paso (salınlı) ve ön tavlama olarak örtülü elektrodla kaynağıdır. Karbon eşdeğeri hesapları neticesinde ön tavlamaya gerek duyulmuştur.

Bu parçada 1., 2., noktaların dışındaki tüm noktalarda sertlik değerlerinde artış görülmüştür. 1., 2., noktalardaki azalma ise; küçük değerlerdeki sertlik düşüşleridir. Özellikle kök paso ve onu çevreleyen kaynak bölgesinde sertlik değerinde hissedilir nispete bir artış vardır. Bu malzememizde, A malzememizde olduğu gibi kaynak metalinde sertlik değerlerindeki artış çok büyük değerlerde değildir. Buradaki dikiş formunun da salınlı olmasından ve sonuç olarak daha büyük bir kütlemin meydana çıkması sonucu hızlı soğumanın gösterdiği etkiler burada da görülmektedir.

#### Parça No: 8

Sekiz numaralı parça, A malzememizin 4 sıra, 10 paso ve ön tavlamasız olarak gazaltı (MAG) kaynağıdır.

1. nokta : Bu kaynak yönteminde ısı etkisi altında kalan bölgenin (ITAB) genişliği örtülü elektrodla yapılan elektrik ark kaynağına göre daha azdır. Bu oran nispetine bu noktadaki sertlik değeri daha düşüktür.

8. nokta : Oluşan reaksiyonlar neticesinde karbon azalmasından dolayı sertlikte bir azalma olmuştur.

9. nokta : Son çekilen pasoya yakın bir noktadır. Bu pasonun çekilişindeki düzensizlikten dolayı sertlik değerinde ölçülen noktada bir düşüş görülmektedir.

2. nokta : Bu noktada sertlik değerinin nispeten düşük çıkmasının nedeni parçadaki cüruf boşluğunun etkisidir. Boşluk ısı kaçışını azaltır ve yavaş soğuma sağlar.

7. nokta : 2 numaralı noktada görölen etkiler burada da vardır ve ilaveten alttaki boşluğun etkisiyle düşüş daha fazladır.

10. nokta : Üstteki pasonun düzensiz ekilişı bu noktayı da etkilemiştir.

3. nokta : Cüruf boşluğunun etkisi burada da vardır.

6. nokta : Kök pasoda oluşmuş kendini çekme ve cürufdan oluşun boşluk sertliğin artması yönünde kendini göstermiştir.

11. nokta : Bulunan küçük boşluğun etkisi azda olsa vardır.

4. nokta, 5. nokta, 12. nokta : Kök pasoda kendini çekme ve cüruf boşluğunun oluşturduğu hata, kaynakçı faktörünün etkin bir faktör olduğunun iyi bir göstergesidir. Esasen oluşun bu hatadan dolayı bu noktalarda ölçüm yapılmaması gerekirdi, fakat biz bir model çalışması yaptığımızdan burada da sertlik ölçümü yaptık. Bu sertlik değerleri değerlendirilmeye tabii tutulmamalıdır.

#### Parça No: 5

Beş numaralı parça, A malzememizin 4 sıra, 10 paso ve ön tavlama olarak gazaltı (MAG) kaynağıdır. Karbon eşdeğeri hesapları neticesinde ön tavlamaya gerek duyulmadığı halde.

Bu parçada 7., 8., 9., 10., noktalar dışın, tüm noktalarda ölçölen sertlik değerlerinde ön tavlama kaynaktan beklenenler nispetinde sertlikte düşüş elde edilmiştir.

7. nokta, 8. nokta, 9. nokta, 10. nokta : Burada cüruf boşluğunun bulunması, kaynak dikişinin düzgün olmayışı bu noktalardaki sertlik değerini etkilemiştir. Hatalara ölçüm yapılan noktaların mesafesinin değişkenliği sertlik değerlerini göreceli olarak etkilemektedir.

#### Parça No: 12

On iki numaralı parça, B malzememizin 4 sıra, 10 paso ve ön tavlama olarak gazaltı (MAG) kaynağıdır.

Tüm noktalarda 13. parçada görülen sertlik dağılımları burada da aynen görülmektedir. Bu parçamızda kaynak malzememizin esas metalin üzerine doğru kayması sertlik değerlerinde bir takım artışlar şeklinde kendini göstermiştir. MAG kaynağında telin pozitif kutuba bağlı olması, ana malzemedan az ilave malzemedan çok ergimenin olması , sertlik değerlerinin genel dağılımında bir düşüş şeklinde görülmektedir.

#### Parça No: 11

On bir numaralı parça, B malzememizin 4 sıra, 10 paso ve ön tavlama olarak gazaltı (MAG) kaynağıdır. Karbon eşdeğeri hesapları neticesinde ön tavlama gerekliliği duyulmuştur.

Parçada ön tavlama bir kaynak birleştirmesinin yapılması genel nispette sertlik değerlerinde azalma şeklinde kendini göstermektedir.

3. nokta, 6. nokta ve 11. nokta : Bu noktalardaki sertlik değerinin yüksek olmasının nedeni ise üst üste çekilen pasoların ısı tesiri altında kalan bölgelerinin iç içe geçmesi ve soğuma hızının göreceli artması neticesinde sertlikte bir artış olduğu kanısına varılmıştır.

#### Parça No: 7

Yedi numaralı parça, A malzememizin 4 sıra, 4 paso ve ön tavlama olarak gazaltı (MAG) kaynağıdır.

Bu parçada 10 pasolu birleştirmelerdeki genel sertlik değerlerinden daha düşük sonuçlar ölçülmüştür. 4 numaralı parçamızda sertlik dağılımına etki eden faktörler göreceli olarak burada da etkin olmuştur.

2. nokta, 7. nokta ve 8. nokta : Bu noktalarda cürufun olması ve parça yüzeyindeki bir oksitlenmeden, herhangi bir istenmeyen maddenin kalmasından veya salınım sırasında kaynak hızının yüksek olmasından ana malzemedeki ergimemenin etkisi sertlik değerlerinin daha küçük çıkması önünde etkin oluşu muhtemeldir.

## Parça No: 2

İki numaralı parça, A malzememizin 4 sıra, 4 paso ve ön tavlama olarak gazaltı (MAG) kaynağıdır. Karbon eşdeğeri hesapları neticesinde ön tavlama gerek duyulmadığı halde parça tavlama yapılmıştır.

3. nokta : Esas malzemede ergimenin olmaması sonucu sertlik değeri düşüktür. Çünkü ısı etkisinde kalınmamıştır.

11. nokta : Bu noktamızda muhtemel bir ölçüm hatası meydana geldiği tahmin edilmektedir.

Tüm noktalarındaki sertliğin artışının nedeni, kaynak edilen tüm parçalardaki dikiş formunun yaklaşık eşit olmayışı, dikişteki kusur ve bozukluktan dolayı sertlik dağılımında düzensizlikler meydana gelmiş ve ön tavlamanın da yapılması kifayetsiz kalmıştır.

## Parça No: 14

On dört numaralı parça, B malzememizin 4 sıra, 4 paso ve ön tavlama olarak gazaltı (MAG) kaynağıdır.

Bu parçada daha önce de belirtmiş olduğumuz nedenlerden dolayı 14 numaralı parçadan genelde daha küçük sertlik değerleri elde edilmiştir, fakat aynı etkiler mevcuttur.

9. nokta : Cüruf boşluğunun olması sertlik değerinin daha düşük çıkmasına neden olmuştur.

## Parça No: 9

Dokuz numaralı parça, B malzememizin 4 sıra, 4 paso ve ön tavlama olarak gazaltı (MAG) kaynağıdır. Karbon eşdeğeri hesapları neticesinde ön tavlama gerek duyulmuştur.

Ön tavlama yapılan birleştirmede sertlik değerlerinin azalması burada kendini göstermektedir. 4, 5, 12, 1 ve 9. noktalarındaki sertlik değerinin yüksek çıkmasının sebebi kaynakçının salınımlar sırasında parça ile tel arasındaki ark boyunun değişmesinden dolayı birim dikiş enerjisinin artması ve bunun soğuma hızını artırıcı yönde olması nedenine bağlanabilir.

#### 4.7. Normalizasyon Tavlamasından Sonra Ölçülen Sertlik Değerleri

Parça No :1

A parçası

Elektrik ark kaynağı

Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0,3</sub>
1	67.1	123.6
2	72.5	105.8
3	66.7	125.0
4	69.1	116.5
5	65	131.7
6	65	131.7
7	61	149.5
8	66.3	126.6
9	66.6	125.4
10	73.6	102.7
11	70.1	113.2
12	67.7	121.4

Parça No :3

A parçası

Elektrik ark kaynağı

Ön Tavlmalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0,3</sub>
1	69.1	116.5
2	69.6	114.8
3	67	123.9
4	67.2	123.2
5	65.5	129.7
6	69.7	114.5
7	68	120.3
8	65	131.7
9	67.2	123.2
10	69.2	116.2
11	64.8	132.5
12	67	123.9

Parça No :2

A parçası

MAG

Ön Tavlmalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0,3</sub>
1	69	116.8
2	65.5	129.7
3	64.7	132.9
4	66	127.7
5	61.2	148.5
6	64.3	134.6
7	60	154.5
8	67.7	121.4
9	72.6	105.5
10	68.5	118.6
11	65.5	129.7
12	67.2	123.2

Parça No :4

A parçası

Elektrik ark kaynağı

Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0,3</sub>
1	56.5	174.3
2	67.7	121.4
3	65.5	129.7
4	65	131.7
5	60	154.5
6	62.9	140.6
7	60	154.5
8	55.5	180.6
9	65	131.7
10	67.5	122.1
11	71.5	108.8
12	65.3	130.5

Parça No :5

A parçası

MAG

Ön Tavlamalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0.3</sub>
1	70,5	111,9
2	71,7	108,2
3	71,2	109,7
4	69	116,8
5	66,5	125,8
6	60,7	151
7	62,3	143,3
8	64,1	135,4
9	75,1	98,64
10	71,5	108,8
11	69,3	115,8
12	71	110,4

Parça No :7

A parçası

MAG

Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0.3</sub>
1	65,7	128,9
2	71,9	107,6
3	65,7	128,9
4	75,1	98,64
5	62,3	143,3
6	67,8	121
7	64,4	134,1
8	60,2	153,5
9	71,1	110
10	67,5	122,1
11	67,5	122,1
12	66,5	125,8

Parça No :6

A parçası

Elektrik ark kaynağı

Ön Tavlamalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0.3</sub>
1	64,8	132,5
2	67,7	121,4
3	71,5	108,8
4	68,3	119,3
5	61,4	147,6
6	63,1	139,7
7	68,5	118,6
8	62,2	143,8
9	71,6	108,5
10	67,8	121
11	68,4	118,9
12	65	131,7

Parça No :8

A parçası

MAG

Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0.3</sub>
1	65,3	130,5
2	66,7	125
3	66	127,7
4	65,1	131,3
5	60	154,5
6	61,3	148
7	57,1	170,6
8	65	131,7
9	60,2	126,9
10	70	113,5
11	66,7	125
12	67,8	121

Parça No :9

B parçası

MAG

Ön Tavlama

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0,3</sub>
1	57,5	168,3
2	57,5	168,3
3	68,5	118,6
4	63,5	138
5	60	154,5
6	63,5	138
7	60	154,5
8	60	154,5
9	61,6	146,6
10	61,4	147,6
11	60	154,5
12	58,2	164,2

Parça No :11

B parçası

MAG

Ön Tavlama

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0,3</sub>
1	58,2	164,2
2	63,2	139,3
3	62,1	144,3
4	62,3	143,3
5	68,9	117,2
6	69,5	115,2
7	70,3	116
8	68,9	117,2
9	64	135,8
10	62,5	142,4
11	61,9	145,2
12	56,1	176,8

Parça No :10

B parçası

Elektrik ark kaynağı

Tavlama

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0,3</sub>
1	61,8	145,7
2	63,9	136,2
3	61	149,5
4	61,5	147,1
5	56	177,4
6	62,4	142,9
7	59	159,8
8	60	154,5
9	64,3	134,6
10	63	140,2
11	61,8	145,7
12	63,8	136,7

Parça No :12

B parçası

MAG

Tavlama

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0,3</sub>
1	61,3	148
2	60	154,5
3	57,6	167,7
4	60,6	151,5
5	60,5	152
6	62,8	141,1
7	63,2	139,3
8	62,4	142,9
9	60	154,5
10	57,4	168,8
11	56,3	175,5
12	58,5	162,8

Parça No :13

B parçası

Elektrik ark kaynağı

Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0.3</sub>
1	62,6	142
2	61,5	147,1
3	60,8	150,5
4	59	159,8
5	57,2	170
6	62,3	143,3
7	62,8	141,1
8	63,2	139,3
9	59,4	157,7
10	58,6	162
11	57,8	166,5
12	60,3	153

Parça No :15

B parçası

Elektrik ark kaynağı

Ön Tavlamalı

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0.3</sub>
1	69,3	115,8
2	63,,6	137,5
3	64	135,8
4	67,2	123,2
5	68,4	118,9
6	67,,5	122,1
7	68,1	120
8	66	127
9	64,7	132,9
10	61,5	147,1
11	63,5	138
12	62	144,7

Parça No :14

B parçası

MAG

Tavlamasız

300 gr yük

Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0.3</sub>
1	63,6	137,5
2	65,4	130,1
3	66,6	125,4
4	61,6	146,6
5	63,5	138
6	68,6	118,2
7	66	127,7
8	62	144,7
9	62,6	142
10	64,1	135,4
11	63,3	138,8
12	66,2	126,9

Parça No :16

B parçası

Elektrik ark kaynağı

Ön Tavlamalı

300 gr yük

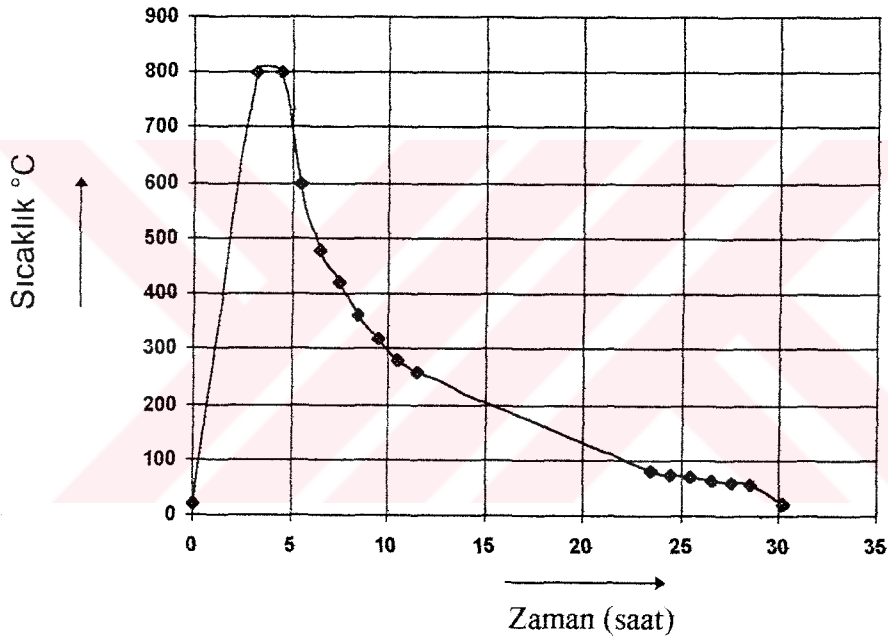
Bekleme Süresi 15 sn

Nokta No'su	Okunan Değer	Sertlik Değeri HV <sub>0.3</sub>
1	67	123,9
2	64,6	133,3
3	66,9	124,3
4	61,3	148
5	60,9	150
6	61,,7	146,1
7	62,8	141,1
8	61,5	147,1
9	62,8	141,1
10	61,2	148,5
11	63	140,2
12	62	144,7

#### 4.8. Normalizasyon Tavlama Sonundaki Sertlik Değerlerinin Değerlendirmesi

Normalizasyon tavlama, çeliklerin tane yapısının inceltmesi için uygulanır. Tane küçültmesinin yanında, perlitik yapı daha ince lamellerden oluşur ve mekanik özelliklerde iyileşme meydana gelir. Bu tavlama uygulanan malzemenin,  $AC_3$  dönüşme sıcaklığının 20 ile 50 °C üzerindeki bir sıcaklıkta uygulanır.

Parçaların tümünü 800 °C'de bir buçuk saat süreyle tavladık, daha sonra fırının içinde yavaş soğumaya bıraktık. Parçamızın tavlama sırasında oluştuğu sıcaklık - zaman diyagramı şekil.4-8'de görülmektedir. Tavlama uygulamasının amacı sertlik değerlerindeki değişimin nasıl olacağını tespit etmektir.



Şekil 4-8 Yaptığımız normalizasyon tavlama sıcaklık - zaman diyagramı

Uygulanan bu tavlama sonunda A ve B malzememizin ön tavlama ve tavlama sertliğinin değişimi yeniden incelendiğinde; sertlik değerlerinin genel bütününde belli bir oranda düşüş tespit edilmiştir. Tavlama sonunda parçalarımıza yeniden zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra dağlama işlemi tekrarlanmıştır. Bu ikinci dağlama sonunda önceden tespit ettiğimiz

noktaların çakışmama olasılığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu etken parçalarımızdaki sertlik dağılımındaki incelemelerdeki ölçüm sapmalarının toleransıdır. Ölçümler parçaların normalizasyon tavlamasından önceki ve sonraki değerleri karşılaştırıldığında; tavlama yapıldıktan sonraki sertlik değerlerinin arasındaki fark değerleri, tavlamadan önceki fark değerlerinden daha küçüktür. Bu da sertlik değerlerinde genel olarak üniformluk sağlanması şeklinde değerlendirilebilir.

#### 4.9. Sonuç

Yapılan deneysel çalışmaların tümünde; kaynak bölgesindeki ve ısı etkisi altında kalan bölgemizdeki sertlik dağılımına, paso sayısı, malzemenin kimyasal kompozisyonu, uygulanan kaynak yöntemi, kaynağın ön tavlmalı veya tavlamasız yapılması ve büyük bir rol oynayan kaynakçının etkisi göz önüne alınarak çeşitli incelemelerde bulunulmuştur. Çalışmalar, atölye koşullarında, bir kaynağın pratisyenler tarafından ortamın elverdiği şartlar nispetinde gerçekleşmesi sınırlarında kalmıştır. Eğer yapılan çalışmalar; bu deneylerin yapılması için özel olarak hazırlanmış laboratuvar ortamında gerçekleşseydi parçanın ideal sertlik dağılımı şekil. 4-9 ve 4-10' daki gibi olacaktı. Bu sertlik dağılımlarının karşılaştırılması yapılırken; bu birleştirmelerin köşe kaynakları ve buradaki ısı kaçışlarının bizim yaptığımız V birleştirmesinden daha fazla olacağı göz önünde bulundurularak bir karşılaştırma yapılmasının daha sağlıklı olacağı kanısındayız.

Isının tesiri altında kalan bölge kaynak metalinin (diğer bir deyişle ergimiş bölgenin), esas metal ile birleştiği kısımdan itibaren 1400 ile 700 °C arasındaki bir sıcaklığın etkisi altında bulunan bölgesidir. Eğer ısının tesiri altında kalan bölgede erişilen en yüksek sıcaklık, kaynağın merkezine olan mesafenin bir fonksiyonu olarak bilinir ve esas metal tipi ile şartları da tanırırsa, kaynak işlemi sonunda meydana gelecek yapıyı normal olarak önceden tahmin etmek mümkündür. 900 °C'nın üzerinde tavlanan bölge, kalın parçaların kaynağında soğuma daha da çabuk olacağından, bir nevi su verme işlemine tabi tutulmuş sayılır. Neticede de kaynak yapılan çeliğin bileşimine göre, bu kısımda çok yüksek bir sertlik elde edilir ve gevrek bir bölge meydana gelir.

Malzeme : St 52

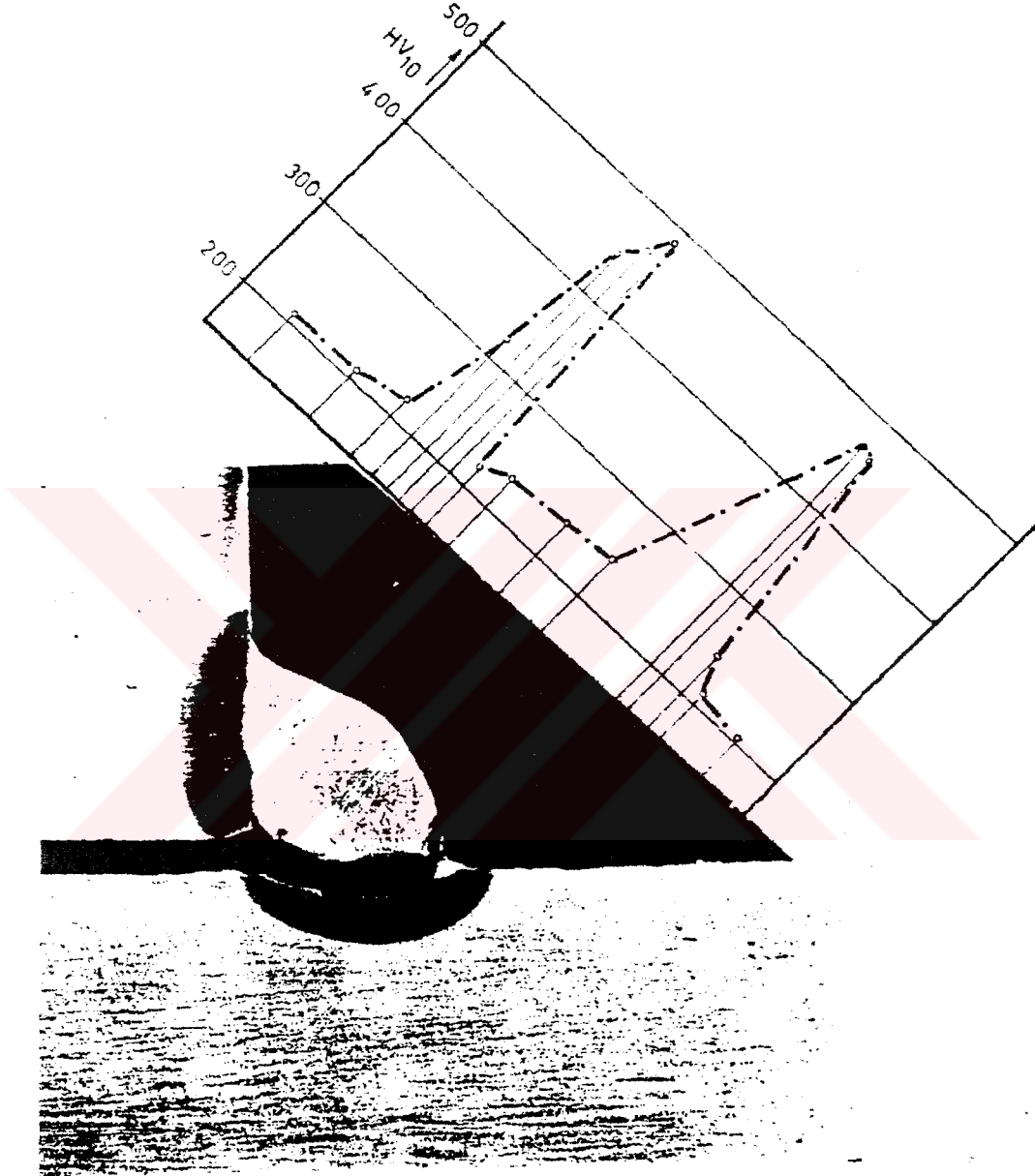
Elektrod Bazik,4 mm

Kaynak akımı : 170 A

Et Kalınlığı : 25 mm

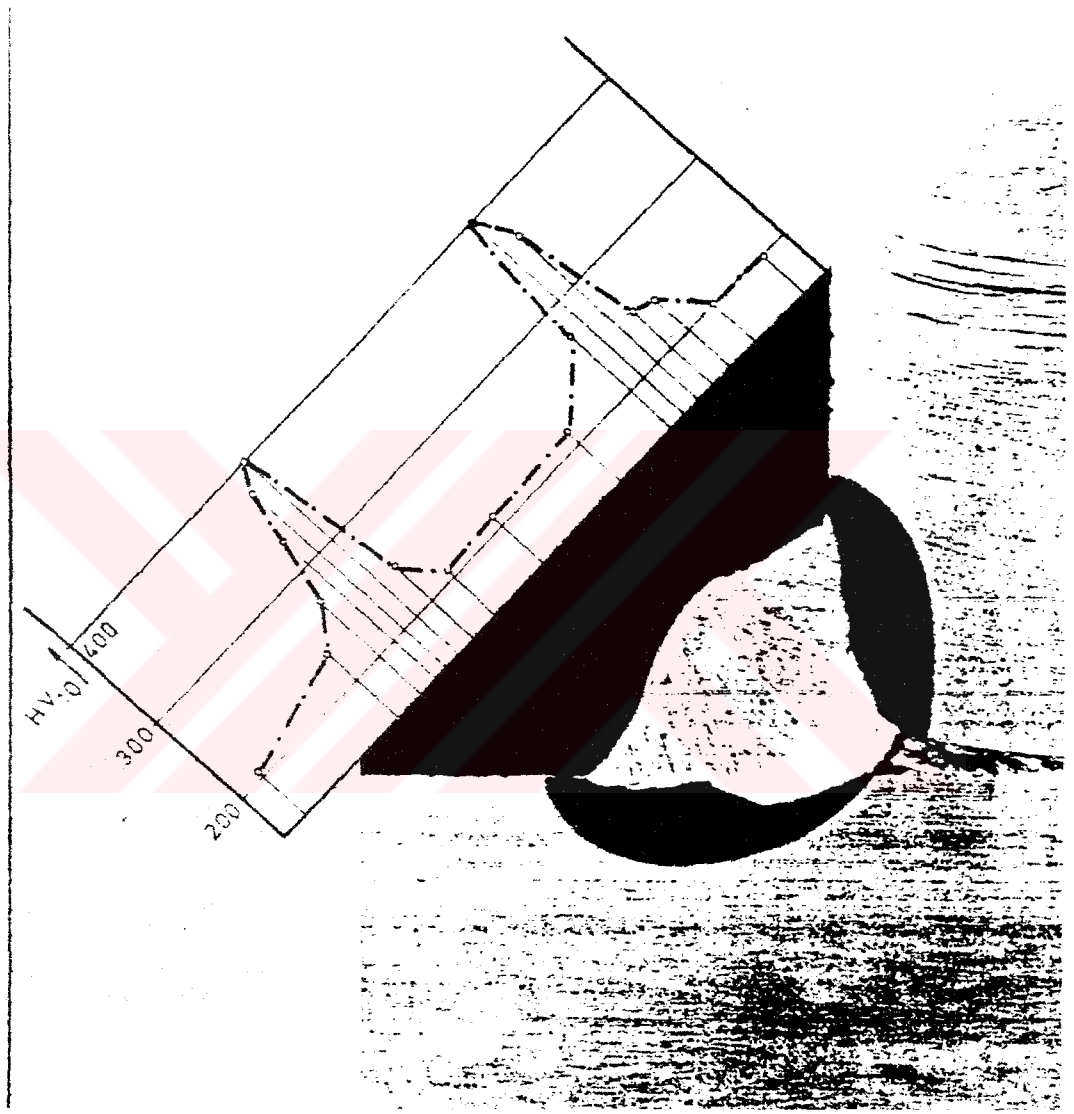
Kaynak pozisyonu : Oluk

Tavlamasız



Şekil 4-9 Bir Köşe Kaynağındaki Sertlik Dağılımı (12)

Malzeme : St 52  
Kök paso : MAG  
Örtü paso : Bazik, 4 mm  
Kaynak Akımı : 210 A  
Et Kalınlığı : 25 mm  
Köşe kaynağı oluk pozisyonu  
Tavlamasız



Şekil 4-10 Bir Köşe Kaynağındaki Sertlik Dağılımı (12)

Milletlerarası kaynak enstitüsünün kaynak kabiliyeti komisyonu, çatlamaya karşı bir emniyet olarak ITAB' de sertliğin 350 HV' yi aşmamasını önemle tavsiye etmektedir. Yapılan çalışmalar her ne kadar atöyle koşullarında, koşulların elverdiği nispette gerçekleşmiş olmasına rağmen ölçülen tüm sertlik değerlerinde milletler arası kaynak enstitüsünün belirlediği 350 HV' yi aşmamıştır. Bu da yapılan kaynak işleminde sertlikten dolayı doğabilecek çatlama ve kırılma riskinin olmayabileceğini gösterebilir. Parçaların sertlikleri açısından kaynak birleştirmelerinin kabul edilebilir olduğu söylenebilir.

Parçalarda farklı sertlik dağılımlarının olması, otomatik olmayan bir kaynakla birleştirme işleminde kaynakçı kabiliyetinin önemli olduğunu gösterir. Kaynak dikişlerinin eşit formlarda olmaması, dikişte kaçıklıkların olması, eksik erimelerin meydana gelmesi, özellikle salımlı kaynakta ısı enerjisinin yoğunlunun farklı dağılması ve tüm bunların sonucu soğuma hızlarının değişik olması ve sertlik değerlerinde farklı dağılımlar şeklinde olması kaynakçı etkisinin belirgin faktörleridir.

Genel olarak örtülü elektrodla elektrik ark kaynağıyla (MMA), gazaltı (MAG) kaynağı karşılaştırıldığında ısı etkisi altında kalan bölgenin (ITAB) genişliği (ister on pasolu, isterse dört pasolu birleştirmede olsun) MAG ile yapılan birleştirmelerde daha küçüktür. Bunun belli başlı nedenlerinin başında MAG ile yapılan birleştirmelerde parçanın negatif kutba, telin ise pozitif kutba bağlanarak kaynak yapılmasıdır. Çünkü bu kutuplamada ana malzemeden az, ilave malzemeden çok ergime olur. Bu da parçaya giren ısı girdisinin daha düşük olması, buna karşılık soğuma hızının daha az olması sonucunda sertlik değerlerinin daha da düşük çıkmasına neden olan bir etken olarak düşünülebilir.

Özellikle salımlı yapılan birleştirmelerde (hem MMA hemde MAG yönteminde) kaynakçının el melekesinin oynadığı rol büyük bir nispette sertlik dağılımında kayda değer bir şekilde etkilerinin bulunduğu kanısına varılmıştır. Bu kaynak dikişinin hızlı çekilmesi sonunda birim dikiş enerjisinin düşmesi bununla birlikte soğuma hızının da azalması ve sertliğin düşük olması, salımlı kaynak ağzının her iki kenarına da ısının aynı oranda etki etmemesi sonucu, simetrik

eksendeki sertlik dağılımının her iki tarafta yaklaşık eşit değerlerde çıkmaması yönünde etkilerine rastlanmıştır.

10 pasolu kaynak birleştirmesinde; özellikle Mn ve C yüzdeleri biraz daha fazla olan B malzememizde, kaynak dikişinin dentrik katılaşmasının ve katılaştan kolların üst üste çekilen her pasoda tekrar erimesi, sonucu difüzyon yoluyla C artması meydana geldiği ve  $V_{kr}$  üstü soğumanın ortaya çıktığı kanısına varılabilir.

A malzememiz için ön tavlamasız 10 pasolu yapılan birleştirmede; sertliğin genel dağılımı açısından MAG ile yapılan kaynakta çıkan değerler daha küçüktür. Aynı seyir ön tavlama birleştirme içinde geçerlidir. Ön tavlamasız 4 pasolu olarak yapılan birleştirmede; sertliğin genel dağılımı MAG' da yine daha düşük sertlik değerleri şeklinde görülmektedir. Burada sertlik değerlerinin genel dağılımındaki farkı çok küçük değerler şeklindedir. Fakat, bu paso sayısında ön tavlamanın gerekmediği halde, tavlama olarak yapılan birleştirmelerde, her iki yöntemde de genel sertlik dağılımını sertliklerin artışı şeklinde kötü yönde etkilemiştir.

A malzememizde 10 pasolu birleştirmede (her iki yöntemde) ön tavlama gerekmeden yapılan tavlama, sertlik değerlerinin genel dağılımında sertliklerin azalması yönünde olumlu bir etkisi olmuştur. 10 pasolu birleştirmede örtülü elektrodla elektrik ark kaynağıyla (MMA); üst üste çekilen pasoların, ısı etkisi altında kalan alanların daha geniş olması, ısı girdisinin daha fazla olması sonucunda soğuma hızının yüksek olması neticesinde sertlik değerleri MAG' a göre daha büyüktür. Bu hem ön tavlama hem de ön tavlamasız parçalar için geçerlidir.

B malzememizde 4 pasolu birleştirmede hem MMA, hem de MAG kaynağında sertlik değerleri 10 pasoluya göre daha küçük çıkmıştır. Karbon eşdeğeri hesaplandığında Seferian' a göre yaklaşık 100 °C ön tavlama gerektirilen bu malzemede, 4 pasolu ön tavlama birleştirmelerde sertlik değerlerinde hem azalma, hemde değerler arasındaki farkın azalması sonucunda sertlik değerlerinde bir üniformluk sağlanması yönünde olumlu etkisi kaydedilmiştir. Ön tavlamanın 10 pasolu birleştirmede de, aynı olumlu nispetteki etkisi görülmüştür.

B malzememizde 10 pasolu birleştirmelerde, özellikle örtülü elektrodla elektrik kaynağında (MMA), kök pasoda kullanılan elektrod çapının küçük (2,5 mm) olması nüfusiyet derinliğini arttırmış, metal parçanın genişliğinin en çok

olduğu bölge oluğu soğuma hızının yüksek değerlere ulaşmasının neticesi olarak değerlendirilebilir.

Her iki malzemedede ve yöntemde, özellikle 10 pasolu birleştirmede, örtü pasosu olarak çekilen pasolarda esas metale doğru olan kaymalar, metal malzemenin soğuma hızının daha çabuk olmasının neticesi olarak sertlik değerleri yüksektir.



**KAYNAKÇA**

1. ANIK, S., 1981, Kaynak Tekniği Cilt 3
2. ANIK, S., 1983, Kaynak Teknolojisi El Kitabı
3. ANIK, S., TÖLBENTÇİ, K. ve DİKİCİOĞLU, A., 26-27 Nisan 1988, HI,HII,17 Mn 4, 19 Mn 5 Kazan Çeliklerinin Kaynağında ITAB'ın Tokluğuna Isı Girdisinin ve Gerilme Giderme Tavlamaının Etkileri, I. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, S.298-307
4. ANIK, S., TÖLBENTÇİ, K. ve KALUÇ, E., 1991, Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı
5. ANIK, S. ve VURAL, M., Mayıs 1992, Farklı Standartlarda Basınçlı Kapların Kaynaktan Sonraki Isıl İşlemlerinin Karşılaştırılması, Metal ve Kaynak, Yıl:3,Sayı:33, S.19-23
6. ANIK, S., Ocak 1993, Kaynak Bağlantılarının Bölgesel Isıl İşlemleri İçin Kullanılan Uluslararası Geçerli Kurallar, Kaynak Dünyası, S.3-10
7. BURDEKİN, F.M., 1969, Heat Treatment of Welded Structures
8. CİN, M., 1978, Doktora Tezi
9. ÇANACIK, A., 1993, Yüksek Lisans Tezi
10. GÖLSÖZ, A. ve MERAN, C., 2-3-4 Nisan 1997, Kaynak Tekniğinde Zaman - Sıcaklık - Dönüşüm Diyagramlarının Kullanımı, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, S.477-484
11. GÖLTEKİN, N., 1991, Kaynak Tekniği
12. GÖLTEKİN, N., 1994, Yüksek lisans notları
13. GÖVENTÖRK, F., 1990, Çelik El Kitabı
14. Metals Handbook Vol.3. Welding, 1981, 9th Edition, ASM Metals Part
15. OERLİKON, Factors Affecting The Microstructure An Properties of C-Mn All-Weld-Metal Deposits
16. OĞUZ, B., 1987, Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı
17. SALMAN, S., Şubat 1997, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metallografi Laboratuvar Denepleri
18. TOPBAŞ, A., 1993, Isıl İşlemler
19. TÖLBENTÇİ, K., 1990, MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı

20. URAL, M., 26-27 Nisan 1988, Isının Etkisi Altında Kalan Bölgenin Elektrik Ark Kaynağında İncelenmesi, I. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, S.519-524



**ÖZGEÇMİŞ :**

Adı:..... : İlknur  
Soyadı..... : ÇAVUŞOĞLU  
Doğum Tarihi : 03.03.1970  
Doğum Yeri .. : İstanbul  
Uyruğu..... : TC

**Bitirdiği Eğitim Kurumları :**

İlkokul ..... : İstanbul Cengiz Topel İlkokulu  
Ortaokul..... : İstanbul Yahya Kemal Beyatlı Lisesi  
Lise ..... : Ankara Cumhuriyet Lisesi  
Lisans..... : Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi  
Makina Mühendisliği Bölümü İstanbul 1988-1992