

**ÇELİKLERİN ARK KAYNAĞINDA ÖNTAVLAMA SICAKLIĞININ ITAB
MİKROYAPISI VE SERTLİĞİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mürsel Osman MOR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

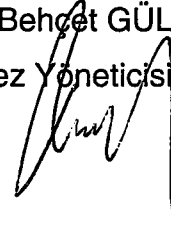
**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Temmuz 2001
ANKARA**

114880

Mürsel Osman MOR tarafından hazırlanan, ÇELİKLERİN ARK KAYNAĞINDA ÖNTAVLAMA SICAKLIĞININ ITAB MİKROYAPISI VE SERTLİĞİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI isimli bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Behçet GÜLENC
Tez Yöneticisi



Bu çalışma jürimiz tarafından Metal Eğitimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Adem KURT



Üye: Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC



Üye: Yrd. Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ



Üye:

Üye:

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ARK KAYNAK TEKNİKLERİ.....	2
2.1. Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı.....	2
2.1.1. Örtülü elektrotlar.....	3
2.1.2. Örtü maddesi	4
2.1.3. Örtü çeşitleri.....	5
2.1.3.1. Rutil elektrotlar.....	5
2.1.3.2. Bazik elektrotlar.....	6
2.2. Kaynak Makineleri.....	7
2.2.1. Doğru akım kaynak makineleri.....	7
2.2.2. Alternatif akım kaynak makineleri.....	7
2.3. MİG-MAG Kaynağı.....	8
2.3.1. MİG – MAG kaynağı akım üreteçleri.....	9
2.3.2. MİG - MAG kaynağında kullanılacak koruyucu gazlar.....	11
2.3.2.1. Karbondioksit.....	11
2.3.3. Koruyucu gazın görevleri.....	12
2.3.4. MİG - MAG kaynağı tel elektrotları.....	15
2.4. Kaynak Kabiliyeti.....	17
2.4.1. Kaynak kabiliyetinin genel ifadesi.....	18

2.4.2.	Kaynak kabiliyetinin önemi.....	19
2.5.	Karbon Eşdeğeri.....	22
3.	KAYNAK BÖLGELERİ.....	25
3.1.	Ergime Bölgesi.....	25
3.2.	Isının Tesiri Altında Kalan Bölge.....	25
4.	KARBONLU ÇELİKLERİN KAYNAĞI.....	30
4.1.	Alaşım Elementlerin Kaynağa Etkileri.....	32
4.2.	Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı.....	34
5.	KAYNAKTA ISIL İŞLEM.....	39
5.1.	Ön Isıtma ve Pasolar Arası Sıcak Tutma.....	39
5.2.	Ard Isıtma.....	40
5.3.	Gerilim Giderme.....	41
5.3.1.	Makroskobik gerilimlerin giderilmesi.....	42
5.3.2.	Mikroskobik gerilimlerin giderilmesi.....	43
5.4.	Kaynakta Gerilmeler ve Çarpılmalar.....	45
5.4.1.	Çarpılma.....	47
5.4.1.1.	Çarpılmayı azaltıcı önlemler.....	49
5.5.	Malzeme Seçimi ve Isıl İşlem İhtiyacı.....	50
5.6.	Kaynakta Isıl İşlemin Sertliğe Etkisi.....	51
5.6.1.	Isıl İşlem grafinin kontrolü.....	52
5.6.2.	Sertlik kontrolü.....	52
5.7.	Kaynak Dikişi Ve Çevresindeki Sertlik Değişimi.....	54
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	56
6.1.	Deney Malzemeleri.....	56
6.1.1.	Ana malzeme.....	56
6.1.2.	Kaynak metali.....	58
6.2.	Deney Donanımı.....	59
6.3.	Deneylerin Yapılışı.....	59
6.4.	Kaynaklı Ana Malzemeden Deney Numunelerinin Çıkartılması.....	61
6.5.	Mikroyapı ve Sertlik Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	62

7.	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	63
7.1.	Makroyapı ve Nüfuziyet Sonuçları	63
7.2.	Mikroyapı Sonuçları ve Tartışma	64
7.2.1.	% 0,20 C'lu numunelerin mikroyapı sonuçları ve tartışma...	65
7.2.2.	% 0,42 C'lu numunelerin mikroyapı sonuçları ve tartışma...	65
7.2.3.	% 0,84 C'lu numunelerin mikroyapı sonuçları ve tartışma..	66
7.3	Sertlik Deney Sonuçları ve Tartışma	80
7.3.1.	Kaynak metalinin sertliği ve tartışma.....	96
7.3.2.	İri taneli bölgenin sertliği ve tartışma.....	96
7.3.3.	İnce taneli bölgenin sertliği ve tartışma.....	97
7.3.4.	Esas metal sertliği ve tartışma.....	97
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	98
	KAYNAKLAR	100
	ÖZGEÇMİŞ.....	102

**ÇELİKLERİN ARK KAYNAĞINDA ÖNTAVLAMA
SICAKLIĞININ ITAB MİKROYAPISI VE SERTLİĞİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mürsel Osman MOR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEMMUZ 2001
ANKARA**

ÖZET

Bu çalışmada %0,20, %0,42 ve %0,84 karbonlu yapı çeliklerinin kaynağında ön tavlamanın mikroyapı ve sertlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. 200x80x10 mm boyutlarındaki numuneler oda sıcaklığında ve 100 °C, 200 °C ve 350 °C öntav sıcaklıklarında manuel ark ve MAG kaynak yöntemiyle kaynatılmıştır. Manuel ark kaynak işleminde rutil ve bazik elektrotlar kullanılırken MAG kaynağında SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Kaynatılan numunelerin mikroyapıları incelenerek fotoğraflanmış ve sertlikleri ölçülmüştür. %0.20 karbonlu malzemede öntavlamanın ITAB sertliğine herhangi bir etkisi olmazken, %0.42 karbonlu malzemede 100 C öntavlama işleminden sonraki öntavlamalarla yapılan kaynak işlemlerinden sonra ITAB sertliğinin 350 VSD altına indiği gözlemlenmiştir. %0.84 C'lu çelikte öntavlama, sertliğin kritik sertlik değeri olan 350 VSD altına düşürememiştir. Artan karbon oranı ile birlikte ITAB'da çatlaklar gözlemlenmiştir. Uygulanan öntavlama işlemleriyle kaynak bölgesinde oluşan çatlaklarda azalma tespit edilmiştir. Bazik elektrotlarla yapılan kaynaklarda kaynak bölgesinin sertliği

diğer elektrot ve kaynak yöntemleriyle yapılan kaynak bölgesi sertliğine göre daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Tüm kaynak numunelerinin mikroyapı incelemelerinde öntavlama sıcaklığı arttıkça malzemenin tane boyutları önemli ölçüde küçülmüş buna karşılık ITAB'nin genişlediği gözlenmiştir.

Bilim kodu : 225.04.01

Anahtar kelimeler : Ark Kaynağı-Ön Tav Sıcaklığı

Sayfa adedi : 102

Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. Behçet GÜLENÇ



**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF
PRE-ANNEALING ON THE MICROSTRUCTURE AND
HARDNESS AT ARC WELDING OF STEELS**

(M.Sc. Thesis)

Mürsel Osman MOR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY
JULY 2001**

ABSTRACT

In this work, the effects of pre-heating on microstructure and hardness on the welding of construction steel has been investigated. The samples of 200x80x10 mm have been welded by manual arc and MAG welding methods. The welding are carried out at room temperature and 100, 200, 350 °C as pre-heating temperatures. In the manual arc welding, rutil and basic electrodes were used. On the other hand, in the MAG welding, SG2 welding wire was used. The microstructure of the welded specimens were investigated and their hardness were measured. No change in hardness of HAZ at 0.20%C steel has been observed, but the HAZ hardness of 0.42%C steel which was pre-heated over 100 C was decreased to less than 350 VH. The HAZ hardness at 0,84%C steels was not decreasing under 350 VH. The cracks at HAZ were observed as carbon content increased. The cracks were decreased at welding zone on pre-heating specimens basic electrodes led to

a lower hardness at welding zone compared to the other electrodes and methods. It was observed from microstructure examination of the all specimens, the grain size was reduced considerably while HAZ getting larger.

Science Code : 225.04.01

Key words : Arc welding, MAG welding, Primary annealing

Page number : 102

Supervisor : Assist. Prof. Behçet GÜLENÇ



TEŞEKKÜR

Çeliklerin ark kaynağında öntav sıcaklığının mikroyapıya ve sertliğe etkisinin araştırılması isimli Yüksek Lisans tezinin hazırlanmasında bana her türlü desteği sağlayan tez yöneticim Sayın Yard.Doç.Dr. Behçet Gülenç'e şükranlarımı sunarım. Deneysel çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen Metal Eğitimi Bölümü Araştırma Görevlileri Ahmet Durgutlu'ya, Kubilay Karacı'ya, Tayfun Fındık'a ve Hakan Ateş'e, Türk Traktör Fabrikası elemanlarından Sayın İbrahim Halil Koraşlı'ya ve ayrıca değerli katkılarından dolayı Doç.Dr. Burhanettin İnem ile Doç.Dr. Adem Kurt'a teşekkür ederim. Tezimin gerek yazımı gerekse sayfa dizaynının yapılması esnasında her türlü teknik imkanını ve zamanlarını esirgemeyen Yard.Doç.Dr. Abdulkadir Güllü ve Arş.Gör. Halil Demir'e teşekkür ederim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. MİG-MAG için özsüz tel elektrotların kimyasal bileşimi.....	16
Çizelge 2.2. MİG-MAG için özsüz tel elektrotların ölçüleri	17
Çizelge 2.3. Karbon eşdeğeri, elektrot çapı, parça kalınlığı, ağız türüne göre uygulanması önerilen ön tav sıcaklıkları.....	24
Çizelge 4.1. Kaynaklanabilir karbonlu çelikler.....	30
Çizelge 4.2. Ön ısıtma sıcaklıkları	31
Çizelge 4.3. Endüstride sık karşılaşılan ve problemsiz kaynak Edilebilen çelikler.....	35
Çizelge 5.1. Kaynak pasosunun soğuma süresinin üzerine uzunluğunun Etkisi.....	40
Çizelge 5.2. Çeliğe uygulanan ısıtma işlemleri.....	43
Çizelge 5.3. Kaynak sonrası gerilim gidermeyi gerektiren ve gerektirmeyen malzemeler.....	51
Çizelge 5.4. ANSI standartlarının öngördüğü ısıtma işlem şartları.....	53
Çizelge 6.1. % 0,20 C'lu çelik malzemenin kimyevi bileşimi.....	56
Çizelge 6.2. % 0,42 C'lu çelik malzemenin kimyevi bileşimi	57
Çizelge 6.3. % 0,84 C'lu çelik malzemenin kimyevi bileşimi.....	57
Çizelge 6.4. Rutil tip kaynak elektrodu kimyevi bileşimi.....	58
Çizelge 6.5. Bazik tip kaynak elektrodu kimyevi bileşimi	58
Çizelge 6.6. SG2 kaynak telinin kimyevi bileşimi.....	58
Çizelge 7.1. Değişik ön tav sıcaklıklarındaki dikişlerin boyut değişimi	64
Çizelge 7.2. % 0,20 C'lu çeliğin kaynak bölgesi sertlik değerleri	81
Çizelge 7.3. % 0,42 C'lu çeliğin kaynak bölgesi sertlik değerleri	82
Çizelge 7.4. % 0,84 C'lu çeliğin kaynak bölgesi sertlik değerleri	83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektrik arkının oluşumu.....	2
Şekil 2.2. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi	3
Şekil 2.3. MIG-MAG kaynak donanımı şeması.....	9
Şekil 2.4. Yatay karakteristige sahip bir makinanın I-v ilişkisi.....	9
Şekil 2.5. Ark uzunluğunun içten ayar yardımı ile ayarlanması.....	10
Şekil 2.6. Koruyucu gazın kaynak bölgesine etkileri.....	13
Şekil 2.7. Çeşitli gaz ve karışımlarına ait dikiş nüfuziyet formları.....	14
Şekil 2.8. Kaynak kabiliyetinin malzeme, yapım yönetimi ve konstrüktif ifadeleri.....	20
Şekil 3.1. Çeliklerde sıcaklığın ITAB'da mikroyapıya etkisi.....	27
Şekil 4.1. Fe-Fe ₃ C denge diyagramı	36
Şekil 4.2. Martenzit sertliğinin çeliğin içerdiği karbon miktarına Göre değişmesi.....	38
Şekil 5.1. Gerilim giderme ısı çevrimi.....	42
Şekil 5.2. Çelige uygulanan ısı işlemler.....	42
Şekil 5.3. Temperlenmiş martenzitin mikroskop altında şematik görünümü	44
Şekil 5.4. İç gerilmelerin sıcaklıkla azalması(karbonlu çelikte).....	45
Şekil 5.5. Uzaması ve kısaması engellenen kısa çubuğun ısınma ve soğuma aşamalarında iç gerilmelerin değişimi.....	45
Şekil 5.6. Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma gerilme bölgeleri.....	46
Şekil 5.7. Kaynakta kalıntı gerilmelerinin enine dağılımı.....	47
Şekil 5.8. Kaynaklanan iki levhanın boydan ve enden çekerek çarpılması	48
Şekil 5.9. Kaynaklanan iki levhada açısız çarpılma.....	48
Şekil 5.10. Köşe kaynağında çarpılmalar.....	49
Şekil 5.11. Kaynak dikişi ve çevresinde sertlik değişimin tipik eğrisi.....	55
Şekil 6.1. Kaynak deney donanımı Şeması.....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 6.2. Esas metallere uygulanan kaynak dikişi.....	60
Şekil 6.3. Kaynak dikişli parçadan deney numunesinin çıkarılışı.....	62
Şekil 7.1. % 0,20 C'lu çeliğin oda sıcaklığındaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	68
Şekil 7.2. % 0,20 C'lu çeliğin 100 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	69
Şekil 7.3. % 0,20 C'lu çeliğin 200 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	70
Şekil 7.4. % 0,20 C'lu çeliğin 350 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	71
Şekil 7.5. % 0,42 C'lu çeliğin oda sıcaklığındaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	72
Şekil 7.6. % 0,42 C'lu çeliğin 100 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	73
Şekil 7.7. % 0,42 C'lu çeliğin 200 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	74
Şekil 7.8. % 0,42 C'lu çeliğin 350 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	75
Şekil 7.9. % 0,84 C'lu çeliğin oda sıcaklığındaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	76
Şekil 7.10. % 0,84 C'lu çeliğin 100 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	77
Şekil 7.11. % 0,84 C'lu çeliğin 200 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	78
Şekil 7.12. % 0,84 C'lu çeliğin 350 °C öntavdaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler.....	79
Şekil 7.13. Kaynaklı numunelerde sertlik değerlerinin alındığı bölgeler.....	80
Şekil 7.14. % 0,20 C'lu çeliğe oda sıcaklığında çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	84
Şekil 7.15. % 0,20 C'lu çeliğe 100 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	85

Şekil	Sayfa
Şekil 7.16. % 0,20 C'lu çeliğe 200 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	86
Şekil 7.17. % 0,20 C'lu çeliğe 350 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	87
Şekil 7.18. % 0,42 C'lu çeliğe oda sıcaklığında çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	88
Şekil 7.19. % 0,42 C'lu çeliğe 100 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	89
Şekil 7.20. % 0,42 C'lu çeliğe 200 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	90
Şekil 7.21. % 0,42 C'lu çeliğe 350 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	91
Şekil 7.22. % 0,84 C'lu çeliğe oda sıcaklığında çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	92
Şekil 7.23. % 0,84 C'lu çeliğe 100 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	93
Şekil 7.24. % 0,84 C'lu çeliğe 200 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	94
Şekil 7.25. % 0,84 C'lu çeliğe 350 °C'lik öntavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu tez çalışmasında kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar; açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
TİG	Tungsten inert gaz
MİG	Metal inert gaz
MAG	Metal aktif gaz
A/mm ²	Amper/ mm ²
SG1,SG2,SG3	Bileşimlerine göre MAG kaynağı elektrot teli
TS	Türk standartları
ITAB	Isı tesiri altında kalan bölge
Ceş	Karbon eşdeğeri
Ms	Martenzit start
TTT	Zaman Sıcaklık Dönüşüm
VSD	Vickers sertlik değeri

1. GİRİŞ

Kaynak, metalik parçaların birleştirilmesinde kullanılan başlıca yöntemlerden birisidir. Günümüzden yaklaşık 3500 yıl öncesinden beri kullanıla gelmektedir. Kaynak yönteminin endüstriyel uygulamaları 19. yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır. El ile elektrik ark kaynağının tarihçesine baktığımızda başlangıçta üç ayrı yöntem ile karşılaşılır. Bunlar Bernardos kaynak yöntemi, Zener'in geliştirdiği kaynak yöntemi ve günümüzde kullanılan elektrik ark kaynağının özünü oluşturan Slavianoff tarafından geliştirilen ark kaynak yöntemidir. Bu sayılan yöntemler ile yapılan kaynak dikişleri havadaki oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korunamadığı için düşük mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korumak; İsveçli Oscar Kjelberg'in 1904 yılında ilk örtülü elektrodu geliştirmesi sonucunda mümkün olabilmıştır [1].

Bu çalışmada, %0,20, %0,42 ve %0.84 C'lu yapı çeliklerine manuel ark kaynak yöntemi ve MAG kaynak yöntemi ile oda sıcaklığında ve 100, 200, 350 °C'lik öntav sıcaklıkları uygulanarak, rutil, bazik elektrodlarla ve SG2 teli ile kaynak dikişleri çekilmiş olup, kaynak öncesi numunelere uygulanan ön tav sıcaklıklarının ve kaynak metali olarak kullanılan rutil ve bazik elektrodlar ile SG2 telinin, çekilen kaynak dikişinin sertlik ve mikro yapısına etkisi incelenmiştir.

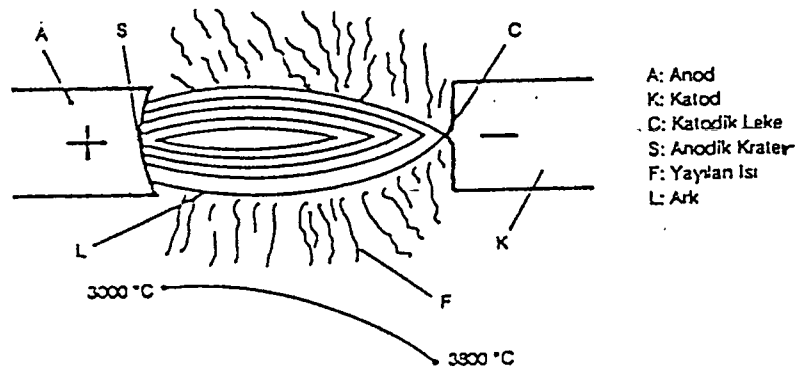
2. ARK KAYNAK TEKNİKLERİ

Kaynak, birbirinin aynı veya ergitme aralıkları birbirine yakın iki veya daha fazla metalik veya termoplastik malzemeyi ısı, basınç veya her ikisini bir arada kullanarak aynı türden bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmektir [1].

Metallerin kaynak yöntemleri uygulanan enerjinin şiddeti ve türüne göre eritme kaynağı, basınç kaynağı, soğuk basınç kaynağı gibi çeşitlere ayrılabilir.

Ark eritme kaynaklarında metal malzeme, yalnız ark sıcaklığının etkisiyle bölgesel olarak ek kaynak metali ile birlikte ergitilip birleştirilir. Elektrik ark kaynaklarında kaynak için gerekli ısı elektrik arkı ile sağlanır. Kaynak bölgesini doldurmak için gerekli olan kaynak metalinin kaynak bölgesine ilavesi ve kaynak banyosunun havanın olumsuz etkilerinden korunması biçimlerine göre çeşitli ark kaynak yöntemleri kullanılmaktadır.

Elektrik ark kaynağında arkın oluşumu Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmiştir [1].

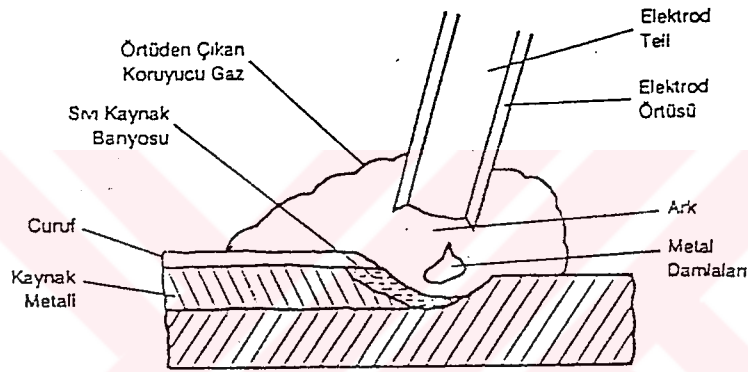


Şekil 2. 1 Elektrik arkının oluşumu [1]

2.1. Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı

Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ile eriyen elektrot arasında oluşur ve böylece eriyen elektrot kaynak metali haline geçer. Ark ile

birlikte elektrot örtüsü de ısıdan dolayı yanarak erir ve erime esnasında açığa çıkan gaz ark bölgesini atmosferden korur, oluşan cüruf da kaynak dikişini örterek kaynak metalinin yavaş soğumasını sağlar. Ayrıca elektrotun örtü maddesine katılan alaşım elementleri sayesinde, kaynak dikişini alaşımlandırmak ve istenilen özelliklerde kaynaklı bağlantı elde etmek mümkündür. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi Şekil 2.2'deki gibi oluşmaktadır [1].



Şekil 2. 2 Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi [1]

2.1.1. Örtülü elektrotlar

Kaynak yöntemlerinin çoğunda elektrik arkı erime için gerekli ısıyı temin ederken bir akıcı dekapan da koruma, temizleme ve çoğu zamanda bunlarla beraber metalurjik kontrol işlevini yerine getirir. Akıcı (cüruf) korumalı ark kaynağının en çok kullanılan ve pratik olanı örtülü elektrot kullanılarak yapılan metal – ark kaynağıdır [2].

Örtülü elektrod çekirdek ve örtü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Çekirdek, kaynak metalinin ve akımın geçişini sağlar. Örtü ise, kaynak metalini havanın kötü etkilerinden koruyarak alaşım elementleri sayesinde kaynak dikişini alaşımlandırır ve kaynak dikişinin geç soğumasını sağlar [2].

2.1.2. Örtü maddesi

Elektrotların kaynak karakteristikleri tamamen örtünün bileşimine bağlıdır. Kaynak bölgesine yığılan kaynak metali, kaynak dikişinin nüfuziyeti ve belirli bir sınıra kadar dikişin bileşimi örtü maddesi ile kontrol altına alınabilir [1].

Kaynak dikişinin aldığı formun içbükey veya dışbükey oluşu, yüzeyin düzgünlüğü gibi bazı özelliklerde örtü maddesinin çeşidi ve miktarı ile ilgili olduğu bilinmektedir. Günümüzde kaynak elektrotları üretiminde en fazla kullanılan elektrot örtü maddelerini şu şekilde sıralayabiliriz [1].

- a)Curuf oluşturan maddeler
- b)Arkı stabilize edebilen maddeler
- c)Gaz atmosferi oluşturan maddeler
- d)Ekstrüzyon işlemini kolaylaştıran maddeler
- e)Bağlayıcı maddeler
- f)Örtüye dayanım kazandıran maddeler
- g)Deoksidasyon ve alaşımlama yapan maddeler

Elektrot örtülerinin sağladığı faydalar ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- a)Arkın tutuşmasını ve oluşmasını kolaylaştırır.
- b)Ergiyik haldeki metal damlalarının yüzey gerilimlerine etki ederek tavan ve dikine kaynak işlemlerinin yapılmasını olanak sağlar.
- c)Koruyucu bir gaz atmosferi sağlayarak kaynak dikişini atmosferin olumsuz etkilerinden korur.
- d)Kaynaktan sonra dikişin üzerini kaplayarak yavaş soğumasını sağlar.
- e)Gerektiği hallerde dikişi alaşımlandırır.
- f)Erime hızını yükseltip kaynak dikişini deokside eder.

2.1.3. Örtü çeşitleri

Elektrot örtüleri hazırlanırken, örtü maddeleri belirli oranlarda harmanlanır ve ekstrüzyon presinde veya daldırma yöntemle elektrot çekirdeğine sıvanır. Bu maddelerin birbiriyle harmanlanması sırasında bazı önemli hususlar göz ardı edilmemelidir. Her tür elektrot örtüsü için özellikle ana bileşenlerin bazı oranlar dahilinde kalmaları mutlaklır. Aksi takdirde elektrot örtüsü kendinden beklenen özellikleri sağlamayacaktır [3].

Bu çalışmada örtülü elektrot olarak sadece rutil ve bazik örtülü elektrotlar kullanıldığı için yalnız bu elektrotların özellikleri açıklanacaktır.

2.1.3.1. Rutil elektrotlar

Bu elektrotların örtü ağırlığının yaklaşık % 35' i Titandioksit'ten oluşur. Bunlar az curuf bırakan ve her pozisyonda kaynak yapabilme imkanı sağlayan elektrotlardır. Değişik örtü kalınlıklarında üretilen rutil elektrotlarda eriyen kaynak metali, örtü kalınlığı arttıkça kaynak banyosuna incelen damlalar halinde geçer. Örtü kalınlığı arttıkça kaynak dikişinin mekanik özellikleri de olumlu yönde etkilenir. Kaynak dikişini tamamen örten bu örtü oldukça kalın, renk olarak kahverengi'den siyah'a kadar değişen ve çabucak katılaşılan bir curuf oluşturur. Curufun metalurjik etkisi diğer tiplere nazaran az olmasına karşılık, selüloz maddesinin uçuculuğundan dolayı meydana gelen gaz bulutu atmosferik gazlara karşı kaynak bölgesini koruyucu etkiye sahiptir.

Yalnız bu elektrotlar fazla duman oluşturduğundan kazan ve depo gibi kapalı hacme sahip işlerin yapımında kullanılmaktan kaçınılmalıdır. Bu tür elektrotlar ile doğru veya alternatif akım kullanarak kaynak yapmak mümkündür. Bütün pozisyonlarda kaynak yapabilmenin yanında gayet yumuşak bir ark ile sakin bir çalışma sağlarlar ve aralık doldurma kabiliyetleri elektrot örtü kalınlıkları arttıkça iyileşir [1].

Tutuşturulmaları gayet kolay olan bu elektrotların sıçrama kayıpları azdır ve acemi kaynakçılar bile bu elektrot ile kolayca kaynak işlemi yapabilirler.

Rutil elektrotların kalın örtüye sahip olanlarında oldukça kalın curuf olduğundan koruyucu gaz atmosferine fazlaca gerek duyulmaz. Bu tür özelliğe sahip olan rutil elektrotlarda fazla bir duman oluşturunca maddeye gerek yoktur.

2.1.3.2. Bazik elektrotlar

Genellikle kalın örtülü olarak üretilen bazik elektrotların örtüsü kalsiyum ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları ile bir miktar CaF içerirler [1].

Dinamik ve titreşimli yükler, yüksek basınç, çok düşük veya yüksek işletme sıcaklığı, mutlak emniyetin arandığı haller gibi güç koşulların egemen olduğu tesislerin kaynak işlerinde rutil örtü yerine bu koşullara cevap verebilen, rutil örtülü elektrotlara göre üstün bazı özelliklere sahip olan bazik örtülü elektrotların kullanılması gerekmektedir.

Bazik tip örtülü elektrotlarla genellikle doğru akım, elektrot (+) kutupta kaynak yapılır. Bununla birlikte alternatif akıma da uygun olan rutil ilaveli bazik elektrotlar da vardır.

Bazik elektrod dendiğinde akla ilk gelecek olan husus, bunların kesin olarak kuru, yani nemden tamamen arındırılmış olmaları gereği olmalıdır. Kaynakçının eline 1 – 2 saat süreyle 200 – 350°C sıcaklıkta kurutulmuş ve bir termos ya da rezistanslı kutuda muhafaza edilmiş elektrotlar verilecektir. Böylece bu elektrodun en büyük düşmanı olup dikişte çatlaklar, delikler, “balık gözleri” vb. hatalara neden olan hidrojenin, örtünün yanması sırasında kaynak dikişine girmesi önlenmiş olacaktır.

2.2. Kaynak Makineleri

Elektrik ark kaynağında hem doğru akım, hem de alternatif akım kullanmak mümkündür. Öyleyse kaynak makinelerini temel olarak iki gruba ayırabiliriz.

2.2.1. Doğru akım kaynak makinaları

Kaynak jeneratörleri ve kaynak redresörleri, doğru akımla ark oluşturan düzeneklerdir.

Kaynak jeneratörleri, elektrik motoru ve kaynak dinamosundan meydana gelir. Bu makinalar mekanik enerjiyi kaynak enerjisine çevirerek kaynak akımını çalışma yerinde üretir [4]. Kaynak jeneratörlerinde akım üretici olan dinamo tahrik edildiğinde, rotor manyetik bir alan içinde dönmeye başlar, böylece elektrik akımını üretmiş olur. Elde edilen elektrik, rotor milindeki kollektörden kömür fırçalar yardımıyla çekilir ve kaynak işleminin yapılacağı alana gönderilir [1].

Kaynak redresörleride jeneratörlere benzer durumdadırlar. Kaynak redresörleri bir transformatör ve bir redresörden meydana gelirler. Transformatör, şebekeden aldığı akımı kaynak için gerekli olan düşük gerilim, yüksek akım şiddetine çevirir. Redresör ise alternatif akımı doğru akıma çevirir.

2.2.2. Alternatif akım kaynak makineleri

Bu grupta ise transformatörler yer almaktadır. Alternatif akım veren kaynak makinaları olan transformatörler, gerilimi yüksek ve akım şiddeti düşük olan şebeke akımını, gerilimi düşük fakat akım şiddeti yüksek olan kaynak akımına çevirirler. Transformatörler, kaynak jeneratörleri gibi yeni bir akım üretmezler, sadece mevcut olan akımın gerilimini ve akım şiddetini değiştirirler. Transformatörlerde dönen bir parça olmadığı için aşınma gibi sorunlar söz konusu değildir [5].

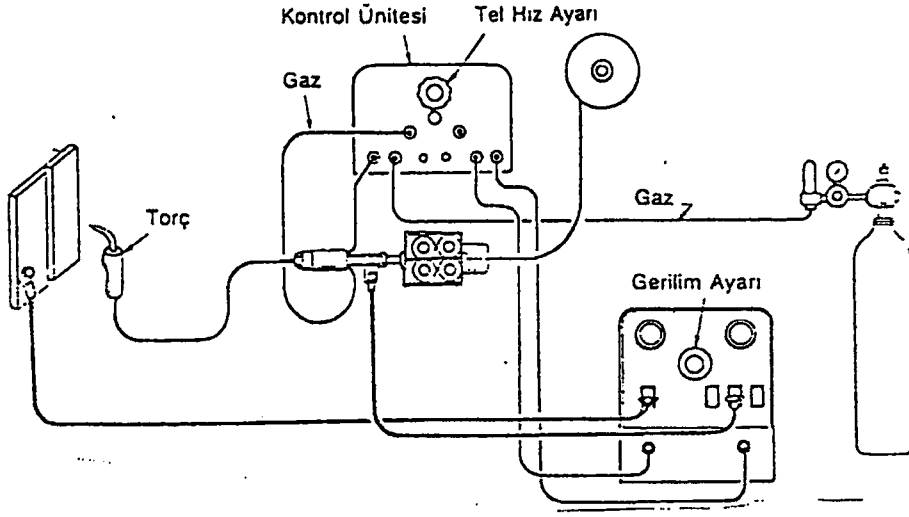
2.3. MIG – MAG Ark Kaynağı

Eriyen metal elektrotla koruyucu gazaltı kaynağı; koruyucu bir gaz atmosferi altında kaynak edilecek olan malzemeye sürekli bir şekilde kaynak bölgesine gelen tel elektrot arasında ark oluşumu esasına dayanan bir kaynak usulüdür[6]. Bu kaynak usulü, koruyucu gazın özelliğine bağlı olarak iki ayrı isimle adlandırılır. Kaynak işleminde asal gaz kullanılıyor ise MIG (Metal inert gaz), aktif gaz kullanılıyor ise MAG (Metal aktif gaz) olarak adlandırılır. Sonuç itibarıyla iki ayrı isimle adlandırılan kaynak çeşitlerinde ekipmanlar aynıdır. Sadece CO₂ korumalı kaynakta tüp çıkışına bir ısıtıcı eklenir. Şekil 2.3'de MIG – MAG kaynak donanımı şeması görülmektedir [7].

MIG – MAG kaynak tekniğinde kullanılan elektrotların çaplarının ince olması nedeniyle akım yoğunluğu yüksektir (100 – 300 A/mm²). Akım yoğunluğunun yüksekliği; metal transfer formunu, kaynak hızını ve nüfuziyet profilini olumlu yönde etkilemektedir [7].

MIG – MAG kaynak teknikleri çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem ile çok ince levhalar hariç, her kalınlıkta demir esaslı ve demir dışı metallerin veya alaşımlarının kaynak işlemi mümkündür. MIG – MAG kaynak yönteminin uygulanması, kolay olduğundan kaynakçı hiçbir güçlükle karşılaşmaz, toprak kablosunu kaynatılacak malzemeye bağlayıp torcun ucundaki elektrodu da iş parçasına değdirmesi yeterli olacaktır. Çünkü bu sistem, uygun ark boyunu otomatik olarak kendisi sabit tutmaktadır.

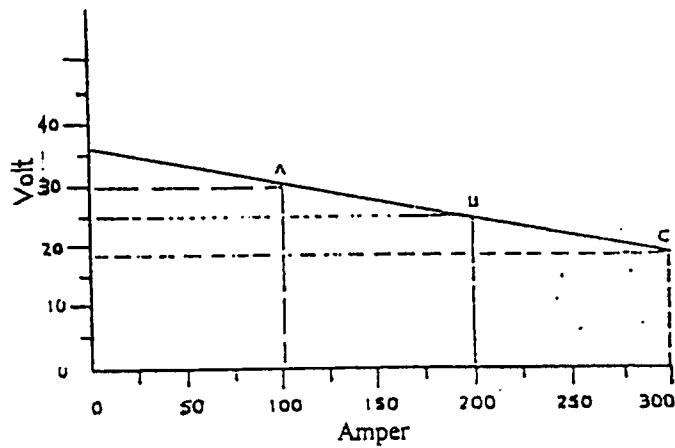
MIG – MAG kaynağında kullanılan akım üreteçleri V (volt), I (amper) karakteristikleri bakımından örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağında kullanılan akım üreteçlerinden oldukça farklıdır. MIG – MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiklidir. Bu tip makinalarda gerilim tamamen sabit tutulamamaktadır. Bunun sebebi ise ani kısa devrelerde arkta patlama ve sıçramaların önüne geçmektir.



Şekil 2. 3 MIG - MAG kaynak donanımı şeması [7]

2.3.1. MIG – MAG kaynağı akım üreticileri

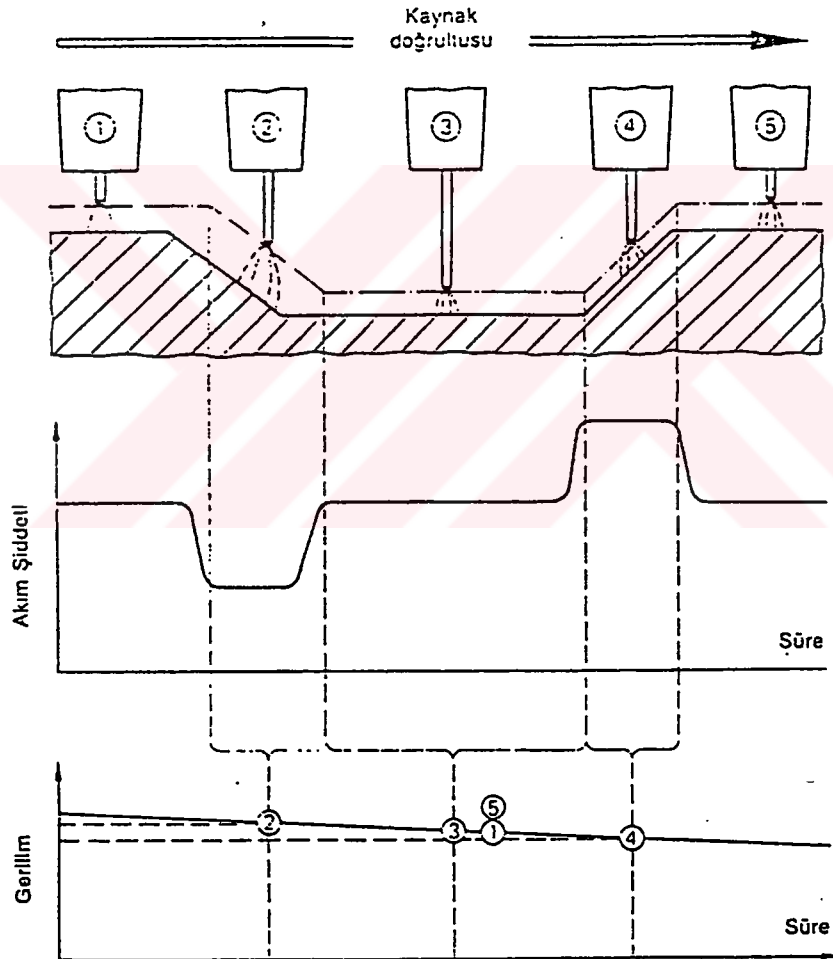
Bir güç kaynağının yatay karakteristiğe sahip olup olmadığına şu şekilde karar verilir; akım üreticinin karakteristiğinin eğimi her 100 amperde 1 – 5 volt arasında bir değişim gösteriyor ise bu makine yatay karakteristiğe sahiptir. Şekil 2.4’de görüldüğü üzere gerilimdeki küçük değişimlere karşılık akımdaki değişimler oldukça büyüktür [7].



Şekil 2. 4. Yatay karakteristiğe sahip bir makinenin I – V ilişkisi [8]

MIG – MAG kaynağı akım üreticilerinde içten ayar diye adlandırılan ark boyu ayarı vardır. Bu makinelerde ark gerilimi, tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Tel ilerleme motorunun hızı seçilen bir devirde

döneceğinden tel ilerleme hızı sabittir. Kaynak işlemi esnasında herhangi bir sebeple ark boyu uzadığı zaman akım şiddeti büyük miktarda azalır. Bu olay şematik olarak Şekil 2.5'de gösterilmiştir [7]. Ark boyunun artması akım şiddetinin düşmesine, dolayısıyla tel ergime miktarının azalmasına neden olur. Bu sırada sabit hızla gelen tel, arkı normal konumuna döndürür. Ark boyu kısaldığında akım şiddeti yükselir, tel ergime miktarı artar, sabit gelen tel hızı arkı normal boyuna döndürdüğü içinde akım ve gerilim değerleri uygun değerlerde seyreder.



Şekil 2. 5 Ark uzunluğunun ayardanması [7]

2.3.2. MIG – MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG – MAG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve kaynak metalini atmosferik şartlardan koruması gerekmektedir.

MIG – MAG kaynağında inert ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımları kullanılır. Genel olarak asal gazlar reaksiyona girmediklerinden dolayı demirdışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır [9].

MIG – MAG kaynağında ticari olarak kullanılan gazlar veya gaz karışımlarından asal olanlar Argon ve Helyum, aktif olanlar ise Karbondioksit, Azot, Oksijen ve Hidrojen gazlarıdır [7,8].

Bu çalışmanın koruyucu gazla yapılan deney çalışmaları safhasında aktif gazlardan sadece Karbondioksit gazı kullanıldığından yalnız bu gazın özellikleri açıklanmıştır. Koruyucu gazın debisi genel olarak, gaz debisi = elektrot çapı X 10(litre/dak) alınabilir [7,20].

2.3.2.1. Karbondioksit (CO₂)

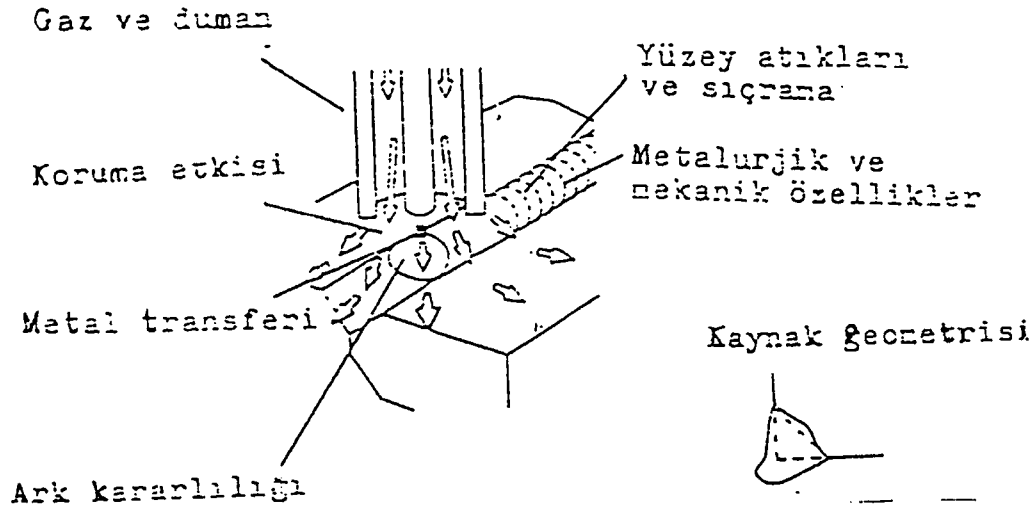
Gazaltı kaynağında kullanılan Karbondioksit gazı renksiz, kokusuz ve havadan takriben 1.5 kat daha ağır bir gazdır. CO₂ gazının özgül ağırlığı 1.997 Kg/cm³tür ve her CO₂ molekülü bir Karbon (C) atomu ile iki Oksijen (O₂) atomunun birleşmesinden meydana gelmektedir.

Koruyucu gazlardan olan Argon ve Helyum gibi asal gazların pahalı ve temin edilmelerinin zor olması nedeniyle bunlara göre daha kolay bulunan ve ucuz olan CO₂ gazının koruyucu gaz olarak kullanımı artmıştır. CO₂ gazı özellikle alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik malzemelerin kaynağında ucuzluk, derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızı ve iyi mekanik özellikler vermesi nedeniyle ülkemizde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [7].

Karbondiyoksit iş yerlerine genellikle tüp içerisinde getirilir. Tüpün içindeki Karbondiyoksit'in büyük bir bölümü sıvı haldedir ve bu sıvının üst kısmında, buharlaşmış Karbondiyoksit gaz halinde bulunur. Kaynak işlemi anında karbondiyoksit gazı kullanıldıkça bu gazın basıncı düşer ve sıvı halden buharlaşarak basıncı normal hale dönüşür. Bu buharlaşma esnasında Karbondiyoksit tüpü sürekli olarak buharlaşma ısısına ihtiyaç gösterir, bu bakımdan bir tüpten sürekli olarak çok fazla gaz çekme imkanı yoktur. Buharlaşma ısısının çekilmesi sonucunda sıcaklık düşer ve tüp içindeki sıvı Karbondiyoksit zerrecikleri Karbondiyoksit karına dönüşüp, tüpün çıkış borusunu ve dedantörü tıkar. Bu sebepten dolayı, bir tüpten devamlı olarak 12 lt/dak.'dan daha yüksek debilerde gaz çekilmemesi gerekmektedir, devamlı olmamak koşuluyla bu değer 17 lt/dak.'ya kadar çıkabilir. Bu debiden daha fazla gazın gerekli olduğu durumlarda birden fazla Karbondiyoksit tüpü manifold yardımı ile bağlanarak kullanılması gerekmektedir. Soğuk ortamlarda ise Karbondiyoksit gazı çıkış yerine bir elektrikli ısıtıcı ilave edilmesi tavsiye edilir [7,24].

2.3.3. Koruyucu gazın görevleri

Koruyucu gazın görevi en çok bilinen şekli ile sadece kaynak banyosunu korumak değildir. Endüstri uygulamalarında veya maliyet hesaplamalarında genellikle en son düşünülen koruyucu gaz seçimi olmaktadır. Halbuki bilinenin aksine koruyucu gazlar sadece kaynak banyosunu korumakla kalmayıp bunun yanında arkın kararlılığına, dikişin mekanik özelliklerine, dolgu biçimine, işlemin verimliliğine, duman oluşumuna ve bunun gibi birçok kaynak parametrelerine de etki etmektedirler. Koruyucu gazın kaynak bölgesine olan etkilerinden bir kısmı Şekil 2.6'da gösterilmiştir [7 ,8,25].



Şekil 2. 6 Koruyucu gazın kaynak bölgesine etkileri [8]

Koruyucu gazların kaynak işlemlerindeki etkileri başlıca şöyle sıralanabilir [8].

- Kaynak banyosunu atmosferden koruma
- Arkın kararlılığı
- Metal transfer formu
- Nüfuziyet, ıslatma ve kaynak dikiş geometrisi
- Isı girdisi
- Kaynak metal kimyasal bileşimi
- Duman oluşumu
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri

Maddeler halinde verilen koruyucu gazın etkileri şu şekilde açıklanabilir.

Kaynak banyosunu atmosferden koruma; kaynak esnasında dikiş atmosferin olumsuz etkilerinden korumak gereklidir. Koruyucu gaz, erimiş kaynak banyosu ile onu çevreleyen atmosfer arasındaki istenmeyen reaksiyonları engeller.

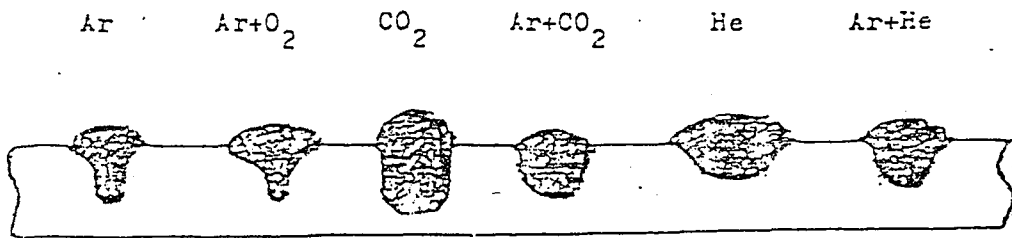
Arkın Kararlılığı; MIG – MAG kaynağında arkın kararlılığı geniş ölçüde metal transferinin geçiş şekli ile kontrol edilir. Bu olay da koruyucu gazın bileşimine bağlıdır. Koruyucu gazın bileşimi, transferde yer alan yüzey gerilimi güçlerini değiştirir ve ark kökü davranışını etkileyebilir. Çelik malzemelerin kaynağında

Ar – O₂ ve Ar – CO₂ karışımları düzgün bir püskürtme transferi elde edilmesini sağlarlar. Koruyucu gaz olarak CO₂ gazı kullanıldığında yalnızca damla transferi söz konusu olur [10].

Metal Transfer Formu; Kaynak işlemi esnasında eriyen telden kaynak banyosuna aktarılan metalin davranışına denir. Metal transferinin şekli geniş bir oranda koruyucu gazın terkibi, kaynak telinin bileşimi ve diğer kaynak parametrelerine bağlıdır [7].

Nüfuziyet, ıslatma ve kaynak dikiş geometrisi; bir kaynak dikişinin kalitesi yeterli nüfuziyet, yüksek ıslatma ve düzgün bir kaynak profili ile belirlenir. Koruyucu gazın kaynak dikişi üzerindeki etkisi inkar edilemeyecek derecede önemlidir[11]. Saf Argon atmosferi altında kaynak dikişinin şekli şarap kadehi tipinde bir nüfuziyettir ve Karbondioksit atmosferi altında ise yüksek derecede nüfuziyetinin yanında oldukça şişkin bir dikiş elde edilir. Buna sebep olarak Karbondioksit arkının düzensiz oluşu gösterilir [8].

Çeşitli gaz ve karışımlarına ait kaynak dikişi nüfuziyet profilleri Şekil 2.7'de verilmiştir [7].



Şekil 2.7. Çeşitli gaz ve karışımlarına ait dikiş formları [7]

Isı Girdisi: Kaynak ısısı; genellikle çekilen dikişin birim uzunluğu için kaynak bölgesine verilen enerji (birim dikiş enerjisi) olarak tarif edilir [9].

Birim uzunluktaki kaynağı gerçekleştirmek için harcanan ısıyı göstermektedir. Isı girdisi değeri düşük olursa az enerji harcanmış olur. Isı girdisini etkileyen faktörlerden önemli biriside gaz bileşimidir. Ark tarafından oluşturulan ısı, gaz

tarafından en iyi şekilde iletilmelidir. Her gazın kendine özgü bir ısı iletkenliği vardır [12].

Isı girdisinin etkilerine kaynak metali bölümünde ayrıntılı bir şekilde yer verilecektir.

Kaynak İlerleme Hızı; Arkın kaynak metalinde aldığı yolun zamana bağlı olarak ifadesidir. Kaynak işlemlerinde bütün parametreler sabitlendiğinde, maksimum nüfuziyet orta ilerleme hızındadır. Koruyucu gazın ısı girdisi de kaynak hızını etkileyen faktörler arasındadır [4].

Kaynak Metali Kimyasal Bileşimi; Alaşım elemanlarının telden banyoya maksimum verimle taşınımı koruyucu gazın oksitlenme gücüne bağlıdır. Oksitlenme potansiyeli ayarlanmış gazlarla yapılan kaynak işlemlerinde oksit kalıntıları mikro yapıya en az biçimde aktarılır [7].

Duman Oluşumu; Kaynak işleminde arkla birlikte, çalışma çevresini etkileyen duman ve gazlar oluşur. Arkta çıkan ultraviyole radyasyonu, Ozon (O_3) gazının ortaya çıkmasına sebep olur. Ozon; gözlerde, burunda ve boğazda yanma gibi sağlık problemleri verir.

Mekanik Özellikleri; Gazaltı kaynağında gazın oksitlenme durumuna göre bir miktar alaşım elementi kaybı olur. Bu kayıplar temel bileşenler olan Mn ve Si gibi elementlerde fazla olduğundan kaynak telinde bu elementlerin yüksek derecede olması gerekir [6].

Koruyucu gazın kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi, gözeneklilik ve oksitlenme şeklinde olmaktadır.

2.3.4. MIG – MAG kaynağı tel elektrotları

Tel elektrotlar, kaynak esnasında üzerinden akım geçerek ergiyen, otomatik olarak beslenen (MIG – MAG, Gazaltı) ark kaynağı yöntemlerinde ilave kaynak metali olarak kullanılan ve bir kangala sarılı halde bulunan tellerdir.

MIG – MAG kaynağında tel elektrotlardan başka özlü elektrotlarda kullanılır, bu elektrotların orta kısmında rutil veya bazik özler bulunur [7].

Özsüz olarak kullanılan tel elektrotlar bileşimlerine göre SG 1, SG 2 ve SG 3 olmak üzere üç grubu ayrılırlar. Çizelge 2.1'de TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrotların kimyasal bileşimleri verilmiştir [7].

Çizelge 2. 1 MIG-MAG için özsüz tel elektrotların kimyasal bileşimi [7]

		Kimyasal Bileşim %						
Simge	Malzeme No	C	Si	Mn	P ≤	S ≤	Cu≤	Müs.Ed. Saf.
SG 1	15112	0.07–0.12	0.5 – 0.7	1.0 – 1.3	0.025	0.025	0.30	Cr 0.15 V 0.05 Zr + Ti 0.15 Al 0.02 Ni 0.15 Mo 0.15
SG 2	15125	0.07–0.14	0.7 – 1.0	1.3 – 1.6	0.025	0.025	0.30	
SG 3	15130	0.07–0.14	0.8–1.20	1.6 – 1.9	0.025	0.30	0.30	

MIG – MAG kaynağında kullanılan tel elektrotlarının yüzeyi pürüzsüz ve gayet hassas olmalıdır. Kaynak işlemi esnasında tel elektrotta, ark kabiliyetini engelleyecek çapak, çukurluk, katmer gibi yüzey kusurları veya yabancı

maddeler bulunmamalıdır. Çizelge 2.2’de özsüz tel elektrotlarının TS 5618’e göre ölçüler verilmiştir [13].

Çizelge 2. 2 MİG-MAG için özsüz tel elektrotların ölçüleri [13]

ÇAPLAR	
Anma Boyutu	Toleranslar
(0.6)	+ 0.01 - 0.02
0.8 0.9 1.0 1.2 1.4	+ 0.01 - 0.03
1.6	+ 0.01 - 0.04
2.0 2.4	+ 0.01 - 0.05
(3.2)	+ 0.01 - 0.06
Parantez içindeki değerler zorunlu olmadıkça kullanılmamalıdır.	

2.4. Kaynak Kabiliyeti

Kaynak edilen metaller uygulamada, istisnalar dışında bütün kaynak usullerinde kaynak yeri erime sınırının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmak zorundadır. Burada kaynak tekniğinde kullanılan ısı kaynağının tatbik edilen kaynak usulüne göre değiştiğini de unutmamak gerekir. Diğer taraftan metallerin yüksek sıcaklığa kadar ısıtılması, esas metalde bir iç yapı değişikliği meydana getirir ve çevresindeki atmosferle sıcak veya erimiş haldeki metal veya alaşım elementleri arasında bazı kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine sebep olur. Bu işlem sırasında, esas metal ve kaynak metali (ilave metal) ile cüruf arasında da bazı reaksiyonlar meydana gelmektedir.

Kimyasal reaksiyonların sıcaklık şartlarında daha kolay oluştuğu bilinmektedir. Buna göre sıcaklık ve sıcaklık hızı, ısının tesiri altında kalan metalde, meydana gelen iç yapı değişiklikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Yine ergime kabiliyeti de sıcaklığa bağlı bir faktördür. Elementlerin metaller içerisindeki ergime kabiliyeti, normal olarak artan sıcaklıkla yükselir ve doymuş haldeki solüsyonlar soğutulduğu zaman çökelme veya gaz boşlukları meydana getirir ki bu da, metalin özelliklerine önemli derecede etki eder.

Mesela bir metalin çekme mukavemetinin erime noktasında sıfıra düşmesi ve bunun sonucu olarak da o metalin hiçbir çekme mukavemetine karşı koyamaması gibi, artan sıcaklık daima o metalin mekanik özelliklerini düşürür. Kaynak işlemi sırasındaki lokal (bölgesel) ısınmalar dolayısıyla ısınma ve soğuma anında gerilmeler meydana gelir ve ısıtma işlemi esnasında büyük sıcaklık farklarının meydana getirdiği plastik deformasyonlar metalde kalıcı gerilmelerin doğmasına sebep olur [14,22].

Bütün bu ifade ettiklerimizden şu sonuçları çıkarmak mümkündür.

1. Kaynak işlemi metalin yapısına dolayısıyla özelliklerine belirli bir şekilde tesir eder.
3. Metalde kaynağın sebep olduğu değişiklikleri anlamak için en yüksek sıcaklığa değil aynı zamanda metalin çeşitli noktalardaki sıcaklık değişimine de bakmak gerekir [14].

2.4.1. Kaynak kabiliyetinin genel ifadesi

Hiç hatasız kaynak işlemi yapmak her çeşit malzeme için çok kolay olmayan bir olaydır. Ancak bazı malzemeler için çok uygun kaynak işlemi söz konusu olmasına rağmen bazı çelikler için ise özel tedbir almak şartıyla sağlıklı kaynak ancak yapılabilir, görüldüğü her çelik her şartta istenilen nitelikte

kaynaklı bağlantıya müsait değildir. Bu da bizim kaynak kabiliyetini dikkate almamızı gerektirir.

Kaynak kabiliyeti kesin olarak ifade edilecek bir özellik değil ve çok karmaşık anlamı vardır. Milletlerarası kaynak enstitüsünün "I.I.W" (International Institute of Welding) IX numaralı kaynak komisyonuna göre "Kaynak Kabiliyeti" şöyle ifade edilmektedir. " Bir metalik malzeme, belirtilen bir usül ile bir maksat için, bir dereceye kadar kaynak yapılabilir diye kabul edilir. Uygun bir usul kullanılarak kaynaklı metalik bağlantı elde edildiği zaman, bağlantı lokal özellikleri ve bunların konstrüksiyona tesirleri bakımından tayin edilmiş bulunan şartları sağlamalıdır" [14].

Yukarıdaki ifadeden de anlaşılacağı gibi kaynak kabiliyeti sadece malzemeye has bir özellik değil, aynı zamanda kaynak usulüne ve konstrüksiyona da bağlıdır. Bir malzeme, bir kaynak yöntemi ile iyi derecede bir kaynak kabiliyetine sahip iken başka bir kaynak yöntemi ile çok zayıf bir kaynak kabiliyetine sahip olabilir.

Bir metal yüksek derecede kaynak kabiliyetine sahip dendiği zaman, bu kaynak şartları geniş bir aralıkta hiçbir özel tedbirlere gerek kalmadan iyi kalitede bir kaynaklı bağlantının elde edileceği anlamına gelir. Kötü derecedeki bir kaynak kabiliyeti de, iyi bir sonuç olabilmek için özel tedbirlerin gerektiği ve kaynak şartlarının çok dar limitler arasında tutulmasının gerektiği anlaşılır.

Kaynak kabiliyeti derecesi de belirtilen özellikler değişik çelik tipleri için değişmektedir. Mesela çoğu çeliklerde en önemli faktör, iyi mekanik özelliklerin sağlanması iken östenitik paslanmaz çeliklerde kaynak kabiliyeti derecesi için (ITAB)'nin korozyona karşı mukavemetinin iyi olması istenir.

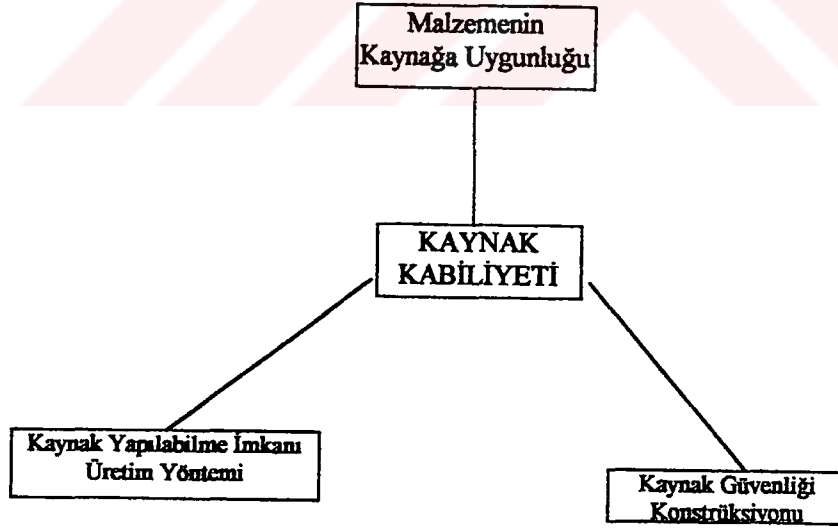
2.4.2. Kaynak kabiliyetinin önemi

Kaynaklı bağlantılarda oluşabilecek sıcak çatlaklar, gözenekler ve diğer kaynak hatalarının, kaynak metalinde meydana gelme eğilimi; düşük

karbonlu çeliklerde daha çok ihtimal dahilindedir. Ama tek sebep ana malzeme olmayıp, ilave metalde etkili bir unsurdur. Şöyle ki, örtülü elektrotla yapılan ark kaynağında kaynak metalinin büyük kısmı doldurulan ilave metal ve çok az bir miktarı da erimiş ana metaldir. Kaynak kabiliyeti terimi kaynağa elverişlilik, konstrüksiyonun kaynak emniyeti ve imalatta kaynak yapabilme kavramlarını kapsar [14].

Bir çeliğin kaynak kabiliyetine sahip olabilmesi için şu şartları sağlaması gerekir.

1. Malzemeler belirli bir kaynak yöntemi ile birleştirilebilmelidir (kaynağa elverişlilik).
2. Kaynaklı malzeme, karşılayacağı zorlamalara dayanabilmelidir (Kaynak emniyeti)
3. Malzeme kaynak yapılabilme imkanına sahip olmalı (üretim yöntemi)



Şekil 2. 8. Kaynak kabiliyetinin malzeme, yapım yöntemi ve konstrüktif ifadeleri

Bir kaynaklı konstrüksiyonun kendisinden beklenen özellikleri vermesi malzeme, imal usulü, konstrüksiyon ve işletme zorlamaları gibi unsurlarla yakından ilgilidir. Kaynaklı bölgede bir problem olursa kusurun tamamı ana

malzemede aranamaz. Diğer unsurlarda dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı kaynak operatörü, kaynak mühendisi ve işletme mühendisi beraber çalışmak durumundadır. İyi hazırlanmış bir konstrüksiyon, seçilen malzeme ile bir dereceye kadar gerçekleşebilir. Ama bu konstrüksiyonun kendisinden bekleneni tam olarak vermesi gerekir. Uygulamada kaynak kabiliyetini açıklamak için "iyi kaynak edilebilir", "Kaynak edilebilir " ve " şartlı kaynak edilebilir", ifadeleri kullanılır. Bu ifadelerin manaları kaynak yapılacak malzeme için şöyledir.

İyi kaynak edilebilir malzeme demek malzeme hiçbir ön ve son tavlama gerektirmeden sağlam bir bağlantı yapılabilir demektir.

Kaynak edilebilir demek malzeme kalınlığı arttıkça bir ön tavlama gereklidir demektir.

Şartlı kaynak edilebilir malzemeler ise ya karbon oranı büyüktür veya kimyasal bileşiminde çeşitli alaşım elementleri vardır demektir. Bu durum ise kaynaklı bağlantının geçiş bölgesinde sertleşme ve çatlama tehlikesini artırır, bunu engellemek için önleyici tedbirler almak gerekir. (Malzemeye ön tavlama uygulamalı ve soğuması kontrollü olmalıdır).

Son asırdaki büyük kullanım alanından dolayı çelik malzemelerde kaynak kabiliyetinin incelenmesi gereklidir. Alaşımsız veya az alaşımlı yüksek mukavemetli bir çeliğin iyi bir kaynak kabiliyetine sahip olabilmesi için, kaynak öncesi ve sonrası iyi bir süneklığe sahip olmalıdır. Bunun yanı sıra ilave metal esas metalle karıştığı zaman sünek bir kimyasal bileşim sağlamalıdır [7].

Konumuzun başında da değindiğimiz gibi ergitme kaynak usülleri bir nevi döküm işlemi gibidir. İlave metal ark ısısı veya gaz alevinden alınan yüksek sıcaklığın etkisi ile erir ve önceden hazırlanmış kaynak ağzı içine yayılır, bu arada kaynak ağzının kenar yüzeyleri de biraz erir ve böylece erimiş ilave metal ve ana metal karışarak kaynak ağzı içinde katılaşır. Bu işlem sürecinde, kaynak edilen malzemelerin kaynak dikişi ve bitişik kısımlarında,

metalin erime sıcaklığından oda sıcaklığına kadar, değişik sıcaklık derecelerinde ısınmış bölgeler ortaya çıkar. Böylece malzemeye sıcaklık derecesi kaynak işleminde belirlenmiş bir ısı çevrim uygulanmış olur.

Bu olay çelik malzemeler için çok önemlidir. Çevrimlerin en büyük sıcaklık derecesine ve soğuma hızlarına bakılırsa, çeliğin erime, normalizasyon, temperleme, su verme ve yeniden kristalleşme ısıtmalarında değişik alanların bulunduğu rahatlıkla görülür. İşte bu ısı işlemler sonucunda çeliğin kristal yapısının ve buna paralel mekanik özelliklerinin de ne kadar değiştiği her kaynak bilimci tarafından bilinen bir olaydır. Bu olaylardan sonra kaynak bölgesinde, çeşitli ısı işlemler görmüş ve dolayısı ile mekanik özellikleri ve kristal yapısı hem ana metalden hemde ilave metalden farklı değişik bölgeler oluşur. Farklı özelliklere sahip bu bölgelerde, bütün yapının kuvvete maruz kalması sonunda gerilme ve şekil değişiminde olduğu gibi korozyona karşı dayanımda da esas metalden farklı davranışlar görülür.

Sıcaklığın reaksiyonlara tepkisinin kaçınılmaz olduğunu daha önce ifade ettik genel olarak bütün reaksiyonların oluşum ve gelişim hızı ile metallerin birbirleri içinde çözülme kabiliyeti yükselen sıcaklıkla artar; mesela çökeltme ile elde edilmiş olan bir takım özellikler yüksek sıcaklık şartlarında kaybolmaktadır.

Sonuç olarak denilebilir ki kaynak işlemi, gerek olan büyük sıcaklık dereceleri sonucunda metalin kristal yapısına ve bazı hallerde kimyasal bileşimine etki etmekte olup böylece de malzemenin özellikleri değişmektedir.

2.5. Karbon Eşdeğeri

Kaynakta çeliğin sertleşme eğilimini belirten bir değer sayısının bulunması buna bağlı olarak uygulanacak ön tav sıcaklığını belirten bir formülün elde edilmesi için birçok teorik ve uygulamalı çalışmalar yapılmıştır. Bütün bu çalışmalara dayanarak uygulama da çok kolay bir biçimde sonuca giden bir çözüm geliştirilmiştir. Karbon eşdeğeri olarak adlandırılan bu çözümde çeliğin

bileşiminde var olan alaşım elementlerinin miktarları bir formülde yerlerine konarak bir değer hesaplanır ve bu değere bağlı olarak da ön tav sıcaklığı seçilir [1].

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

$$C_{eş} = C + (Mn / 6) + (Cr / 5) + (Mo / 5) + (V / 5) + (Ni / 15) + (Cu / 15)$$

Görüldüğü gibi, karbon ve kısmen mangan haricindeki bütün elementlerin etkinlikleri farklı öngörülmektedir. Bu da yukarıda belirtilmiş olan hususları net bir şekilde açıklamaktadır [1].

Sadece bir yaklaşım olan karbon eşdeğerinin kullanılması halinde riskleri ortadan kaldırmak için, kaynak öncesi yapılması gereken ön tavlamanın sıcaklık derecesi, aşağıda belirtilmiş olan durumlarda, verilmiş olan değerlerin üst sınırlarında seçilmeli ve gerekirse özel durumlarda bu sınırlar da aşılmalıdır [1].

- Esas metal bir Thomas çeliği veya gazı alınmamış bir çelik ise,
- Çeliğin yapısı kaba taneli ise,
- Kaynatılan parça büyük ve karışık şekilli ise,
- Parça kalınlığı büyük ise,
- Kaynak yaparken az enerji uygulamak gerekiyorsa; örneğin; ince çaplı elektrot ile kaynak yapılırsa,
- Kullanılan kaynak metali yeteri derecede tok değilse; örneğin; bazik karakterli elektrot kullanılmıyorsa
- Kaynak işleminin yapıldığı yerin sıcaklığı çok düşük ise,

Görüldüğü gibi karbon eşdeğeri, sadece çeliğin bileşimini kapsamakta buna karşın soğuma hızını birinci derecede etkileyen kaynak ısı girdisi, ağız formu, parçanın geometrisi ve kalınlığı ile ilgili faktörleri içermemektedir. Bu konuda çeşitli ampirik formüller literatürde varsa da $C_{eş}$, elektrot çapı (ısı girdisi),

parça kalınlığı ve ağız formuna göre uygun ön tav sıcaklıkları Çizelge 2.3 de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Karbon eşdeğeri, elektrod çapı, parça kalınlığı, ağız türüne göre uygulanması önerilen ön tav sıcaklıkları [1].

Ceş	Elektrod Çapı (mm)	Öntav Sıcaklığı °C							
		Parça Kalınlığı/Alın Dikişi				Parça Kalınlığı/İç Köşe Dikişi			
		6 mm	12 mm	25 mm	50 mm	6 mm	12 mm	25 mm	50 mm
0,35	3,25	•	•	•	•	•	•	•	100
	4	•	•	•	•	•	•	•	•
	5	•	•	•	•	•	•	•	•
	6	•	•	•	•	•	•	•	•
0,40	3,25	•	•	•	150	•	•	100	200
	4	•	•	•	•	•	•	•	150
	5	•	•	•	•	•	•	•	100
	6	•	•	•	•	•	•	•	100
0,45	3,25	•	•	150	250	•	100	250	300
	4	•	•	100	200	•	•	200	250
	5	•	•	•	150	•	•	100	200
	6	•	•	•	100	•	•	•	150
0,50	3,25	•	•	250	350	•	150	350	(450)
	4	•	•	150	300	•	100	250	400
	5	•	•	100	200	•	•	200	350
	6	•	•	•	100	•	•	150	300
0,55	3,25	•	150	400	(550)	100	300	(550)	X
	4	•	•	300	(450)	•	200	(450)	X
	5	•	•	150	350	•	100	350	(600)
	6	•	•	150	300	•	•	300	(600)
0,60	3,25	150	400	X	X	350	X	X	X
	4	100	250	X	X	250	(600)	X	X
	5	•	100	(500)	(600)	150	300	(500)	X
	6	•	•	350	(500)	•	150	(500)	X
0,65	3,25	300	X	X	X	X	X	X	X
	4	200	350	X	X	X	X	X	X
	5	•	150	(600)	X	200	(600)	X	X
	6	•	•	(500)	X	100	300	X	X
0,70	3,25	400	X	X	X	X	300	X	X
	4	300	500	X	X	X	X	X	X
	5	200	400	X	X	400	(600)	X	X
	6	•	200	(600)	X	200	400	X	X
0,75	3,25	600	X	X	X	X	X	X	X
	4	500	X	X	X	X	X	X	X
	5	400	500	X	X	(600)	X	X	X
	6	200	400	X	X	(450)	(600)	X	X

• = Öntav tavsiye edilmez

X = Gerekli öntav sıcaklığı çok yüksek olduğu için uygulamada kullanılmaz.

3. KAYNAK BÖLGELERİ

Kaynaklı bağlantının bulunduğu ve kaynak anında ortaya çıkan ısıdan etkilenen bölgelerin tümü kaynak bölgesi ismini alır. Bu bölge, erime bölgesi ve ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) olmak üzere iki bölümden oluşur.

3.1. Ergime Bölgesi

Ergime bölgesi, kaynak esnasında oluşan ısının etkisi ile eriyen ve daha sonra katılaştıran bölgedir. Erime bölgesi, ısının tesiri altında kalan bölgeden erime çizgisi adını verdiğimiz erimiş ve erimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır, bir kaynaklı bağlantıdan çıkartılarak parlatılan ve dağlanan enine kesit üzerinde çıplak gözle dahi kolayca görülebilir. Kaynak metal, esas metal ve ilave metalin karışımından ibarettir. Tek pasoda çekilen kaynak dikişlerindeki erime bölgesinde esas metal ve ilave metal, kaynak havuzundaki şiddetli türbülans dolayısı ile iyice karışmış olup homojen bir bileşim gösterir. Bu bölgede katılma dengesi olursa segregasyon oluşabilir [15,23]. Buna karşın çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metalle karışma oranı farklılık gösterir. Kalın kesitli parçaların çok pasolu kaynak dikişlerinde, dikişin orta kısımlarında esas metale rastlanamayabilir [1].

3.2. Isının Tesiri Altında Kalan Bölge

Metal malzemeler bir kaynak işlemi gördükleri zaman, kaynak dikişine bitişik olan bölge, kaynağa uygulanmış olan sıcaklık derecesinin, daha doğrusu ısı çevrimin etkisi altında kalır. Yapı çeliklerinde bu ısı çevrim, çeliğin eldesi esnasında görmüş olduğu ısı çevrimlerden farklı olduğundan, ortaya içyapısı, buna bağlı olarak da mekanik özellikleri farklı bir bölge ortaya çıkar.

Ergime çizgisinin esas metal tarafında, kaynak sırasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısı çevrimlerinden etkilenmiş ve dolayısı ile içyapı

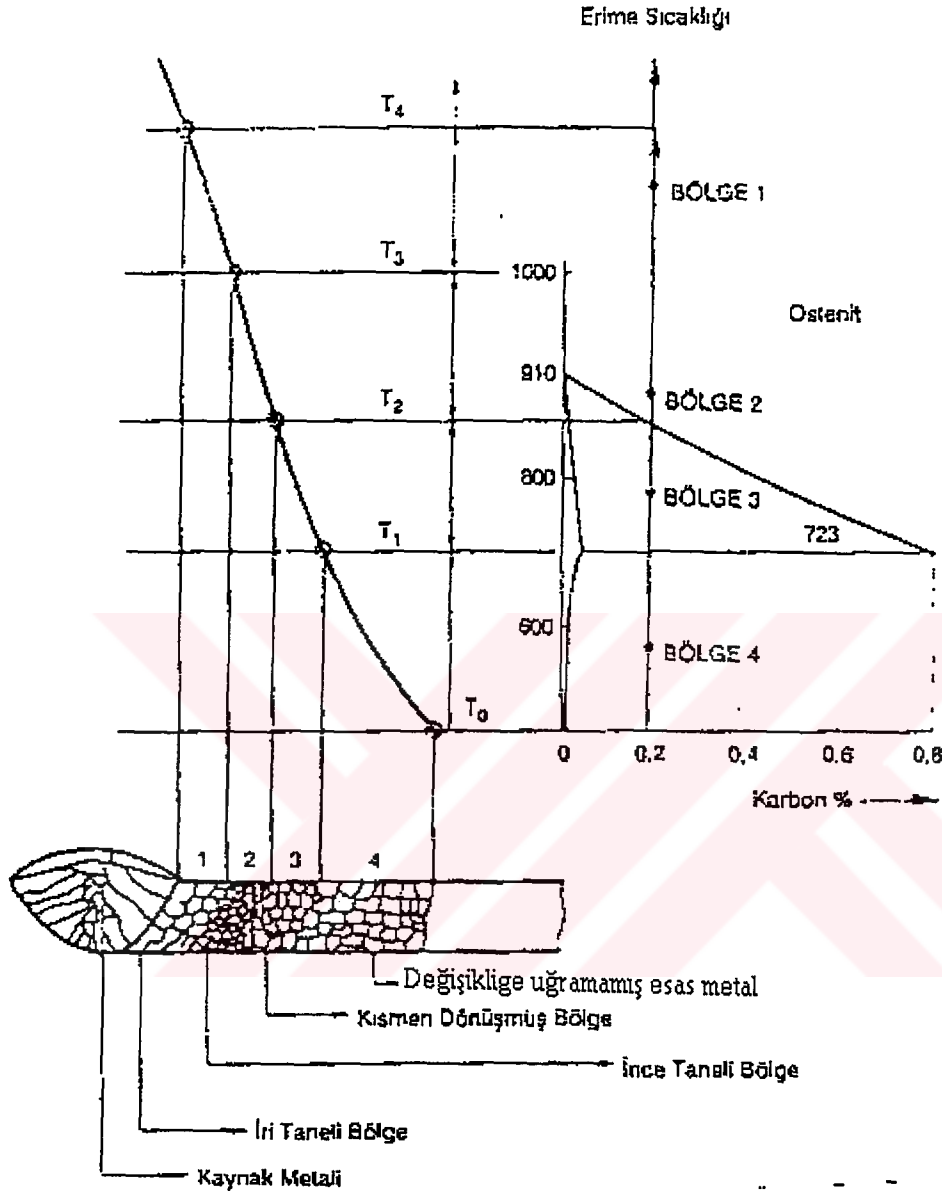
değişimine uğramış bir bölge vardır; bu bölgeye, ısı tesiri altında kalan bölge adı verilir (ITAB).

Çeliklerin kaynağında, bu bölgede sıcaklık 1450°C – 700°C arasında değişmektedir; burada erişilen maksimum sıcaklığa bağlı olarak çeşitli mikroyapı ve özellik gösteren bölgeler görülür (Şekil 3.1).

Bu bölgede erişilen maksimum sıcaklık derecesi, kaynak dikişi eksenine olan uzaklığın ve sıcaklık değişimi de zamanın fonksiyonu olarak bilinirse; kaynak işlemi sonunda oluşabilecek mikroyapı, esas metalin özellikleri ve bileşimi göz önünde tutularak bir dereceye kadar önceden tahmin edilebilir. Kaynak sırasında ısının tesiri altında kalan bölge hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonrada parça kalınlığı, kaynağa uygulanan enerji ve ön tav sıcaklığının fonksiyonu olarak tekrar hızlı bir biçimde soğumaktadır. Çeliğin bileşimine göre bu soğuma hızı, yüksek soğuma hızında, genellikle 900°C 'nin üstündeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert, dolayısı ile de kırılgan bir iç yapı elde edilir. Isının tesiri altında kalan bölge diye adlandırılan bu bölge kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılmalar bu bölgede oluşur.

Çeliklerin kaynağında ısı tesiri altında kalan bölge içyapıdaki tane büyüklüğü bakımından şu değişik bölgeleri gösterir [1];

- İri taneli bölge
- İnce taneli bölge
- Kısmen dönüşmeye uğramış bölge
- Mikroyapı değişikliğine uğramamış bölge



Şekil 3.1. Çeliklerde sıcaklığın ITAB'da mikroyapıya etkisi [1]

İri Taneli Bölge; Ergime çizgisine bitişik olan ve kaynak işlemi esnasında $1450^{\circ}\text{C} - 1150^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklara maruz kalan bölgedir [1].

Tane büyümesi sonucu ortalama tane boyutu artar. İri taneli yapıların mukavemetleri ince taneli yapılara nazaran daha düşük olduğundan malzemede iri taneler istenmez.

Özellikli malzemelerde kaynak anında ergime çizgisine bitişik olan esas metalin sıcaklığı, ergime sıcaklığına yakın bir dereceye kadar eriştiğinden

östenit içinde fazla miktarda tane büyümesine rastlanır. Çeliğin bileşimine ve soğuma şartlarına bağlı olarak iri taneli bölge, martenzit veya temperlenmiş martenzitik bir iç yapıya ve en yüksek sertliğe sahiptir [12].

İnce Taneli Bölge; Kaynak esnasında 1150°C ile 900°C arasındaki bir sıcaklığa maruz kalan bölgedir ve bu bölgede tane büyümesine rastlanmaz. İç yapı bakımından birinci bölge olan iri taneli bölgeye benzeyip onun bir devamıdır. Fakat tane ebadı yönünden ince taneli bir bölgedir.

Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge; İnce taneli bölgenin devamı olup kaynak anında A_3 ile A_1 sıcaklığı aralığına kadar ısınmış ve bölgesel olarak bir östenit dönüşümüne uğramış olan bölgedir. Östenit dönüşümüne uğradığından dolayı yapısındaki östenit miktarına bağlı olarak, ilk iki bölgeyi andıran bir mikroyapı gösterir [14].

Yapı Değişikliğine Uğramamış Bölge; A_1 sıcaklığının altına kadar ısınan ve bu ısınma süresince bir iç yapı dönüşümüne uğramayan bölgedir.

Kaynak işlemlerinde genellikle metal, önce ergime sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonra soğutulmaktadır. Bundan dolayı çelik malzemelerin kaynağında, kaynak bölgesinde yukarıda kısaca belirtilen dönüşümler olmaktadır.

Birleştirme esnasındaki ısınmayı takip eden soğuma., yavaş bir şekilde gerçekleşirse veya çeliğin karbon ve alaşım elementi içeriği sertleşmeyi meydana getirecek miktarda değilse elde edilen mikroyapı tane büyüklüğü hariç olmak şartıyla, ilk normal yapının aynıdır. Buna karşılık sertleşme meyli olan çelik malzemelerde ise, soğumanın hızlı olduğu hallerde genellikle arzu edilmeyen özellikleri taşıyan iç yapılar oluşur [14].

Bütün ergitmeli kaynak yöntemlerinde özellikle, elektrik ark kaynağında soğuma hızı, sertleşme eğilimi fazla olan çeliklerde, gereken önlemler alınmadığı zaman, ısının tesiri altında kalan bölge, 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, elektrot üreticileri tarafından, kaynak metalinin bileşimi, hızlı soğuma halinde dahi sertleşme oluşturmayacak şekilde ayarlanmıştır.

Isının tesiri altında kalan bölgede sert ve kırılgan bir yapının ortaya çıkması, soğuk çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kaynaktan sonra ortaya çıkan iç gerilmelerin, çalışma koşullarındaki zorlamaların ve kaynak banyosundan yayılan hidrojenin etkilerinin birbiri üzerine çakışması ve sertleşen bölgenin plastik şekil değiştirme özelliğinin olmaması nedeni ile kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Genellikle yüzeyden görülmeyen bu çatlaklar, zamanla kritik büyüklüğe erişince, hiç beklenmedik bir anda ve büyük bir hızla parçanın kaynak dikişine paralel olarak boydan boya kırılmasına neden olur. Bu çatlaklar genellikle erime çizgisine çok yakın olduklarından (esas metal tarafında) bazen bir birleşme hatası gibi değerlendirilir ve kusur kaynakçıya veya kaynak metaline yüklenir. Ancak, bu olayda gerçek neden çeliğin sertleşmeye olan eğilimidir. Sertleşen çelikler ancak özel önlemler alınarak kaynak edilmelidirler.

Bir metal malzeme, şayet ısının tesiri altında kalan bölgedeki özellikleri fazla miktarda tahribe uğramamışsa kaynağa uygun olarak kabul edilebilir. Bazı hallerde bu bölgenin özelliklerinin korunması bakımından, özel önlem ve yöntemlere gerek duyulabilir; işte bu gibi durumlarda malzemenin kaynak kabiliyeti özelliğinin incelenmesi gerekir.

4. KARBONLU ÇELİKLERİN KAYNAĞI

Uluslar arası Kaynak Enstitüsü (IIS / IIW), yapı çeliklerinin ark kaynağı ile birleştirilmelerinin sağlanabilmesi için bu çeliklerin sahip olmalarının gerekli bulunduğu asgari koşulları tanımlayan tavsiyelerini yayınlamıştır. Bunlar, kaynaklı birleşmelerde yeterli bir kalite elde etmek için bileşim ve sac kalınlıkları bakımından getirilmesi mümkün sınırlamalardan bahsetmektedir [15].

Tavsiyelerde dört tip kaynaklanabilir karbonlu çelik nazarı itibara alınmıştır. Bu karbonlu çelik tipleri Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4. 1: Kaynaklanabilir karbonlu çelikler [15]

	A	B	C	D
C	0.25	0.20	0.20	0.20
Mn	-----	1.5	1.5	1.5
Si	-----	0.6	0.6	0.6
S	0.06	0.05	0.05	0.05
P	0.08	0.06	0.06	0.05

A tipi çelik önemli olmayan ve çok hafif zorlamalara maruz konstrüksiyonlarda kullanılır. B tipi çelik normal zorlamalar içindir. Zorlama dendiğinde dıştan konstrüksiyona gelen kuvvetlerle kalıntı kaynak gerilmelerinin toplamı anlaşılmalıdır. C tipi, ıslah edilmiş kalitede, çentiğe dayanıklı çelikler olup gevrek kırılma tehlikesinin önemli olduğu konstrüksiyonlarda kullanılır. Gevrek kırılmaya maruz konstrüksiyonlar, şekilleri, imal ve kullanma koşulları itibariyle yüksek bir rijitlik ve devamlılığın bozulması ihtimallerini arz eden konstrüksiyonlar olup bu rijitlik ve devamlılığın bozulması, çalışma sıcaklıklarında gevrek kırılmalara sebep olabilir. D tipi ise yüksek kaliteli, çentiğe dayanıklı ve gevrek kırılma tehlikesinden özellikle korkulduğu konstrüksiyonlarda kullanılacak çeliktir. Karbon oranına göre Çizelge 4.1'deki ön ısıtma sıcaklıkları uygulanır.

Çizelge 4. 2 Ön ısıtma sıcaklıkları [13]

Karbon %	Orta Boy Parçalar	Kalın Parçalar
0.3	80 °C	120 °C
0.4	110 °C	150 °C
0.5	200 °C	300 °C
0.6	330 °C	380 °C

0.25 ila 0.60 karbonlu alaşımsız çeliklerin kaynağında karşılaşılan güçlüklerin üstesinden gelecek çareler şöyle özetlenir :

1) Yığılan Kaynak Metalinde Çatlama;

- a) Rijit ve tespit edilmiş birleşmelerden, özellikle 20 mm'den kalın saçlardan, kaçınılacak;
- b) Kaynak ağzının yüzeyleri çok düzgün olacak;
- c) Düşük hidrojenli bazik veya östenitik paslanmaz 25/10, 25/20, 20/10/3 elektrot kullanılacak;
- d) Nüfuziyet sınırlandırılacak;
- e) Soğuma hızı ayarlanacak
- f) Kaynaktan sonra bir meneviş işlemi uygulanacak;

2) – Kaynak Dikişinde Gözenekler :

- a) Nüfuziyet sınırlandırılacak;
- b) Sıvı kaynak banyosu karıştırılacak;

3) – Ana Metalin Isı Geçiş Bölgesinde Aşırı Sertlik :

- a) Ön ısıtma uygulanacak;
- b) Isı enerjisi girişi ayarlanacak;

4) – Ana Metalin Aşırı Derecede Yumuşaması;

- a) Küçük çaplı elektrodlarla hızlı kaynak;
- b) Ön ısıtmadan vazgeçilecek;
- c) Kaynaktan önce tavlama ve kaynaktan sonra ısıtma işlemi uygulanacak;

Ana metal ne kadar soğuk , kalınlığı ne kadar fazla, cüruf ne kadar az ve ısı enerjisi girişi ne kadar yüksek olursa soğuma hızı o kadar yüksek olur.

Çok pasolu kaynaklarda, büyük hacimli dikişlerden ve daha çabuk soğuyan dar dikişlerden kaçınılacaktır.

Elektrot seçiminde aşağıdaki hususları belirtmekte fayda vardır:

a) Elektrotların, özellikle bazik elektrotların önceden kurutulması daima önerilir.

b) % 0.25'ten yukarı karbonlu çeliklerde rutil elektrotların kullanılması, karbon oranı ve kalınlığa bağılı olarak sınırlamalara tabidir. % 0.35'den yukarı karbon ve 15 mm'den fazla kalınlıklarda rutil elektrotlar kullanılmayacaktır. Keza hidrojen çıkaran selülozik ve asid elektrotlarda çatlakların nedenini oluştururlar. % 0.50 ve daha yukarı karbonlu çeliklerin kaynağında düşük hidrojenli elektrot kullanılması pratik olarak mecburidir.

c) 25/10, 25/20 ve 20/10/3 tipinde östenitik paslanmaz elektrot kullanmakla iyi sonuç elde edilir.

d) Aynı bir elektrot tipinde, yüksek akım şiddeti ile kullanılacak büyük çaplı bir elektrotla çalışma, ortaya konan daha önemli enerji dolayısıyla kaynaklanabilirliğe elverişlidir [14].

4.1. Alaşım Elementlerinin Kaynağa Etkileri

Karbon çeliklerin kaynak kabiliyetini belirleyen temel elementtir. Kaynaklanabilir özel çeliklerde bunun oranı sınırlı olacaktır; bu oran nadiren % 0.25'i geçer. Belirli bir miktardan sonra, aşağıda göreceğimiz tedbirlerin alınması gerekir.

Mangan (Mn), östenit yapıcı element olup çeliğin su almasını teşvik eder; bu itibarla oranının sınırlandırılması gerekir. Ancak, sertlik veya aşınmaya mukavemetin arandığı bazı özel hallerde (% 13 – 14 manganlı östenitik çelikler) sınırlamaya gidilmez. Kaynaklanabilir çeliklerde bu elementin oranı nadiren % 2'yi geçer. Karbon gibi o da mukavemeti artırıp sünekliği azaltır.

Buna karşılık rezilyansı ve bir oran dahilinde deniz atmosferinde korozyona mukavemeti artırır.

Silisyum (Si), ferrit yapıcı element olup mangan gibi kuvvetli bir çelik redükleyicisidir. Silisyum mangandan daha etkin deoksitleme yapar. Kaynak esnasında çatlamaya hassasiyeti artırdığından miktarı sınırlı olacaktır. İmalat çeliklerinde bu sınır % 0.15 ila % 0.30 arasında kalmalıdır. Ergimiş elektrod metalinde silisyum oranı % 0.40 – 0.50'ye varabilir [15,21,23].

Nikel (Ni), östenit yapıcı bir elementtir karbon ve mangan gibi su almayı teşvik eder. İlave element içermeyen az karbonlu çeliklerde (% 0.15 veya daha az), konstrüksiyonun kırılma dayanımına fazlaca zarar vermeden % 3 ila 5'e kadar nikel bulunabilir.

Krom (Cr), ferrit yapıcı element olup düşük alaşımlı imalat çeliklerinde genellikle nikel, molibden gibi başka elementlerle birlikte bulunur ve bu takdirde de çeliğin su alma kabiliyetini artırır.

Molibden (Mo), çeliğin su alma kabiliyetini artırır, karbon oranı, yüksek çeliklerde genellikle % 0.25 – 0.35'te sınırlandırılır. Düşük orandaki (% 0.50) molibden bile çeliklere yüksek sıcaklıkta mukavemet ve sürünme kabiliyeti verdiği için düşük alaşımlı özel çeliklerde ilave element olarak çok kullanılır.

Vanadium (V), çeliğin su alma kabiliyetini büyük hızla artırdığından miktarı çok sınırlı tutulacaktır. Bu miktar nadiren % 0.1 ila 0.2'yi geçer. Bazı yarı refrakter ve refrakter (ateşe dayanır) kaynaklanabilir çeliklerde molibdenle birlikte her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır.

Alüminyum (Al), ferrit yapıcı element olup çok düşük yoğunlukta çok etkin bir redükleyicidir. Çeliğin bununla redüklenmesi , alüminyum nitrürü teşkil ederek azotun yaşlanma üzerindeki etkisini azaltır. Bazı çeliklere bu element, sıcakta oksidasyona engel olmak üzere yüksek oranda (% 0.5 ila 1) ilave edilir; bu takdirde, alümina oluşturarak kaynak işlemini güçleştirir.

Fosfor (P), çelik içinde saflığı bozan bir madde olup özellikle kükürdün varlığı ile çatlamayı teşvik eder. Aynı zamanda bazı çeliklerde % 0.15 ila % 0.20'ye kadar ilave element olarak kullanılır. Çoğu zaman krom ve bakır ile birlikte bulunduğu çeliğe bazı oksitleyici gazlara karşı kimyasal kararlılık ve abrazyona daha büyük bir dayanıklılık sağlar.

Bakır (Cu), çelik içinde % 0.40'a kadar katı eriyik yapabilir, serbest halde yani % 0.50'yi geçen yoğunluklarda bu element çatlamayı teşvik eden bir unsur olduğundan kaynaklı birleşmelerde % 0.40'ın geçilmemesi tavsiye edilir [15].

4.2. Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

Çelikler genel olarak içerdikleri karbon miktarı ile alaşım elementlerinin tür ve miktarlarına göre sınıflandırılırlar. Çizelge 4.3'de endüstride çok sık kullanılan alaşımsız ve alaşımlı çelikler gösterilmektedir.

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 östenit 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.

Çizelge 4. 3 . Endüstride sık karşılaşılan ve problemsiz

kaynak edilebilen çelikler [13]

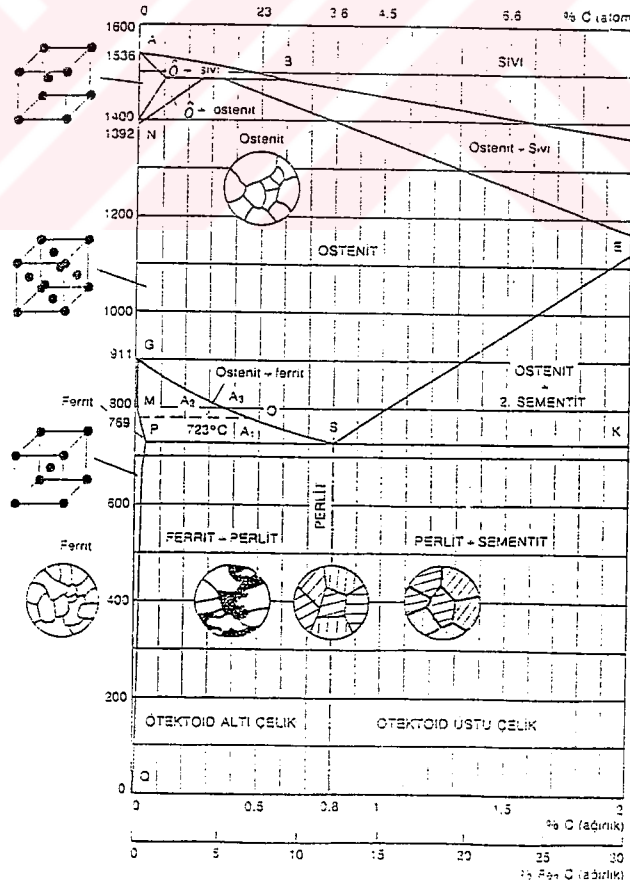
İşaretil	Malz. No.	DIN/ SEW	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Akma Çekme N/mm ²	Uzama N/mm ²	Uzama %	Uygulama Alanı
Alaşımsız Çelikler												
US1 37-2	1 0036	17100	0,17	—	—	—	—	—	235	360..470	26	Genel Yapı Çelikleri
SI 37 3	1 0116		0,17	—	—	—	—	—	275	430..540	22	
SI 44 2	1 0044		0,21	—	—	—	—	—	355	510..630	22	
SI 52 3	1 0570		0,20	—	—	—	—	—	355	510..630	22	
SI 35	1 0308	1629	0,18	0,55	—	—	—	—	240	340..440	25	Dikşiz Boru
SI 45 8	1 0405	17155	0,21	0,35	0,4..1,2	—	—	—	260	410..530	21	Kazan Borusu
III	1 0345	17175	0,16	0,35	0,40	—	—	—	230	340..440	—	Kazan Sacları
IIIV	1 0445		0,26	0,35	0,50	—	—	—	290	460..550	—	
C 22	1 0402	17200	0,18..0,25	0,15..0,35	0,30..0,60	—	—	—	360	490..640	22	Islah Çelikleri
GS-C 25	1 0619	17245	0,18..0,23	0,30..0,50	0,50..0,80	0,30	—	—	250	450..600	22	Sıcak Dayanımlı Ç.D.
14SI 35	1 0356	SEW 600	0,17	0,35	0,40	—	—	—	255	390..490	—	Düşük Sıcaklık Çeligi
Alaşımlı Çelikler												
SE 26	1 0461	SEW 088	0,18	0,40	0,40..1,30	—	—	—	255	360..480	—	İnce Tanell Yapı Çelikleri
SE 51	1 0907	/089	0,21	0,50	0,40..1,60	—	—	—	500	610..780	—	
A 32	—	GL	0,18	0,10..0,50	0,90..1,60	0,40	0,20	0,08	310	470..590	22	Yük. Muk. Geni Sacı
16 Ni 14	1 5639	SEW 600	0,12..0,19	0,10..0,35	0,30..0,60	—	3,2..3,8	—	345	440..640	—	Düşük Sıcaklıkta Tok Çelikler
X 8 Ni 9	1 5662	SEW 600	0,10	0,10..0,35	0,30..0,80	—	8,0..10,0	—	490	640..840	—	
15 Mo 3	1 5415	17175/55	0,12..0,20	0,15..0,35	0,50..0,70	—	—	0,25..0,35	275	430..520	—	Yüksek Sıcaklık Kazan ve Boru Çel.
13 CrMo 41	1 7335		0,10..0,18	0,15..0,35	0,40..0,70	0,7..0,1	—	0,40..0,50	305	430..550	—	
X 19 CrNi 12 1	1 4921	SEW 600	0,15..0,23	0,10..0,50	0,30..0,80	11,0..12,5	0,80	0,8..1,2	490	680..840	16	Yük. Sıc. Dayanımlı Çel. Paslanmaz Çelikler
X 5 CrTi 12	1 4512	SEW 400	0,40	—	1,0	10,5..12,5	0,5	—	260	400..600	30	
X 12 CrNi 17 7	1 4310		0,12	—	2,0	16,0..18,0	7,0..9,0	—	350	700..950	45	

SEW – Stahl Eisen Werk-Gesellschaft

GL – Germanischer Lloyd (Alman Lloydu)

Saf metallerin çoğu katı halde iken, yalnız bir tek kristal yapıya sahiptirler; bazı metaller ise, katı halde, değişik sıcaklıklarda farklı kristal yapı gösterirler. Allotropi adı verilen bu özelliğe demirde de rastlanır; saf demir 910°C 'nin altında ki sıcaklıklarda α fazında hacim merkezli kübik kristal kafese, $910 - 1392^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında γ fazında yüzey merkezli kübik kristal kafese $1392 - 1536^{\circ}\text{C}$ arasında da δ fazında, gene hacim merkezli kübik kristal kafese sahiptir. Saf demir halinde bu dönüşümler sabit sıcaklıklarda oluşur, çeliklerde yani, alaşım elementi içeren demir halinde ise, bu dönüşümler bir sıcaklık aralığında oluşmaktadır.

Demir – Sementit denge diyagramı üzerinde değişik oranlarda karbon içeren çeliklerin, ısıtılma ve dengeli bir şekilde yavaş soğutulmalarında oluşan dönüşümleri ve bunun sonucunda ortaya çıkan yapıları kolaylıkla görebiliriz (Şekil 4.1) [6].



Şekil 4.1. Fe - Fe₃C denge diyagramı [6]

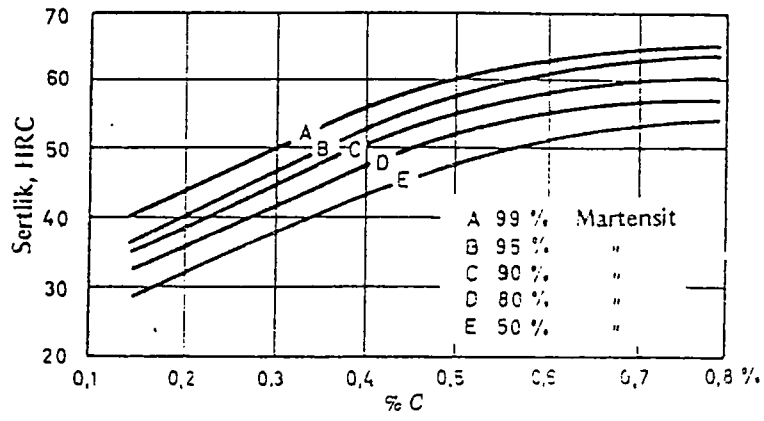
Ötektoid altı bir çelik ($< \% 0.8 \text{ C}$) östenit sıcaklığından itibaren aynı şekilde soğutulduğunda GOS çizgisine erişildiği anda, östenitin tane sınırlarında ferrit çekirdeklemeye başlayacaktır. Sıcaklık azaldıkça bu çekirdekler irileşecek ve ferrit tanelerini oluşturacaktır. Çeliğin bileşimine göre ferritin oluşma hızı ve miktarı, soğuma hızı ile ilgilidir. Sıcaklık A_1 'e yani 723°C 'ye düştüğü zaman, kalan östenit $\% 0.8 \text{ C}$ içerir ve tamamı perlite dönüşür. Sonuçta ferrit ve perlit tanelerinden oluşan bir içyapı elde edilir.

Ötektoid üstü, çeliklerde ise, östenit sıcaklığından başlayıp soğutulduğunda, sıcaklık SE 'ye düştüğü zaman, östenitten, sementit ayrışmaya başlar ve östenit tane sınırlarına çökelir. Bu olay, sıcaklık SK çizgisine yani 723°C 'ye düştüğünde kalan östenit $\% 0.8 \text{ C}$ içerir ve bu sıcaklıkta tamamen perlite dönüşür. Sonuçta bir sementit ağı ile çevrilmiş perlit tanelerinin oluşturduğu bir içyapı elde edilir.

Dönüşüm sıcaklığı düştükçe oluşan perlitin lameleri incelir ve dolayısı ile de çeliğin dayanımı ve sertliği önemli derecede yükselir.

Martenzit, mikroskop altında incelendiğinde, orijinal östenit taneleri arasında birçok iğne ve plakacıklar bulunan bir yapı şeklinde görülür. Martenzit iğneleri zamanla büyümmez, ilk iğnecik M_s sıcaklığında oluşur ve sıcaklık sabit tutulursa dönüşüm durur. Sıcaklık yeniden düşürülürse dönüşüm tekrar başlar. TTT diagramlarında M_s 'in altındaki bölge için artık bir zaman dönüşüm diagramı olduğu söylenemez, zira burada dönüşüm zamana tabi değildir.

Martenzit çok sert ve kırılgan bir yapıya sahiptir; sertliği, çeliğin içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Şekil 4.2'de karbonlu çeliklerde, değişik oranlarda östenitin martenzite dönüşümü ve karbon miktarına bağlı olarak sertliğin değişimi görülmektedir [16].



Şekil 4. 2 . Martenzit sertliğinin çeliğin içerdiği karbon miktarına göre değişmesi [16]

5. KAYNAKTA ISIL İŞLEM

Kaynağın ısı işlemleri aşağıdaki işlemlerin tümünü içeren bir genel deyimdir;

- a) Ön ısıtma
- b) Pasolar arası sıcak tutma
- c) Ardısıtma
- d) Gerilim giderme tavlama

Bir kaynak işleminde bütün bu ısı işlemlerinin mutlaka uygulanması gerekmez. Şartlar bu aşamalardan bazılarını veya tümünü gerektirebilir. Veya aksine hiçbirini gerektirmeyebilir [17].

5.1. Ön Isıtma ve Pasolar Arası Sıcak Tutma

Ön ısıtma, kaynak dikişi çevresinde sıcaklık dağılımını yumuşatmak ve kaynak dikişinin soğuma hızını azaltmak suretiyle onun sertleşmesini, iç gerilme oluşumunu ve çarpılmayı bir ölçüde önler ve şu etkileri vardır:

- a) Kaynak dikişinde ve onun ısı etki alanında oluşabilecek çekme gerilmelerini azaltır. Soğuma sırasında kaynak dikişinin serbestçe çekmesini konstrüksiyonun engellemesi halinde ön ısıtma daha büyük gereklilik kazanır.
- b) Dikiş sıcaklığının Ms sınırına inmesi geciktirilmek suretiyle ferrit, perlit ve beynit dönüşümlerine zaman kazandırılır. Dolayısıyla, martenzit oluşumu azaltılır. Martenzit mikro gerilmelerle yüklü, sert ve kırılgan bir yapıdır. Bu yüzden yapıda oluşması pek istenmez [17].
- c) Sıcaklık, hidrojenin yayılımı için gerekli eşik seviyesinin üzerinde tutularak, hidrojenin kaynağın ısı etki alanını terk etmesi sağlanır. Böylece hidrojen kırılganlığı eğilimi azaltılır [17].

Anılan yararlarıyla ön ısıtma, daha güç ve pahalı bir işlem olan kaynak sonrası gerilim giderme ihtiyacını hafifletir.

Ön ısıtma sıcaklığı pasolar arasında da muhafaza edilmelidir. Bazı hallerde kaynağın kendi ısısı dikişi istenen sıcaklıkta tutmaya yeterlidir; bu durumda pasolar arasında dışardan ayrıca ısı vermeye gerek kalmayabilir. Otomatik maninalarla yapılan kaynaklarda, örneğin tozaltı kaynağında durum böyledir. El kaynağında, çok pasolu çalışmak, kaynak ağzını geniş tutmak ve sürekli çalışma gibi önlemler dışardan ayrıca ısı vermek ihtiyacını ortadan kaldırabilir.

Hiç ön ısıtma yapılmamış (soğuk) bir metal kütle üzerinde başlatılan kaynağın başlangıç kesimleri çok hızlı soğur. Çünkü kaynak ısısı aynı zamanda metal kütleyi ısıtmaya harcanır. En hızlı soğuma kalın cidarlar üzerine atılan kısa punta kaynaklarında olur. Nitekim bunların genellikle çatladıkları malumdur.

Kaynak boyunun soğuma hızı üzerindeki etkisi Çizelge 5.1'den görülebilir. Çizelgede, 19 mm kalınlıkta çelik levha üzerine çekilen tek pasonun muhtelif uzunluklarına ait soğuma süreleri verilmiştir. Kaynak boyu arttıkça soğuma için geçen süre uzamaktadır.

Çizelge 5. 1. Kaynak pasosunun soğuma süresi üzerine uzunluğunun etkisi

Kaynağın Uzunluğu mm	Soğuma Süresi dak.
Not : 1	Not : 2
63	1.5
100	5
225	33

Not :

1 : Cidar kalınlığı 19 mm'dir.

2 : Kaynağın 930°C'den 870°C sıcaklığa indiği süredir [15].

5.2. Ard Isıtma

Dışardan verilen ısının kaynak bittikten sonra da devam etmesine ardısıtma adı verilir. Havada soğuma ile sertlik kazanan çelikler (yüksek karbonlu çelikler, Cr – Mo ve Cr – V alaşımlı çelikler) kaynak bittikten sonra hemen

soğumaya terkedilirlerse, sıcaklık ön ısıtma derecesinin altına indiğinde çatlak belirebilir. Çatlamaya mani olmanın iki yolu vardır:

1. Kaynak bittikten hemen sonra, dikişin soğumasına fırsat vermeden gerilim giderme tavlamasına geçilir.
2. Şayet herhangi bir nedenle gerilim giderme tavlaması kaynağın bitimini hemen izlemeyecekse, bu takdirde kaynak dikişi henüz ön ısıtma derecesinin altına düşmeden, bir ara sıcaklığa kadar ısıtılır. Burada bir süre bekletilir ve sonra soğumaya bırakılır. Cr - Mo'li çelikler için çıkılacak sıcaklık aralığı 300 – 500 °C ve burada tutma süresi 15 dakikadır [18].

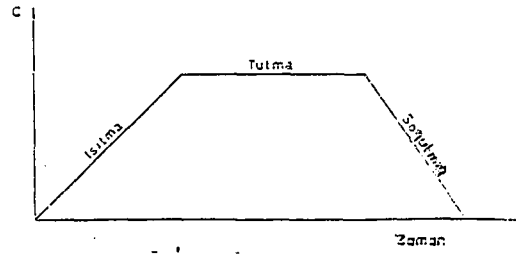
İşte bu ikinci seçeneğe ardısıtma adı verilir. Ardısıtmanın amacı, kaynağı Ms sıcaklığının altına düşürmeden yeterli bir süre tutarak hala dönüşmeden kalabilmiş olan östenit kristallerinin beynit'e dönüşmelerini sağlamaktır. Düşük sıcaklıklarda varlığını hala sürdürebilen kalıntı östenit miktarı böylece azaltıldığına göre, bundan sonra yapılacak soğutmada martenzit oluşumu daha da azaltılmış olacaktır. Dikişin sertleşmesi çatlamaya meydan vermeyecek, düzeyde kalacaktır.

5.3. Gerilim Giderme

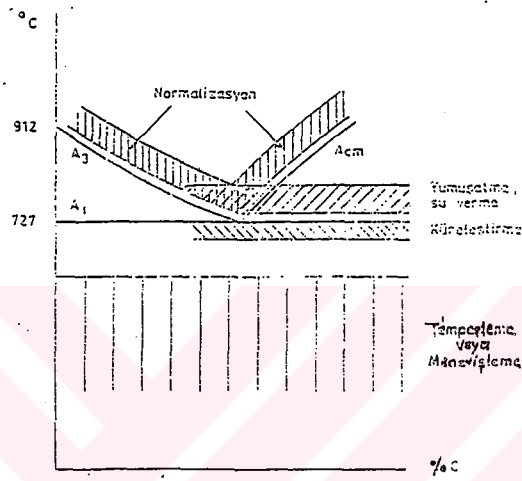
Tarif olarak gerilim giderme tavlaması, malzemeyi A1 alt kritik sıcaklığının altında herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtmak, o sıcaklıkta bir süre bekletmek ve yavaşça soğutmaktır. Bu işleme temperleme veya menevişleme isimleri de verilir. Bu işlem boyunca mikroyapı değişimi olmaz [19]. Şekil 5.1 gerilim giderme ısı çevriminin şematik gösterilişidir.

Çizelge 5.2 çeliğe uygulanan belli başlı ısı işlemleri ve bunların amaçlarını topluca göz önüne sermektedir. Şekil 5.2 bu ısı işlemlerde çıkılan tavan sıcaklıkların Fe – C denge diyagramında gösterilişidir.

Kaynak işlemi sırasında iki tür gerilmenin oluşabileceğini biliyoruz. Bunların giderilmesi aşağıda ki şekilde oluşmaktadır.



Şekil 5.1. Gerilim giderme ısı çevrimi [17]



Şekil 5.2 . Çeliğe uygulanan ısı işlemleri [17]

5.3.1. Makroskopik gerilmelerin giderilmesi

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

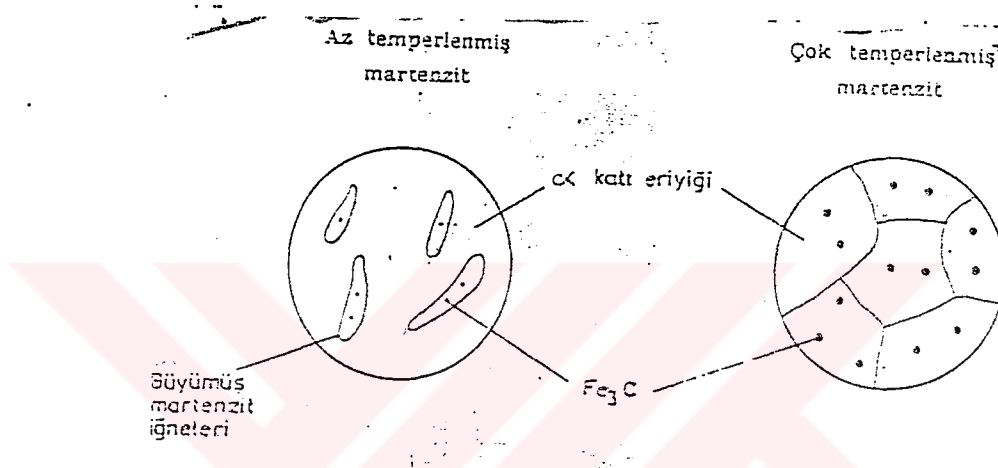
Çizelge 5. 2 . Çeliğe uygulanan ısıt işlemler [17]

İsmi	Tanımı	Amacı
Normalizasyon	Östenitin sahasına ısıtma, havada soğutma	Yapıyı normal hale getirme, taneleri küçültme
Yumuşatma	Östenit sahasına ısıtma, fırında soğutma (en yavaş soğutma şekli)	İç yapıya denge diyagramında görülen şekliyle elde etmek, suretiyle malzemeyi yumuşatma (Haddeme, çekme, dövme gibi işlemleri kolaylaştırmak için yapılır.)
Küreselleştirme	A1 sıcaklığının hemen altına kadar ısıtıp uzun süre (10 – 24 saat) tutma	Sementit levhalarına küreselleştirmek suretiyle çeliği yumuşatma (yüksek karbonlu çeliğe süneklik kazandırmak için yapılır.
Su Verme	Östenit sahasına ısıtma, ani soğutma	Sertleştirme
Temperleme	A1 sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar ısıtma, bu sıcaklıkta bir süre (1-2 saat) tutma ve havada soğutma	Daha önce herhangi bir nedenle sertleşmiş olan malzemeyi, iç gerilmelerini almak suretiyle yumuşatma (kırılganlığı azaltmak için yapılır.)

5.3.2. Mikroskopik gerilmelerin giderilmesi

Ön ısıtma, pasolar arası sıcak tutma ve ardısıtma gibi önlemlere rağmen gene de oluşma fırsatını bulabilmiş olan martenzit temperleme işlemiyle yumuşatılır. Kristal kafesi içinde sıkışan C atomları mikroskopik gerilmelere neden oluyorlardı. Yapı bu haliyle yarıkaraklı idi. Bu yapı yüksek sıcaklıklara doğru ısıtılırsa içerde sıkışmış C atomları hareketlilik kazanırlar. Demir atomlarıyla kimyasal bağ kurarak Fe_3C (sementit) molekülleri halinde çökelirler. Bünyede sıkıntı yaratan C fazlası, böylece kristal kafesini terk ederken Fe atomları denge konumlarını alırlar. Neticede, hacim merkezli kübik kristal kafesine sahip kararlı martenzit doğar.

Temperleme devam ettikçe yapısal değişimler artık ışık mikroskopuyla izlenebilecek kadar belirginleşir. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi martenzit, önceleri iğneler halinde büyür, sonra iğneler şişmanlar ve temperlemenin ileri aşamalarında martenzit taneleri haline dönüşür. Bu arada ayrışan ve çökelen sementit (karbür) molekülleri de önceleri küçük topluluklar oluşturur. Daha sonraları bunlarda büyür ve küreselleşir [15].



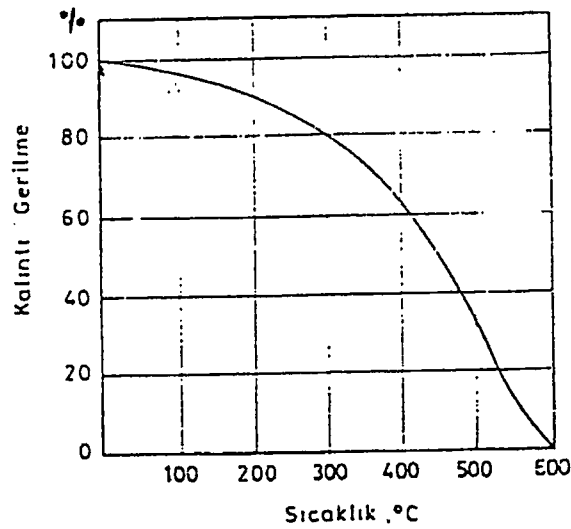
Şekil 5.3 Temperlenmiş Martensitin Mikroskop Altında Şematik görünümü [17]

Şekil 5.4. kalıntı gerilmelerin sıcaklıkla azalmasının tipik eğrisidir. Bu eğri değişik bir ölçekle, aynı zamanda, sertlik azalmasını da temsil eder. Düşey ekseninde yer alan kalıntı gerilmelerin yüzdesi aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır.

$$\% \text{ Kalıntı gerilmeleri} = \frac{\text{Kalıntı gerilmeler}}{\text{Malzemenin oda sıcaklığındaki Akma dayanımı}} \times 100$$

Formülden anlaşılacağı gibi bu tanım aslında iç gerilmelerin bağıl değeridir.

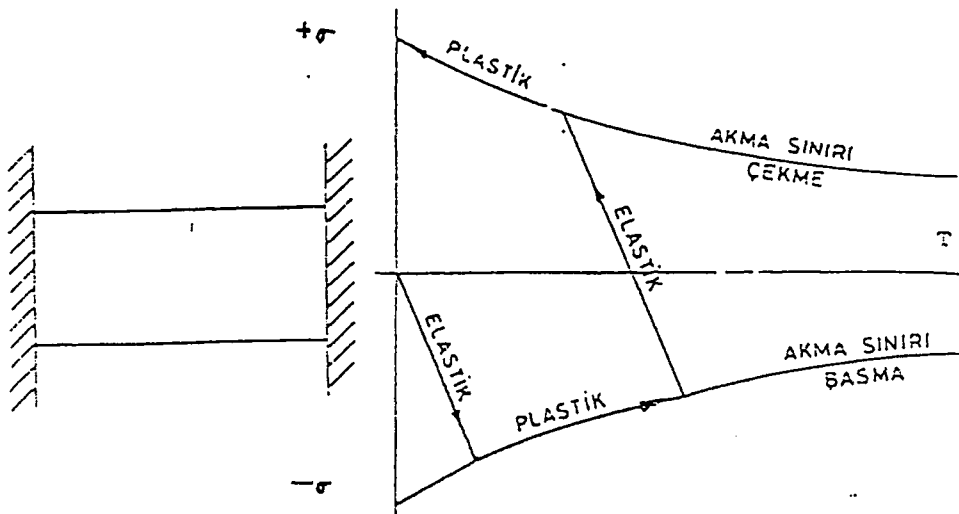
Eğriden görüldüğü gibi temperlemenin başlangıcında iç gerilmelerdeki azalma gayet yavaş seyreder. Fakat daha sonra sıcaklıkla gerilim boşalması hız kazanır. Temperleme sıcaklığına gelindiğinde, (örneğimizde 600°C'de) iç gerilmeler sıfıra iner. Gerilim giderme tamamlanmıştır.



Şekil 5. 4. İç gerilmelerin sıcaklıkla azalması (Karbonlu Çelikte) [17]

5.4. Kaynakta Gerilmeler ve Çarpılmalar

Bütün cisimler ısınırken genişirler, soğurken büzülürler. Metallerde bu olay daha belirgindir. Genleşme veya büzülme herhangi bir şekilde engellenirse iç gerilmeler doğar.

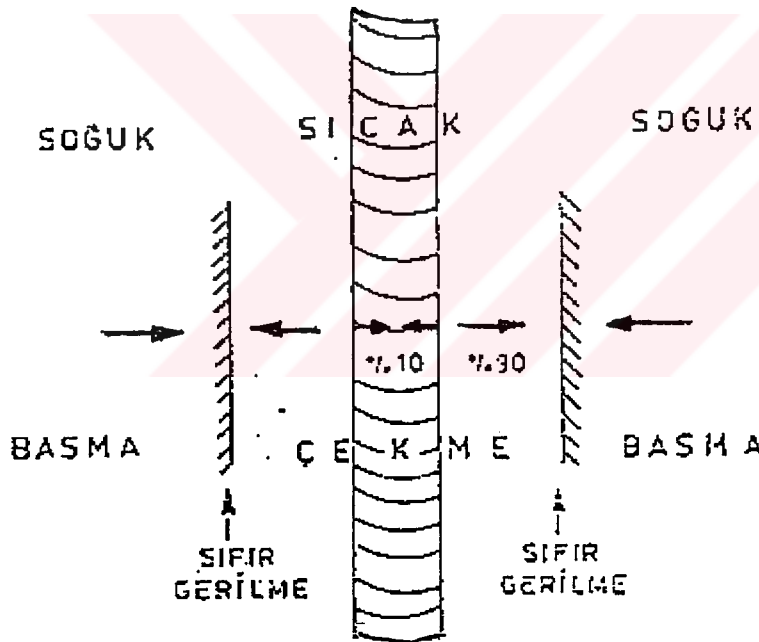


Şekil 5. 5. Uzaması ve kısalması engellenen kısa çubuğun ısınma ve soğuma aşamalarında iç gerilmelerinin değişimi

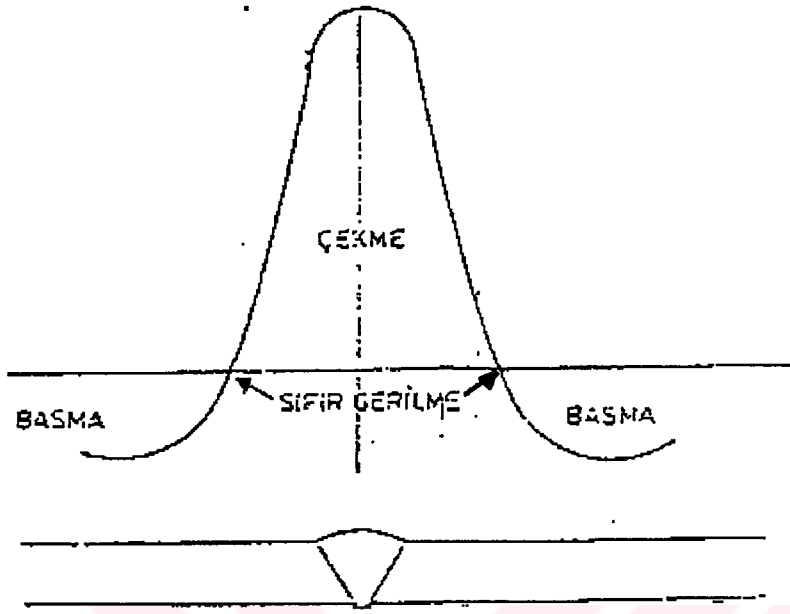
Kaynak dikişinde ergimiş metal banyo kendisinden daha soğuk ana metal kütlesi ile çevrilidir. Bu soğuk kütle onun soğuması sırasında çekmesini

engellediğinden, durumu, yukarıdaki rijit çubuk örneğine benzetmek mümkündür. Dolayısıyla kaynak dikişi soğuduğu zaman, aynen çubukda ki gibi, akma dayanımı mertebesinde çekme gerilmelerine pekala sahip olabilir (Şekil 5.5.).

Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma gerilmesi Şekil 5.6. da gösterilmiştir. Şekil 5.7. de ise kaynak çevresinde oluşan gerilim dağılım diyagramı görülmektedir. Kaynak ekseninde maksimum olan çekme gerilmesi, kaynak sınırının az ötesinde sıfıra iner. Oradan ötede basma gerilmesine dönüşür. Basma gerilmesi, kaynak çevresindeki çekme gerilmesini dengeler.



Şekil 5. 6. Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma gerilme bölgeleri [6]

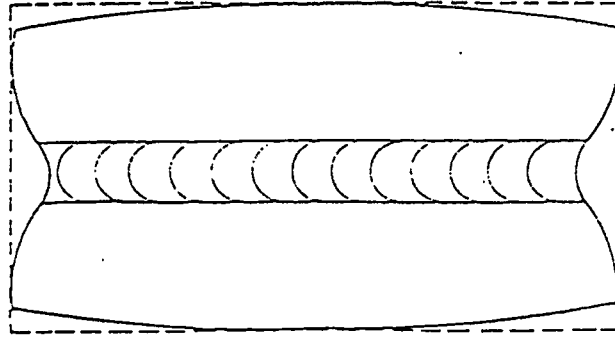


Şekil 5. 7. Kaynakta kalıntı gerilmelerinin enine dağılımı

5.4.1. Çarpılma

Kaynak işleminin sebep olduğu yerel sıcaklık farklılıkları genleşme ve çekme farklılıklarına, o da çarpımalara yol açar.

En basit örnek olarak iki levhanın alın kaynağını alalım. Şekil 5.8'den görülebileceği gibi, kaynaktan sonra levhalar gerek boydan ve gerekse enden çekerek çarpılırlar. Düşük karbonlu çelikte enine çekme, örneğin, 6 mm levha kalınlığında 1 mm ve 12 mm levha kalınlığında 1.5 mm dolayındadır. Boyuna çekme ise levhanın uzunluğuna bağlı olup 0.2 mm olarak düşünülebilir. Neticede düz levhalar kaynaktan sonra dalgalanır, dikişler arasındaki bölgelerde kabarıklar meydana gelir. İnce levhalarda bu olay daha belirgindir [17, 22]).

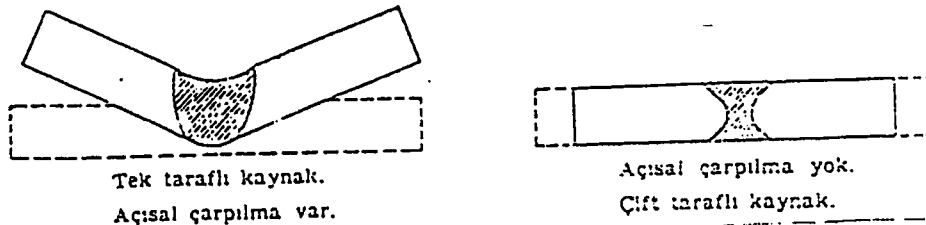


Şekil 5.8. Kaynaklanan iki levhanın boydan ve enden çekerek çarpılması.

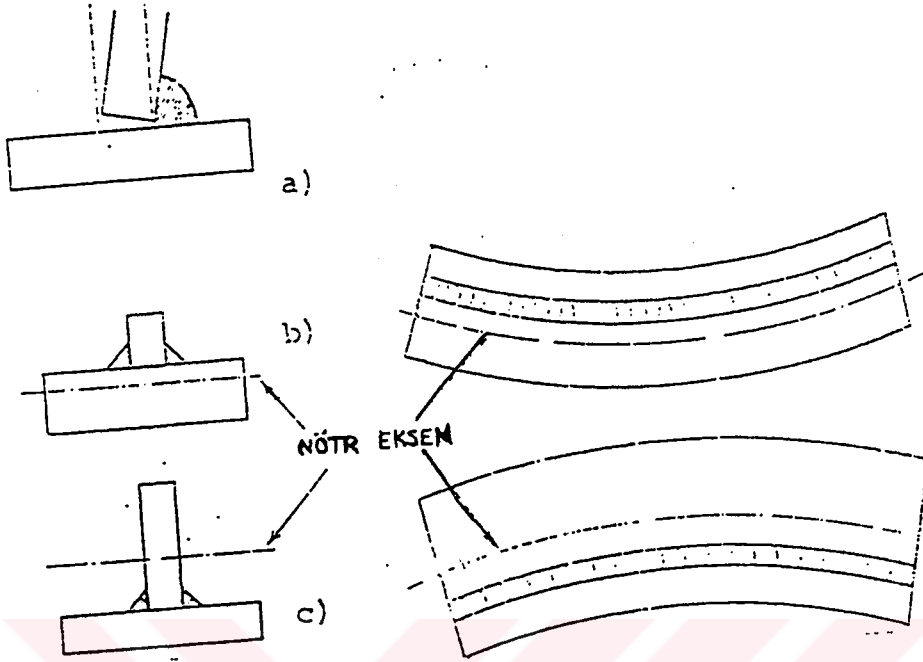
Şekil 5.9. olaya bir başka açıdan bakıştır. Şayet kaynak tek taraflı yapılmışsa bir açısall çarpılma da söz konusudur. Levha kalınlığı 6 mm ise açısall çarpılma 1° , levha kalınlığı 12 mm ise açısall çarpılma 3° , dolayında olabilir.

Açısall çarpılma tek taraflı veya simetrik olmayan kaynak dikişii için söz konusudur. Çift taraflı simetrik kaynakta açısall çarpılma olmaz.

Çarpılma köşe kaynakları için de söz konusudur. Şekil 5.10'da görüleceğı gibi bir T bağlantısında sistem kaynak tarafına doğru meyleder. (a) şekli kaynakta tek taraflı açısall çarpılmadır. (b) ve (c) şekillerinde ise iki taraflı kaynak nedeniyle açısall çarpılma yoktur. Fakat kaynaklar nötr ekseninin (ağırlık merkezinin) hangi tarafında bulunuyorsa sistem o tarafa doğru meyleder.



Şekil 5. 9. Kaynaklanan iki levhada açısall çarpılma



Şekil 5. 10. Köşe kaynağında çarpılmalar

5.4.1.1. Çarpılmayı azaltıcı önlemler

Yukarıdaki örneklerden görüldüğü gibi, kaynak, ister alın, isterse köşe dikişi olsun, sadece tek taraftan yapılırsa veya iki taraftan yapıldığı halde, dengesiz bir kaynak sırası uygulanırsa açısal çarpılma kaçınılmazdır. Kaynaklı parçaların projelendirilmesinde çarpımları önleyecek veya azaltacak önlemlerin alınması gerekir.

Çarpılma zoraki şekilde önlendikçe iç gerilmeler büyür. Dolayısıyla olası bir çarpılmayı engellemektense, onu hiç oluşturmamak veya mümkün olan en küçük düzeyde sınırlamak akıllıca bir iş olur. Aşağıda bu konuda başvurulabilecek önlemler yer almaktadır [17].

- a) Dikiş ölçüleri minimumda tutulmalıdır.
- b) Paso sayısı gereğinden fazla artırılmamalıdır
- c) Çift taraflı kaynak tercih edilmelidir.
- d) Geri adım tekniği çarpılmayı azaltan bir önlemdir.

- e) Çekme kuvvetlerinin sonradan yaratacağı çarpıklığı önceden ters yönde vererek onları düzgün elde etmek mümkündür.
- f) Kaynak süresini kısaltmak çarpılma eğilimini azaltır.
- g) İç gerilmelerin kaynak sonrasında giderilmesi çarpılmayı önler.

5.5. Malzeme Seçimi ve Isıl İşlem İhtiyacı

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

- a) Malzemenin cinsi veya bileşimi
- b) Cidar kalınlığı

Çizelge 5.3. Kaynak sonrasında gerilim giderme gerektiren ve gerektirmeyen malzeme türlerini bir arada göstermektedir. Kaynak teknolojisinde sık karşılaşılan iki malzeme türü olan östenitik paslanmaz çelik ile nikel ve nikel alaşımları ısıtılma sorunu olmayan malzeme türleridir.

Alüminyum, bakır ve bunların alaşımları da kaynak sonrası gerilim gidermeye normal olarak gerek duymazlar. Fakat ısı iletkenlikleri yüksek olan bu malzemelerin kaynak öncesinde ısıtılmaya (metali ısıya doyurmaya) ihtiyaçları vardır [17].

Çizelge 5. 3. Kaynak sonrası gerilim gidermeyi gerektiren ve gerektirmeyen malzemeler

GEREKTİREN MALZEMELER 1. Ferritik Çelikler 1.1. Karbonlu Çelikler 1.2. Düşük Alaşımli Çelikler 2. Yüksek Alaşımli (Paslanmaz) Çeliklerin Martenzitik Türleri Not :Isıl İşlem Şartında İstisnalar Vardır.
GEREKTİRMEYEN MALZEMELER 1. Östenitik Paslanmaz Çelikler 2. Nikel ve Alaşımları 3. Alüminyum ve Alaşımları* 4. Bakır ve Alaşımları 5. Titanyum ve Alaşımları* * İstisnai Olarak Isıl İşlem Gerektiren Türleri Vardır.

Kaynak dikişinin içinde yer aldığı (konstrüksiyonun) rijitliği de ısıt işlemini gerektirebilecek faktörler arasındadır. Kaynak çevresinin serbestçe genişmesi ve sonra da serbestçe çekmesi başka yapı elemanları tarafından engelleniyorsa o dikişte iç gerilmeler oluşacak demektir. Bunları azaltmak ve gidermek için ön ısıtma ve gerilim giderme gerekebilir.

5.6. Kaynaktaki Isıl İşlemin Sertliğe Etkisi

Kaynak sonrası gerilim giderme ısıt işleminin amaçlanan hedefe ulaşp ulaşmadığı iki şekilde kontrol edilir. Her iki kontrol da olumlu sonuç verirse gerilim gidermenin başarılı olduğuna karar verilir. Söz konusu iki kontrol yöntemi aşağıdadır.

5.6.1. Isıl İşlem Grafiğinin Kontrolü

Uygulanan ısı çevrim otomatik olarak kayda alınan grafik üzerinden bir değerlendirmeye tabi tutulur. Şekil 5.1 böyle bir grafiğin şematik gösterilişidir. Grafik üzerinde başlıca şu hususlar incelenir:

1. Isıtma ve soğutma hızları
2. Tav sıcaklığı ve süresi
3. Grafiğin düzgünlüğü veya bir diğer deyimle ani sıcaklık değişimini gösterir

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

5.6.2. Sertlik kontrolü

İç gerilmeleri alınmış malzeme yumuşar. Malzemedeki yumuşama iç gerilmelerdeki azalmanın bir ölçüsüdür. Bu nedenle standartlar, gerilim giderme ısı işleminin sertlik ölçmek suretiyle kontrolünü şart koşarlar.

İlke olarak kaynak metali ana malzeme ile aynı sertlik mertebesinde olmalıdır. Bir diğer deyimle, dikişin ve ana malzemenin sertlikleri arasında fazla fark bulunmamalıdır. Dikişin, ana malzemeden fazla sert olması da, fazla yumuşak olması da kusurdur.

Çizelge 5.4 ANSI standardının öngördüğü ısıtma şartları [17]

MALZEME		ÖN ISITMA			GERİLİM GİDERME				
ASME P No:	İsmi	Kalınlık mm	Çekme Dayanı mı Kg/mm ²	Min. Sıcaklık °C	Kalınlık mm	Çekme Dayanı mı Kg/mm ²	Sıcaklık Sınırları °C	Min. Süre Saat	Max. Sertlik BS
1	C veya C-Mn Çelikleri	<25	<50	10	<10	-	-	-	
		>25	-	80	>10	-	300-650	1	
3	C-Mo veya % Cr < 0.5 çelikleri	<12	<50	10	<10	<50	-	-	225
		>12	-	80	>10	-	500-720	1	
		-	>50	80	-	>50	-	-	
4	0.5 < %Cr < 2 çelikleri	-	-	150	<12	<50	-	-	225
					>12	-	705-745	2	
					-	>50	-	-	
5	2.25 < %Cr < 10 çelikleri	-	-	175	<13	-	-	-	241
					>13	-	705-760	2	
6	Martenzitik paslanmaz çelikleri			170			730-790	2	241
9A	% 2 nikel			1.80	<10				
9B	% 3.5 nikel alaşım çelikleri				>10		595-650	1	
10A	Mangan -V çelikleri			180	<10	>50			225
					<10		595-780	1	
10B	Krom-V çelikleri			150	>13				225
						<50	595-780	1	
11	% 9 Ni alaşımı			10	<51				
					>51		550-585	1	

Not: 1. Yalnız A 240 gr 429 kalite malzeme içindir.
2. Sıcaklık 315 °C'a ininceye kadar soğuma hızı 150 oC/saat'in üzerinde kalacaktır.

Çizelge 5.4. ün son sütununda kaynak dikişlerinin kabul edilebilir en yüksek sertlikleri verilmiştir. Gerilim giderme ısıtma işlemi, sertliği bu sınırların altına indirmişse başarılı olmuş demektir.

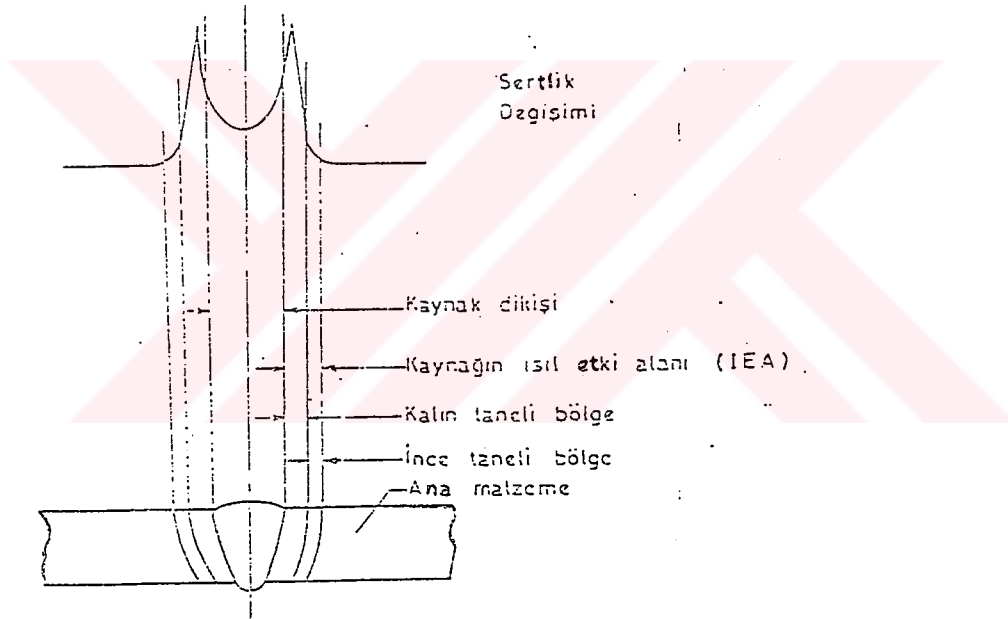
Söz konusu çizelgede bazı çelikler için sertlik sınırı verilmemiştir. Örneğin karbonlu çelik için böyle bir sınır belirtilmemiştir. Karbonlu çelik ailesi çok geniş olduğundan ve bunların geçirdiği imalat ve ısıtma işlemlere göre sertlikleri çok geniş sınırlar arasında değişebildiğinden tümü için geçerli bir sertlik sınırı vermekten standartlar kaçınmaktadırlar. Bu gibi durumlarda kriter, ana malzemenin kendisidir. Ana malzemenin sertliği ölçülmeli ve dikişin sertliği bununla mukayese edilmelidir [17,20].

5.7. Kaynak Dikişi ve Çevresinde Sertlik Değişimi

Kaynak dikişi ve çevresinde sertlik çok değişkendir. Sertliğin doruğa ulaştığı yer dikişin kendisi değil, fakat ana malzemenin dikişe sınır olan kesimidir. Ergime sınırından en çok 0.3 mm ötede ve 50 mikron kadar genişlikte bir şerit içinde sertlik en yüksek değerine ulaşır. Şekil 5.11 bu değişimin tipik grafiğidir. Kaynak esnasında ana metalin ısıtma gerilmesi ergime çizgisine yakın bölgede kaba taneli yapı üretir. Buda tokluk özelliklerini olumsuz yönde etkiler [17].

Her ne kadar, ana metalin kaynaktan en fazla etkilendiği yer ve dolayısıyla en iri taneler tam ergime sınırında ise de, kaynak sırasında burada hafif C kaybı olduğundan martenzit oluşumunun ve dolayısıyla sertliğin doruk noktası biraz içerilere kayar. Kaynak elektrodunun C oranı genellikle ana malzemeden biraz daha düşüktür. Dolayısıyla ana malzemenin sınır tabakalarından karbonca fakir olan ergimiş kaynak banyosu içine, sıcaklığın yüksek değerlerde kaldığı süre içinde belirgin bir C göçü (difüzyon) olur. Neticede, ana metalin sınır tabakaları içinde C oranı azalır. Dolayısıyla bu tabakaların sertleşme kabiliyetinde düşme olur.

1. Sertliğin zirveye ulaştığı yeri malzeme üzerinde bulmak zordur. Kaynağın kenarında yer alan bu daracık şeritten sağa – sola hafif kaçınca sertliğin hızla azaldığını Şekil 5.11'da görüyoruz. Bu durumda birbirine yakın iki noktadan alınacak ölçüler arasında büyük fark bulunması doğaldır.
2. Sertliğin doruğa ulaştığı şeritin genişliği sadece 50 mikron kadar olduğuna göre, yüzeyde açılan ölçü çukurunun çapı bundan da küçük olmak zorundadır.
3. Sertliğin doruğa ulaştığı yer kaynak sınırında ve ondan en çok 0.3 mm kadar uzaktadır [17].



Şekil 5.11. Kaynak dikişi ve çevresinde sertlik değişiminin tipik eğrisi [17].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 80x200x10 mm ebatlarındaki %0,20, % 0.42, % 0.82 C' lu yapı çeliklerinden elde edilen numune üzerine oda sıcaklığında ve 100°C, 200°C, 350°C ön tav sıcaklıklarında manuel ark kaynak yönteminde Rutil ve Bazik elektrotlar kullanarak ve de MAG yönteminde SG2 teli kullanarak birleştirmesiz tek pasolu kaynak dikişleri çekilmiş olup uygulanan ön tav sıcaklıklarının ve kullanılan elektrod türlerinin yapılan kaynak dikişinin sertlik ve mikroyapısına etkisi incelenmiştir.

Kaynaklı parçalara uygulanan ön tav ısıt işlemleri sonucu (ITAB) 'ta oluşan sertlik değerleri Vickers sertlik ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Sonuçlara bakılarak kaynaklı parçaların geçiş bölgeleri tespit edilmiştir. Mikroyapı incelemesinde; kaynaklı parçalara uygulanan ön tav ısıt işlemlerine göre tane yapılarındaki değişimler incelenmiş tane yapısı değişimi ve sertlik deneylerinden elde edilen verilere bakılarak deneye esas çeliklerin ön tav sıcaklık şartlarındaki kaynağa elverişlilikleri belirlenmiştir.

6.1. Deney Malzemeleri

6.1.1. Ana malzeme

Deney çalışmalarında Çizelge 6.1, 6.2, 6.3'te kimyasal bileşimleri verilen ve Şekil 6.2'de boyutları gösterilen farklı karbon oranlarına sahip malzemeler kullanılmıştır. Malzeme mikroyapısı değişikliğe uğramayacak şekilde tel erozyon cihazında kesilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kimyasal kompozisyonları KOSGEB (Ankara)'te spektro analiz yöntemi ile belirlenmiştir.

Çizelge 6.1. % 0,20 C'lu çelik ana malzemenin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

Element	C	Co	Pb	Si	S	Ni	Cu	Mn	Cr	Al
% Oran	0,183	0,032	0,002	0,056	0,039	0,065	0,080	0,432	0,001	0,011

Çizelge 6.2. %0.42 C'lu çelik ana malzemenin kimyasal bileşimi i (%ağırlık)

Element	C	Co	Pb	Si	S	Ni	Cu	Mn	Cr	Al
% Oran	0,428	0,040	0,002	0,212	0,031	0,228	0,128	0,764	0,051	0,012

Çizelge 6.3. % 0.84 C'lu çelik ana malzemenin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

Element	C	P	Mo	Si	S	Ni	Cu	Mn	Cr	Al
% Oran	0,848	0,0663	0,0229	0,375	0,016	0,259	0,231	0,851	0,876	0,010

Deneylerde kullanılan esas metallerin karbon eşdeğerlikleri Uluslar arası Kaynak Enstitüsünün IX no'lu Kaynak komisyonunun belirlediği formül uyarınca aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

%0,42 C' lu çeliğin karbon eşdeğeri (Ceş)

$$Ceş = C + Mn / 6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$$

$$Ceş = 0,428 + 0,764 / 6 + (0,051 + 0,001 + 0,004) / 5 + (0,228 + 0,128) / 15$$

$$Ceş = 0,428 + 1,1273 + 0,0112 + 0,0237$$

$$Ceş = 0,5902$$

%0,84 C'lu çeliğin karbon eşdeğeri (Ceş)

$$Ceş = 0,848 + 0,851 / 6 + (0,876 + 0,022 + 0,008) / 5 + (0,259 + 0,231) / 15$$

$$Ceş = 0,848 + 0,141 + 0,1812 + 0,032$$

$$Ceş = 1,2022$$

Formülün uygulanması sonucu çıkan değerlerden de görüleceği gibi karbon eşdeğerlikleri %0,42 ve %0,84 C'lu malzemelerin her ikisinde de Ceş:0,45'den büyük çıkmış olup dolayısı ile bu malzemelerin kaynağında özel tedbirler gerekmektedir.

6.1. 2. Kaynak metali (tel elektrotlar)

Deneysel çalışmaların manuel ark kaynak yöntemi kısmında kaynak metali olarak kimyasal bileşimi Çizelge 6. 4.'te verilen 3,25 mm çapındaki düşük ve orta karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılan rutil tip kaynak elektrodu kullanılmıştır.

Çizelge 6. 4. Rutil tip kaynak elektrotu kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	Si
% oran	0.08	0.5	0.4

Deneysel çalışmaların ikinci kademesinin yine manuel ark kaynak yönteminde 3.25 mm çapında bazik tip elektrot kullanılmış olup kimyasal analizi Çizelge 6. 5.'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Bazik tip kaynak elektrodu kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn	P	S
% Oran	0,1	0,3	1,3	0,2	0,02

Gazaltı kaynağı (MAG) yöntemi ile yapılan deneylerde 1,2mm çapında SG2 kaynak teli kullanılmış olup bu telin kimyasal bileşimi Çizelge 6.6'da verilmiştir.

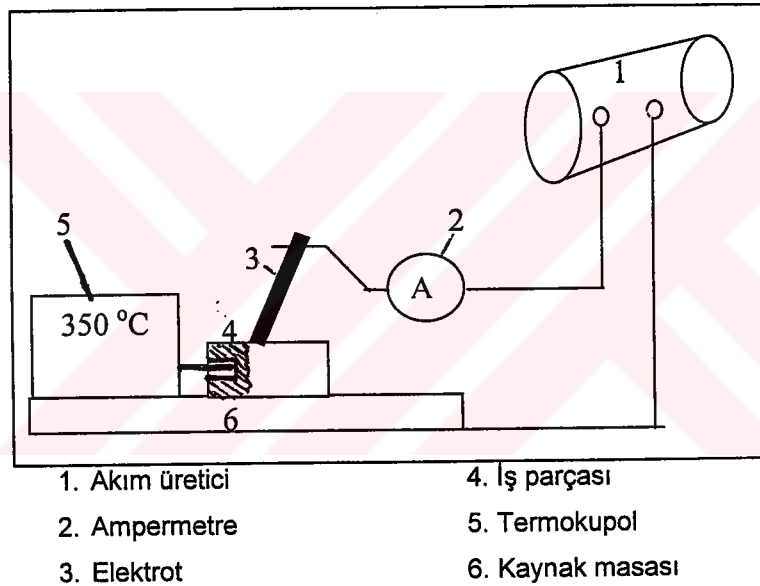
Çizelge 6. 6. SG2 kaynak telinin kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	P	S	Si	Al	Ni	Cr
% Oran	0,068	1,41	0,020	0,014	0,763	0,002	0,003	0,041

6. 2. Deney Donanımı

Manuel ark kaynak yöntemindeki kaynak dikişleri 60-210 Amper değerleri arasında akım üretme kapasitesine sahip kaynak jeneratörü tipi kaynak makinası ile çekilmiştir.

Gaz altı (MAG) kaynağı kullanarak çekilen kaynak dikişleri için 400 amperlik, hava soğutmalı, yatay karakteristikli, ESAB 400 tipi bir akım üretici kullanılmıştır. Kaynak donanımı Şekil 6.1 de şematik olarak gösterilmiştir.



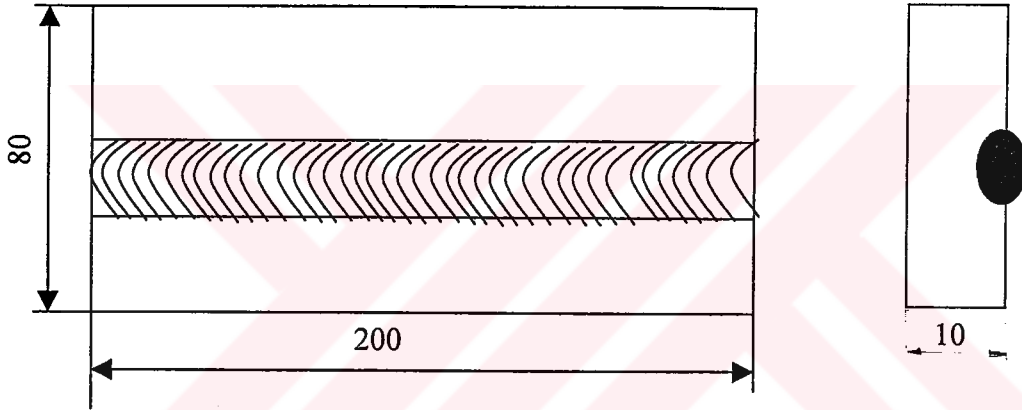
Şekil 6.1. Kaynak deney donanımı şeması

6.3. Deneylerin Yapılışı

Deney parçaları üzerine Şekil 6,2'deki gibi yatay pozisyonda her parça üzerine tek pasolu kaynak dikişi çekilmiştir.

Deney malzemelerinin karbon oranlarına göre % 0,20 C'lu kaynak için ön tavlama işlemi gerekme de oda sıcaklığında ve 100, 200 ve 350 °C'lik ön tav uygulayarak her sıcaklıkta ark kaynağı yöntemi ile Rutil ve Bazik elektrod

kullanarak 8 adet, MAG yönteminde SG2 teli kullanarak 4 adet olmak üzere toplam 12 adet kaynak dikişı çekilmiştir. Aynı işlemler % 0,42 C'lu ve % 0,84 C'lu malzemelere de uygulanarak genel toplam olarak 36 adet kaynaklı numune hazırlanmıştır. Numune malzemelere kaynak öncesi uygulanan ön tavlama işlemi oksii-asetilen alevi ile yapılmış olup sıcaklık değeri elektronik göstergeli termokupl ile ölçülmüştür. Kaynak işlemi numunelerin ön tav sıcaklıklarına ulaşıldıktan hemen sonra yapılmış ve kaynaklı numuneler kaynak sonrası kendi halinde açık havada soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 6. 2. Kaynak dikişı çekilmiş deney malzemesi

Deney malzemelerinin karbon oranlarına göre %0,20 C'lu malzemeye ön tav gerekmede de numuneye üç tip (Rutil, bazik -ve MAG) kaynak dikişı çekilmiştir. Aynı işlemler (20, 100, 200, 350 C) öntav sıcaklığı uygulanarak her ön tav sıcaklık derecesinde Rutil, Bazik elektrotlar kullanılarak manuel ark kaynak yöntemi ile 8 adet, Gaz altı (MAG) yöntemi ile 4 adet olmak üzere toplam 12 adet kaynak dikişı çekilmiştir. Aynı işlemler % 0.42 C'lu ve %0.84 C'lu çeliklere de uygulanarak genel toplam olarak 36 adet kaynaklı numune hazırlanmıştır. Kaynak numunelerine dikişler çekilirken işlem öncesi sırasıyla oda sıcaklığı, 100°C, 200°C ve 350 °C'lerde oksii-asetilen alevi ile ön tav uygulanmış ve uygulanan ön tav sıcaklıkları termokupul ile ölçülmüş olup

dikişler ön tav sıcaklıklarını müteakiben hemen çekilmiş ve numuneler kaynak sonrası açık havada kendi halinde soğutulmuştur.

Manuel ark kaynak yönteminde deneyler aşağıda verilen kaynak parametreleri dahilinde gerçekleştirilmiştir.

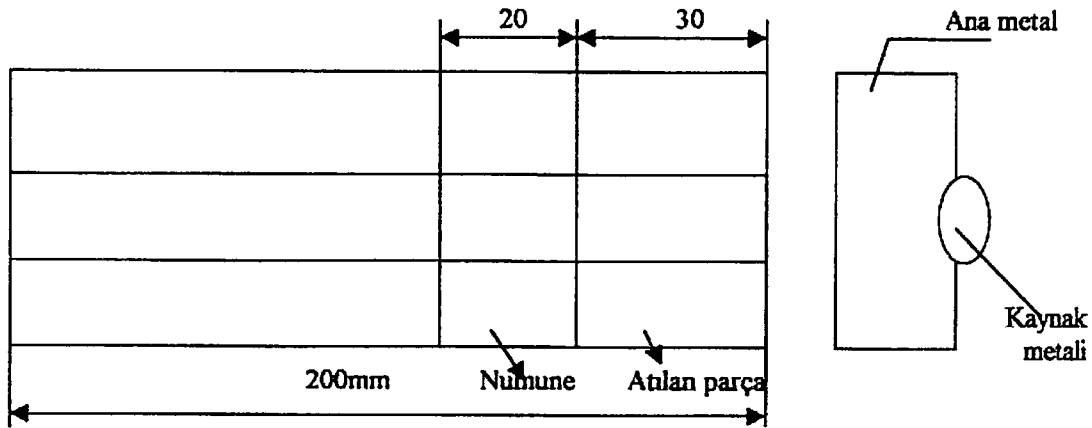
- a) Kaynak akım şiddeti : 125 Amper
- b) Kaynak gerilimi : 20 ± 2 volt
- c) Elektrot çapı : 3.25 mm
- d) Kaynak konumu : Yatay
- e) Paso sayısı : 1 adet
- f) Öntav sıcaklığı : (oda sıcaklığı, 100°C , 200°C , 350°C)

Gaz altı (MAG) ark kaynak yönteminde kaynak dikişleri aşağıdaki parametrelere göre çekilmiştir.

- a) Kaynak akım şiddeti: 210 ± 5 Amper
- b) Kaynak gerilimi : 25 ± 2 volt
- c) Tel çapı : 1.2 mm
- d) Kaynak konumu : Yatay
- e) Paso sayısı : Her numuneye 1 adet
- f) Öntav sıcaklığı : (oda sıcaklığı, 100°C , 200°C , 350°C)
- g) Koruyucu gaz : CO_2
- h) Tel ilerleme hızı : 6.5 m / dak.

6.4. Kaynaklı ana malzemeden deney numunelerinin çıkartılması

Kaynak dikişi çekilen parçalardan şekil 6. 3. 'te ölçüleri verildiği gibi kaynak dikişinin her birinin başlangıç bölgesinden 30 mm'lik bölgeleri kesilip atılarak kalan kısımdan 20 mm genişliğinde parçalar telerozyon cihazı yardımıyla kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 6. 3. Kaynak dikişli parçadan deney numune parçasının çıkarılışı.

6. 5. Mikroyapı ve Sertlik Deney Numunelerinin Hazırlanması.

Numuneler Şekil 6.3.'deki ölçülerde kesilerek çıkartılmış daha sonra metalografik işlem sırası takip edilerek yüzey parlatma işlemi yapılmış ve parlatılan yüzey % 3'lük nital ile dağlanmış olup dağlanan numuneler optik mikroskopta incelenerek gerekli yerlerden (Kaynak metali - ITAB - Ana metal) hadde yönüne dik olarak mikroyapı fotoğrafları alınmıştır (Şekil 7.1 - 7.12).

Uygulanan ön tav sıcaklıklarının kaynak metali ve ITAB'ın serliğine etkisini incelemek amacı ile Şekil 6.3'te gösterilen deney numunelerinin sertlik değerleri her bölgenin (Kaynak metali - ITAB - Ana metal) en az üç yerinden olmak şartıyla Vickers sertlik ölçme cihazı ile 1 kg'lık yük uygulanarak ölçülmüştür. Alınan bu sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması bulunarak ön tav sıcaklığının kaynak metali ve ITAB'ın sertlik dağılımına ve mikroyapısına etkisi incelenmiştir.

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Çizelge 6.1, 6.2, 6.3'de verilen %0,20 C'lu, % 0,42 C'lu ve %0,84 C'lu çelik malzemelerin elektrik ark kaynak yöntemi ile rutil ve bazik elektrodlar kullanılarak ve MAG yöntemi ile SG2 teli kullanılarak oda sıcaklığında, 100, 200 ve 350 °C'lik öntav sıcaklıklarında kaynak dikişleri çekilmiş olup, uygulanan bu öntavlama sıcaklıklarının ve elektrod türlerinin kaynak bölgesinin sertliğine ve mikroyapısına etkileri değerlendirilmiştir.

7.1.Makroyapı ve Nüfuziyet Sonuçları

%0,20 C'lu, %0,42 C'lu ve %0,84 C'lu çeliğe elektrik ark kaynağı yönteminde Rutil ve Bazik elektrodlarla, MAG yönteminde ise SG2 teli ile oda sıcaklığında ve 100, 200 ve 350 °C'lik öntav sıcaklıklarında yapılan kaynak dikişlerinin makroyapı ve nüfuziyet açısından boyut değişimi Çizelge 7.1'de görüldüğü gibi gerçekleşmiştir. Bu çalışmada öntav sıcaklıklarının ve elektrod türlerinin, deney numunelerinin sertliğine ve mikroyapısına etkileri incelendiğinden boyut değişimi sonuçları tartışılmamış olup sadece sonuç olarak verilmiştir.

Çizelge 7.1. Değişik ön tav sıcaklıklarında çekilen dikişlerin boyut değişimi.

Rutil Elektrodlarla												
Malzeme	% 0,20 C'lu				% 42 C'lu				% 84 C'lu			
Öntav °C	20	100	200	350	20	100	200	350	20	100	200	350
Nüfuziyet	1,5	1,8	2,3	3,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,2	2,4	2,8	2,9
Dikiş Genişliği	10,8	11,5	12,1	12,3	11,1	11,5	10,8	11,5	10,6	12,4	12,8	13,2
Dikiş Yüksekliği	2,5	2,1	1,4	1,2	1,6	1,5	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2	1,0
ITAB Genişliği	1,5	2,5	2,8	3,4	2,9	3,6	3,7	4,0	2,3	3,1	3,2	3,5
Bazik Elektrodlarla												
Malzeme	% 0,20 C'lu				% 42 C'lu				% 84 C'lu			
Öntav °C	20	100	200	350	20	100	200	350	20	100	200	350
Nüfuziyet	1,6	1,7	1,7	1,9	2,1	2,4	3,2	2,2	1,5	1,8	2,2	2,4
Dikiş Genişliği	11,0	12,5	12,6	12,7	10,9	10,5	8,9	12,0	11,3	11,9	12,0	12,3
Dikiş Yüksekliği	2,0	2,4	2,3	2,1	1,9	3,1	2,8	1,9	1,5	3,1	3,0	2,0
ITAB Genişliği	1,8	2,5	2,7	2,8	2,5	3,6	5,2	5,5	2,6	2,9	4,8	6,5
MAG (SG2)												
Malzeme	% 0,20 C'lu				% 42 C'lu				% 84 C'lu			
Öntav °C	20	100	200	350	20	100	200	350	20	100	200	350
Nüfuziyet	3,2	5,2	7,5	7,7	4,1	4,2	4,3	5,0	3,3	3,4	4,6	4,9
Dikiş Genişliği	10,4	11,5	13,0	13,3	11,3	10,5	10,9	13,0	12,0	12,3	12,8	13,0
Dikiş Yüksekliği	3,3	2,8	2,6	2,4	3,6	3,3	3,0	2,6	3,9	3,0	2,9	4,0
ITAB Genişliği	1,1	1,2	2,3	2,6	1,5	1,8	3,3	4,0	1,4	1,7	1,8	2,2

7.2. Mikroyapı Sonuçları ve Tartışma

Bileşimleri verilen deney malzemelerinin oda sıcaklığından başlamak üzere öntavlama sıcaklığı arttıkça rutil, bazik elektrodlarla ve MAG yöntemi ile çekilen kaynak dikişlerinin oluşan tane boyutu ve ITAB genişliği gibi değerleri değişiklik göstermiştir. Kaynak dikiş numunelerinin mikroyapıları Şekil 7.1-7.12.de verilmektedir. Optik incelemede fotoğraflar alınırken geçiş bölgeleri mikroskopta tespit edilmiş ve fotoğraf sırası bu şekilde takip edilmiştir.

7.2.1. % 0,20 C'lu numunelerin mikroyapı sonuçları ve tartışma

Karbon oranı çok düşük olması sebebi ile % 0,20 C'lu malzeme deney çalışmalarında yalnızca kıyas için kullanılmıştır. Bu numunelerin ITAB'si incelendiğinde rutil elektrodla yapılan kaynakta tane yapısının çok iri olduğu görüldü. Bazik elektrodla yapılan kaynakta tanelerin rutil elektrod kaynağına göre daha küçük olduğu görüldü. MAG kaynağında tane yapısının küçük olmasının yanı sıra kaynak metaline ile iri taneli bölgenin daha belirgin ayrıldığı görülmüştür. 1400-1200 °C'lik bölgede oluşan tane boyutu oda sıcaklığı şartlarında çok iri taneler şeklinde oluşmuştur. Ön tavlama sıcaklığı artışı ile birlikte taneler küçülmüş fakat ITAB genişlemiştir. Ön tav artışı ile birlikte rutil ve bazik elektrodla kaynakta, kaynak metaline taneleri daha ince ve düzgün olurken MAG yöntemi ile kaynatılan numunelerde ön tav artışına paralel olarak kaynak metaline daha düzensiz oluşmuş ve kaynak metalinden iri taneli bölgeye geçiş bölgesi çizgisel olmaktan çıkmıştır (Şekil 7.1,7.2,7.3,7.4). Bu durum toplam ısı girdisine bağlıdır. Isı girdisi MAG kaynak yönteminde diğerlerine göre daha düşük olması bu sonucu ortaya çıkarmaktadır.

7.2.2. % 0,42 C'lu numunelerin mikroyapı sonuçları ve tartışma

Bu deneyde oda sıcaklığındaki mikroyapılar incelendiğinde rutil elektrod ile yapılan kaynağın diğerlerine göre daha iri olduğu görüldü. Bazik elektrodun rutile göre tane yapısının biraz küçüldüğü, SG2'de ise daha ince olduğu görüldü. Bu yapının oluşmasının soğuma hızının etkisine bağlı olduğu düşünülmektedir (Şekil 7.5.).

100 °C'lik öntavlama şartlarındaki tane yapısına bakıldığında tanelerin oda sıcaklığına göre küçüldüğü, daha düzgün bir dağılım gösterdiği görüldü (Şekil 7.6.). Bu etki sertlik dağılımında (şekil 7.18 ve 7.19) incelendiğinde olumlu etki görülebilir.

200 °C'lik öntav şartlarındaki kaynak metalinin daha ince ve sütunsal olduğu, bölgelerin genişlediği görülmektedir (Şekil 7.7).

350 °C'lik öntav şartlarındaki kaynak metali ile iri taneli bölgenin ve diğer geçiş bölgelerinin daha yumuşak bir geçiş gösterdiği görülmektedir (Şekil 7.8). Görülen bu yumuşak mikroyapı geçişleri sertlik grafiğinde de açıkça görülmektedir (Şekil 7.21).

7.2.3. % 0,84 C'lu numunelerin mikroyapı sonuçları ve tartışma

Bu numunelerin ITAB'si incelendiğinde tane yapısının düzensizliği ve kalıntı olan bölgelerin çok olduğu görülmektedir. Kaynak metali bölgesinde hatlar çok belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Bu numunelerde oda sıcaklığında her üç yöntemle yapılan kaynaklarda da çatlaklara rastlanmıştır. Rutil elektrot ile kaynakta oda sıcaklığında çatlakların azalmasına rağmen 350 °C' lik ön tavda rutil elektrotla yapılan kaynakta, kaynak metali ile iri taneli bölge lamel bir yırtılma ile ayrılmıştır.

Bazik elektrot ile kaynak yapılan numunelerde oda sıcaklığı ve 100 °C öntav sıcaklığında çatlaklar görülmüş olup 200 °C ve 350 °C' de mikro yapıda düzgün tane yapısı oluşmuş ve çatlaklar yine görülmüştür.

MAG kaynağı ile hazırlanan numunelere baktığımızda bütün ön tav sıcaklıklarında çatlaklar görülmüştür. Bunun sebebi MAG kaynağındaki ITAB'nin kaynak sonrası hızlı soğuması olarak düşünülmüştür.

Oda sıcaklığında yapılan kaynaklarda bazik elektrod ile yapılan kaynakta katılaşma çizgisinin hemen sınırında çok uzun çatlaklar oluşmuştur. Bu bölgenin sertlik değerlerine baktığımızda 790 VSD olduğunu görebiliriz. Bazik elektrot ile 100-200 °C 'lik ön tav sıcaklıklarında yapılan kaynakta da aynı

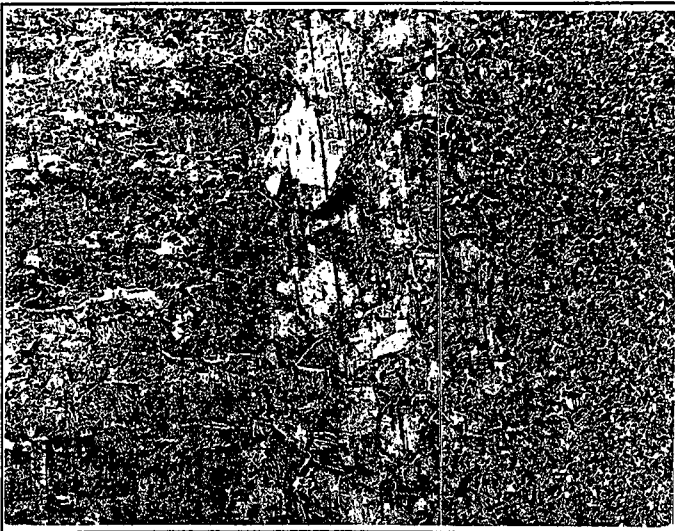
durum göze çarpmaktadır. 350 °C 'lık ön tav sıcaklığında yapılan kaynakta ise çatlak görülmemektedir. Bu sertlik grafiğinde sertliğin 790 VSD'den 660 VSD 'ne düşmesi de bunu açıkça ortaya koymaktadır. Sertliğin 660 VSD'ne düşmesi çatlak oluşumunu önlemesine rağmen bu bölgede kritik sertlik değeri olan 350 VSD'nin üzerine çıkılması nedeni ile parçada yükün geliş şekline bağlı olarak zamanla çatlak oluşması muhtemeldir. Bu çelik türü kötü derecede kaynak edilebilen bir malzeme olup kaynak sonrası sertleşmeyeceği garanti edilemez [1].

MAG kaynağı ile yapılan kaynak dikişlerinde de mevcut durum gözlenmiştir. Ayrıca kaynak hızının çok yüksek olması kaynak metalinin de hızlı soğumasını sağladığından kaynak metalinde de çatlaklara rastlanmıştır. (Şekil 7.12).

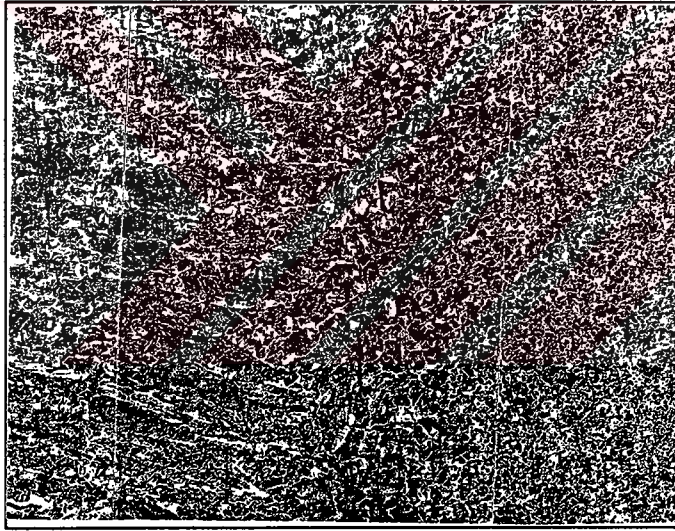
Rutil elektrod ile yapılan kaynakta da kaynak metali çatlakları görülmektedir. (Şekil 7.9, 7.10, 7.11, 7.12). % 0,84 karbonlu çelikte genel duruma baktığımızda rutil elektrod ve SG2 telinden elde edilen kaynakların kaynak metalinde çatlama görülürken, bazik elektrod ile yapılan kaynağın kaynak metalinde çatlama görülmemiştir. Bu durum, bazik elektrod ile elde edilen kaynak metalinin daha tok, diğer iki elektrod ile yapılan kaynak metalinin bazik elektrod kaynağına göre daha kırılgan olduğundan kaynaklanmaktadır.

Literatürde yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında bazik örtülü elektrodun kullanılması öntavlamanın gerekliliği kaynak sonrası yavaş soğutma ve ard ısıtma ile gerginliklerin giderilmesi tavsiye edilmektedir [1,7,17].

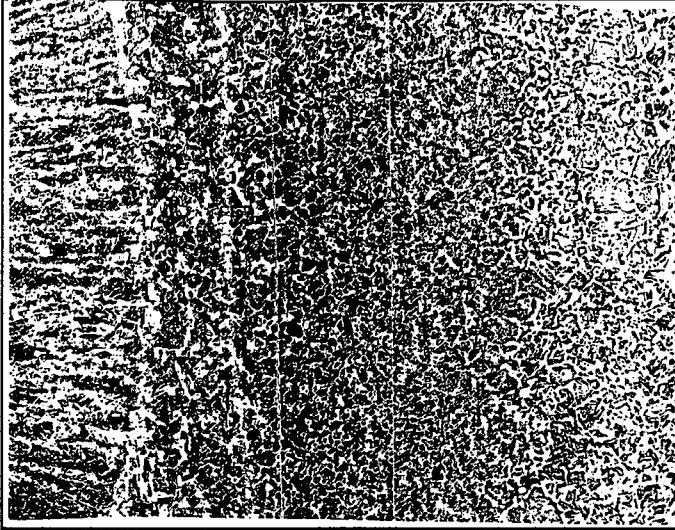
Bu deneyde % 0,84 C'lu çelikte kükürt ve fosfor oranları toplamı (Çizelge 6.3) $0,0164 + 0,0663 = 0,0827$ olup bu oran çatlama sınırının üzerinde olup kaynak bölgesindeki çatlağın muhtemel bir sebebidir. Kükürt ve fosforun toplam oranı %0,6'yı geçmemelidir [26].



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

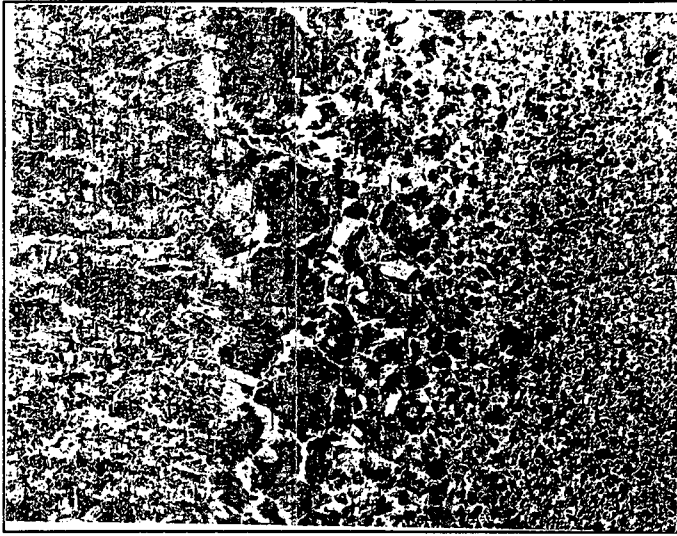


b) Bazik elektrotla ark kaynağı



c) MAG kaynağı

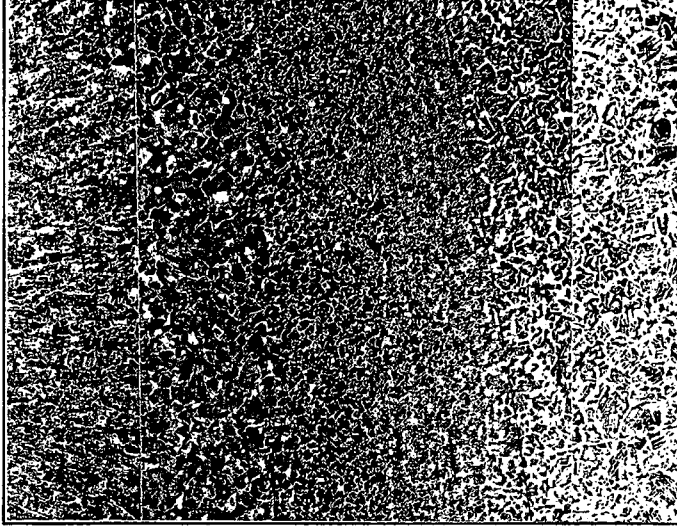
Şekil .7.1. %0.020 C'lu çeliğin oda sıcaklığındaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

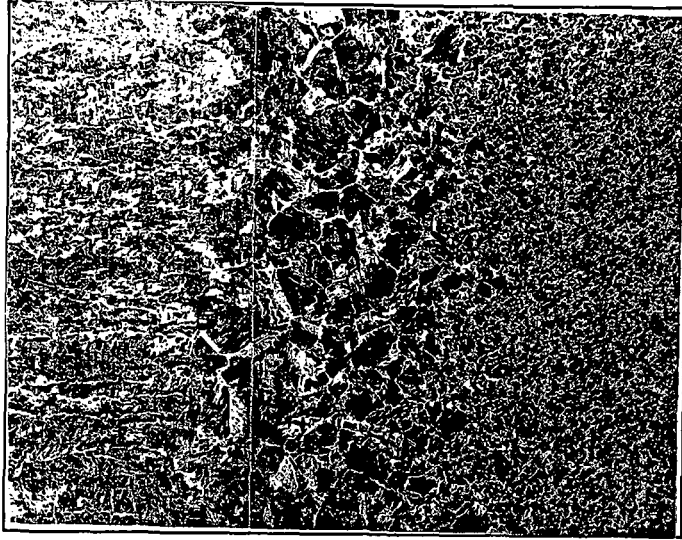


b) Bazik elektrotla ark kaynağı



c) MAG kaynağı

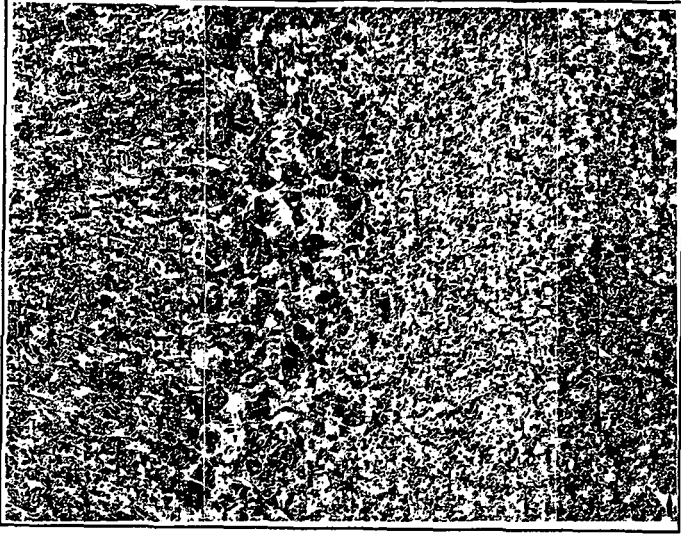
Şekil . 7.2 %0.020 C'lu çeliğin 100 °C ön tavlama ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

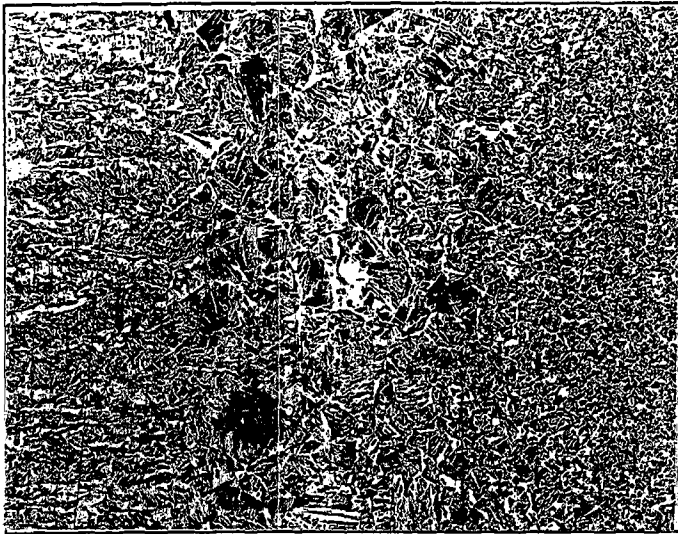


b) Bazik elektrotla ark kaynağı

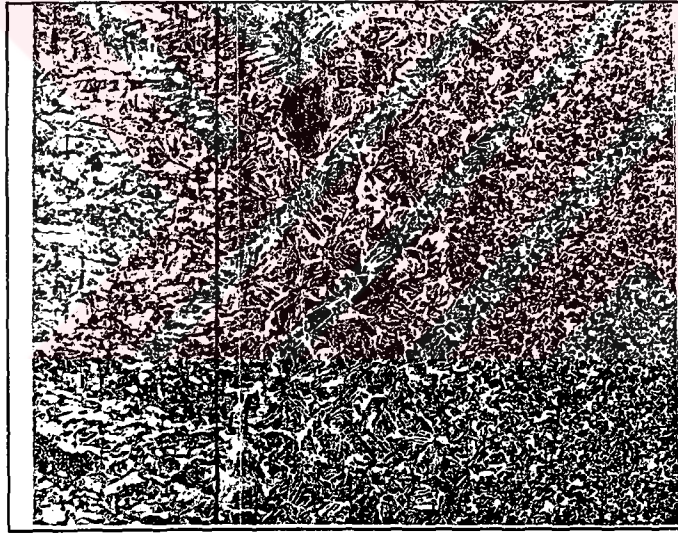


c) MAG kaynağı

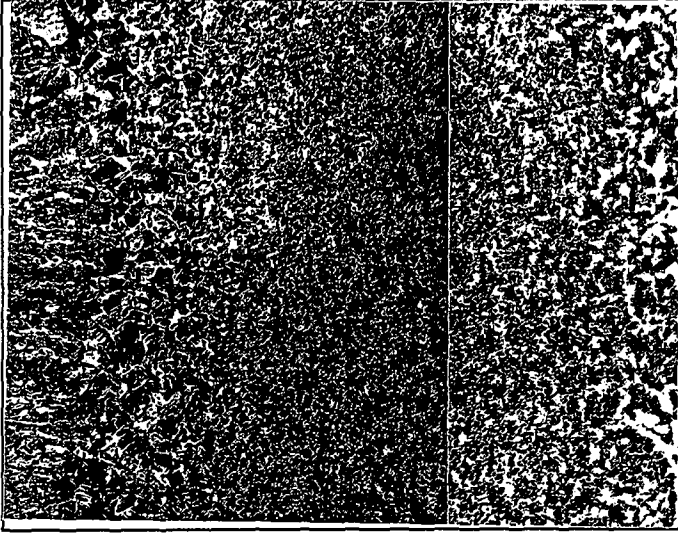
Şekil .7.3 %0.020 C'lu çeliğin 200 °C ön tavadaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişmeler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

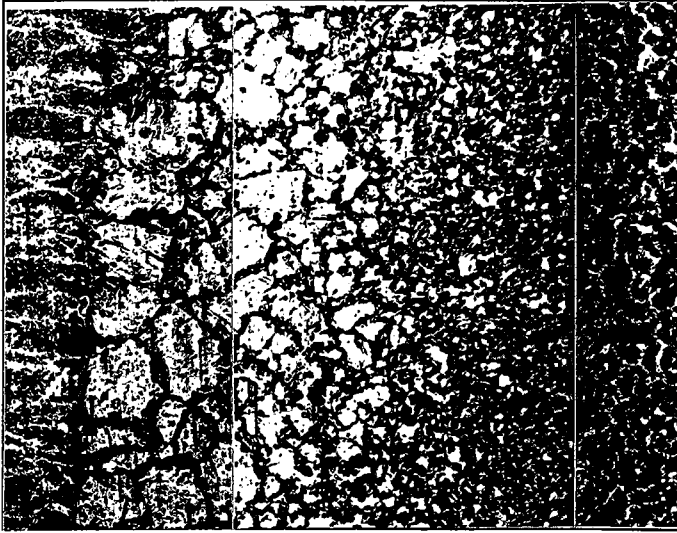


b) Bazik elektrotla ark kaynağı

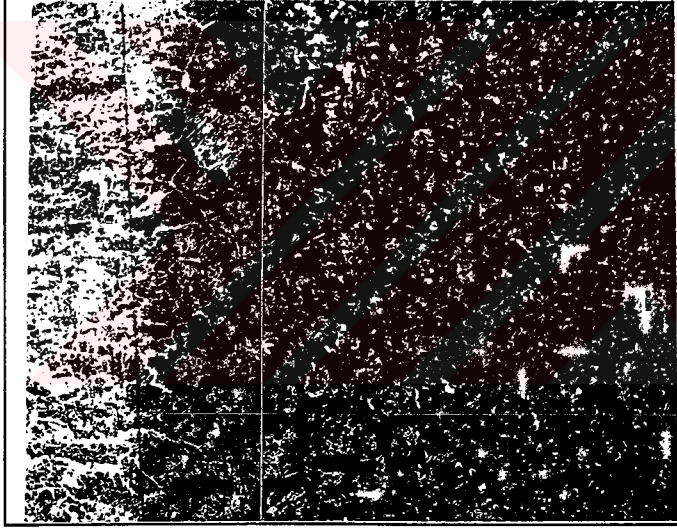


c) MAG kaynağı

Şekil 7.4. %0.020 C'lu çeliğin 350 °C ön tavlama ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

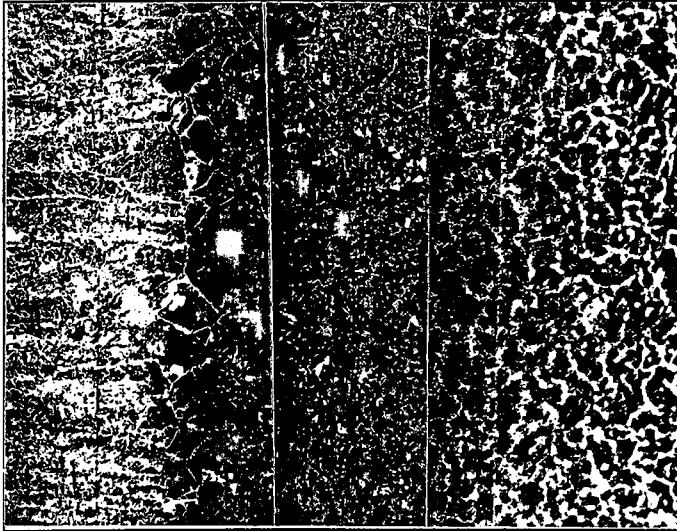


b) Bazik elektrotla ark kaynağı

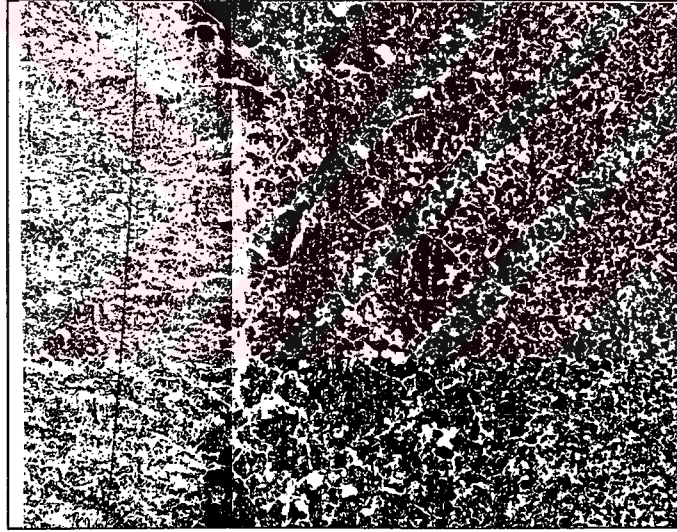


c) MAG kaynağı

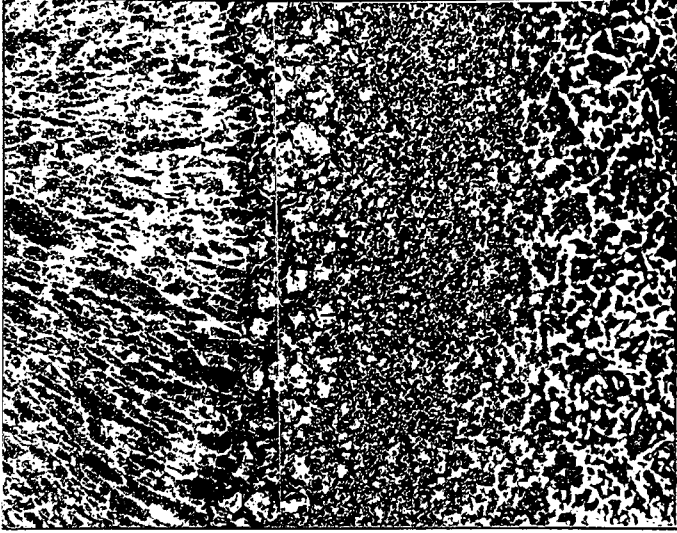
Şekil 7.5. % 0.42 C'lu çeliğin oda sıcaklığındaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

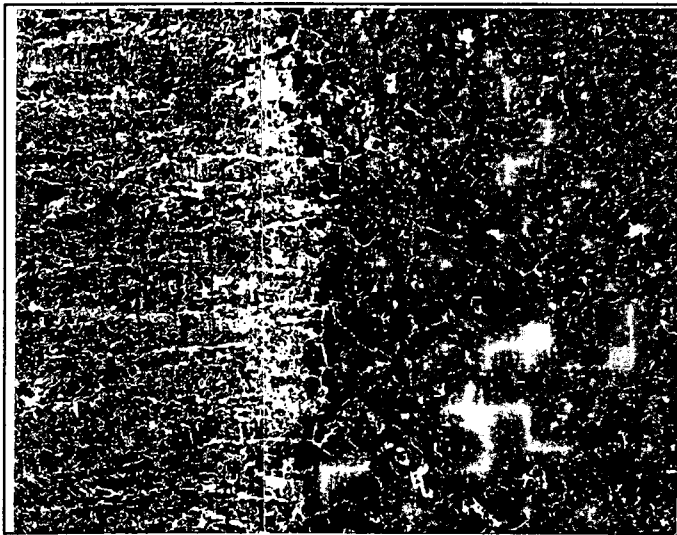


b) Bazik elektrotla ark kaynağı

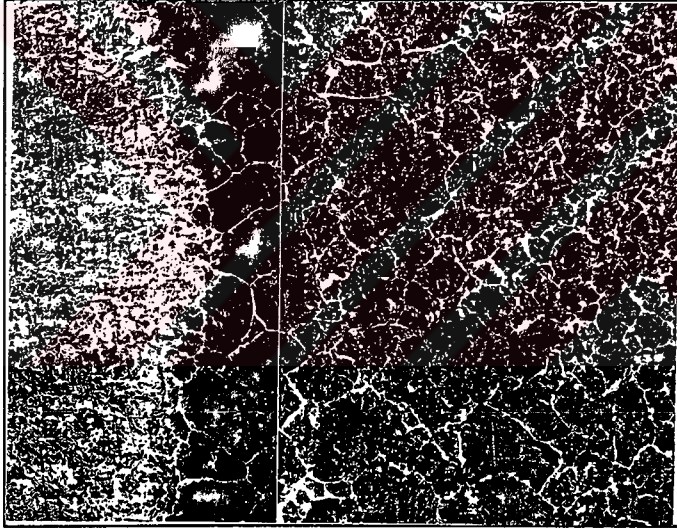


c) MAG kaynağı

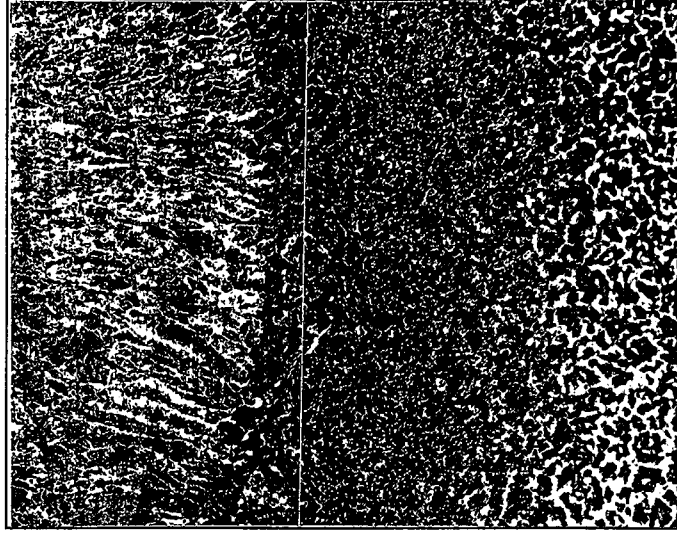
Şekil .7.6 % 0.42 C'lu çeliğin 100 °C ön tavadaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

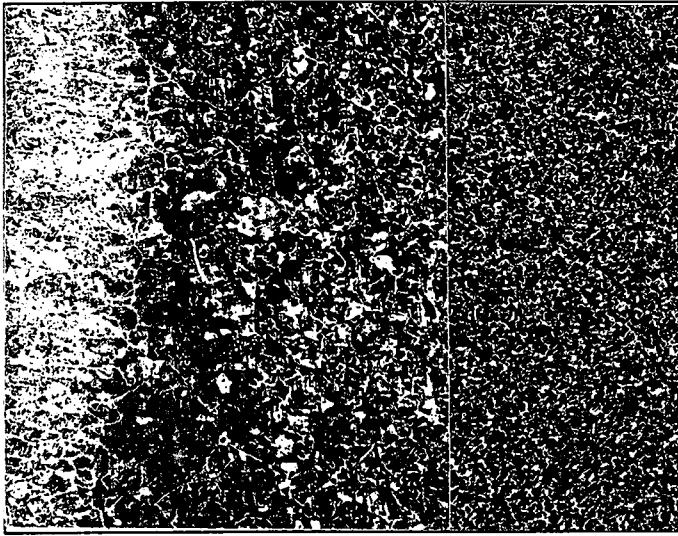


b) Bazik elektrotla ark kaynağı

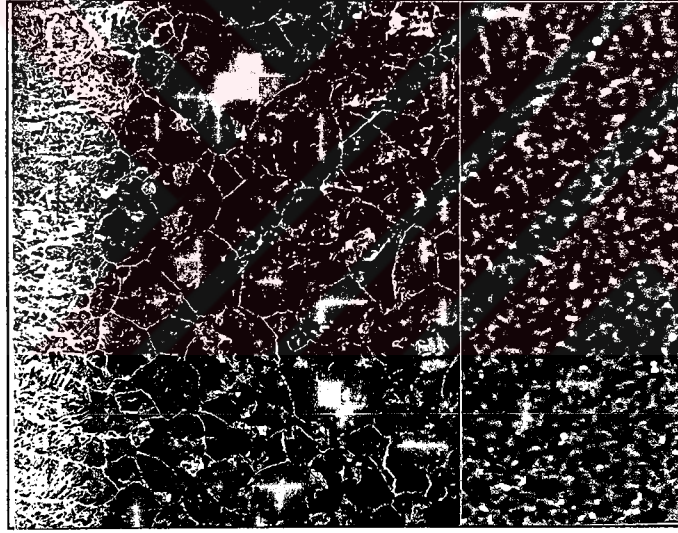


c) MAG kaynağı

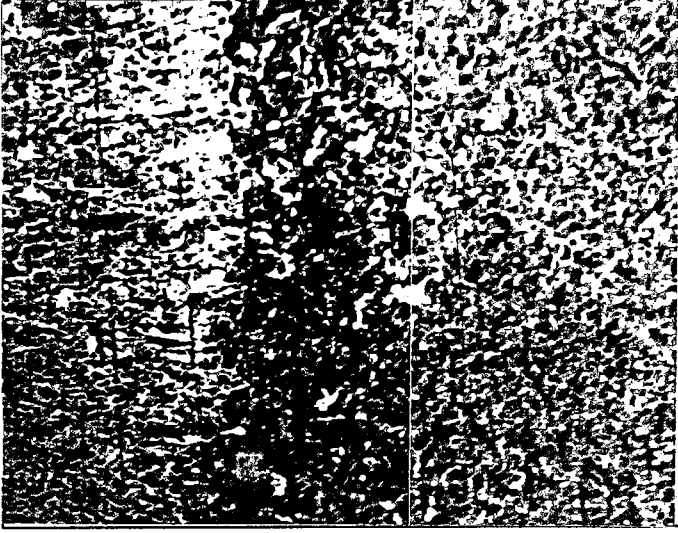
Şekil . 7.7 % 0.42 C'lu çeliğin 200 °C ön tavlama ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

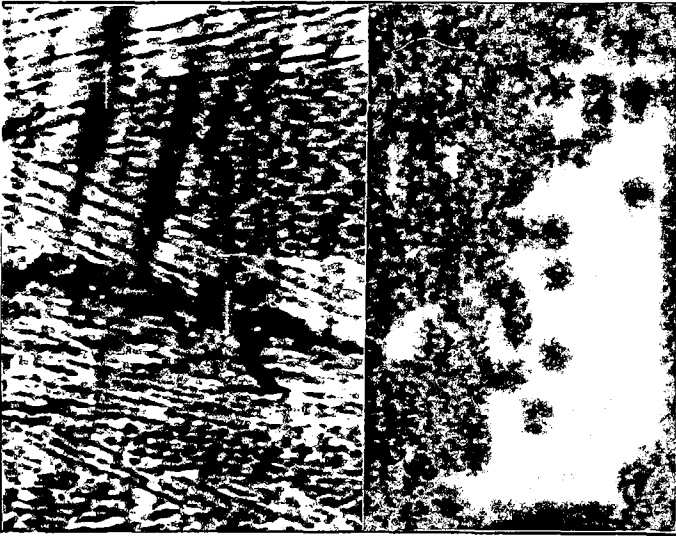


b) Bazik elektrotla ark kaynağı

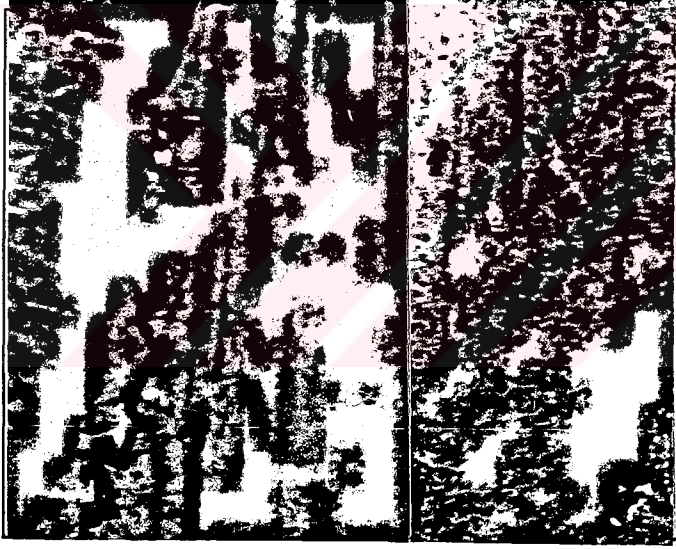


c) MAG kaynağı

Şekil . 7.8 % 0.42 C'lu çeliğin 350 °C ön tavraki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı



b) Bazik elektrotla ark kaynağı

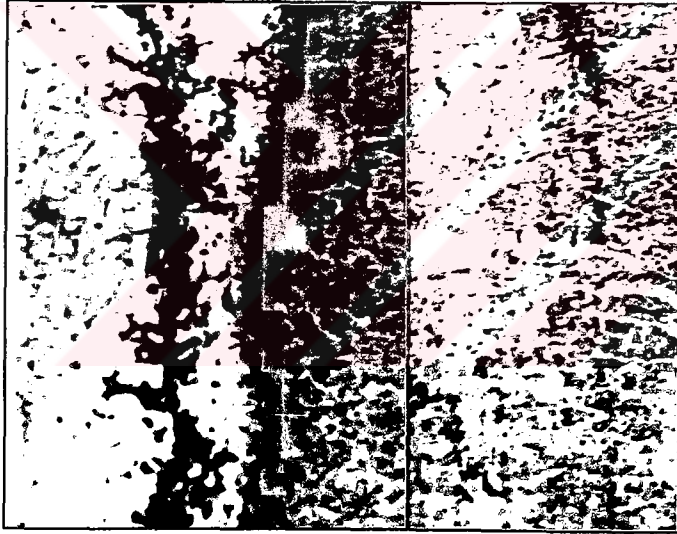


c) MAG kaynağı

Şekil . 7.9 % 0.84 C'lu çeliğin oda sıcaklığında ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı

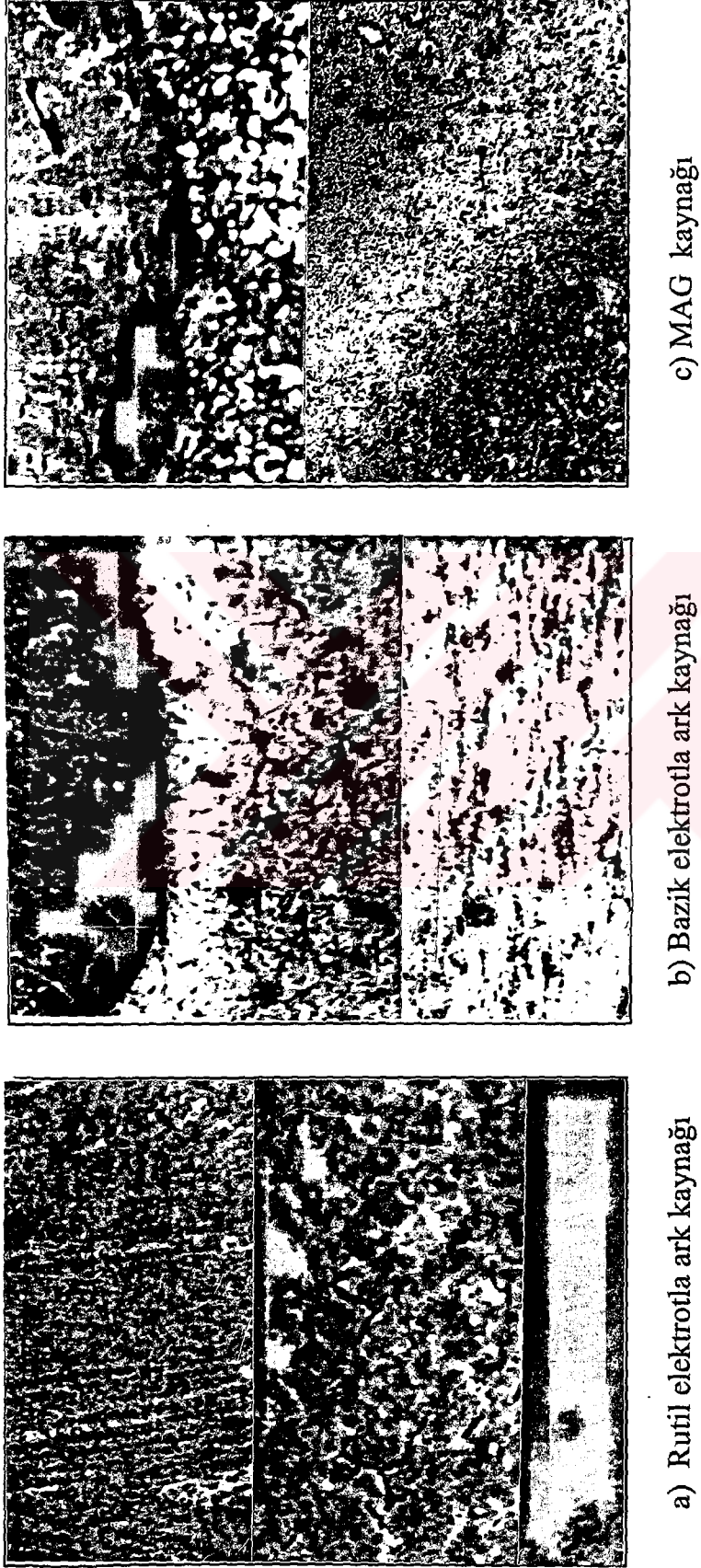


b) Bazik elektrotla ark kaynağı

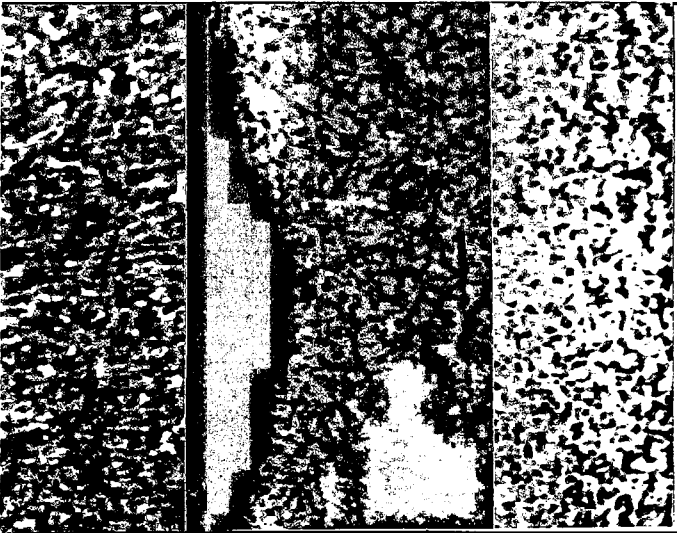


c) MAG kaynağı

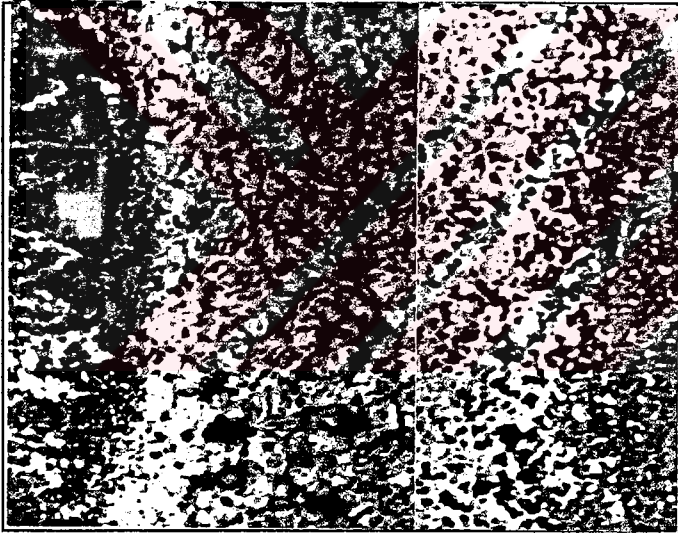
Şekil .7.10 % 0.84 C'lu çeliğin 100 °C ön tavadaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



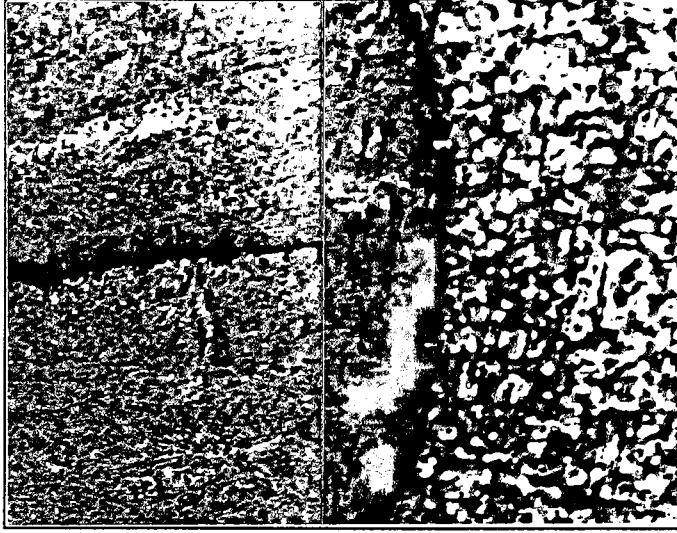
Şekil . 7.11 % 0.84 C'lu çeliğin 200 °C ön tavlaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).



a) Rutil elektrotla ark kaynağı



b) Bazik elektrotla ark kaynağı



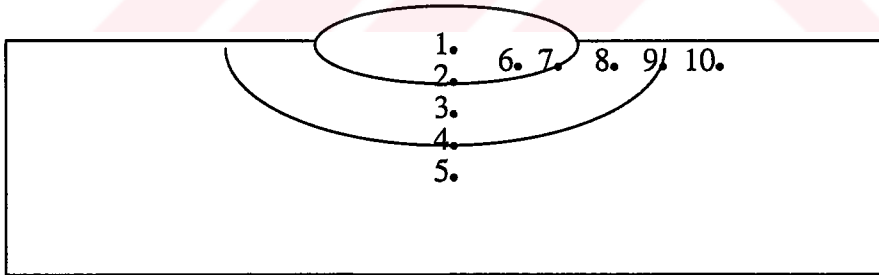
c) MAG kaynağı

Şekil . 7.12 % 0.84 C'lu çeliğin 350 °C ön tavadaki ITAB'sinin mikro yapısındaki değişimler (x100).

7.3. Sertlik Deney Sonuçları ve Tartışma

Deneylerde kullanılan % 0,20, %0,42 ve %0,84 C'lu genel yapı çeliklerinde ITAB'ndeki kritik sertliğin üst sınırı 350 VSD olarak bildirilmektedir [1]. Yapılan bu çalışmada kullanılan üç çeşit ana malzemenin kaynak öncesi sertlikleri % 0,20 C'lu çelik için 150 VSD, % 0,42 C'lu çelik için 200 VSD ve % 0,84 C'lu çelikler için 320 VSD olarak tespit edilmiştir.

Makro ve mikroyapı incelemesi yapılan % 0,20, %0,42 ve %0,84 C'lu numunelerin herbiri ayrı ayrı oda sıcaklığında 100 °C, 200 °C, 350 °C ön tav sıcaklığında rutil elektrodla, bazik elektrodla ve SG2 teli (MAG) ile dikiş çekilmiş olan numuneler şekil 7.13' de görülen noktalarından VSD cinsinden sertlikleri ölçülmüştür. Ölçüm her bir bölgeden alınan üç ayrı sertlik değerinin ortalaması olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar sayısal olarak çizelge 7.2.-7.4.'de ve grafik olarak şekil 7.14 - 7.25. de verilmektedir.



Şekil 7.13. Kaynaklı numunelerde sertlik değerlerinin alındığı bölgeler

Çizelge 7.2. %0,20 C'lu çeliğin kaynak bölgesi sertlik değerleri

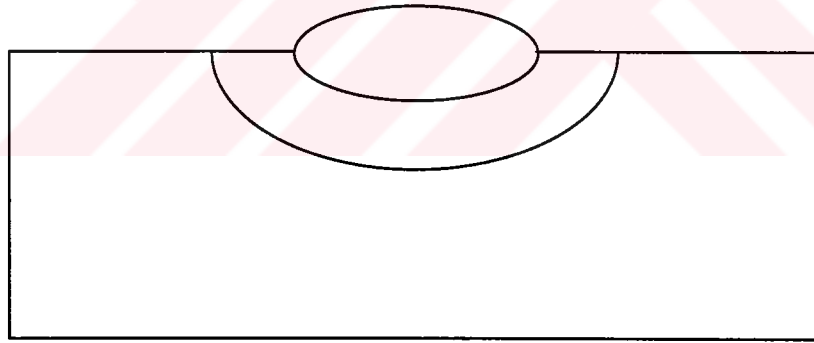
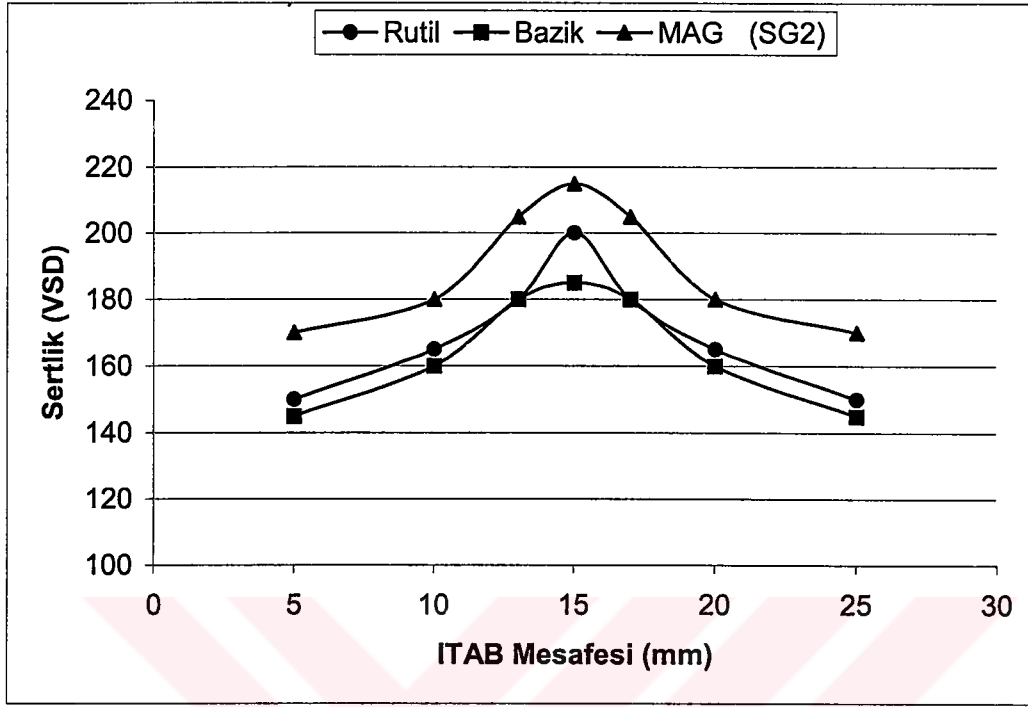
Elektrod	Malzeme	Kaynak metali sertliği (VSD)			
		Oda Sıcaklığı	100 °C	200 °C	350 °C
Rutil	% 0,20 C'lu	200	195	180	135
Bazik	% 0,20 C'lu	185	185	150	140
SG2 Teli	% 0,20 C'lu	215	200	180	165
		İri Taneli Bölgenin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,20 C'lu	180	175	170	140
Bazik	% 0,20 C'lu	175	180	150	135
SG2 Teli	% 0,20 C'lu	205	195	165	155
		İnce Taneli Bölgenin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,20 C'lu	165	160	155	135
Bazik	% 0,20 C'lu	160	160	145	130
SG2 Teli	% 0,20 C'lu	180	185	155	150
		Esas Metalin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,20 C'lu	150	150	155	140
Bazik	% 0,20 C'lu	145	140	150	130
SG2 Teli	% 0,20 C'lu	170	170	140	145

Çizelge 7.3. %0,42 C'lu çeliğin kaynak bölgesi sertlik değerleri

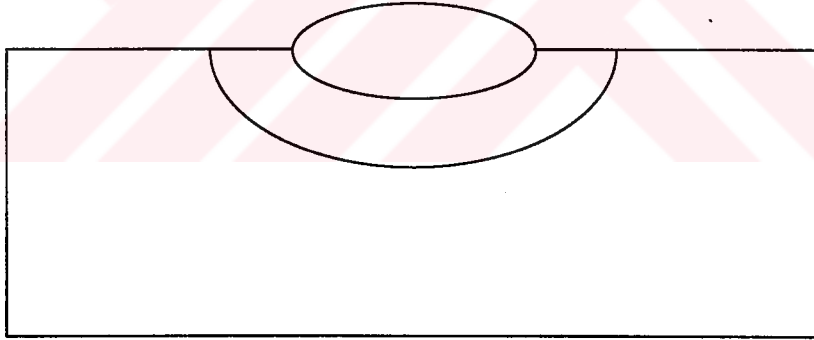
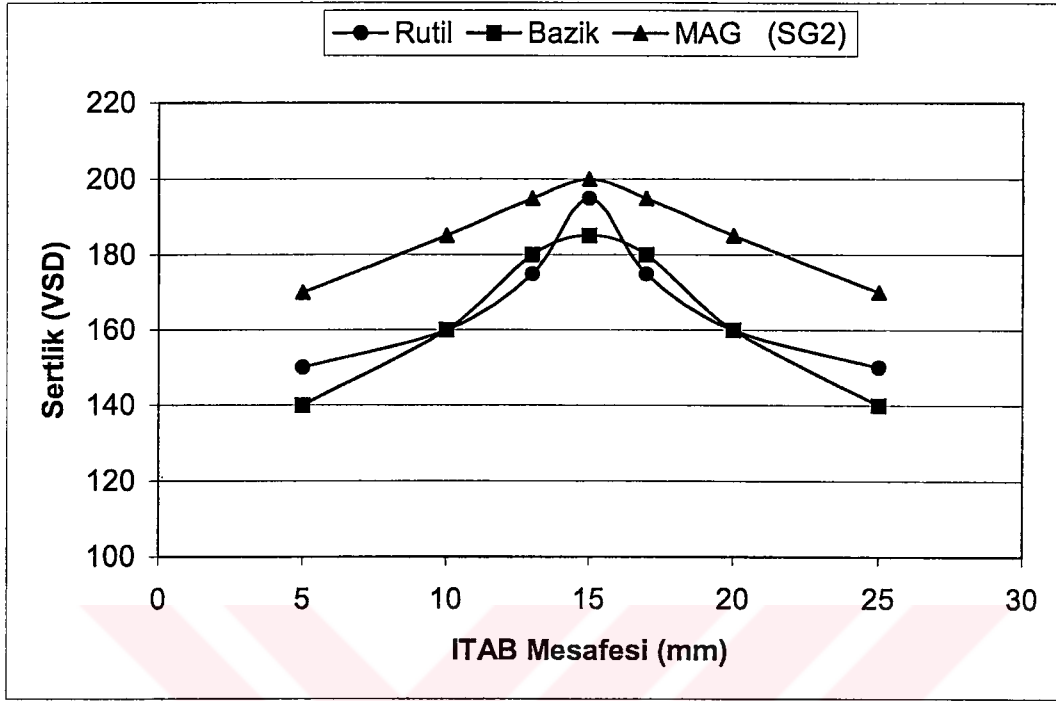
Elektrod	Malzeme	Kaynak metalı sertliği (VSD)			
		Oda Sıcaklığı	100 °C	200 °C	350 °C
Rutil	% 0,42 C'lu	235	215	210	195
Bazik	% 0,42 C'lu	195	170	185	170
SG2 Teli	% 0,42 C'lu	220	240	215	200
		İri Taneli Bölgenin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,42 C'lu	475	320	305	265
Bazik	% 0,42 C'lu	380	290	245	245
SG2 Teli	% 0,42 C'lu	450	340	280	255
		İnce Taneli Bölgenin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,42 C'lu	315	270	260	230
Bazik	% 0,42 C'lu	280	260	220	210
SG2 Teli	% 0,42 C'lu	345	280	270	230
		Esas Metalin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,42 C'lu	205	195	200	195
Bazik	% 0,42 C'lu	200	200	200	195
SG2 Teli	% 0,42 C'lu	220	205	200	205

Çizelge 7.4. %0,84 C'lu çeliğin kaynak bölgesi sertlik değerleri

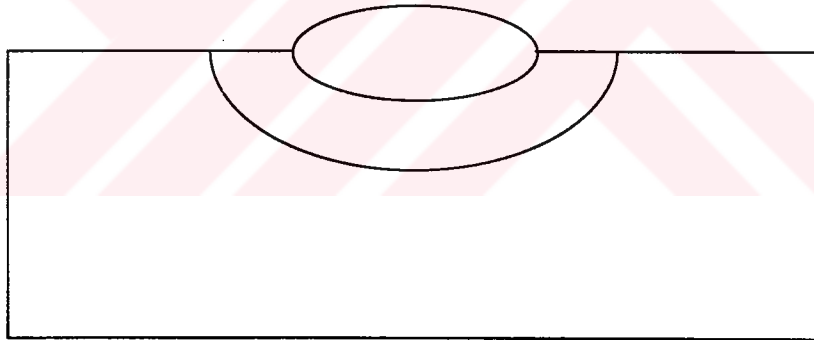
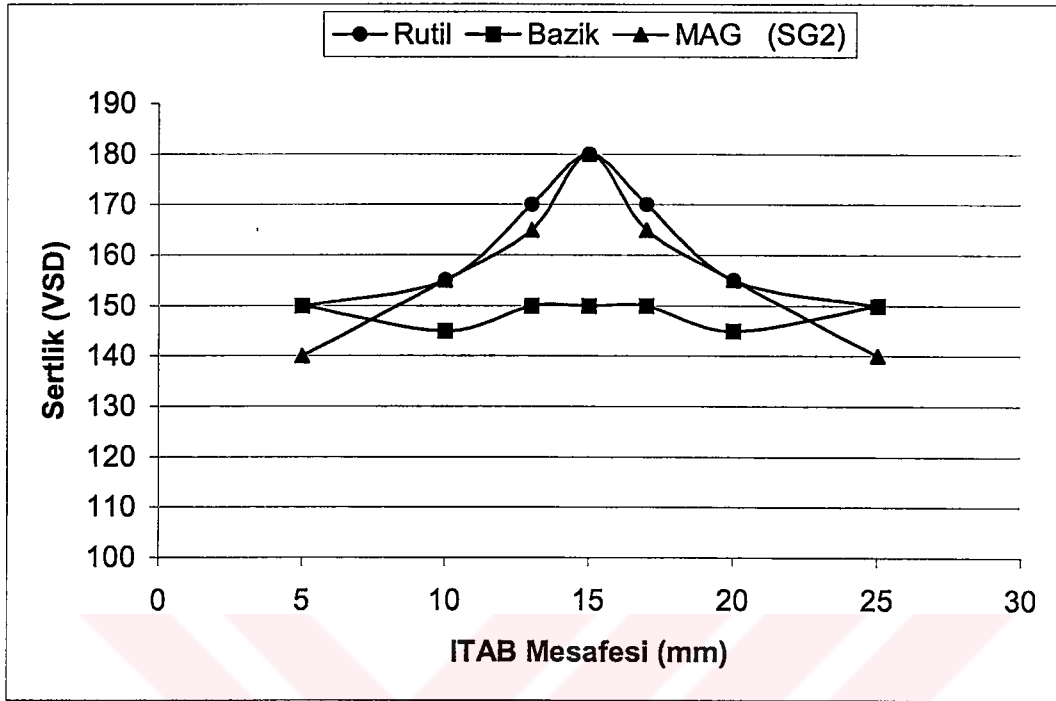
Elektrod	Malzeme	Kaynak metalı sertliği (VSD)			
		Oda Sıcaklığı	100 °C	200 °C	350 °C
Rutil	% 0,84 C'lu	430	300	295	310
Bazik	% 0,84 C'lu	230	225	235	265
SG2 Teli	% 0,84 C'lu	340	320	320	315
		İri Taneli Bölgenin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,84 C'lu	730	770	830	755
Bazik	% 0,84 C'lu	790	790	800	660
SG2 Teli	% 0,84 C'lu	730	790	820	790
		İnce Taneli Bölgenin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,84 C'lu	475	450	345	425
Bazik	% 0,84 C'lu	330	350	335	390
SG2 Teli	% 0,84 C'lu	345	360	325	415
		Esas Metalin Sertliği (VSD)			
Rutil	% 0,84 C'lu	300	325	325	335
Bazik	% 0,84 C'lu	300	320	320	310
SG2 Teli	% 0,84 C'lu	325	330	320	335



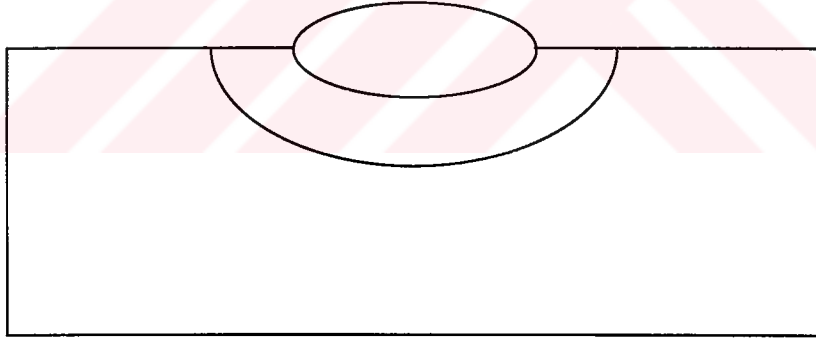
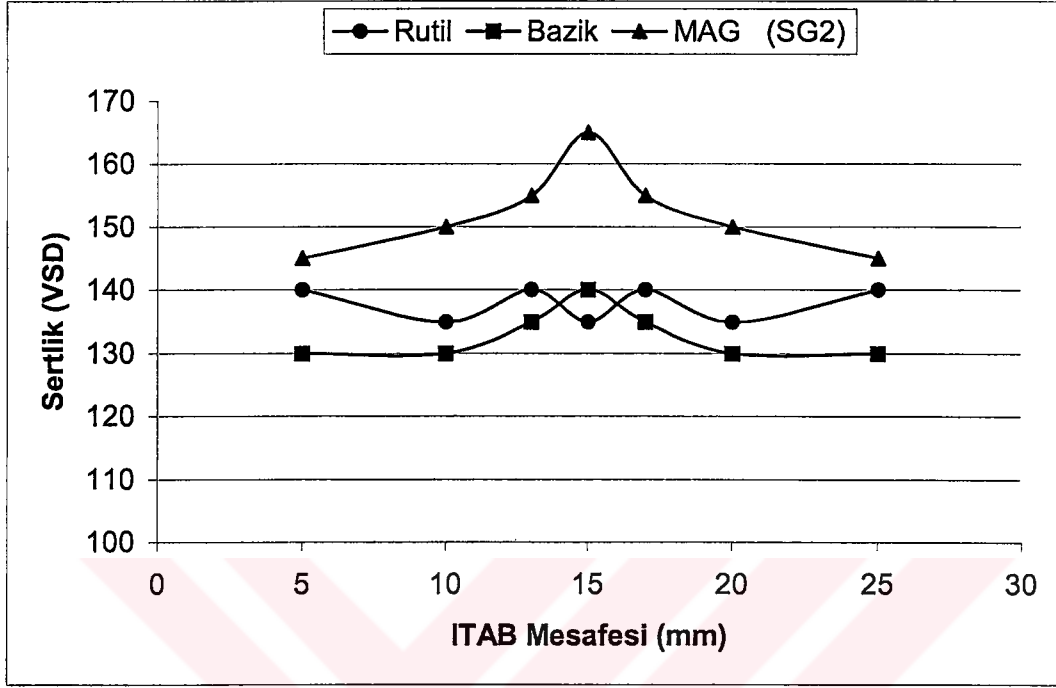
Şekil 7.14. % 0,20 C'lu çeliğe oda sıcaklığında çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



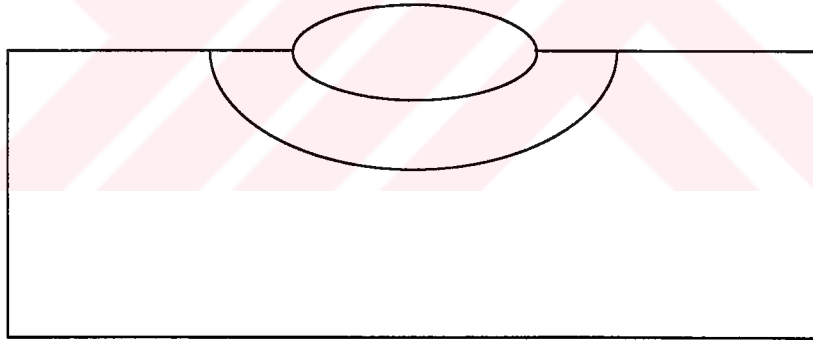
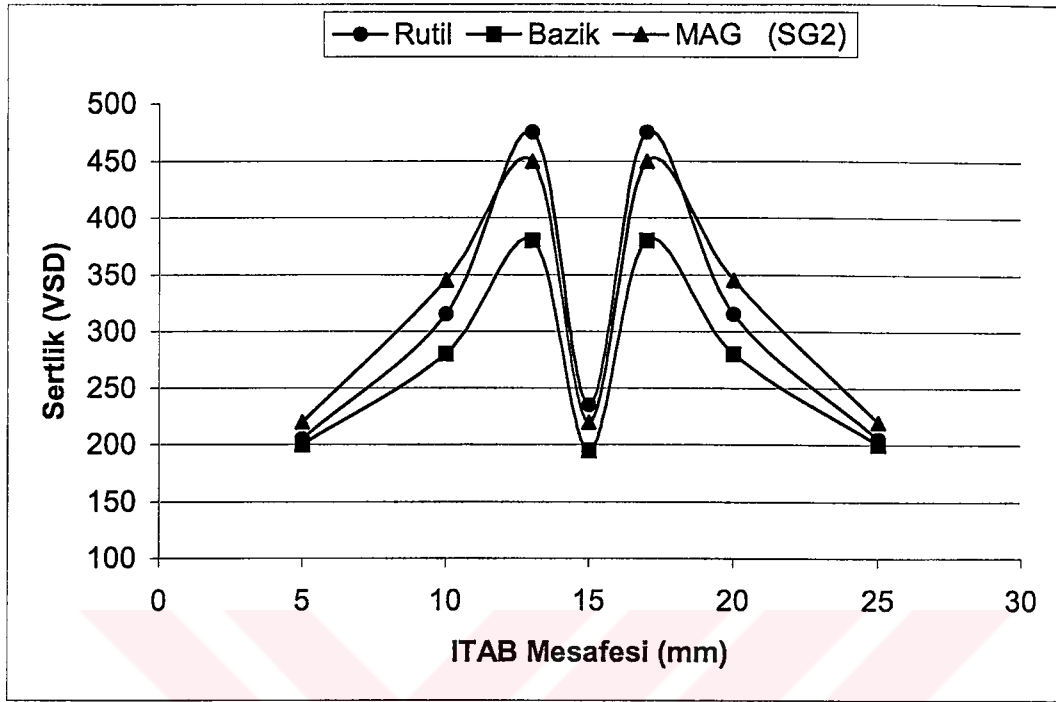
Şekil 7.15. % 0,20 C'lu çeliğe 100 °C'lik ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



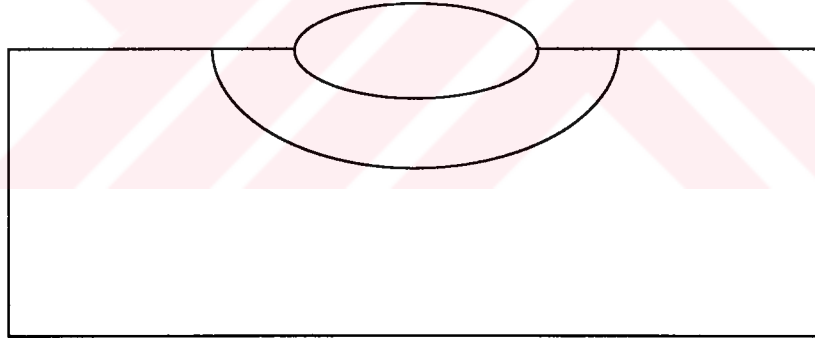
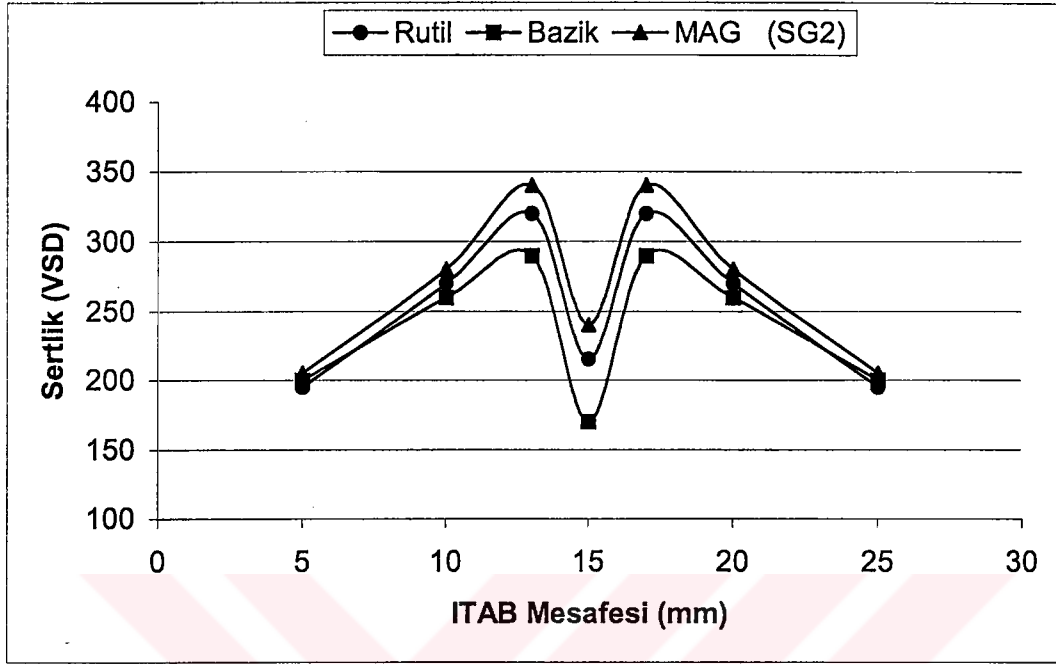
Şekil 7.16. % 0,20 C'lu çeliğe 200 °C'lık ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



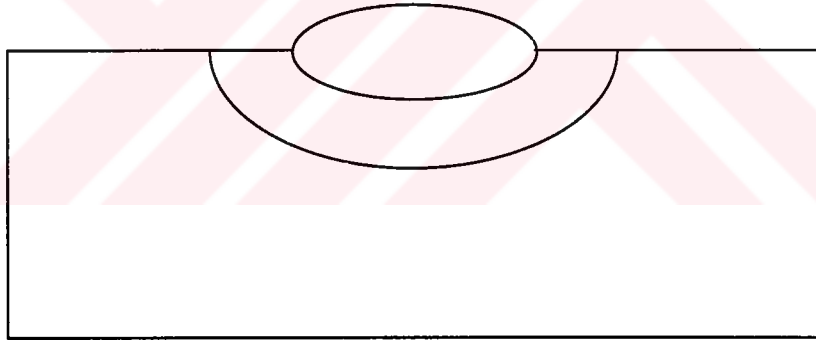
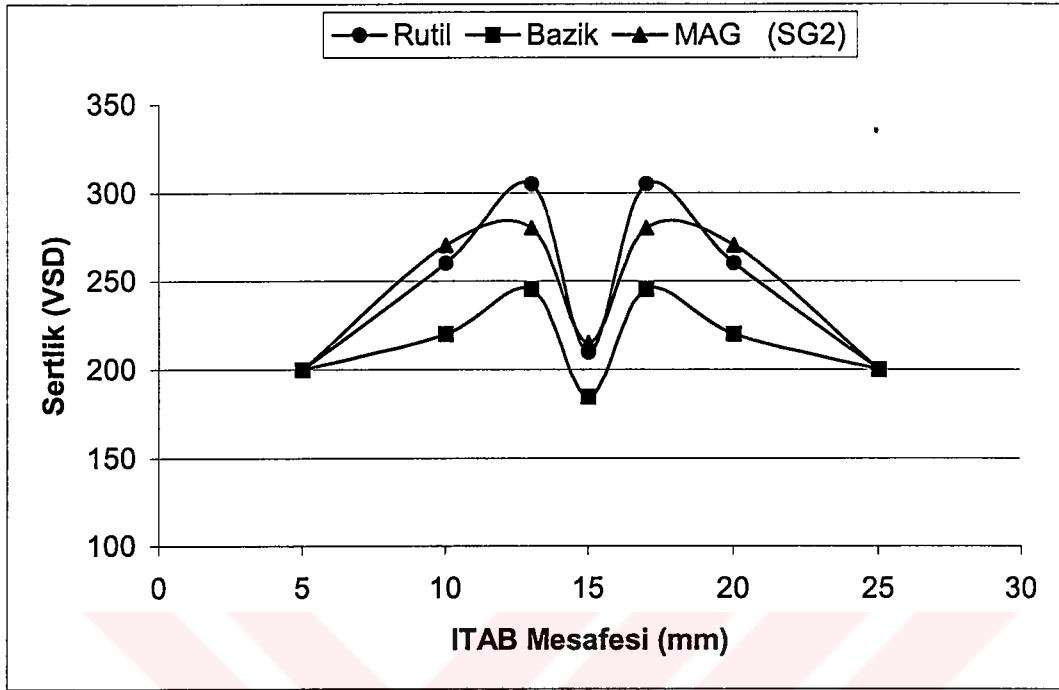
Şekil 7.17. % 0,20 C'lu çeliğe 350 °C'lik ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



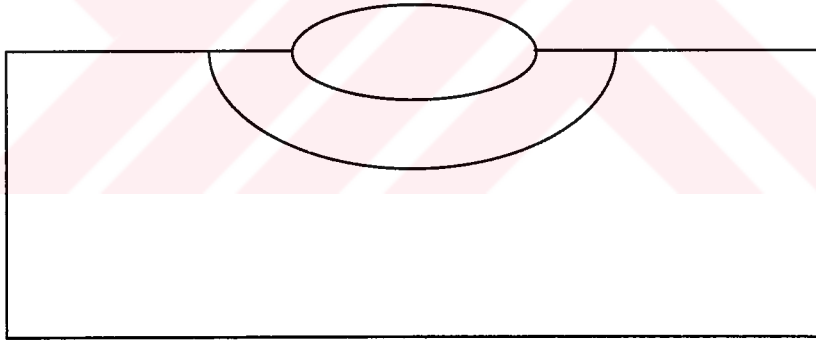
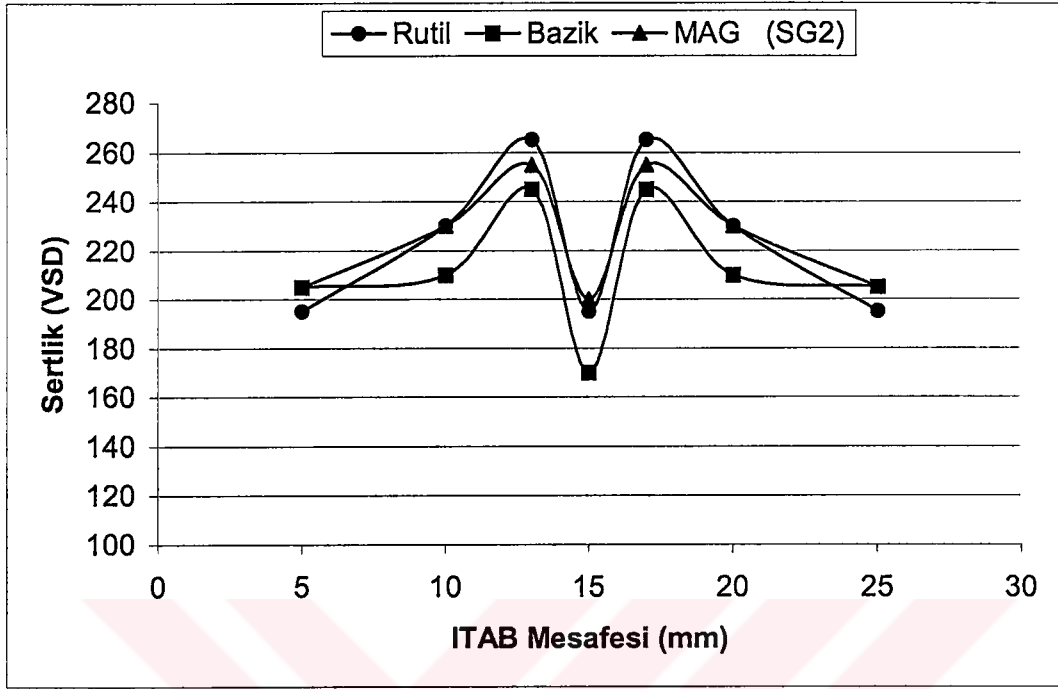
Şekil 7.18.% 0,42 C'lu çeliğe oda sıcaklığında çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



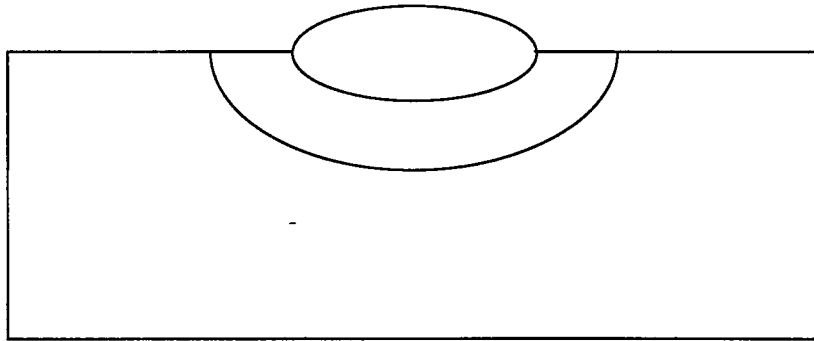
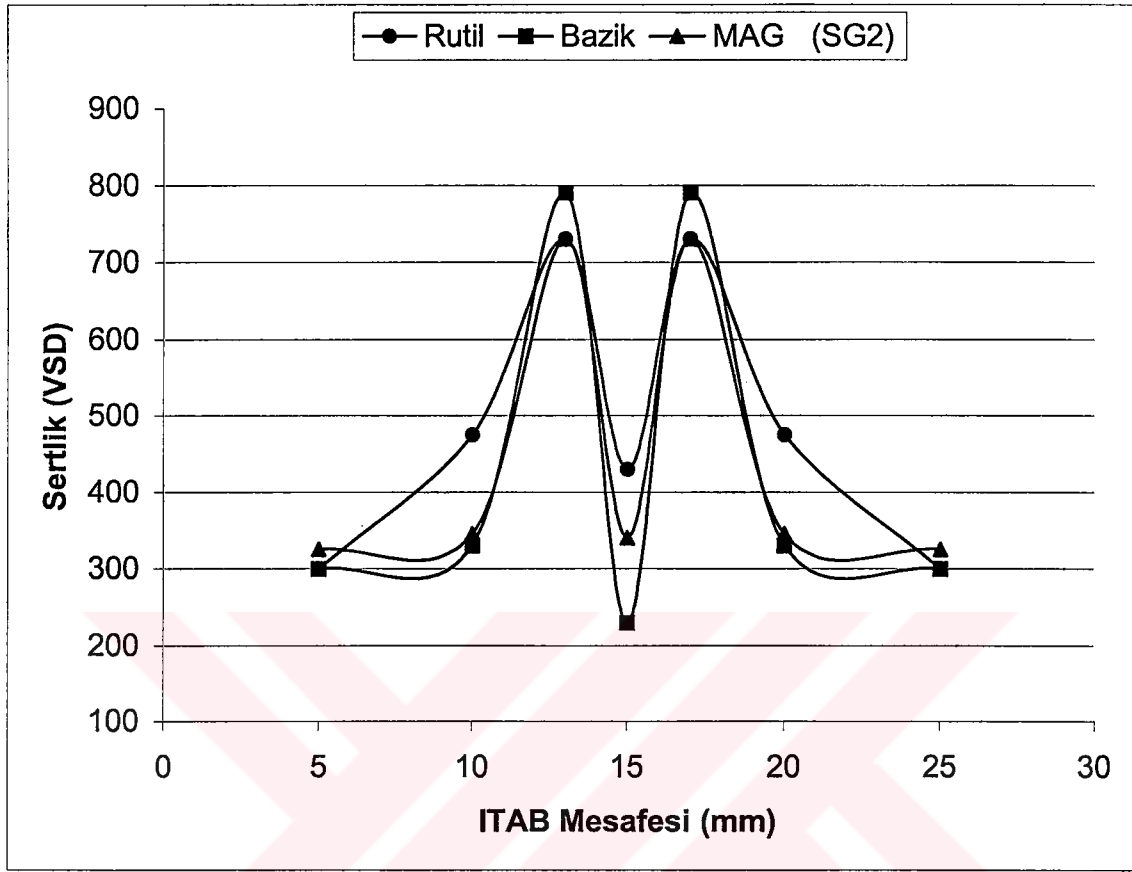
Şekil 7.19.% 0,42 C'lu çeliğe 100 °C'lik ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



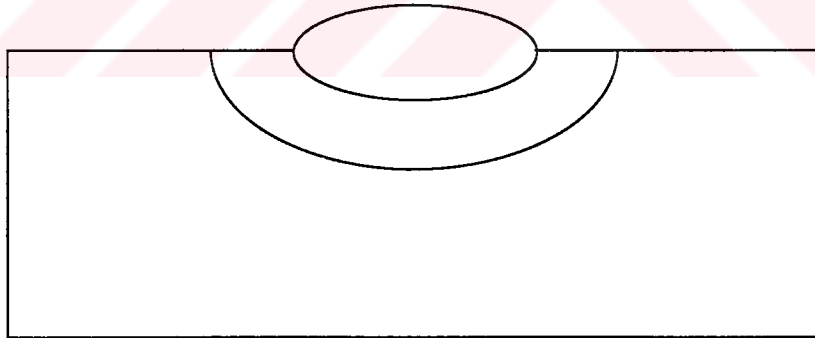
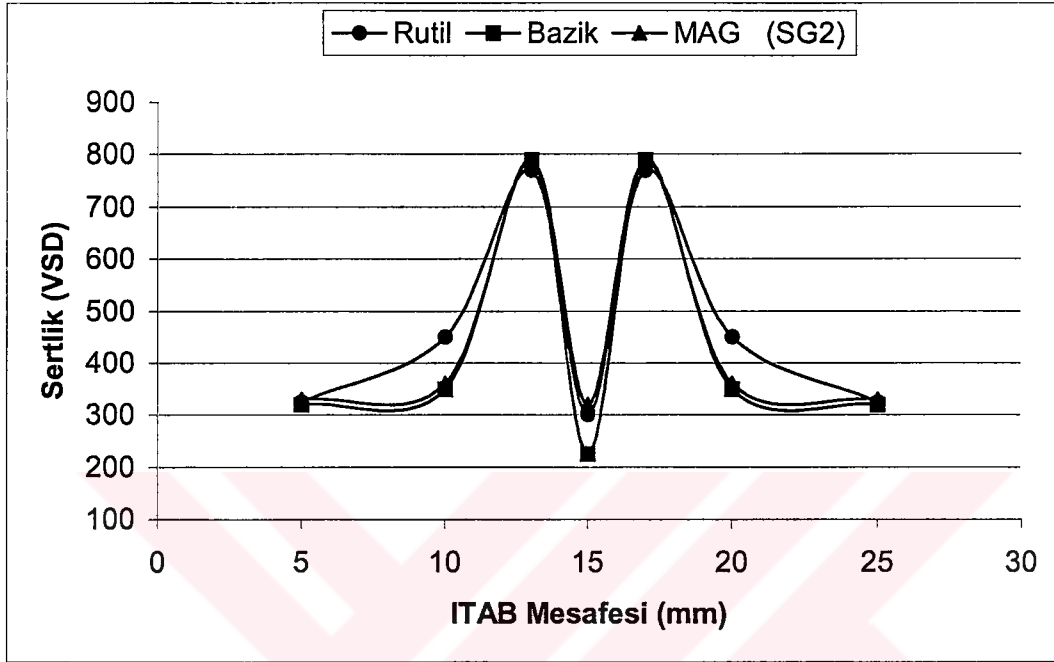
Şekil 7.20. % 0,42 C'lu çeliğe 200 °C'lık ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



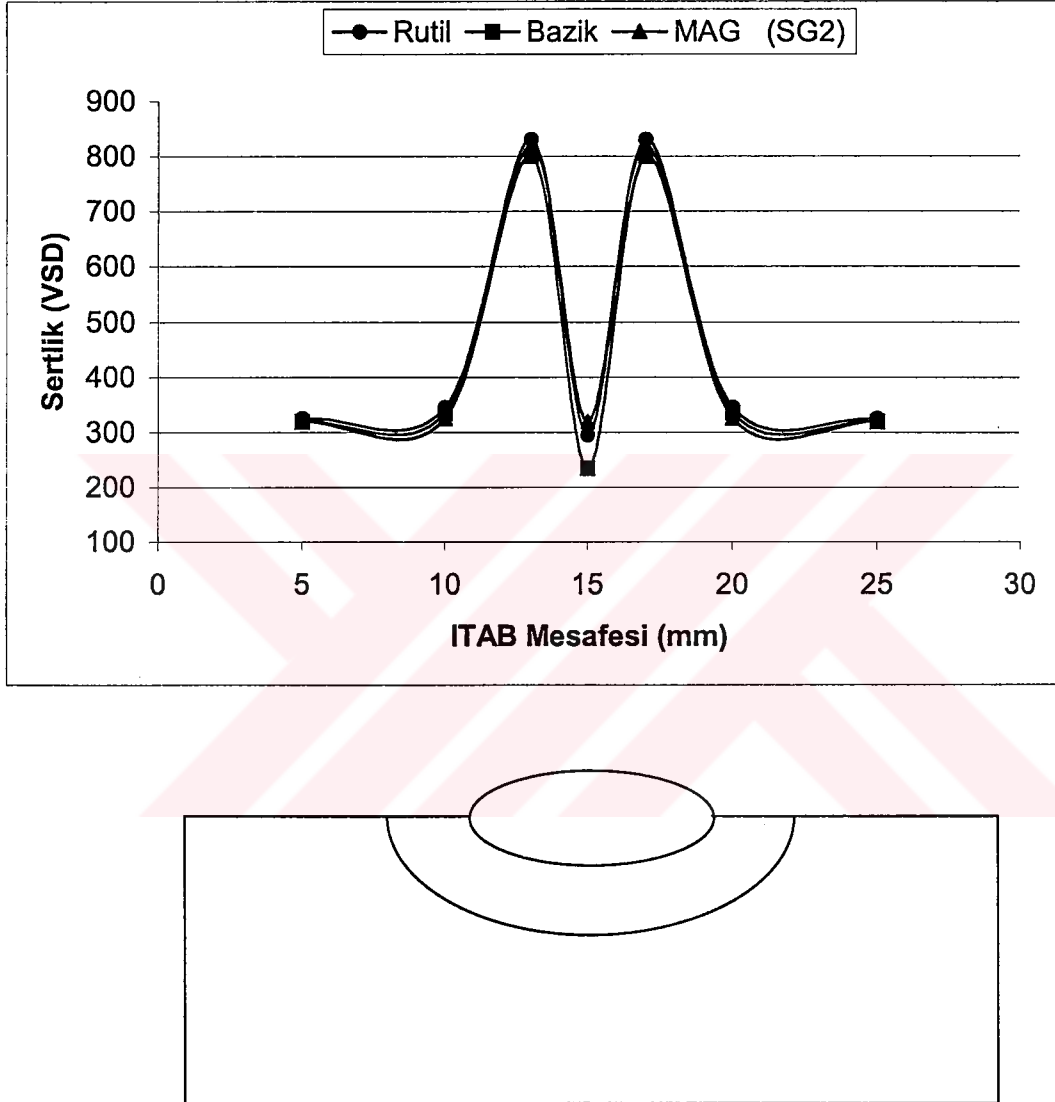
Şekil 7.21. % 0,42 C'lu çeliğe 350 °C'lık ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



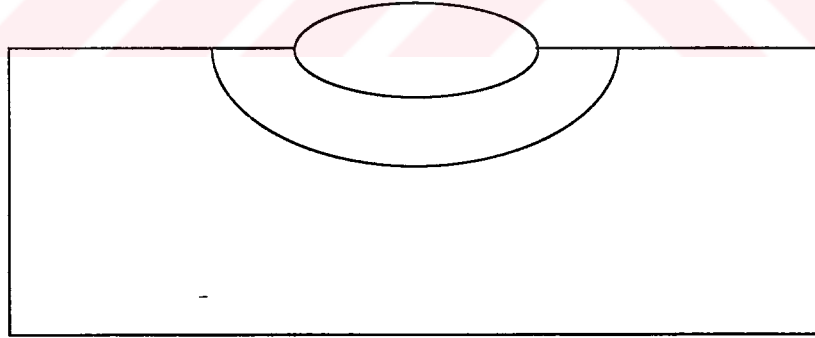
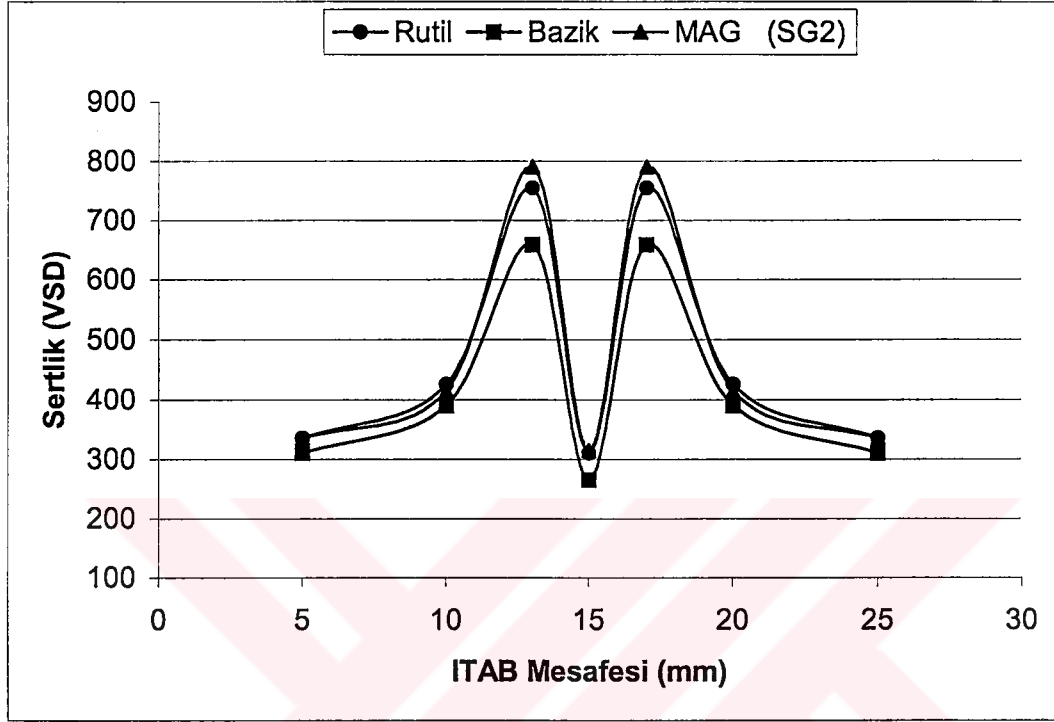
Şekil 7.22. % 0,84 C'lu çeliğe oda sıcaklığında çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



Şekil 7.23. % 0,84 C'lu çeliğe 100 °C'lik ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



Şekil 7.24. % 0,84 C'lu çeliğe 200 °C'lık ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.



Şekil 7.25. % 0,84 C'lu çeliğe 350 °C'lik ön tavda çekilen kaynak dikişinin ITAB sertlik değişimi.

7.3.1. Kaynak metalinin sertliği ve tartişma

Oda sıcaklığında rutil elektrod ile yapılan deneylerde kaynak metalinin sertliği %0,84 C'lu çelikte 430 VSD çıkmış olup bu değer kritik sertliğin üzerindedir. Elde edilen bu değerin sebebi karbonun ana metalden kaynak metaline difüzyonu sonucu olduğu tahmin edilmektedir. Diğer bütün öntav sıcaklıklarında yapılan deneylerdeki kaynak metalinin sertliği 300 VSD'nin altında olduğu görülmektedir. Kaynak metalinin yapısı sertlik değerini açısından üretici firmalarca 350 VSD'yi geçmeyecek şekilde üretilmektedir. Bazik elektrod ile elde edilen kaynak metalinin sertliği rutil elektrod ve SG2 teli ile elde edilen kaynak metalinin sertliğine göre daha düşüktür. Bu da elektrodun kendine has özelliğinden kaynaklanmakta olup beklenen bir sonuçtur. 100  C, 200 C, 350  C'lik öntav sıcaklıklarında elde edilen kaynak metalinin sertliğinde görülen değerisimler ısı girdisi ve kullanılan elektrod türüne bağlı olup bu durum şekil 7.14-7.25'de görülmektedir.

7.3.2. İri taneli bölgenin sertliği ve tartişma

Deney numunelerinin iri taneli bölgesindeki sertlik MAG yöntemi SG2 teli ile çekilen kaynak dikişlerinde % 0,20 C'lu çeliklerde en yüksek değerlerde elde edilmiştir (şekil 7.14- 7.17). % 0,42 C'lu çeliklerin kaynağında iri taneli bölgenin sertliği ise rutil elektrodla yapılan kaynakta en yüksek, bazik elektrodla yapılan kaynakta ise en düşük değerde çıkmıştır. Oda sıcaklığında elde edilen bütün sertlik değerleri kritik sertlik değerini olan 350 VSD'nin üzerinde çıkmıştır (şekil 7.18). ntav sıcaklığına bağlı olarak iri taneli bölgenin sertliği rutil elektrod kaynağında 475 VSD'den 265 VSD'ye düştüğü görülmüştür. Bazik elektrod kaynağında bu değerler 380 VSD'den 245 VSD'ye, SG2 teli ile yapılan kaynakta sertlik değerleri 450 VSD'den 255 VSD'ye düşmüştür. . 100  C'lik öntav sıcaklığında elde edilen sertlik değerleri bütün numunelerde 350 VSD'nin altında çıkmıştır (izelge 7.3). Bu da göstermektedir ki %0,42 C'lu çelikte ITAB'nin güvenliği için en az 100  C'lik bir öntavlama sıcaklığına ihtiyaç vardır. % 0,84 C'lu çeliğin iri taneli bölgesi incelendiğinde (izelge 7.4) bütün sertlik değerleri 350 VSD'nin

üzerinde olup bu çeliğin kaynağı için öntavlama sıcaklığı tek başına yetertli bir tedbir olmayıp ard ısıtma ve kontrollü soğutma ile sınırlı derecede kaynak edilebilir diye düşünülmektedir.

7.3.3. İnce taneli bölgenin sertliği ve tartışma

%0,20 C'lu çeliğin ince taneli bölge sertliği incelendiğinde sertlik değişimi 180 VSD ile 135 VSD arasında değiştiğinden (Çizelge 7.2) bu malzemede sertlik değeri açısından kaynak için olumsuzluk yoktur. % 0,42 C'lu çeliğin ince taneli bölge sertliği incelendiğinde bütün öntavlama ve kullanılan elektrod şartlarında sertliğin 345 –210 VSD arasında değiştiği görülmektedir(Çizelge 7.3). Bu da normal sertlik değerleri arasında olup kaynak güvenliği açısından bir olumsuzluk göstermemektedir. % 0,84 C'lu çeliğin ince taneli bölge sertliği incelendiğinde (Çizelge 7.4) en yüksek sertlik değerlerinin rutil elektrodun oda sıcaklığı ile 100 °C'lik öntavlama sıcaklıklarındaki kaynağında elde edildiği ve bu değerlerin kritik değer olan 350 VSD'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Bazik elektrod ile elde edilen kaynak dikişlerinin ince taneli bölge sertliği 350 °C'lik ön tavlama sıcaklığında 390 VSD olarak çıkmıştır. MAG yöntemi SG2 teli ile yapılan kaynak dikişinin ince taneli bölge sertliği ise 350 °C'lik öntavlama sıcaklığında 415 VSD çıkmıştır. Bu bölgenin sertliği genel olarak incelendiğinde kritik değerin (350 VSD) yakınında olduğu görüldüğünden mutlaka kaynak sonrası ard ısıtma ve kontrollü soğutma yapılması ile kritik değer olan 350 VSD'nin altı olan normal sertlik değerlerinin elde edilebileceği düşünülmektedir.

7.3.4. Esas metal sertliği ve tartışma

Bütün deney malzemelerinin oda sıcaklığı ve uygulanan öntav sıcaklıkları ve kullanılan elektrod türlerine göre sertlik değerlerine bakıldığında kayda değer bir sertlik değişimi görülmemekte olup bütün değerler her deney numunesinde 350 VSD'nin altında olduğu görülmektedir (Çizelge 7.2, 7.3 ve 7.4).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün kaynak kabiliyeti komisyonu çatlamaya karşı bir emniyet olarak ITAB'da sertliğin 350 VSD'ni aşmamasını tavsiye etmektedir. Yapılan bu çalışmada üç tip elektrod ve iki kaynak yöntemi kullanılmıştır. Mikroyapılara baktığımızda ön tav artışı ile birlikte tane yapısındaki düzenin olumlu yönde geliştiği görülmektedir. Bunun yanı sıra %0,84 karbonlu malzemede ön tavin çatlak oluşumunu fazla etkilemediği (önleyemediği) göze çarpmaktadır. Yaptığımız çalışmada kaynak metalinin sertliği % 0,20 C'lu ve %0,42 karbonlu çelikte 350 VSD'nin altında çıkmasına karşılık, %0,84 karbonlu malzemede difüzyonun etkisi ile rutil elektrod ile yapılan kaynakta 350 VSD'nin üzerine çıkmıştır. Kaynak elektrod üreticileri üretilen mamülün kaynak sonrası sünekliğini ve sertliğini genellikle kabul edilebilir değerler içinde tutarlar.

Ana metali teşkil eden bütün parçaların sertliği kritik sertliğin altında olup, ısı işlemsiz kullanımlarda kırılma riskleri düşüktür. .

*% 0,20 C'lu malzemeye oda sıcaklığında ve 100, 200, 350 °C'lik öntav sıcaklıklarında yapılan kaynak dikişlerinde çıkan bütün sertlik değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

* %0,42 karbonlu çelikte iri taneli bölge, oda sıcaklığında yapılan kaynakta Milletlerarası Kaynak Komisyonunun belirlediği 350 VSD olan kritik sertlik değerinin üzerinde çıkmıştır. Bunun için bu malzemeye en az 100 °C'lık ön tav uygulanması tavsiye edilir. Kalıcı gerilmeleri gidermek için kaynak sonrası gerilim giderme işlemi de tavsiye edilmektedir.

* %0,84 karbonlu ana malzemede bütün ön tav sıcaklıklarında iri taneli bölgenin sertliği kritik değer üzerinde. İnce taneli bölgede ise sertlik kritik değer olan 350 VSD'nin hemen üzerindedir. Kaynak metali ve ana malzeme 100 °C'lık bir ön tav işleminden sonra kritik değer altına inmektedir. %0,84

karbon oranına çıkıldığında ITAB'nin güvenliği öntav işlemi ile giderilememektedir. Bunun için ard ısıtma ve kontrollü soğutma güvenliği artırabilir. Ancak kükürt ve fosfor oranı düşük malzeme seçerek çatlak oluşumu engellenebilir.

Sonuç olarak %karbon artışına bağlı olarak öntav işlemi gerekli, fakat karbon oranı %0,60'ın üzerine çıktığında öntav yeterli olmayıp kaynağı takiben bölgenin gerilim giderme işlemine tabi tutulması, yavaş soğumanın sağlanması ve mümkünse östenitik yapıda kaynak metali kullanılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

1. Anık S., Tlbentci, K., Kaluç E., 1991, rtl Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı, **Gedik Holding Yayınları**, İSTANBUL
2. Oğuz, B., 1986, Ark Kaynağı, **Oerlikon**, İSTANBUL
3. **T.S 563**, 1989, Elektrotlar, (rtl, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin ark kaynağı için).
4. Durgutlu, A.,1997, "Ark Kaynağında Kaynak Hızının Mikroyapı ve Nfuziyete Etkisinin İncelenmesi" **Y.Lisans tezi**, **G..F.B.E.**, ANKARA.
5. Anık, S. 1981, " Kaynak Tekniği " Cilt 1. **İ.T.. Makine Fakültesi Ofset Atölyesi**, İSTANBUL.
6. Karadeniz, S.,1995 "Kaynak Makinaları", **SEGEM Yayınları**, ANKARA.
7. Tülbentçi, K., MIG – MAG Eriyen Elektrod ile Gaz Altı Kaynağı (**Gedik Holding Yayını**)
8. Gülenç, B.,1995, "MİG-MAG Kaynağında koruyucu Gaz Karışımının kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi", **G..F.B.E. Doktora tezi**.
9. Gülenç, B., Tülbentçi, K.,1996, "Düşük karbonlu ve az alaşımlı eliklerin MİG-MAG kaynağında koruyucu gaz seçimi", **Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu**, GEV.
10. Basic Welding Data, 1989, "Shielding Gases", July, **Metal Fabrication**, pp:254-256
11. anacık, A., **Yüksek Lisans Tezi**, İSTANBUL.
12. İsdaş, O. "Gaz metal ark kaynağı ve koruyucu gazlar" (BOTAş.)

13. Ertürk, İ.,1994, "MIG-MAG Kaynak yönteminde kaynak parametrelerinin sıçrama kayıplarına etkilerinin incelenmesi", **G.Ü.F.B.E., Doktora tezi, ANKARA.**
14. Anık, S.,1981, "**Kaynak tekniği**", Cilt 3, İSTANBUL.
15. Oğuz, B.,1985, "**Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı**", İSTANBUL.
16. Tekin, A., 1984, **Çelik ve Isıl İşlem**, İSTANBUL.
17. Özden, N.,1985, "**Kaynağın Isıl işlemi**", Aliğa.
18. Bayram, İ.,2000, Ceş 0,50 olan yapı çeliğinin kaynak kabiliyetinin incelenmesi, **Yüksek Lisans Tezi, GÜFBE, Ankara.**
19. Anık, S., Anık, E.S., Vural, M.,1993, "**Malzeme bilgisi ve muayenesi**" İSTANBUL.
20. Anık, S.,1982, "**Kaynak tekniği**", Cilt 2, İSTANBUL
21. Askeland, D.R.,1998, "Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri" Çeviren: Dr.Mehmet erdoğan, **Nobel yayın dağıtım, ANKARA.**
22. Oğuz, B.,1975, "Ark kaynağı el kitabı" **Oerlikon, İSTANBUL**
23. Yükler, İ. "Kaynak metali", **M.Ü.T.E.F., İSTANBUL**
24. Ertürk, İ., Gaz Altı Kaynak Yöntemleri (**KOSGEB**) ANKARA
25. Ateş, H.,1996, "MIG-MAG kaynağında argon gazına karbondioksit ve oksijen ilavesinin kaynak metali tokluğu ve mikroyapısına etkisinin araştırılması" **yüksek lisans tezi, GÜFBE, ANKARA.**
26. Koç, H., **Elektrik Ark Kaynağı**, ABB Yayınları, MEB, ANKARA.

ÖZGEÇMİŞ

1955 yılında Gaziantep'te doğan Mürsel Osman MOR ilk ve orta öğrenimini Gaziantep'te tamamladı. 1978 yılında Ankara Yüksek Teknik Öğretmen Okuluna girdi, 1981 yılında Teknik Öğretmen olarak mezun oldu ve aynı yıl Konya Kulu Endüstri Meslek Lisesinde göreve başladı, 1985 yılında Gaziantep M.R. Uzel Endüstri Meslek Lisesine tayin oldu. 1991 yılında buradan Ankara Gazi Üniversitesi Erkek Sanat Yüksek Öğretmen Okulunda Öğretim Görevlisi olarak görev aldı. 1993 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesine Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Görevliliğine atandı ve halen bu görevini sürdüren Mürsel Osman MOR evli üç çocuk babasıdır.

