

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNCE TANELİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ YAPI ÇELİKLERİNDE
KAYNAKLI BÖLGELERİN ISIL İŞLEM MEKANİK VE
MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Fatih KENDİRCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
METAL EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ramazan SAMUR

İSTANBUL 2008

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNCE TANELİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ YAPI ÇELİKLERİNDE
KAYNAKLI BÖLGELERİN ISIL İŞLEM MEKANİK VE
MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Fatih KENDİRCİ
(141102220040143)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
METAL EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ramazan SAMUR

İSTANBUL 2008

ÖNSÖZ

Öncelikle maddi manevi desteklerini üzerimden hiçbir zaman eksik etmeyen nişanlım Esra ÇİÇEK ve AİLEME,

Tez çalışmalarım süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübeleri ile çalışmalarına yön veren, değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ramazan SAMUR' a,

Çalışmalarında emekleri bulunan Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT, Yüksek Mühendis Mustafa İLHAN, Arş. Görv. Yahya BOZKURT, Arş. Görv. Onur MEYDANOĞLU hocalarıma,

Tez çalışmalarım kapsamında yapmış olduğum deneysel çalışmalarda yardımlarını gördüğüm YILDIZ ISIL İŞLEM, KOSGEB ve değerli arkadaşlarım Mustafa YALÇIN ile Emrah ULUOCAK'a,

TEŞEKKÜRLERİMİ SUNUYORUM

Ağustos 2008

Mehmet Fatih KENDİRCİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	viiviii
ABSTRACT	iviii
SEMBOLLER	ix
KISALTMALAR.....	xii
ŞEKİLLER	xiii
TABLOLAR	xviii
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER.....	4
II.1. İNCE TANELİ YAPI ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI.....	4
II.1.1. Islah Edilmemiş İnce Taneli Yapı Çelikleri.....	5
II.1.2. Islah Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri.....	6
II.1.3. İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynağında Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar.....	7
II.2. ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA ISI TESİRİ ALTINDA KALAN BÖLGE (ITAB)	11
II.2.1. Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) Alt Bölgeleri.....	12
II.2.1.1. İri Taneli Bölge	12
II.2.1.2. İnce Taneli Bölge	14
II.2.1.3. Kısmen Dönüşme Alt Bölgesi.....	15
II.2.1.4. Temperleme Alt Bölgesi	15
II.2.2. Isıl Çevrim.....	16
II.2.3. Kaynakta Isıl İşlemi Gerekli Kılan Malzeme Koşulları.....	18
II.2.3.1. Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağında Isıl İşlem Gereksinimi	19
II.2.4. Gerilme Giderme Tavlaması	20

II.3. ÇELİK STANDARTLARI.....	22
II.3.1. Amerikan Sistemine Göre Çeliklerin Sınıflandırılması	23
II.3.2. Alman Sistemine Göre Çeliklerin Sınıflandırılması	23
II.3.2.1. Alaşımsız Çelikler	23
II.3.2.2. Kütle Çelikleri	24
II.3.2.3. Kalite Çelikleri	24
II.3.2.4. Soy Çelikleri.....	24
II.3.2.5. Takım Çelikleri	24
II.3.3. Düşük Alaşımlı Çelikler.....	25
II.3.4. Yüksek Alaşımlı Çelikler	25
II.4. DEMİR KARBON DENGİ DİYAGRAMI VE	
DEĞİŞİMLER	27
II.5. DÜŞÜK ALAŞIMLI YAPI ÇELİKLERİ.....	33
II.5.1. Kaynak Bölgesinin Etüdü.....	34
II.5.2. En Önemli Oksitlerin Karakteristiği	36
II.5.3. Kaynak İşlemi Esnasında Teşekkül Eden Oksitlerin Özellikleri.....	36
II.5.3.1. Demir Oksit (FeO)	36
II.5.3.2. Silisyum Dioksit (SiO ₂).....	37
II.5.3.3. Mangan Oksit(MnO)	37
II.5.3.4. Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃).....	37
II.5.3.5. Kalsiyum Oksit (CaO).....	38
II.6. BAZI ALAŞIM ELEMANLARININ KAYNAK	
BAKIMINDAN ÇELİKTEKİ TESİRLERİ	38
II.6.1. Karbon (C)	39
II.6.2. Manganez (Mn).....	40
II.6.3. Silisyum (Si).....	40
II.6.4. Nikel (Ni)	41
II.6.5. Krom (Cr).....	41
II.6.6. Molibden (Mo)	41
II.6.7. Fosfor (P) ve Kükürt (S)	41
II.6.8. Oksijen (O) ve Azot (N).....	42
II.7. MİKROYAPIYA TESİR EDEN FAKTÖRLER.....	42

II.7.1. Kaynak Soğuma Hızının Tesiri.....	42
II.7.2. Kimyasal Bileşimin Tesiri	43
II.7.3. İnklüzyonların Tesiri.....	45
II.8. MAG KAYNAK YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜK VE	
SINIRLAMALARI.....	45
II.8.1. MAG Kaynak Yönteminin Üstünlükleri.....	46
II.8.2. MAG Kaynak Yönteminin Sınırlamaları.....	47
II.9. MAG KAYNAK DONANIMI VE KULLANILAN	
KORUYUCU GAZLAR.....	48
II.9.1. MAG Kaynak Donanımı	48
II.9.1.1. Kaynak Torçları	48
II.9.1.2. Torç Bağlantı Paketi.....	50
II.9.1.3. Tel Sürme Tertibatı	51
II.9.1.4. Kumanda Tertibatı	53
II.9.1.5. MAG Kaynağı Akım Üreteçleri.....	55
II.9.1.6. Koruyucu Gaz Tüpleri.....	58
II.10. MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE KULLANILAN	
KORUYUCU GAZLAR.....	59
II.10.1. Asal Gazlar	60
II.10.2. Karbondioksit (CO ₂)	61
II.10.3. Karışım Gazlar	63
II.11. MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE ELEKTROT	
SEÇİMİ.....	64
II.11.1. Esas Metalin Mekanik Özellikleri.....	65
II.11.2. Esas Metalin Kimyasal Bileşimi	65
II.11.3. Koruyucu Gazın Türü	65
II.11.4. Esas Metalin Kalınlığı ve Geometrisi	65
II.12. ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN	
ELEKTROTLAR	66
II.12.1. Alaşımsız Teller.....	66
II.12.2. Alaşımlı Teller	66
II.12.3. Kenetli Veya Özlü Teller.....	66

II.12.4. İnce Taneli Yüksek Mukavemetli Yapı Çelikleri İçin Elektrot Seçimi.....	68
II.12.5. MAG Tellerindeki Teknolojik Gelişim	69
II.13. ARK TÜRLERİ.....	71
II.13.1. Kısa Devre İletim (Kısa Ark).....	71
II.13.2. Uzun Ark (Globüler Metal Taşımını)	72
II.13.3. Sprey Ark.....	73
II.13.4. Darbeli Ark	76
II.13.5. Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi	78
II.14. KAYNAK PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ	79
II.14.1. Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler	79
II.14.1.1. Elektrot Çapı	79
II.14.1.2. Koruyucu Gaz Türü:	80
II.14.2. Birinci Dereceden Ayarlanabilen Parametreler	82
II.14.2.1. Kaynak Akım Şiddeti.....	82
II.14.2.2. Kaynak gerilimi (Ark Boyu)	83
II.14.2.3. Kaynak Hızı	85
II.14.3. İkinci Dereceden Ayarlanabilen Parametreler	86
II.14.3.1. Serbest tel uzunluğu	86
II.14.3.2. Torç Açısı.....	87
II.15. KAYNAK HATALARI	89
II.15.1. Çatlaklar	89
II.15.2. Boşluklar.....	90
II.15.3. Kalıntılar.....	90
II.15.4. Yetersiz Erime	90
II.15.5. Nüfuziyet Azlığı	91
II.15.6. Dış Yüzey Hataları	91
II.15.6.1. Yanma Olukları.....	91
II.15.6.2. Aşırı Metal Yığılma.....	91
II.16. MALZEMELERİN İÇYAPISININ İNCELENMESİ....	91
II.16.1. Mikroskopik İnceleme İçin Numune Hazırlanması	92
II.16.1.1. Numune Alınması	92
II.16.1.2. Numunenin Kalıplanması.....	92

II.16.1.3. Numunenin Parlatılması.....	93
II.16.1.4. Parlatma Araçları	93
II.16.1.5. Mekanik Parlatma Tekniği	94
II.16.1.6. Numunenin Dağlanması.....	94
II.16.1.7. Dağlama Reaktifleri	95
BÖLÜM III. ÇALIŞMALAR.....	97
III.1. MATERYAL VE AMAÇ.....	97
III.2. DENEY MALZEMESİNİN KAYNAK ÖNCESİ	
SPEKTRAL ANALİZİ	97
III.3. DENEY MALZEMELERİNİN KAYNAK İŞLEMİ	98
III.3.1. Kullanılan MAG Kaynak Makinesinin Teknik Özellikleri	98
III.3.2. Numunelerin Kaynak İşlemi İçin Hazırlanması	99
III.4. DENEY MALZEMELERİNİN BAKALİTE	
ALINMASI.....	100
III.5. UYGULAMA YAPILAN MALZEMELERİN SERTLİK	
DENEYİ.....	101
III.6. UYGULAMA YAPILAN MALZEMELERİN ÇEKME	
DENEYİ.....	102
III.7. DENEY MALZEMELERİNİN SEM İNCELEMESİ ..	104
BÖLÜM IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	105
IV.1. ISIL İŞLEM ÖNCESİ StE 26 NUMUNESİNDEN ELDE	
EDİLEN SONUÇLAR	105
IV.1.1. Isıl İşlem Öncesi StE 26 Numunesinin Mikro Sertlik	
Değeri (HV).....	105
IV.1.2. Isıl İşlem Öncesi StE 26 Numunesinin Çekme Deney	
Sonuçları.....	106
IV.1.3. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Ana Metalinden Alınan SEM	
Görüntüleri	108
IV.1.4. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Ana Metalinden Alınan EDS	
Analizleri.....	110

IV.1.5. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Ana Metalinden Alınan SEM	
Görüntüleri	112
IV.1.6. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın ITAB'ından Alınan SEM	
Görüntüleri	114
IV.1.7. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın ITAB'ından Alınan EDS	
Analizleri	115
IV.1.8. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Kaynak Metalinden Alınan SEM	
Görüntüleri	117
IV.1.9. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Kaynak Metalinden Alınan EDS	
Analizleri	119
IV.2. ISIL İŞLEM SONRASI StE 26 NUMUNESİNDEN ELDE	
EDİLEN SONUÇLAR	122
IV.2.1. Isıl İşlem Sonrası StE 26 Numunesinin Mikro Sertlik	
Değeri(HV).....	122
IV.2.2. Isıl İşlem Sonrası StE 26 Numunesinin Çekme Deney	
Sonuçları.....	123
IV.2.3. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Ana Metalinden Alınan SEM	
Görüntüleri	125
IV.2.4. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Ana Metalinden Alınan EDS	
Analizleri	127
IV.2.5. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Ana Metalinden Alınan SEM	
Görüntüleri	129
IV.2.6. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın ITAB'ından Alınan SEM	
Görüntüleri	130
IV.2.7. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın ITAB'ından Alınan EDS	
Analizleri	132
IV.2.8. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Kaynak Metalinden Alınan SEM	
Görüntüleri	134
IV.1.9. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Kaynak Metalinden Alınan EDS	
Analizleri	136
BÖLÜM V. SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	138
KAYNAKÇA	140
ÖZGEÇMİŞ	142

ÖZET

İNCE TANELİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ YAPI ÇELİKLERİNDE KAYNAKLI BÖLGELERİN ISIL İŞLEM, MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Endüstriyel sektörde stratejik malzeme olarak kullanılan, yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklı çelik malzemelerden biri olan ince taneli yüksek mukavemetli yapı çelikleri son yıllarda önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, çelik malzemelere farklı kaynak parametreleri uygulanarak MAG kaynak birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bölgelerin mekanik özelliklerinin tespiti için hazırlanmış olan test numunelerine çekme deneyleri uygulanmıştır. Birleştirilen bölgeler metalografik incelemeye hazırlanmış olup mekanik özelliklerinin incelenmesi için mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Birleştirme işlemi uygulanmış malzemelerin çeşitli bölgelerine ait mikro yapısal ve kimyasal analizlerinin belirlenmesi amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) kullanılmıştır. Bu sayede malzemeler üzerinde bulunan her bir bölgenin mikro yapı ve kimyasal analiz farklılıkları gözlemlenmiştir.

MAG kaynak işlemi yapılmış test numuneleri ayrıca ısıtılma işlemi tabi tutularak mekanik testler, mikroyapısal ve kimyasal analizler yinelenmiştir. Mekanik test, mikroyapısal ve kimyasal analizlerden elde edilen deneysel analiz sonuçları ısıtılma işlemi öncesi numune ile karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir.

Ağustos 2008

Mehmet Fatih KENDİRCİ

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF THE HEAT TREATMENT, MECHANICAL AND MICRO-STRUCTURE PROPERTIES OF WELDED ZONES IN FINE-GRAINED HIGH RESISTANT STRUCTURE STEEL

In the recent years, the fine-grained high construction steel, which is one of the steel materials resistant to high pressure and temperature used on the industrial sectors as strategic material, has gained importance.

In the study, MAG welding process by performing various welding parameters was applied to steel materials. The tension tests were performed to the prepared test samples to determine the mechanical properties of welded zones. The welded zones were prepared for metallographic analysis and the micro-hardness measurements were carried out for the investigation of mechanical properties of the welded zones.

Scanning Electron Microscope (SEM) was used to determine micro-structural and chemical analysis of various zones. Therefore, differences of micro structural and chemical analysis for each zone which existed on samples were obtained.

Mechanical tests, micro-structural and chemical analyses were performed again to the test the samples on which the MAG welding process was performed, after the heated treatment process. The obtained experimental results from the mechanical tests, micro-structural and chemical analyses were compared with sample results before the heat treatment process, and the all results were examined.

August 2008

Mehmet Fatih KENDİRCİ

SEMBOLLER

a	: ortalama ısı dağılım katsayısı
Al	: Alüminyum
B	: Bor
C	: Karbon
Cr	: Krom
CO₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
E	: Özgül enerji girdisi (kJ/cm)
Fe	: Demir
I	: Akım şiddeti (Amper)
N	: Azot
Nb	: Niyobyum
Ni	: Nikel
Mn	: Mangan
Mn(SO₄)	: Mangan sülfür
Mo	: Molibden
P	: Fosfor
P	: Boyutsuz katsayı (çevreye ısı transferi ile ilgili).
q	: Isı kaynağının şiddeti
S	: Kükürt
Si	: Silis
Ti	: Titanyum
U	: Ark gerilimi (volt)
V	: Vanadyum
W	: Tungsten
x	: Isı kaynağının hareket yönündeki koordinat eksen
Zr	: Zirkon
t_{8/5}	: 800-500°C arası soğuma süresi
V	: Kaynak hızı (cm/s)
λ	: Isı iletkenlik katsayısı

O	: Oksijen
CaO.SiO₂	: Kalsiyum silikat
FeO.SiO₂	: Demir silikatlar
Al₂O₃	: Alümina
FeO. TiO₂	: Demir titanatlar
TiO₂	: Titanyum oksit
FeO	: Demiroksit
SiO₂	: Silisyum dioksit
MnO	: Manganoksit
Al₂O₃	: Alüminyumoksit
CaO	: Kalsiyumoksit
CCl₂CHCl	: Trikloretillen
FeS	: Demir sülfür
MnS	: Manganez sülfür
Fe₃C	: Demir karbür:
NiO	: Nikel oksit
Δt_{8/5}	: Kaynak metalinde 800-500°C arası soğuma süresi
He	: Helium
Ar	: Argon
SiC	: Silisyum karbür
HNO₃	: Asetilen

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institue
ASC	: Advanced Surface Characteristics
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AWS	: Amerikan Welding Society,
CE	: Karbon Eşdeğerine
CT	: Soğuma Dönüşüm Diyagramı
DIN	: Deutsches Instute Für Normung e.V.
EDS:	: Energy Dispersion Spectrum
GL	: Germanischer Lloyd (Alman Loydu)
GOS	: Östenit Faz Bölgesi ile Östenit+Ferrit Faz Bölgesini Ayıran Çizgi
HSLA	: High Strength Low Alloy,
HSLA	: Düşük Alaşımli Yüksek Mukavemetli
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MAG	: Metal Aktif Gaz
MİG	: Metal İnert Gaz
Ms	: Martenzit Başlama
SAE	: Society of Automotive Engineers
SE	: Östenit+2.sementit faz bölgesi ile östenit faz bölgesini ayıran çizgi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
SEW	: Stahl-Eisen-Werkstoffblatt
TİG	: Tungsten İnert Gaz
TTT	: Time - Temperature - Transformation
UBPVLS	: Uniform Boiler and Pressure Vessel Laws Society,

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil II. 1 Uygun olmayan kaynak ağız dizaynının lameler yırtılmaya neden olması.	6
Şekil II. 2 HSLA çeliğinde ITAB iri taneli bölgesindeki bir noktanın ısı çevrimi, bu çevrim sırasında meydana gelen mikro yapı değişimleri ve bunların özelliklere tesirleri	13
Şekil II. 3 Demir - Karbon denge diyagramı.....	29
Şekil II. 4 0,35 C' lu bir çeliğin sıcaklık transfer tablosu (TTT) diyagramı	30
Şekil II. 5 Martenzit sertliğinin çeliğin içerdiği karbon miktarına göre değişmesi ..	31
Şekil II. 6 İzotermal ve sürekli soğuma sıcaklık transfer tablosu (TTT) diyagramlarının karşılaştırılması	32
Şekil II. 7 Kaynak ısı girdisinin kaynak metali sürekli soğuma diyagramı üzerindeki tesiri	43
Şekil II. 8 Kaynak metalinde alaşım elementlerinin S.S. diyagramı üzerindeki tesirleri.....	43
Şekil II. 9 Kaynak metalinde oksijen oranına bağlı olarak östenit tane boyutunun değişimi	44
Şekil II. 10 Çeşitli kaynak yöntemlerinde kaynak metali oksijen oranının karbon miktarı ile değişimi	44
Şekil II. 11 Östenit tane boyutuna bağlı olarak tane sınırı ferrit oranının değişimi	45
Şekil II. 12 Çeşitli tür MAG kaynak donanımları	49
Şekil II. 13 Kaynak torcu uç kısmı kesiti.	49
Şekil II. 14 Hava soğutmalı MAG Torcu	50
Şekil II. 15 Hava soğutmalı MAG tabancası	50
Şekil II. 16 Tel sürme tertibatları: (a) rulolu tertibatlar ve (b) planet tertibatlar	51
Şekil II. 17 Tel sürme tertibatlarında kullanılan rulolar	52
Şekil II. 18 İki rulolu ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması	53
Şekil II. 19 Rulo profilinin ve basıncının elektrot üzerine etkileri	53
Şekil II. 20 Planet veya dönel tel sürme tertibatı şeması	54
Şekil II. 21 Tel ilerlemesinin durması ile akımın kesilmesi sırasındaki sürenin (geri yanma süresi) telin ucunun biçimine etkisi	54

Şekil II. 22 Ark uzunluğunun otomatik ayarı	55
Şekil II. 23 Kaynak akım üreteçlerinde V-I karakteristikleri (a)Düşey karakteristik (b)Yatay karakteristik	56
Şekil II. 24 MAG akım üretici ve ayarı	57
Şekil II. 25 Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkileri	58
Şekil II. 26 Basınç düşürme ventili	58
Şekil II. 27 Gaz debisi ölçümünde kullanılan akış ölçer (şematik).....	59
Şekil II. 28 Çeşitli asal gaz ve karışımı gaz atmosferlerinde oluşan ark gerilimi.	61
Şekil II. 29 CO ₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar.	62
Şekil II. 30 Argon, Helyum ve CO ₂ atmosferinde oluşan ark ve dikişin formu.....	64
Şekil II. 31 Özlü tel üretimi (Şematik).....	66
Şekil II. 32 Çeliklerin kaynağında kullanılan özlü elektrotların kesitleri	67
Şekil II. 33 Bakır kaplamasız MAG tellerin otomotiv endüstrisindeki uygulaması .	69
Şekil II. 34 (a) Bakır kaplamasız MAG teli (b) Bakır kaplamasız telin test sonrası yüzey profili	70
Şekil II. 35 Kısa devre metal iletimi.....	71
Şekil II. 36 Eksenel olmayan iri damla iletimi	73
Şekil II. 37 CO ₂ atmosferi altında kısa ark ve uzun arkla çalışma bölgelerinde arkta kaynak metali taşınımı (Şematik).....	74
Şekil II. 38 Sprey ark.....	74
Şekil II. 39 Damla İletim Hızının ve Damla Hacminin Kaynak Akımıyla Değişimi (çelik elektrot)	75
Şekil II. 40 Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi (Şematik).	77
Şekil II. 41 Darbe frekansının dikiş profiline etkisi (Şematik).	77
Şekil II. 42 Yığılan, kaynak metali, akım şiddeti ve elektrot çapı arasındaki ilişki (Yumuşak çelik elektrot, CO ₂ ile kaynatıldığında).	80
Şekil II. 43 Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profilinin şematik olarak gösterilişi.....	81
Şekil II. 44 Akım şiddetinin, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi. U = 21 V, Kaynak hızı 390 mm/dak., Tel çapı 0,9 mm, serbest tel ucu 9,5 mm., MAG kaynak yöntemi.	82
Şekil II. 45 MAG kaynağında gaz sarfiyatı tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı	83

Şekil II. 46 Ark üretimi ve akım şiddetinin kaynak dikişinin biçimine etkileri (Şematik).....	84
Şekil II. 47 Ark geriliminin kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi. Kaynak akımı 175 Amper, Kaynak hızı 390 mm/dak. Kaynak tel çapı, 0,9/mm., Serbest tel uzunluğu 9.5 mm. MAG kaynak yöntemi	85
Şekil II. 48 Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (Şematik).....	86
Şekil II. 49 Çeşitli ark türlerinde uygun serbest tel uzunluğu (Şematik)	87
Şekil II. 50 Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrot açıları.	88
Şekil II. 51 MAG yönteminde sola (hareket açısı negatif) ve sağa (hareket açısı pozitif) kaynak halinde dikiş formunun değişimi.	88
Şekil II. 52 MAG yönteminde kaynak yönünün eğimine göre dikiş biçiminin değişimi	89
Şekil II. 53 El testeresi ile kesilmiş numunedeki yüzey durumu ve müteakip zımparalama kademelerinin bu bölgeye etkisi	94
Şekil II. 54 Nihai parlatmadan sonra numunedeki yüzey durumu	95
Şekil III. 1 MAG Kaynak Makinesi.....	98
Şekil III. 2 Mecatome T 255/300 marka kesme cihazı	100
Şekil III. 3 (a) Metkon Gripo markalı zımpara cihazı ve (b) Struers Dap-7 marka parlatma cihazı	101
Şekil III. 4 Bakalit kalıba alınmış deney numuneleri.....	101
Şekil III. 5 Instron Wolpert marka sertlik ölçme cihazı	102
Şekil III. 6 TS 287 no' lu standarda uygun olarak hazırlanmış deney numunesi ...	102
Şekil III. 7 DARTEC marka çekme deneyi makinesi	103
Şekil III. 8 (a) Jeol JSM-5910 LV marka Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) (b) Jeol JSM-T330 marka Taramalı Elektron Mikroskop (SEM).....	104
Şekil IV. 1 Isıl işlem öncesi StE 26'nın farklı bölgelerinden alınan (HV) sertlik değerleri.....	105
Şekil IV. 2 StE 26'nın karşılaştırmalı sertlik değer grafiği	106
Şekil IV. 3 Isıl işlem öncesi StE 26 Numune1 için çekme deney sonuç grafiği	107
Şekil IV. 4 Isıl işlem öncesi StE 26 Numune2 için çekme deney sonuç grafiği	107
Şekil IV. 5 Isıl işlem öncesi StE 26 Numune3 için çekme deney sonuç grafiği	107
Şekil IV. 6 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X400).....	108
Şekil IV. 7 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X750).....	109
Şekil IV. 8 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1500).....	109

Şekil IV. 9 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal EDS analiz bölgesi(X4000)	110
Şekil IV. 10 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal matris EDS analiz grafiği.....	111
Şekil IV. 11 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal tane sınırı EDS analiz grafiği.....	111
Şekil IV. 12 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X400).....	112
Şekil IV. 13 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X750).....	112
Şekil IV. 14 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1500).....	113
Şekil IV. 15 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X4000).....	113
Şekil IV. 16 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X750).....	114
Şekil IV. 17 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X1500).....	114
Şekil IV. 18 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB EDS analiz bölgesi(X4000)	115
Şekil IV. 19 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB tane sınırı EDS analiz grafiği	116
Şekil IV. 20 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB matris EDS analiz grafiği	116
Şekil IV. 21 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X400).....	117
Şekil IV. 22 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X750).....	117
Şekil IV. 23 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X750).....	118
Şekil IV. 24 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X1500).....	118
Şekil IV. 25 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali EDS analiz bölgesi backscatter görüntüsü.....	120
Şekil IV. 26 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali (1). nokta EDS analiz grafiği	120
Şekil IV. 27 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali (2). nokta EDS analiz grafiği	121
Şekil IV. 28 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali (3). nokta EDS analiz grafiği	121
Şekil IV. 29 Isıl işlem sonrası StE 26'nın farklı bölgelerinden alınan (HV) sertlik değerleri	122
Şekil IV. 30 StE 26'nın karşılaştırmalı sertlik değer grafiği	123
Şekil IV. 31 Isıl işlem sonrası StE 26 Numune1 için çekme deney sonuç grafiği ..	124
Şekil IV. 32 Isıl işlem sonrası StE 26 Numune2 için çekme deney sonuç grafiği ..	124
Şekil IV. 33 Isıl işlem sonrası StE 26 Numune3 için çekme deney sonuç grafiği ..	125
Şekil IV. 34 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X400).....	126
Şekil IV. 35 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X750).....	126
Şekil IV. 36 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1500).....	127
Şekil IV. 37 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal EDS analiz bölgesi.....	128
Şekil IV. 38 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal matris EDS analiz grafiği.....	128
Şekil IV. 39 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal tane sınırı EDS analiz grafiği.....	129
Şekil IV. 40 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X750).....	129

Şekil IV. 41 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1000).....	130
Şekil IV. 42 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1500).....	130
Şekil IV. 43 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X400).....	131
Şekil IV. 44 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X750).....	131
Şekil IV. 45 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X1500).....	132
Şekil IV. 46 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB EDS analiz bölgesi(X4000)	133
Şekil IV. 47 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB tane sınırı EDS analiz grafiği	133
Şekil IV. 48 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB matris EDS analiz grafiği.....	134
Şekil IV. 49 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X750).....	134
Şekil IV. 50 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X1000).....	135
Şekil IV. 51 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X1000).....	135
Şekil IV. 52 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali EDS analiz bölgesi görüntüsü.....	136
Şekil IV. 53 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali (1). nokta EDS analiz grafiği	137
Şekil IV. 54 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali (2). nokta EDS analiz grafiği	137

TABLÖLAR

SAYFA NO

Tablo II. 1 Kaynaklanabilirlik açısından Euro-norm 137 ye göre çeliklere katılan alaşım elementlerinin azami miktarları	7
Tablo II. 2 Öntavın uygulandığı kalınlıklar	9
Tablo II. 3 Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ısıtıl işlem gereksinimi	20
Tablo II. 4 Sıcak hizmet için ferritik çeliklere örnekler (Boru Standartları)	21
Tablo II. 5 Alaşımsız Çeliklerde Demir Refakat Elementleri	23
Tablo II. 6 Endüstride Sık Karşılaşılan ve Problemsiz Kaynak Edilebilen Çelikler	26
Tablo II. 7 Çelik kaynağında meydana gelen bazı oksit ve bileşiklerin erime sıcaklıkları ve özgül ağırlıkları	39
Tablo II. 8 Koruyucu gaz tür ve bileşiminin kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi.	63
Tablo II. 9 MAG Kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları	78
Tablo II. 10 Zımpara Kâğıtlarının Tasnifi	93
Tablo III. 1 StE 26 (1.0461) çeliğinin kaynak öncesindeki spektral analizi.....	97
Tablo III. 2 Bakır Kaplı SG-2 elektrotun kimyasal bileşimi	99
Tablo III. 3 StE 26 (1.0461).Çeliğe uygulanan MAG kaynak parametreleri	99
Tablo III. 4 Şekil III.6’ de verilmiş olan görünüme ait sembol ve boyutlar	103
Tablo IV. 1 Isıl işlem Öncesi StE 26 Numunesinin Çekme Deney Sonucu.....	106
Tablo IV. 2 Isıl işlem Sonrası StE 26 Numunesinin Çekme Deney Sonucu	123

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

Endüstrinin hafif çelik yapılara, yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklı basınçlı kaplar ve reaktörlere olan ihtiyacını ve gün geçtikçe artan talebini karşılayabilmek amacı ile çağımızda ince taneli yüksek mukavemetli yapı çelikleri geliştirilmiştir. [1]

İnce taneli yapı çeliklerinde kaynaklanabilirlik açısından C (karbon) içeriğinin % 0,20'yi aşmaması önemlidir ve alaşım elementlerinin ise olabilen en alt sınırlarda katılarak; az veya sınırlı sertleşme, ince tane oluşumu, tane büyümesini önleyen nitrür ve karbonitrür zerreciklerinin ayrışması ve ısıt işlemlerle optimizasyona gidilerek, istenen özelliklerde çelik elde edilmeye çalışılır. [2]

İnce taneli yapı çeliklerinde, içyapıda, özellikle tane sınırlarında çok ince zerrecikler halinde dağılmış olarak bulunan ve ancak 1100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çözeltiye geçen çeşitli karbür, nitrür ve karbonitrürler östenit bölgesindeki sıcaklıklarda dahi tane büyümesini önlerler ve bunun neticesinde yüksek mukavemetli ve tok bir malzeme grubu elde edilir. [3]

İnce taneli yapı çelikleri karbon ve alaşım elementleri içeriğine getirilmiş olan sınırlamalardan ötürü oldukça iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptirler. Çeliklerin kaynak bölgelerinde 900°C'nin üzerinde bir sıcaklığa kadar ısınmış kısımların özelliklerini etkileyen en önemli etken, kaynaktan sonraki soğuma hızıdır. Klasik yapı çeliklerinde, soğuma hızının mümkün olduğu kadar yavaşlatılabilmesi için de ön tav ve yüksek enerji girdisi ile kaynak yapılır. [1]

İnce taneli yapı çeliklerinde özellikle ıslah edilmiş türlerde ön tav gayet dikkatli bir biçimde uygulanmalı ve özgül enerji girdisi de belirli sınırlar arasında tutulmalıdır. İnce taneli yapı çeliklerinde soğuma hızının yavaşlaması esas metalde erime çizgisine bitişik bölgede östenizasyona uğramış kısımların ferrit ve yüksek karbonlu martenzit veya kaba beynit bölgelerinden oluşmuş bir içyapıya dönüşmesine neden olur ve bu da tokluğun azalması ve mukavemet özelliklerinin kötüleşmesi sonucunu doğurur. Bu bölgeye bitişik olan kısım aşırı bir temperlemeye uğramış olduğundan, yine mekanik özelliklerde bir kötüleşme ortaya çıkar. Bu olay

özellikle yüksek derecede ön tav uygulanmış ve tek paso ile kaynak edilmiş bağlantıların ITAB (ısı tesiri altında kalan bölge)'de kendini hissettirir. Çok pasolu kaynak halinde ise her paso, bir önceki kaynak bölgesine bir temper uyguladığından kaynak bölgesinde tek paso haline nazaran bir iyileşme görülür. Genellikle uygun bir öntav, birçok nedenden ortaya çıkabilecek olan çatlak oluşumuna karşı etkin bir önlemdir. Özellikle kalın ve şiddetle zorlanan konstrüksiyonlarda bu konu çok önemlidir. [1]

Ön tav sıcaklığı, özgül enerji girdisi ve parça kalınlığı kaynak bölgesinin soğuma hızını etkileyen en önemli üç faktördür. Bu bakımdan ince taneli yapı çeliklerinde kaynak bölgesinin özelliklerini kontrol altında tutabilmek için bu üç etkenin mütalaa edilmesi gerekir. [1]

Çeliklerin kaynak bölgesinin özelliklerine etkime bakımından 800-500°C arasındaki soğuma süresi çok önemlidir. Bu sürenin azalması sertliğin ve mukavemetin artmasına, buna karşın çatlama eğiliminin yükselmesine sebep olur. İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında, bazik karakterli örtülü elektrotlarda günümüzde gittikçe azalan bir oranda da olsa, önemli bir uygulama alanına sahiptir. Bu tür çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotların örtülerinin bazik karakterli ve dolayısı ile de higroskopik olmaları nedeniyle bunların kullanılmadan önce tavlانیp kurutulmaları gerekmektedir. Zira örtüdeki nemin kaynak esnasında ayrışarak hidrojenin kaynak metaline geçmesi sonucu çatlaklar oluşmaktadır. Akma sınırı 355 N/mm²'den küçük olanlar 250°C' de, daha büyük olanlar ise 350°C'de asgari iki saat süre ile tavlaniarak kurutulmalıdır. [1]

Örtülü elektrotlar ile yapılan ark kaynağında ark gerilimi ve akım şiddeti çok dar bir aralık içinde değiştiğinden, özgül enerji girdisi ancak kaynak hızının değiştirilmesi ile kontrol altında tutulabilir. Kaynaklı konstrüksiyonlarda ekonomikliğin ve süratin ön plana çıkması sonucu son yıllarda ince taneli yapı çeliklerinin birleşmesinde metal aktif gaz (MAG) kaynağı büyük bir önem kazanmıştır. Burada aktif bir gaz olan karbondioksit (CO₂) kullanılabildiği gibi iki-üç komponentli karışım gazları da yaygın bir uygulama alanına sahiptir. MAG kaynak yöntemiyle özgül enerji girdisi, tel çapı, tel sürme hızı, kaynak hızı ve ark gerilimi değiştirilerek kontrol altında tutulabilmektedir. Bu yöntemin otomasyona ve özellikle kaynak robotları tarafından kullanımının çok yaygın olması, uygulama alanının genişlemesine yardımcı olmaktadır. [1]

Yüksek mukavemetli çeliklerin geliştirilmesine ilk aşama yalnızca alaşımlama ile başlanmıştır (örnek: mangan, nikel, krom katılması gibi). Böylece katı çözelti sertleşmesi, bazı sert iç yapı bileşenlerinin (beynit) ortaya çıkması ve östenit dönüşümünün daha az sıcaklıklara ötelenmesi sonucu mukavemet artışı sağlanmış; ancak kaynak kabiliyetinde, özellikle kaynağa uygunluk niteliğini kaybetme problemi ile karşılaşmıştır. Özellikle alaşım elementi içeriği arttıkça, kritik soğuma hızı yavaşladığından, kaynak sırasında martensit oluşması ve bu yapının karbon içeriğine bağlı olarak gevrekleşmesi neticesinde çatlak tehlikesinin arttığı gözlenmiştir. [4]

Yapılan çalışma ile MAG kaynak tekniği ile birleştirilen parçalardan istenilen mukavemet değerlerinin elde edilebilirliği hakkında çalışmalar yapılarak, endüstriyel sektörde stratejik malzeme olarak kullanılan ince taneli yüksek mukavemetli yapı çeliklerden istenilen birleştirme kalitesini elde edebilmek ve farklı dizaynlarda birleştirilebilirliği ve en ideal kaynak parametrelerinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu tez ile stratejik öneme sahip bu malzemelerin kaynaklı birleştirme işlemlerinin ülkemizde gerçekleştirilerek endüstriyel sektöre sunulması ve dolayısıyla bu tür malzemelerin birleşmiş olarak ithal edilmesi yerine ülkemizde birleştirilmesi sağlanabilir. Ayrıca bu tez ile birleştirilen ince taneli yüksek mukavemetli yapı çeliklerinden edinilen bilgi, tecrübe ve sonuçlar akademik yayın haline dönüştürülerek başta üniversitemiz olmak üzere Türkiye'nin akademik alandaki yayınlarına katkıda bulunulması planlanmaktadır.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

II.1. İNCE TANELİ YAPI ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI

Endüstrinin hafif çelik yapılara, yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklı basınçlı kaplar ve reaktörlere olan ve gün geçtikçe artan talebini karşılayabilmek amacı ile çağımızda ince taneli, yüksek mukavemetli yapı çelikleri geliştirilmiştir. İnce taneli yapı çeliklerinde, içyapıda özellikle tane sınırlarında çok ince zerrecikler halinde dağılmış olarak bulunan ve ancak 1100°C'nin üzerinde sıcaklıklarda çözeltiye geçen çeşitli karbür, nitrür ve karbonitrürler, östenit bölgesindeki sıcaklıklarda dahi tane büyümesini önlerler. Bunun sonucunda da yüksek mukavemetli ve tek bir çelik malzeme grubu elde edilmiş olur. Tüm ince taneli yapı çeliklerinde kaynaklanabilirlik açısından C içeriğinin % 0,2'yi aşmamasına çalışılır; alaşım elementlerinin de mümkün olabilenin alt limitlerinde katılarak az veya sınırlı sertleşme, ince tane oluşumu için ısıtım işlem sırasında tane büyümesini önleyen nitrür ve karbonitrür zerreciklerinin ayrışması ve optimizasyona gidilerek, istenen özelliklere sahip bir çelik elde edilir. [1]

İnce taneli yapı çeliklerinin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Akma sınırının yüksekliği nedeni ile daha ince cidar kalınlıkları,
- Yapının ağırlığında sağlanan tasarruftan ötürü malzeme, üretim ve taşıma giderlerinden önemli ölçüde tasarruf,
- Kesitlerin incilmesi nedeni ile kaynak giderlerinden tasarruf,
- Ekonomik ve teknolojik nedenlerden ötürü konveksiyonel çelikler ile yapılması olanaksız olan pek çok konstrüksiyon türünün gerçekleştirilebilmesi.

Burada konstrüktörlerin göz ardı etmemesi gereken önemli bir husus vardır; ince taneli yapı çeliklerinin akma ve çekme mukavemetleri, çentik darbe dayanımları normal kaynaklanabilir yapı çeliklerine nazaran oldukça yüksektir, fakat elastiklik modülleri diğer bütün çelikler ile aynıdır, dolayısıyla elastiklik modülünün etkin olduğu burkulma ve sehim hesaplamalarında bu çeliklerin kullanılması diğer çelik türlerine nazaran herhangi bir avantaj sağlamadıkları gibi fiyatları da oldukça pahalıdır. [1]

İnce taneli yapı çelikleri ıslah edilmiş ve ıslah edilmemiş yapı çelikleri olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar; ıslah edilmemiş ince taneli yapı çelikleri normal tavlanmış yapı çelikleri diye de adlandırılmaktadır.[1]

II.1.1. Islah Edilmemiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

Bu tür çelikler özel olarak durgun (gazı giderilmiş) dökülürler. Çok az alaşım elementi olarak katılan vanadyum (V), niyobyum (Nb), titanyum(Ti), krom (Cr), bor (B) ve alüminyum (Al) ile çelikte var olan veya özellikle gereken oranda ilave edilmiş azot (N) ve C'nun oluşturduğu karbür, nitrür ve karbonitrürlerin mikro boyutta ayrışmasından kaynaklanmaktadır. [1]

Bu mikro alaşım elementlerinden V ve Nb akma sınırının yükselmesine en fazla etkide bulunanlardır. Özellikle Nb ilavesi (% 0,02–0,03) akma mukavemetini şiddetle ($80\text{--}100\text{ N/mm}^2$) yükseltir ve özellikle bu element haddelenmiş haldeki çelik için çok önemlidir. Bu kazanç normalizasyon ısı işleminden sonra, ince dağılmış Nb karbonitrürlerinin koagülasyonu nedeni ile yarıya düşer. [1]

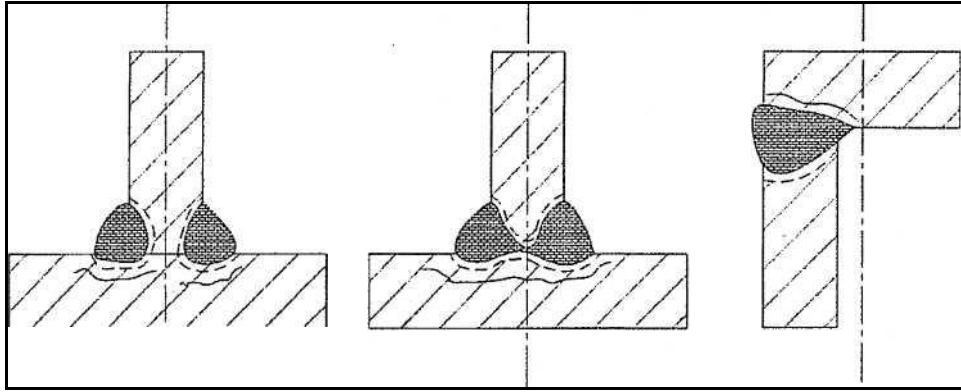
İnce dağılmış karbonitrürler, alt östenit bölgelerinde yapılan ısı işlemlerde dahi östenit tane büyümesini engelledikleri gibi, ferrit çekirdeklenmesini de etkileyerek çeliğin ince taneli olmasını sağlar; ayrıca küçük östenit tanelerinin kolayca perlite dönüşmesi nedeni ile de soğuma esnasında martenzit oluşumu güçleşir. [1]

Bu tür çeliklere katılan Zirkon (Zr) ve B, kükürtlü (S) bileşiklerin oluşmasını etkileyerek Mangan (Mn)'nin akma sınırını yükseltmesine yardımcı olurlar. Nikel (Ni) katkısı ise düşük sıcaklıklarda çentik darbe dayanımının yükselmesini sağlar. [1]

İnce taneli yapı çelikleri, geçiş sıcaklıkları oldukça düşük, tok, yüksek mukavemetli olmalarının yanı sıra, düşük karbon içerikleri nedeni ile kaynağa da uygun malzemelerdir. İnce taneli yapı çeliklerinin en önemli dezavantajı, bunlarda haddeleme esnasında kalınlık doğrultusunda bir anizotropinin ortaya çıkmasıdır. Bu çeliklerin kalınlık doğrultusundaki mekanik özellikleri oldukça kötüdür ve bu doğrultuda zorlandıklarında lameler yırtılma adı verilen, sanki parçada katmer varmış gibi ortaya çıkan teras kırılmaları ile karşılaşılır. Bu olay kaynak açısından çok önemlidir, kaynaklı birleştirmelerde kaynak ağızları bu tür kırılmaya yer vermeyecek biçimde dizayn edilmelidir. Lameler yırtılmaya karşı günümüzde, bir takım metalürjik önlemler de alınabilmektedir, yalnız bunlar çeliğin maliyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Çeliğe vakum veya elektro-cüruf yöntemi ile yeniden eritme uygulamak kalınlık doğrultusunda sünekliğin artmasına neden olmakta ve bu da

lameler yırtılma tehlikesini azaltmaktadır. Lameler yırtılmayı kolaylaştıran nedenlerden bir tanesi de mangan sülfür ($MnSO_4$) ve bazı oksitlerin haddeleme işleminde hadde doğrultusunda ince levhalar halinde çeliğin içinde yayılmasıdır. Uygun olmayan kaynak ağız dizaynının lameler yırtılmaya neden olması durumu Şekil II.1' de gösterilmiştir. [1]

Çelik üretiminde S içeriğini asgariye indirmek veya S'ye daha affin Zr, Ti, gibi elementler katmak da lameler yırtılma eğilimini azaltmaktadır. Doğal olarak bütün bu işlemler çelik üreticisine yeni ek tesisler veya masrafları gerektirdiğinden çeliğin maliyeti de yükselmektedir. [1]



Şekil II. 1 Uygun olmayan kaynak ağız dizaynının lameler yırtılmaya neden olması [1]

II.1.2. Islah Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

İnce taneli yapı çelikleri grubu içinde çok önemli bir yeri olan bu türde, içyapı da az karbonlu martenzit oluşturarak, çeliğin kaynak kabiliyetini önemli bir kayba uğramadan, akma ve çekme mukavemetleri yükseltilmiş ve tokluğu arttırılmıştır. [1]

Az karbonlu çeliklerde M_s (martenzit başlama) sıcaklığı, $400^{\circ}C$ gibi oldukça yüksek bir sıcaklıkta bulunduğundan, oluşan martenzit yavaş soğutulursa kendiliğinden temperlenir ve bu şekilde ıslah edilmiş içyapıda mukavemeti daha da yükselten ince dağılmış karbür çökeltileri bulunur ve yavaş soğuma sonucu çatlamalara neden olan dönüşüm gerilmelerinin şiddeti azalır. Bu şekilde yükselen mukavemet özelliklerinin yanı sıra çeliğin gevrek kırılmaya direnci artar, temperlenmiş martenzit çelik içyapıları içinde en düşük geçiş sıcaklığına sahip olmaktadır. [1]

Kaim parçalarda, tüm kesitte martenzit oluşumunu sağlayabilmek için kritik soğuma hızı alaşım elementlerinin katkısı ile yükseltilir; yalnız burada katıkların miktarının M_s sıcaklığını, temperleme sıcaklığının altına düşürerek, kendinden

temperlemeyi ortadan kaldıracak değere erişmemesine dikkat edilir. İnce taneli yapı çeliklerinin ıslahı martenzit basamağındaki dönüşüm ile ilgilidir. Martenzitin oluşum sıcaklığı yükseldikçe ve östenitin karbon içeriği azaldıkça martenzit kafesinin kübikleşmesi sonucu iç gerilmeler azalır ve artık östenit miktarı en aza iner. Bu şekilde oluşan martenzitin tokluğu gayet iyidir ve sertliği 400 HV'nin biraz üzerindedir. [1]

Kaynaklanabilirlik açısından Euro-norm 137, bu tür çeliklere katılan alaşım elementlerinin azami miktarlarını sınırlandırmıştır. Kaynaklanabilirlik açısından Euro-norm 137'ye göre çeliklere katılan alaşım elementlerinin azami miktarları Tablo II.1.'de verilmiştir. Buna göre çelik üreticisi, ürünün kalınlığına ve beklenen özelliklere göre bu sınırları aşmamak koşulu ile aşağı da belirtilmiş alaşım elementlerinden gerekenleri kullanır. [1]

Tablo II. 1 Kaynaklanabilirlik açısından Euro-norm 137 ye göre çeliklere katılan alaşım elementlerinin azami miktarları [1]

Alaşım Elementi	Azami Miktar	Alaşım Elementi	Azami Miktar
C	%0,20	Cr	%2,00
Si	%1,00	Cu	%1,50
Mn	%2,00	Mo	% 1,00
P	% 0,025	Nb	%0,10
S	%0,025	Ni	%2,00
N	% 0,020	Ti	%0,20
B	% 0,005	V	%0,20
Zr	%0,15		

II.1.3. İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynağında Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar

İnce taneli yapı çelikleri karbon ve alaşım elementi içeriğine geliştirilmiş olan sınırlamalardan ötürü oldukça iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptirler. Çeliklerin kaynak bölgelerinde 900°C' nin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısınmış kısımların özelliklerini etkileyen en önemli etken, kaynaktan sonraki soğuma hızıdır. Klasik yapı çeliklerinde, soğuma hızının mümkün olduğu kadar yavaşlatılabilmesi için de öntav ve yüksek enerji girdisi ile kaynak yapılır. [1]

İnce taneli yapı çeliklerinde özellikle ıslah edilmiş türlerde öntav gayet dikkatli bir şekilde uygulanmalı ve özgül enerji girdisi de belli sınırlar arasında tutulmalıdır. İnce taneli yapı çeliklerinde soğuma hızının yavaşlaması esas metalde erime çizgisine bitişik bölgede östenizasyona uğramış kısımların ferrit ve yüksek karbonlu martenzit veya kaba beynit bölgelerinden oluşmuş bir içyapıya dönüşmesine neden olur ve buda tokluğun azalması ve mukavemet özelliklerinin kötüleşmesi sonucunu doğurur. Bu bölgeye bitişik olan kısım da aşırı bir temperlemeye uğramış olduğundan, genel mekanik özelliklerde bir kötüleşme ortaya çıkar. Bu olay özellikle yüksek derecede öntav uygulanmış ve tek paso ile kaynak edilmiş bağlantıların ısı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) kendini hissettirir. [1]

Çeliklerin kaynak bölgesinin özelliklerine etkiye bakımından 800–500°C arasındaki soğuma süresi ($t_{8/5}$) çok önemlidir. Bu sürenin azalması sertliğin ve mukavemetin artmasına, buna karşın çatlama eğiliminin yükselmesine neden olur. Uygulamada, parça kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanmış bir öntav sıcaklığı ve özgül enerji girdisi yardımı ile çelik için uygun $t_{8/5}$ elde edilmiş olur. [1]

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında özgül enerji girdisi çok önemli bir konu olup, kaynak akım şiddeti ile ark geriliminin çarpımının kaynak hızına oranı [Formül (II.1)] olarak tanımlanır. [1]

$$E = U \times \frac{I}{V} \quad (\text{II.1})$$

ile formülize edilir. Burada;

E : özgül enerji girdisi, kJ/cm

U : ark gerilimi, V

I : akım şiddeti, A

V : kaynak hızı, cm/s olarak ifade edilir. [1]

Uygulamada özgül enerji girdisi için ortalama bir değer olarak sac kalınlığının mm'si başına 1 kJ/cm seçilir; örneğin 25mm kalınlığında bir sac için $E=25\text{kJ/cm}$ değerinde bir özgül ısı girdisi uygulanır. [1]

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında ortam sıcaklığı 5°C' nin altında olduğu hallerde parçalara muhakkak bir öntav uygulanıp uygulanmama konusunda parça kalınlığı ve malzemenin akma sınırı bir kıstas olarak kullanılır. Buna göre öntav ancak Tablo II. 2'de belirtilmiş olan kalınlıkların üzerindeki parçalara uygulanmalıdır. [1]

İnce taneli yapı çeliklerine ark kaynağı yöntemleri, öntav sıcaklığı, özgül enerji girdisi ve 800–500°C arasındaki soğuma hızı $t_{8/5}$ sınırlarına dikkat etmek koşulu ile kolaylıkla uygulanabilir. Günümüz endüstrisinde bu tür malzemelerden yapılmış kalın kesitli parçaların kaynağında toz altı, ince kesitli parçaların kaynağında ise gaz altı yöntemleri tercih edilmektedir. [1]

Tablo II. 2 Öntavın uygulandığı kalınlıklar [1]

Akma Sınırı (N/mm ²)	Kalınlık (Azami) (mm)
255-285	50
315-355	30
385-420	20
460-500	12
590 ve yukarısı	8

Bu tür çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotların örtülerinin bazık karakterli ve dolayısı ile de higroskopik olmaları nedeni ile bunların kullanılmadan önce muhakkak tavlaniş kurutulmaları gerekmektedir. Zira örtüdeki nemin, kaynak esnasında ayrışarak hidrojenin kaynak metaline geçmesi sonucu çatlaklar oluşmaktadır. Akma sınırı 355 N/mm²'den küçük olanlar 250°C'de daha büyük olanlar ise 350°C'de asgari iki saat süre ile tavlaniş kurutulmalıdır.

Örtülü elektrotlarla yapılan ark kaynağında ark gerilimi ve akım şiddeti çok dar bir aralık içinde değiştiğinden, özgül enerji girdisi ancak kaynak hızının değiştirilmesi ile kontrol altında tutulabilir. [1]

Kaynaklı konstrüksiyonlarda ekonomikliğin ve süratin ön plana çıkması sonucu son yıllarda ince taneli yapı çeliklerinin birleştirilmesinde MAG kaynağı büyük bir önem kazanmıştır. Burada aktif bir gaz olan CO₂ kullanılabildiği gibi, iki-üç komponentli karışım gazları da yaygın bir uygulama alanına sahiptir.

MAG kaynak yönteminde özgül enerji girdisi, tel çapı, tel sürme hızı, kaynak hızı ve ark gerilimi değiştirilerek kontrol altında tutulabilmektedir. Bu yöntemin otomasyona ve özellikle kaynak robotları tarafından kullanıma çok yatkın olması, uygulama alanının genişlemesine yardımcı olmaktadır. [1]

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında ağız hazırlanırken, ağız açısının mümkün olduğu kadar küçük seçilmesine dikkat edilmektedir. Geniş ağız açıları yüksek açısız çarpılmaların ortaya çıkmasına ve çatlama tehlikesinin artmasına neden olur. Ayrıca fazla miktarda kaynak metali sarfiyatı dolayısı ile de geniş kaynak ağızları ekonomik değildir. [5]

Kaynak ağızlarının termik kesme yöntemleri ile hazırlanması halinde ağız kenarlarında sertleşme ortaya çıkabilir; bu bölgeler kaynak esnasında yeniden dönüşüme uğrayacakları için büyük bir tehlike göstermezler. [5]

Termik kesme işlemi kaynak işlemi esnasında çeliğe uygulanacak olan öntav sıcaklığında gerçekleştirildiğinde, bu sertleşme ortadan kalkar. Kaynak işleminden önce, termik kesme sonucunda ağız yüzeylerinde görülen oksit tabakaları çok iyi bir biçimde temizlenmelidir. [5]

Kaynak esnasında daima çok paso yöntemi uygulanmalıdır. Her sırada ilk paso ağız yan yüzeyine çekilmeli ve bu şekilde bunun yanına çekilen pasonun ilk pasoya ve onun ITAB'ına bir temper etkisi yapması sağlanmalıdır. Kaynak pasoları mümkün olduğu kadar özgül enerji girdisine ve $t_{8/5}$ uygun olarak ince çekilmelidir. Kaynak bittikten sonra hemen, esas metale değmeyen sadece kaynak dikişini bir kapak gibi örten bir temper pasonun çekilmesi ITAB'ın özelliklerini geliştirir. Bu kapak pasosu taşlama veya kaynak öntav sıcaklığında oksijenle rendeleme yöntemi ile sökülmelidir. Bu işlem için karbon elektrot kullanılması önerilmez. [5]

Yüksek zorlamalara maruz kaynak bağlantılarında yanma olukları taşla temizlenmeli ve uygun öntav sıcaklığında kaynakla yeniden doldurulmalıdır. 8mm'den daha kaim parçalara montaj yardımcı kaynakları en az 150°C'lik bir öntavdan sonra uygulanmalı ve montaj yardımcı parçaları sadece az karbonlu alaşımsız çeliklerden yapılmalıdır. [5]

Montaj puntaları esas metal ile uyum gösteren bir elektrot kullanarak yapılmalı ve bu kısımlar çatlak oluşumuna karşı çok iyi kontrol edilmelidir. Puntaların sonradan temizlenmesinin arandığı hallerde, daha düşük mukavemetli, sünek elektrotlar kullanılabilir. Hatalı kaynak dikişlerinin veya çatlakların özellikle ITAB'da zımpara taşı ile temizlenmesinde yanma eğilimi göstermeyen taşlar kullanılmalı ve zımpara taşının fazla bastırılarak taşlanan kısmın aşırı derecede ısınmasına neden olunmamalıdır. [1]

Kaynak esnasında elektrot hiçbir zaman kaynak ağzının dışında tutuşturulmamalıdır. Kaynak sonrası konstrüksiyona gerektiğinde gerilme giderme tavı uygulanır. Bu tür çeliklerde bazı hallerde işlem esnasında gerilme giderme tavı çatlakları diye adlandırılan çatlaklar ortaya çıkar. Gerilme giderme tavı çatlakları bu tür çeliklerde, kaynak esnasında 1150°C'nin üzerindeki sıcaklık derecelerine kadar ısınarak tane irileşmesine uğramış bölgelerde, gerilme giderme tavı (450–680°C) esnasında ortaya çıkar. [1]

Tane irileşmesine uğramış bölgede, alaşım elementlerinin oluşturduğu ve tane büyümesine mani olan nitrür ve karbonitrürler çözülür ve kaynak sonrası soğuma esnasında da demir karbür haricinde hiçbir çökecek zaman bulamaz. Gerilme giderme tavı esnasında yeniden oluşan karbür ve karbonitrürler bu iri tanelerin sınırlarına çökeler ve çökeltme işlemi iç gerilmelerin yardımı ile hızlanır. Bu çökelmeler tane sınırlarında bir yumuşama oluşturur. [1]

Gerilme giderme ısı işlemi esnasında iç gerilmelerin oluşturduğu elastik şekil değişimi, sıcaklıktan ötürü düşen akma sınırının yardımı ile plastik şekil değişimine dönüşür. Bu şekil değişimi daha uygun bir yer olan tane sınırlarında gerçekleşir. İri tanelerde tane yüzeyi, ince taneli bölgelere nazaran daha ufak olduğundan buradaki şekil değişimi daha kuvvetli olur ve bunun sonucunda taneler arası ufak yerel boşluklar ortaya çıkar ve zamanla bunlar büyüyerek tanelerin birbirlerinden ayrılmasına neden olurlar. Gerilme giderme tavı çatlakları, sürünme çatlakları gibi taneler arası türden çatlaklardır; her doğrultuda oluşabilirlerse de genellikle en şiddetli gerilmeye dik yönde gelişirler. [1]

Günümüz endüstrisinde ince taneli yapı çelikleri çok geniş bir uygulama alanına sahip olup özellikle buhar kazanlarından nükleer reaktörlerin basınçlı kaplarına kadar çok çeşitli yerlerde başarı ile kullanılmakta ve kurallarına dikkatle uyularak yapılan kaynaklı bağlantılarda hiçbir problem göstermemektedirler. [1]

II.2. ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA ISI TESİRİ ALTINDA KALAN BÖLGE (ITAB)

Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı sırasında kaynak metaline komşu olan iş parçasının muhtelif noktaları farklı sıcaklıklara ısınır. Kaynak ısının tesiri ile ısınıp, faz dönüşümü gösteren noktalar kaynak edilen çelik levhanın ITAB'ını oluşturur. [1]

II.2.1. Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) Alt Bölgeleri

ITAB alt bölgeleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir [1];

- İri taneli bölge,
- İnce taneli bölge,
- Kısmen dönüşme alt bölgesi,
- Temperleme alt bölgesi.

II.2.1.1. İri Taneli Bölge

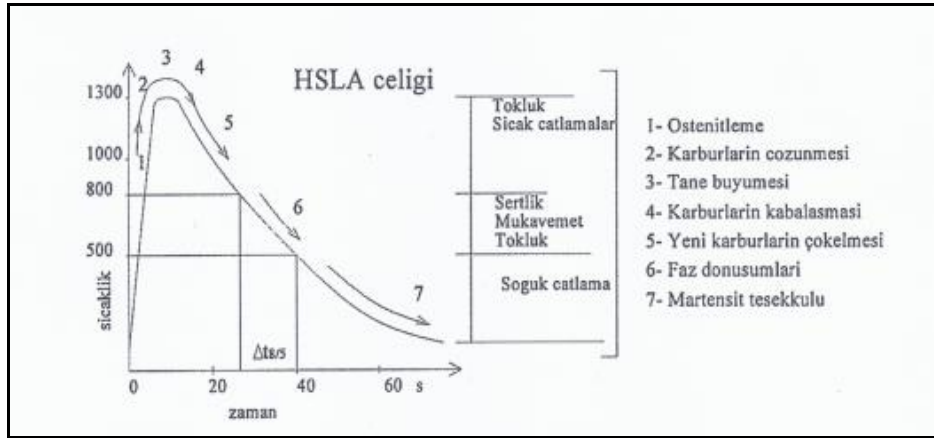
Erime bölgesine bitişik olan ve kaynak anında 1450–1150°C sıcaklıklarındaki bölgedir. Bilindiği gibi, metaller yeniden billurlaşma sıcaklığının üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarından tane büyümesi adı verilen bir olay meydana gelir. Bazı taneler büyüyerek kısmen veya tamamen küçük tanelerin yerine geçer ve dolayısıyla ortalama tane boyutu büyür. [1]

Tane büyümesi hızı sıcaklık arttıkça artar ve metalin solüdüne yaklaşıldığında büyümesi çok hızlanır. İri taneli yapılar, ince taneli yapılara oranla daha gevrek ve kırılgan olduklarından oluşmaları istenmez. Çeliklerde kaynak anında erime çizgisine bitişik olan esas metal, solüdüne yakın bir sıcaklığa eriştiğinde östenit için fazla miktarda tane büyümesine rastlanır. [1]

Bir çeliğin kaynak edilebilirliği açısından tane büyümesi çok önemlidir, çünkü soğuma olayı sürecinde oluşan dönüşümlere östenit tane boyutunun etkisi oldukça şiddetlidir. Östenit tane büyümesi için gerekli olan tane sınırı ilerlemesi tane sınırlarına çökelmiş bulunan Al, V, Ti, niobyum nitrür ve karbonitrürler tarafından engellenir. Bu durum özellikle modern çelik yapımında, üretim sırasında tane büyümesine engel olmak için geniş çapta kullanılır. [1]

Nitrür ve karbonitrürler 900°C'nin üzerinde tane içinde çözelti haline gelmeye başlar. 1150°C civarında tümü çözelti haline geçtiğinden, artık bunların tane büyümesi olayına engel olma olasılıkları ortadan kalkar. İri taneli ITAB bölgesinde martenzit oluşumu bu bölgenin sertliğini artırır, kalıntı gerilme teşekkül ettirir ve tokluğun biraz daha düşmesine sebep olur. ITAB'ın en sert ve genellikle en gevrek bölgesi ITAB'ın iri taneli alt bölgesidir. Bu nedenle bu zonda çatlama riski çok yüksek olur. Böylece bu zon ITAB'ın en kritik bölgesidir. Bu sebeple genellikle ITAB denince aklımıza bu zon gelir. [1]

Çeliklerin iri taneli alt bölgesindeki bir noktanın ısı çevrimi şekilde görülmektedir. Termal çevrim sırasında meydana gelen katı hal dönüşümleri ve bunların mekanik özellikleri üzerindeki tesirleri Şekil II.2' de özetlenmiştir. Şekil düşük alaşımlı ince taneli çeliklerdeki iri tane zonundaki mikro yapı dönüşümlerini göstermektedir. Buradaki olayların hepsi her çelikte meydana gelmez. Örneğin SAE 1020 alaşımsız çelikte karbür, nitrür partikülleri mevcut olmadığından bunların çözünmesi, irileşmesi ve tekrar çökmesi olayları gerçekleşmez. Kaynak edilen düşük alaşımlı çeliğin ITAB'ında sıcaklık 1000°C'yi geçince östenitleme gerçekleşmektedir. 1000–1300°C arasında çelikte bulunan karbür ve diğer partiküllerin (nitrür ve karbonitrürler) parçalanması, çözünmesi gerçekleşmekte ve bu sırada östenit taneleri büyümektedir. Sıcaklık yükselmesi sırasında çelikte bulunan düşük ergime sıcaklıklı inklüzyonlar eriyebilir ve lokal sıvı noktalar da oluşabilir. Bu olay bir tür sıcak çatlamadır. [1]



Şekil II. 2 HSLA çeliğinde ITAB iri taneli bölgesindeki bir noktanın ısı çevrimi, bu çevrim sırasında meydana gelen mikro yapı değişimleri ve bunların özelliklere tesirleri[1]

Ayrıca östenit taneleri büyüdüğü için çeliğin bu iri taneli bölgesinde tokluk düşmüştür. Termal çevrimin soğuma periyodunda tam parçalanamayan partiküllere alaşım elementleri atomlarının yayınması ile mevcut ince partiküllerin kabalaşması gerçekleşir. Bununla birlikte soğuma sırasında parçalanıp östenitte çözünen alaşım elementleri tekrar C ve tungsten (W) atomları ile birleşerek yeni partiküllerin çökmesini sağlayabilir. Partikül kabalaşması ve partikül çökmesi Ti, Nb, V gibi mikro alaşım elementi içeren çeliklerde meydana gelir. Kaynak çevriminin soğuma periyodunda östenitin dönüşmesi gerçekleşir. [1]

Çelik sertleşme kabiliyetine göre ve soğuma hızına bağlı olarak ferrit, perlit, beynit ve martenzit teşekkül eder. Bu fazların dönüşüm sıcaklıkları farklıdır. Ferrit en yüksek sıcaklıkta ve martensit en düşük sıcaklıkta oluşur. Östenitin dönüştüğü mikro yapıya bağlı olarak ITAB iri taneli alt bölgesinin sertliği, mukavemeti ve tokluğu değişir. Martensit oluşan ITAB iri taneli bölgesinde sıcaklık 150°C'nin altına indikten sonra soğuk çatlama (hidrojen çatlama) riski yaşanır. [1]

II.2.1.2. İnce Taneli Bölge

Kaynak sırasında çeliğin A_{C3} ile 1150°C arasına ısınan kısmı ITAB'ın ince taneli bölgesini oluşturur. Bu bölgenin orijinal yapısı ferrit-perlit şeklindedir. Kaynak çevriminin ısınma periyodunda bu bölge de ince östenit taneleri teşekkül eder. Bu bölgede östenitleme sıcaklığı düşük ve sıcaklıkta kalma süresi kısa olduğundan orijinal yapıda oluşan ince östenit taneleri büyüme yapamaz. Bu nedenle bu alt bölgede tane boyutu orijinal yapıdan daha küçük olur. Östenitleme çeliklerde östenitleme sıcaklığı ve östenitleme süresine bağlı olarak östenit taneleri büyür. [1]

Tane büyümesi tane sınırlarının hareket etmesi ile gerçekleşir. Tane sınır kenar sayısı çok olan tanelerin tane sınırı, tane sınır kenar sayısı az olan tanelere doğru ilerlemesi ile östenit taneleri büyür. Sınır hareketinin ilerlediği bölgedeki atomlar dizilişlerini ilerleyen tanenin atom dizilişine uydururlar. Bu nedenle yok edilen tanelerin atomları atomlar arası mesafenin kesri kadar hareket ederler. Böylece büyüyen tanede homojen atom dizilişi elde edilir. [1]

Östenitleme sıcaklığı ve süresinin artması yayınmayı teşvik ettiği için taneler büyür. Östenit tane sınır hareketini engelleyen sebepler tane büyümesini de engeller. Bu engellerin başında östenit taneleri içinde çok sayıda ince partiküllerin mevcut olması gelir. Bu partiküllerin tane sınır hareketini engellemesine iğneleme tesiri denir. Çeliklerde mikro alaşım elementi olarak bulunan Al, Ti, V, Nb elementlerinin oluşturduğu ince karbür, nitrür ve karbünitrür taneleri çelikte iğneleme tesiri yaparak östenit tanelerinin büyümesini engellerler. Ancak bu partiküller belli bir sıcaklıkta parçalanarak iğneleme tesirlerini kaybederler. İnce taneli ITAB mikro yapısı düşük alaşımlı çeliklerin hepsinde meydana gelir. İnce taneli östenitin sertleşme kabiliyeti düşüktür. Ayrıca bu bölgenin soğuma hızı da nispeten düşüktür. Bu nedenle kaynak çevriminin soğuma periyodunda ince östenit taneleri genellikle martenzite dönüşmez.[1]

II.2.1.3. Kısmen Dönüşme Alt Bölgesi

Kaynak edilen çeliklerin A_{C1} - A_{C3} sıcaklıkları arasına ısınan kısımları ITAB'ın kısmen dönüşme bölgesini oluşturur. Yapı çelikleri oda sıcaklığında genellikle ferrit+perlit mikro yapısındadır. Çelik A_{C1} sıcaklığının biraz üstündeki bir sıcaklığa ısıtılınca ferrit değişime uğramaz ama perlit östenite dönüşür. Oluşan bu östenitin karbon oranı çelik ötektoid bileşiminin karbon oranıdır. Östenitin hacim oranı orijinal perlit hacim oranına eşit olur. [1]

Eğer A_{C1} - A_{C2} sıcaklığı arasında oluşan östenit tanelerinin alaşım elementi içeriği yani sertleşme kabiliyeti fazla ise ve bu bölgede yeteri kadar hızlı soğuma gerçekleşirse östenit martenzite dönüşür. Bu martenzite dönüşen östenitlerin karbon oranı yüksek olduğu için elde edilen martensit sert ve gevrek olur. Bu martensit teşekkülü ITAB kısmen dönüşme bölgesinin sertliğini artırır ve tokluğunu düşürür. Eğer martensit taneleri ferrit tanelerini çevreleyen ağ yapısı şeklinde olursa kısmen dönüşme bölgesinin tokluğu çok düşük olur. [1]

II.2.1.4. Temperleme Alt Bölgesi

Bu bölge çeliğin en fazla 750°C' ye kadar ısınan kısmında oluşabilir. Bu bölge her çelikte görülmez. Normalize, sıcak haddelenmiş ve kontrollü haddelenmiş ferrit-perlit mikro yapısındaki çeliklerin kaynak sırasında 750°C' ye kadar ısınan kısımlarında belirgin bir mikro yapı değişimi görülmez. Bu çeliklerde temperleme alt bölgesi oluşmaz. [1]

Temperleme alt bölgesi soğuk şekil verilmiş veya su verildikten sonra temperlenmiş çeliklerde görülür. Soğuk şekil verilen çelikler 600°C civarında yeniden kristalleşme yaparlar. 600–750°C arasında yeniden kristalleşmeyi tane büyümesi olayı takip eder. Böylece soğuk şekil verilmiş çelikler kaynak edildiklerinde çeliğin 600–750°C arasına ısınan kısmında temperleme zonu oluşur. [1]

Mikro yapıda perlit olan çelikler A_{C1} sıcaklığına yakın sıcaklıklarda (700–750°C) uzun süre kalırsa çelikte küreleşme meydana gelebilir, lameler yapıdaki sementitin bir kısmı küresel sementite dönüşebilir. Bu olayın meydana geldiği noktalarda çelik sertliği düşer. Bu küreselleşme olayı çeliklerde çok küçük boyutlarda gerçekleşen bir olaydır. [1]

II.2.2. Isıl Çevrim

Kaynak işleminde genellikle metal önce likidüsünün üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonrada soğutulmaktadır. Dolayısıyla bu çeliklerin kaynağında kaynak bölgesinde, yukarıdan belirtilmiş olan bütün dönüşümler sırasıyla oluşacaktır. Isıtmayı takip eden soğuma yavaş bir şekilde gerçekleştiğinde veya çeliğin karbon veya alaşım elementi içeriği sertleşmeyi meydana getirecek miktarda değilse, elde edilen içyapı tane büyüklüğü hariç, ilkel yapının aynıdır. Buna karşın sertleşme meyili olan çeliklerde ise, soğumanın hızlı olduğu hallerde daha evvel bahsedilmiş olan ve genellikle arzu edilmeyen özellikleri taşıyan içyapılar oluşur ki; işte çeliklerin kaynağını etkileyen en önemli etken budur. [1]

Isının tesiri altında kalan bölge eritme kaynağında devamlı olarak ortaya çıkar ve bundan kaçınılması mümkün değildir. Büyüklüğü ise, kaynak işlemine uygulanan enerji, soğuma hızı, parçanın şekli, boyutları ve sıcaklığı ile malzemenin ısı iletim kabiliyetinin etkisi altındadır. Bu faktörlerden değiştirilmesi mümkün olanlar yardımı ile ısının tesiri altında kalan bölge bir dereceye kadar kontrol altında tutulabilir. Isının tesiri altında kalan bölgenin özelliklerinin önceden belirlenebilmesi için kaynatılan malzemenin bileşiminin, kaynaktan önce geçirmiş olduğu ısıl işlemin ve kaynak anındaki sıcaklığın dağılım ve bileşiminin bilinmesi gereklidir. [1]

Genel olarak bir ısıl çevrim malzemenin özellikleri üzerine olan etkisinin belirlenebilmesi için bu ısıl çevrim hakkında şunların bilinmesi gereklidir;

- Isıtma hızı
- Tepe sıcaklığı
- Tepe sıcaklığının uygulanma süresi
- Soğutma hızı

Bilindiği gibi endüstride, çeliğe uygulanan ısıl işlemler genellikle birkaç ısıl çevrimden oluşmaktadır. Böyle durumlarda her ısıl çevrim halkası için bu dört etmenin hesaplanması gereklidir. Kaynak işlemi süresince, uygulanan ısının oluşturduğu ısıl çevrimi göz önüne alırsak, ısıtma hızı ve tepe sıcaklığının uygulanma süresi etmenlerine dikkat gerekmez. Zira bu konuda yapılan araştırmalar göstermiştir ki, kaynak işleminde, ısıtma hızında yapılması mümkün olan değişim, oluşan içyapıyı etkilememektedir. Tepe sıcaklığının uygulanma süresi ise, kaynak işleminde çok dar bir saha içinde değişmektedir. Bu süre özellikle elektrik ark kaynağında çok kısadır, bilindiği gibi eriyen metal hemen katılaşmakta ve dolayısıyla dik ve tavan

kaynaklarını yapmak mümkün olabilmektedir. Bu bakımlardan, kaynak bölgesinde sıcaklığın dağılım ve değişimi incelenirken sadece erişilen tepe sıcaklığı derecesi ve soğuma hızı göz önünde bulundurulur. [1]

Kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılım ve değişimini matematiksel olarak formüle etmek oldukça zordur. Bu konuda geliştirilmiş olan formüller olaya sadece bazı varsayımlarla yaklaşabilmektedir. Evvelce de belirtilmiş olduğu gibi, sıcaklığın dağılım ve değişimi, uygulanan kaynak enerjisi parça ve ortam sıcaklığı ve malzemenin özelliklerine bağlı olduğu kadar parçanın meyil ve boyutları ile kaynak dikişinin geometrisine de bağlıdır. Ancak bu son etkeni formüle etme olayı daha karmaşık hale getirmektedir. Bununla beraber geliştirilmiş denklemlerin deneysel sonuçları, uygulamada kabul edilebilir bir hassasiyet derecesinde olduklarını göstermektedir. [1]

Hesap yolu ile ilk yaklaşım Rosenthal ve daha sonra Rykalin tarafından yapılmıştır. Sabit bir V hızı ile, yarı sonsuz büyüklükte ve ısı özellikleri sıcaklıkla değişmeyen bir malzemeden yapılmış bir parçanın üzerinde hareket eden ısı kaynağının, etrafa radyasyon ve konveksiyonla ısı kaybı olmadan oluşturduğu sıcaklığın dağılımı Rosenthal tarafından şu şekilde ifade edilmiştir; [1]

İki boyutlu ısı dağılımı halinde (ince parçalar):

$$T(R, x) - T_o = \frac{q}{2\pi\lambda R} e^{-v\left(\frac{x+R}{2a}\right)Ko\left(p\frac{x+R}{2a}\right)} \quad (II.2)$$

Üç boyutlu ısı dağılımı halinde (kalın parçalar)

$$T(R, x) - T_o = \frac{q}{2\pi\lambda R} e^{-v\left(\frac{x+R}{2a}\right)} \quad (II.3)$$

Burada:

q : ısı kaynağının şiddeti

λ : ısı iletkenlik katsayısı

a : ortalama ısı dağılım katsayısı

x : ısı kaynağının hareket yönündeki koordinat eksen

v : ısı kaynağının hızı

P : boyutsuz katsayı (çevreye ısı transferi ile ilgili) olarak ifade edilir. [1]

Bütün erime kaynak yöntemlerinde, özellikle elektrik ark kaynağında soğuma hızı; sertleşme meyili fazla olan çeliklerde, gereken önlemler alınmadığı zaman, ısının tesiri altında kalan bölgede, martensit 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. [1]

Isının tesiri altında kalan bölgede sert ve kırılgan bir yapının ortaya çıkması, soğuk çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kaynaktan sonra ortaya çıkan iç gerilmelerin, çalışma şartlarındaki zorlamaların ve kaynak banyosundan yayılan hidrojenin etkilerinin birbiri üzerine çalışması 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 büyük bir hızla (çelik içersinde ses hızının yaklaşık 1/3'ü kadar) parçanın kaynak dikişine paralel olarak boydan boya kırılmasına neden olur. [1]

II.2.3. Kaynakta Isıl İşlemi Gerekli Kılan Malzeme Koşulları

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

- Malzemenin cinsi veya bileşimi
- Cidar kalınlığı

Aşağıda maddeler halinde kaynak sonrasında gerilim giderme gerektiren ve gerektirmeyen malzeme türleri bir arada gösterilmektedir. Gerilim giderme ısııl işlemi tablodan da görüldüğü gibi ferritik çeliklere özgü bir sorundur. [1]

Yüksek alaşımlı (paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri de kaynak sonrası gerilim gidermesine ihtiyaç duyarlarsa da, bu tür malzemelerle kaynak teknolojisinde nadiren karşılaşılır. Konuya tam açıklık getirmek bakımından yine aşağıdaki maddelere bakılarak östenitik (paslanmaz) çelik ile nikel ve alaşımları gerilme gidermeyi gerektirmedikleri görülmektedir. Alüminyum, bakır ve bunların alaşımları da kaynak sonrası gerilim gidermeye normal olarak gerek duymazlar. Fakat ısııl iletkenlikleri yüksek olan bu malzemelerin kaynak öncesinde ısıtılmaya (metali ısıya doyurmaya) ihtiyaçları vardır. [1]

Cidar kalınlığının da kaynak ısıtıl işlemi üzerinde etkisi vardır. Kalın cidar kaynak dikişinin soğuma hızını arttırır, sertleşme eğilimini teşvik eder. Belirli bir kalınlığın üzerinde artık ısıtıl işlem yapılması kaçınılmaz olur. Ayrıca soğuk mevsimde bütün malzemeler ön ısıtılma isterler. 10°C yüzey sıcaklığının altında hiçbir malzemeye kaynak yapılmaz. [1]

Kaynak sonrası gerilim gidermeyi gerektiren ve gerektirmeyen malzemeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir. [1]

Gerilim Gidermeyi Gerektiren Malzemeler;

- Ferritik çelikler
- Karbonlu çelikler
- Düşük alaşımlı çelikler
- Yüksek alaşımlı (paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri

Not: Isıl işlem şartından istisnalar vardır.

Gerilim Gidermeyi Gerektirmeyen Malzemeler;

- Östenitik (paslanmaz) çelikler
- Nikel ve alaşımları
- Alüminyum ve alaşımları*
- Bakır ve alaşımları*
- Titanyum ve alaşımları*

*İstisnai olarak ısıtıl işlem gerektiren türleri vardır. [1]

II.2.3.1. Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağında Isıl İşlem Gereksinimi

Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağını, yalnız karbonlu çeliklerin kaynağından ayıran en büyük farklılık, birincilerin daha fazla sertleşme eğilimine sahip olmalarıdır. Sertleşme kabiliyetinin yüksek olması demek, daha yavaş soğuma halinde dahi martenzit teşekkül edebilmesi demektir. [1]

Alaşımlar katkıları arttıkça sertleşme kabiliyeti de artar; dolayısıyla kaynaklanabilirlik azalır. Düşük alaşımlı çelikler kaynak sırasında ısıtıl işlem gereksinimi yönünden, karbon eşdeğerine (CE) göre üç gruba ayrılır. CE yükseldikçe ısıtıl işlem giderek gereklilik ve nihayet zorunluluk kazanır. Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ısıtıl işlem gereksinimi Tablo II.3' te verilmiştir. [1]

Tablo II. 3 Düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında ısıtma işlem gereksinimi [1]

Karbon Eşdeğeri	Ön ısıtma	Gerilim Giderme
<0,40	Gereksiz	Gereksiz
0,40-0,60	Gerekli	Gereksiz
>0,60	Zorunlu	Zorunlu

Düşük hidrojenli elektrot kullanılması, düşük alaşımlı çeliklerde ısıtma işlem gereksinimini azaltan önlemlerin başında gelir. Bu sayede düşük ve orta CE'ne sahip çeliklerin ince kesitlerini ısıtma işlemleriyle kaynatmak olanağı doğar. [1]

Tablo II.4' te sıcak hizmet için ferritik çeliklere örnekler gösterilmektedir. Düşük alaşımlı çeliklerin karbon eşdeğerine baktığımız zaman her alaşım elementi çeliğin karbon eşdeğeri ve dolayısıyla kaynak kabiliyeti üzerinde değişik etki yapar. Formül (II.2)' deki paydalardaki sayıların büyümesi, söz konusu etkinin zayıflaması demektir. Buna göre, kaynaklanabilirlik üzerinde C'den sonra en fazla etkili olan molibden (Mo), daha sonra da Cr ve V katkılarıdır. Ni ve bakır (Cu) katkılarının ise kaynakta daha az sorun yaşatacağını formül(II.2)' den görüyoruz.

Bu açıklamalardan sonra şu genel yargılara varılabilir [1]:

- Yüksek sıcaklıklara dayanımı ile bilinen ve kısaca Cr-Mo ve Cr-V alaşımları diye isimlendirilen düşük alaşımlı çelikler ancak ısıtma işlemi refakatinde kaynak edilebilirler.
- Derin soğuklarda dahi gevrekleşmemeleriyle bilinen ve kısaca Ni alaşımlı çelikler diye isimlendirilen düşük alaşımlı çelikler ısıtma işlemi gerekmeyen de kaynaklanabilirler.

II.2.4. Gerilim Giderme Tavlama

Bir çelik işlendiğinde veya plastik deformasyona tabi tutulduğunda, soğuk deformasyona uğramış (veya soğuk işlenmiş) yüzeylerinde gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler, çeliğin sürekli işlenebilmesini çok zorlaştırırlar. Buna ilave olarak, işleme veya plastik deformasyon sonrası uygulanacak ısıtma işlemi sırasında, çeliğin distorsiyonuna neden olurlar. Dolayısıyla, bu gerilmelerin giderilmeleri gerekir. Gerilim giderme, 1-2 saat arasında uygulanan bir tavlama işlemidir. Gerilim giderme tavlama işlemi uygulandığı sıcaklık, çeliklerin bileşimlerine göre değişir. Sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler için 550–650°C, sıcak iş ve yüksek hız çelikleri için 600–750°C'dir. Gerilim giderme

tavlama, herhangi bir faz dönüşümü oluşturmaz, ancak yeniden kristalleşmeye neden olabilir. Soğuma sırasında termal gerilmelerin oluşumundan kaçınmanın en iyi pratik yolu, parçaları fırın içerisinde 500°C ye kadar yavaşça soğutmak ve akabinde bunları fırından çıkararak havada soğutmaktır. [6]

Tablo II. 4 Sıcak hizmet için ferritik çeliklere örnekler (Boru Standartları) [1]

Tanımı	Karbonlu Çelikler *		Cr-Mo Çeliği	
Hizmet Alanı	Orta Sıcaklıklar < 415°C		Yüksek Sıcaklıklar <565°C	
(ASTM) Kodu	A106		A335	
	Gr A	Gr B	P11	P22
(ASME P) No.	1		4	5
DIN Eşdeğeri	17175			
	St 35.8	St 45.8	13 Cr Mo 44	10 Cr Mo 910
Bileşimi%				
C mak.	0,25	0,30	0,15	0,15
Mn	0,27–93	0,29–1,06	0,30–0,60	0,30–0,60
Si	>0,10	>0,10	<0,50–1,00	<0,50
Cr			1,00–1,50	1,90–2,60
Mo			0,44–0,65	0,87–1,13
Karbon Eşdeğeri	0,35	0,41	0,63	0,95
Çekme Dayanımı (kg/mm ²)	34	42	42	42
Akma Dayanımı (kg/mm ²)	21	24	21	21

* Aslında C-Mn türü çeliktir. Fakat çeliğin ayrılmaz bir katkı maddesi olan Mn ve Silis (Si) isimlendirmede genellikle ihmal olunarak çeliğe karbonlu çelik demeye devam edilir. [1]

Kalıntı gerilmelerden arınmış olmaları arzu edilen oldukça büyük takımların veya makine parçaların gerilim giderme işlemlerinde, soğuma hızının başlangıçta çok yavaş, örneğin saatte bir kaç derece, olması gereklidir. Sıcaklık düştükçe soğuma hızı artabilir, ancak bu artış 300°C ye ulaşıncaya kadar gerçekleşmemelidir. Bu sıcaklıktan

nihai soğumanın havada yapılması tavsiye edilebilir. Çeliğin en yüksek sıcaklığındaki halinde, yavaş bir başlangıç soğutmasının tavsiye edilmesinin nedeni şu şekilde izah edilebilir. Çelik gerilim giderme tavlama sıcaklığında bulunduğu zaman, çeliğin akma noktası düşüktür. Eğer çeliğin bu halinde yüzeyi ile merkezi arasında çok büyük sıcaklık farkı var ise, oluşacak termal gerilmelerden ötürü şekil değiştirmesi söz konusu olabilir. Termal gerilmeler çelikte böyle bir sürekli deformasyona neden olurlarsa çelik oda sıcaklığına soğuduğunda yeni gerilmelerin çeliğin bünyesinde kalması söz konusudur. [6]

Sertleştirilmiş ve temperlenmiş çelikte, normal temperleme sıcaklığının 25°C altındaki bir sıcaklıkta, gerilim giderme tavlama yapılır. Isıl işlem uygulanacak takımlar ve makine parçalarında, gerilim gidermeden ileri gelecek herhangi bir bükülme veya eğilmeyi telafi edebilecek oranda işleme toleransı bırakılmalıdır. Hızlı soğutma sonucu dahili gerilmelerin oluşmasının veya çok şiddetli yük altında düzeltilmelerinin söz konusu olduğu durumlarda, dövmeyle şekil verilmiş parçalarda gerilim giderme işlemine tabi tutulurlar. Bazı hallerde, örneğin alaşımlı çelikten dökülmüş ve kaynak yapılmış parçalar için normalizasyon sonrası gerilim giderme işlemi şart koşulur. [6]

Dahili gerilmelerin mümkün olduğu kadar fazla giderilmesi istenirse, tavlama işlemi yukarıda belirtilen uygun tavlama sıcaklık aralığının en üst sınırına yakın bir sıcaklıkta uygulanmalıdır. Maalesef, bu durum her zaman uygulanmamaktadır. Nedeni, yüksek sıcaklığın kabul edilmeyecek oranda çok fazla yüzey oksidasyonu ve aynı zamanda sertleştirilmiş ve temperlenmiş çelikte çok fazla yumuşama meydana getirmesidir. Böyle hallerde daha düşük bir gerilim giderme sıcaklığı seçilmelidir. Bu sıcaklık oksidasyonsuz yüzey için mümkün mertebe yüksek olabilir. Ancak, bu durumda bir miktar kalıntı gerilmelerin varlığı kabul edilmelidir. [6]

II.3. ÇELİK STANDARTLARI

Çok sayıda mevcut olan çelikler birçok standarda göre sınıflandırılmıştır. Çelikler üretim yöntemine göre, kullanılma yerine veya kimyasal bileşimine göre sınıflandırılmaktadır. Çelikte en fazla kullanılan bir sınıflama da karbon oranıdır. % 0,25'e kadar az karbonlu, % 0,25-0,55 arası orta karbonlu ve % 0,55 karbon üzeri ise yüksek karbonludur. [7]

II.3.1. Amerikan Sistemine Göre Çeliklerin Sınıflandırılması

Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute, AISI) ve Otomotiv Mühendisler Cemiyeti (Society of Automotive Engineers, SAE) tarafından çelikler dört rakamlı bir numara sistemi ile tasnif edilirler. Bunlardan ilk iki rakam çelikteki karbon yüzdesini gösterir. [7]

Amerikan Kaynak Cemiyetinin (American Welding Society, AWS) bina ve köprü yapımında kullanımını kabul ettiği yapı çeliklerinin minimum mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimini gösteren tablolar yapılmıştır. Amerikan Malzeme Muayene Cemiyeti (American Society for Testing and Materials, ASTM), Basıncılı Kaplar Cemiyeti (Uniform Boiler and Pressure Vessel Laws Society, UBPVLS) tarafından yapılan tasnifler mevcuttur. [7]

Son yarım asır içinde çok sayıda Düşük Alaşımlı Yüksek Mukavemetli (High Strength Low Alloy, HSLA) çelik türleri geliştirilmiştir. Bu çeliklerde çok az Ti, Al, V ve/veya Nb ilavesi yapılarak, ayrıca kontrollü termo mekanik işlem yapılarak çok ince taneli, sünek ve yüksek mukavemetli çelik üretilmiştir. Bu çeliklerin çoğu üreticilerin verdiği adlar ile tanınmaktadır. Çeliklerin adlandırılması için belli bir sistematik geliştirilmemiştir. [7]

II.3.2. Alman Sistemine Göre Çeliklerin Sınıflandırılması

DIN normuna göre çelikler alaşımsız, az alaşımlı ve yüksek alaşımlı olarak üç ana kategoriye ayrılır. Bu gruplarda çelikler şöyle adlandırılmıştır. [7]

II.3.2.1. Alaşımsız Çelikler

Çelikler ancak Tablo II.5’ de verilen demir refakat elementlerinden fazlasını ihtiva etmezlerse, alaşımsız sayılırlar. Üç çeşit üretilirler[7]

Tablo II. 5 Alaşımsız Çeliklerde Demir Refakat Elementleri [7]

Değer (max.)	Element Yüzdesi
0,5	% Si
0,8	%Mn
0,1	% Al
0,1	%Ti
0,25	%Cu

II.3.2.2. K t le  elikleri

DIN 17100' e göre satılabilir halde olup, normal iklim şartlarında kullanılabilir şekilde hazırlanmışlardır. İsimlendirilmeleri  ekme mukavemetlerine göre yapılır. Bu değerler üretici tarafından garanti edilmiştir. [7]

Örnekler:

St 33; Minimum  ekme mukavemeti 33 kg/mm^2 olan  elik.

St 37-2; Minimum  ekme mukavemeti 37 kg/mm^2 olan kalite grubu 2 çeliği, yani daha iyi ergitilmiş ve kaynak için daha uygun.

St 52-3;  ekme mukavemeti en az 52 kg/mm^2 olan ve en iyi kaynak edilebilen kalite grubu 3' e ait bir  elik. [7]

II.3.2.3. Kalite  elikleri

Ayrıca ısıt  işlem gördüklerinden daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklarda kullanılabilirler. Isıt  işlem için karbon miktarı mühimdir; zira sıcaklıklar karbon miktarına bağlıdır. Bu nedenle kalite çelikleri ihtiva ettikleri karbon miktarına göre isimlendirilirler. Kısa isimlendirmedeki sayı, karbon yüzdesinin, yüzde birini göstermektedir. Bunlar normale göre alaşımsız yumuşak çelikler veya ıslah  elikleridir. [7]

Örnekler:

C10,C15,C35,C60.

II.3.2.4. Soy  elikleri

Kalite  eliklerine benzerler; ancak daha az fosfor, kükürt ve metalik olmayan kalıntılar ihtiva ederler. Aynen kalite çelikleri gibi adlandırılırlar. Tek farkları ilave edilen (k) harfidir. [7]

Örnekler:

Ck 10, Ckl5, Ck 22, Ck 35 gibi.

II.3.2.5. Takım  elikleri

Ala ımsız olup, kalite çelikleri gibi isimlendirilirler. İsme ayrıca kalite sınıfını gösteren W_1 W_2 , W_3 , veya W_5 ( zel kalite) işareti eklenir. Kalite sınıf işaretleri mikroskopik olarak görülen fosfor (P) ve silis (S) miktarı ile cüruf parçacıklarını vermektedir. [7]

II.3.3. Düşük Alaşımli Çelikler

Düşük alaşımli çelikler yukarıda verilenden daha fazla demir refakat elementi ihtiva ederler. Ancak alaşım elementlerinin toplam oranı % 5'i hiçbir zaman geçmez. Bu çelikler kimyasal bileşimlerine göre isimlendirilirler. Bütün çelikler karbon ihtiva ettiklerinden C harfi yazılmaz. İlk sayı % C miktarının yüzde birini verir. Ardından kimyasal sembolleri ile gösterilen ana elementler gelir. Sembollerden sonra gelen sayılar, alaşım miktarını gösteren sayılardır. Kısa isimlendirmede yüzde oranlar, virgüllü olarak gösterilmediğinden, asıl miktarlar sabit sayılarla çarpılarak bulunur yani anahtar sayı ile verilmiştir. Alaşım miktarını gösteren sayıların çarpıldığı faktörler [7]:

100 Metal olmayan elementler C, N, P, S, Ce için kullanılır,

4 En önemli alaşım elementleri için kullanılır. Bunlar; Mn, Si, Cr, Ni, Co, W

10 Bütün diğer elementler Al, Cu, Mo, Ti, V....v.s. için kullanılır.

Örnek: 21 Cr.Mo.V 5 11

21-0,21 % karbon

İlk sayı 5 birinci elemente, yani kroma aittir. $5/4 \% \text{Cr} = 1.25 \% \text{Cr}$. İkinci sayı olan 11 ise, ikinci yazılmış elemente, aittir. $11/10\% \text{Mo} = 1.1 \% \text{Mo}$. V elementi çok düşük oranlarda kullanıldığından miktarı gösterilmemiştir. [7]

Endüstride sık karşılaşılan ve problemsiz kaynak edilebilen çelikler Tablo II.6' da verilmiştir. [7]

II.3.4. Yüksek Alaşımli Çelikler

Yüksek alaşımli çelikler % 5' in üzerinde alaşım elementi ihtiva ederler ve kısa isimlerinin önüne konulan bir X işareti ile belirlenirler. Bu işaretin konulması nedeni ile alaşım elementleri isimlendirmede asıl oranları ile gösterilirler. Tek istisnayı ilk sırada gösterilen karbon yapar. Önceki çeliklerde olduğu gibi, yüzde karbon miktarının yüzde biri gösterilir. [7]

Örnekler: X5 Cr Ni 18 9, korozyona dayanıklı yüksek alaşımli yapı çeliği

X-yüksek alaşımli, yani çarpım faktörleri kullanılmamış

5-0,05% karbon (C)

18= 18 % Krom (Cr)

9= 9% Nikel (Ni). [7]

Tablo II. 6 Endüstride Sık Karşılaşılan ve Problemsiz Kaynak Edilebilen Çelikler [7]

İşareti	Malz. No.	DIN/ SEW	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Akma N/mm ²	Çekme N/mm ²	Uzama	Uygulama Alanı
Alaşımsız Çelikler												
Ust 37- 2	1.0036	17100	0,17	-	-				235	360-470	25	Genel Yapı Çelikleri
St 37-3	1.0116		0,17	-	-				275	430-540	22	
St 44-2	1.0044		0,21	-	-				355	510-630	22	
St 52-3	1.0570		0,2	<=55	<=1,60							
St 35	1.0308	1629	<=0,18						240	340-440	25	Dikişsiz Boru
St 45,8	1.0405	17155	<=0,21	<=0,35	0,4-1,2				260	410-530	21	Kazan Borusu
HI	1.0345	17175	<=0,16	<=0,35	0,4				230	340-440		Kazan saçları
HIV	1.0445		<=0,26	<=0,35	0,6				290	460-550		
C22	1.0402	17200	.18-.25	0.15-0.35	0.3-0.6				360	490-640	22	Islah Çelikleri
GS-C 25	1.0619	17245	.18-.23	0.30-0.50	0.50-0.80	<=30			250	450-600	22	Sıcak Dayanımlı Ç.D.
TtSt 35	1.0356	SEW680	<=0.17	<=0.35	<=0.4				255	390-490		Düşük sıcaklık ç.
Alaşımlı Çelikler												
StE 26	1.0461	SEW088/	<=0.18	<=0.4	0.4-1.3				255	360-480		İnce taneli yapı çelikleri
StE 51	1.8907	089	<=0.21	<=0.5	0.4-1.6				500	610-780		
A32	-	GL	<=0.18	0.1-0.5	0.9-1.6	<=0.40	<=0.20	<=0.08	310	470-590	22	Yük. Muk. Gemi Sacı
16 Ni 14	1,5639	SEW680	.12-.19	.10-.35	.30-.60	-	3.2-3.8	-	345	440-640		Düşük Sıcaklıkta Tok Çelikler
X 8 Ni 9	1,5662	SEW680	<=.10	.10-.35	.30-.80		8-10	-	490	640-840		
15 Mo 3	1,5415	17175/	.12-.20	.15-.35	.50-.70	.7-.1		.25-.35	275	430-520		Yüksek sıcaklık Kazan ve Boru Çeliği
13 CrMo44	1,7335	55	.10-.18	.15-.35	.40-.70			.40-.50	305	430-550		
X19 CrMo 12 1	1,4921	SEW630	.15-.23	.10-.50	.30-.80	11-12.5	<=.8	.8-1.2	490	690-840	16	Yük. Sıc. Dayanımlı Ç.
X5CrTi 12	1,4512	SEW400	<=.80	-	<=1.0	10.5-12.5	<=.5	-	260	400-600	30	Paslanmaz Çelik
X12CrTi 17 7	1,4312		<=0.12	-	<=2.0	16-18	7-9	-	350	700-950	45	

SEW - Stahl-Eisen-Werkstoffblatt

GL = Germanischer Lloyd (Alman Loydu)

II.4. DEMİR KARBON DENGİ DİYAGRAMI VE DEĞİŞİMLER

Çeliğin içerdği 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 birbirinden anlam olarak çok farklı iki kavramdır. Sertlik genel olarak çeliğin içerdği karbon miktarının bir fonksiyonudur; sertleşebilme kabiliyeti ise çeliğin östenit bölgesinden itibaren ani olarak soğutulması sonucu ortaya çıkan martenzitik yapının oluşma kolaylığının bir ölçüsüdür. [7]

Sertleşebilme kabiliyeti düşük çelikler ancak kaynak işlemini takiben çok şiddetli bir şekilde soğutulduklarında martenzit oluştururlar, sertleşebilme kabiliyeti yüksek çelikler ise çok yavaş bir şekilde soğutuldukları halde dahi sert martenzitik yapı oluştururlar. Bu bakımdan sertleşebilme kabiliyeti, çeliğin kaynak sonrası kaynak bölgesinde göstereceği sertliğin bir bakıma ölçüsüdür. [7]

Çeliklerin kaynakla birleştirmelerinde, ısının tesiri altında kalan bölgenin özelliklerinin önceden bilinebilmesi; ancak kaynak anında sıcaklığın dağılım ve değişiminin saptanması ve ısıl çevrimler karşısında çeliğin davranışının incelenmesi ile mümkündür. Bu veriler bilindiği zaman, arzu edilen özellikleri taşıyan bir ısının tesiri altında kalan bölge elde etmek için kaynak parametreleri gereken şekilde ayarlanabilir. Saf metallerin çoğu katı haldeyken, yalnız bir tek kristal yapıya sahiptirler; bazı metaller ise, katı halde, değişik sıcaklıklarda farklı kristal yapı gösterirler. Alotropi adı verilen bu özelliğe demirde de rastlanır; saf demir 910°C' nin altında sıcaklıklarda α fazında hacim merkezli kübik kristal kafese, 910–1392°C sıcaklıkları arasında λ fazında yüzey merkezli kübik kristal kafese, 1392–1536°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. Kaynak işleminde, genellikle metal önce likidüsün üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonra soğutulmaktadır. Dolayısıyla çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinde, yukarıda belirtilmiş olan dönüşümler sıra ile oluşacaktır. Isıtıldıktan sonra soğuma yavaş bir şekilde gerçekleştiğinde, elde edilen yapı tane büyüklüğünün dışında, ilk yapının aynıdır; soğumanın hızlı olması hallerinde, çeliğin kaynağını etkileyen çok önemli durumlar ortaya çıkar. [7]

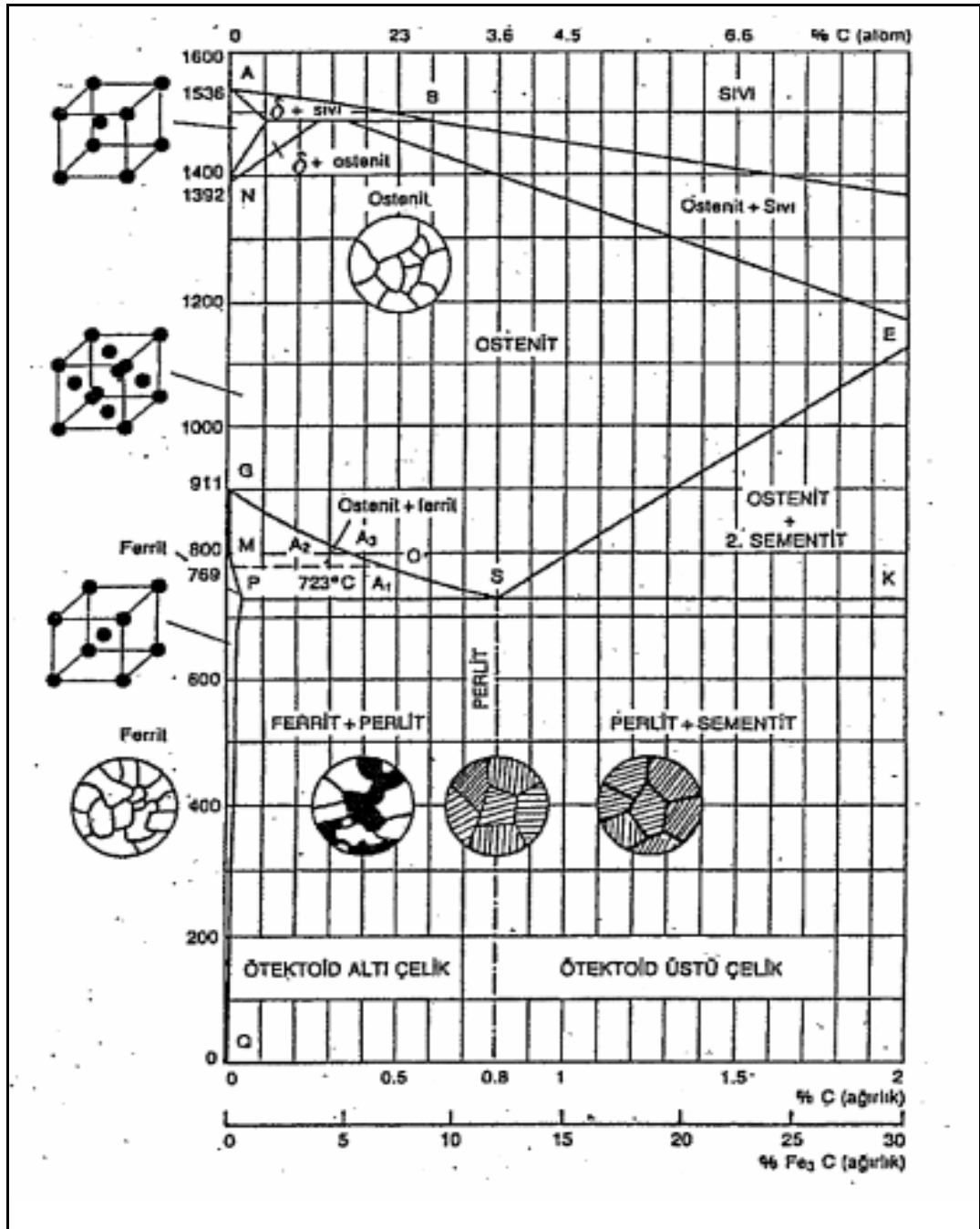
Demir-karbon denge diyagramı (Şekil II.3) üzerinde değişik oranlarda karbon içeren çeliklerin, ısıtılma ve dengeli bir şekilde yavaş soğutulmalarında oluşan dönüşümleri ve bunun sonucunda oluşan yapıları kolayca görebiliriz. [7]

Östenizasyon sıcaklığına kadar ısıtılmış, ötektoid bileşimde (% 0,8C) bir çelikte, östenit denge koşullarını her an koruyabilecek bir yöntemle soğutulduğunda, tamamen perlit tanelerinden oluşan bir iç yapı elde edilecektir. Dönüşüm 723°C’de gerçekleşecek ve ısıtma halinde ise bu olayın tam tersi cereyan edecektir. [7]

Ötektoid altı bir çelik (<% 0,8 C) östenizasyon sıcaklığından itibaren aynı şekilde soğutulduğunda östenit faz bölgesi ile östenit+ferrit faz bölgesini ayıran çizgi (GOS) çizgisine erişildiği anda, östenitin tane sınırlarında ferrit çekirdeklemeye başlayacaktır. Sıcaklık azaldıkça bu çekirdekler irileşecek ve ferrit taneleri 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 %0,8C içerir ve tamamı perlite dönüşür. Sonuçta ferrit ve perlit tanelerinden oluşan bir içyapı elde edilir. Isıtma halinde ise bu olayın tamamen tersi görülür ve perlit taneleri sıcaklık 723°C’ye erişince tamamen östenite dönüşür. Sıcaklık arttıkça ferrit taneleri ufalır, yani ferrit östenit içersinde çözülür, GOS çizgisine kadar yükselince hiçbir ferrit tanesi kalmaz ve yapı tamamen östenite dönüşmüş olur. [7]

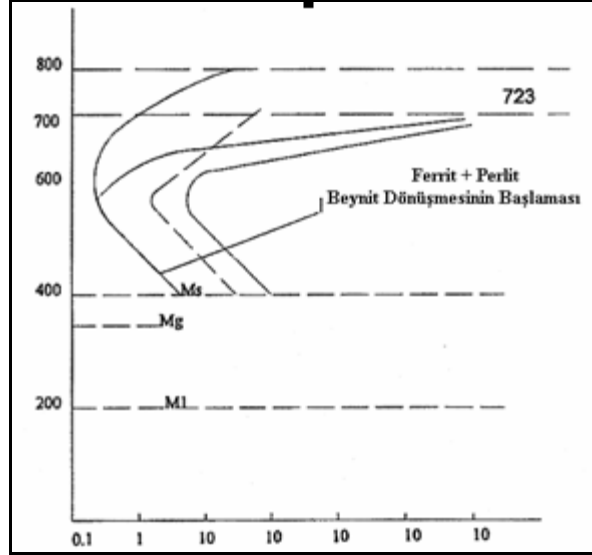
Ötektoid üstü çeliklerde ise, östenizasyon sıcaklığından başlayıp soğutulduğunda, sıcaklık östenit+2.sementit faz bölgesi ile östenit faz bölgesini ayıran çizgi (SE)’ye düştüğü zaman, östenitten sementit ayrışmaya başlar ve östenit tane sınırlarına çöker. Bu olay, sıcaklık SK çizgisine yani 723°C’ ye düşünceye kadar devam eder. Ayrışmanın hızı, çeliğin karbon miktarına ve soğuma hızına bağlıdır. Şöyle ki; sıcaklık 723°C’ye düştüğünde kalan östenit % 0,8 C içerir ve sıcaklıkta tamamen perlite dönüşür. Sonuçta bir sementit ağı ile çevrilmiş perlit tanelerinin oluşturduğu bir içyapı elde edilir. [7]

Ötektoid bileşimindeki östenit A_1 ’den yani 723°C’den daha aşağıya bir sıcaklığa kadar aniden soğutulursa ve o sıcaklıkta tutulursa denge şartlarından uzaklaştığından; önce bir müddet hiçbir dönüşüm olmaz; bir süre sonra dönüşüm başlar ve bir zaman aralığında gerçekleşir. İlk bekleme süresine kuluçka periyodu ve perlitin oluşum süresine de transformasyon periyodu sıcaklık düştükçe kısalır ve bir minimum değerden sonra tekrar artmaya devam eder. Bu olaya da östenitin izotermal dönüşmesi denir. Dönüşüm sıcaklığı düştükçe ferrit miktarı azalır, buna karşın perlit miktarı artar ve bir noktadan sonra hiç ferrit oluşmaz. Yapının bileşimi çeliğin bileşimine eş, dolayısıyla karbon miktarı normalden çok daha az olan bir perlitten oluşur. [7]



Şekil II. 3 Demir - Karbon denge diyagramı [7]

Dönüşüm sıcaklığı düştükçe oluşan perlitin lamelleri incelir ve dolayısı ile de çeliğin dayanımı ve sertliği önemli derecede yükselir. Daha düşük bir sıcaklıkta dönüşüm gerçekleştirildiğinde Şekil II.4' te gösterilen zaman sıcaklık transfer (TTT) diyagramında (burun noktasının altında) perlit yerine, beynit adı verilen farklı görünüş ve özelliklere sahip bir yapı elde edilir. [8]



Şekil II. 4 0,35 C' lu bir çeliğin sıcaklık transfer tablosu (TTT) diyagramı [8]

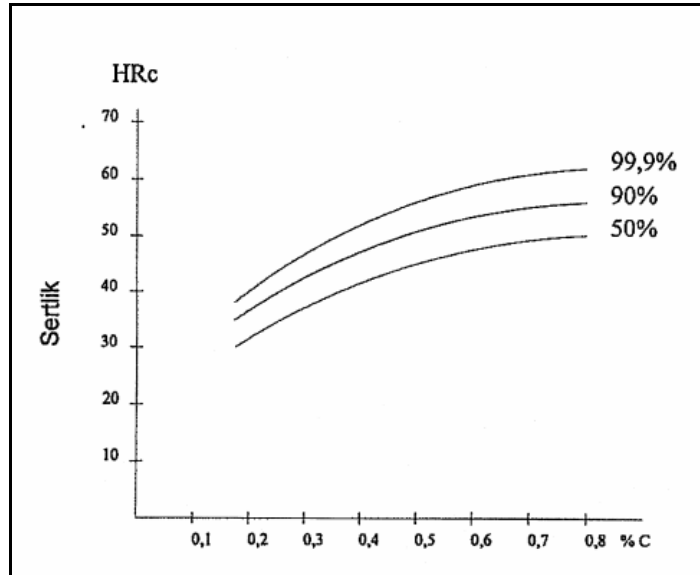
Oluşum mekanizması açısından da beynit, perlitten farklıdır. Perlit sementitin östenit taneleri içinde, tane sınırlarına dik lameller halinde çökmesi ile oluşur. Sementit lamelleri oluşabilmek için gerekli karbonu difüzyonla östenitten aldığından, lamele bitişik östenit karbonca fakirleşerek ferrite dönüşür. Böylece sementit lamelinin her iki yüzünde bir ferrit tabakası oluşur ve ferrit tabakasının öteki yüzü karbonca zenginleşerek orada bir sementit lameli daha oluşturur. Bu şekilde işlem devam ederek perlit taneleri meydana gelir. Görüldüğü gibi perlit önce sementitin çekirdeklenmesi ile başlamaktadır. Oysaki beynitte durum tamamen terstir. Beynitede dönüşüm önce karbonu atan östenitin ferrit halinde çekirdeklenmesi ile başlar. Yüksek sıcaklıklarda oluşan beynit daha tüylü bir görünüme sahiptir. Birçok yazarlar bu yapıyı ara yapı olarak isimlendirirler. [8]

Östenitin, beynite dönüşümü Ms sıcaklığının altında sona erer (Şekil II.4). Bu sıcaklıktan daha aşağı bir sıcaklığa kadar aşırı bir soğutma yapıldığında, östenit başka bir tarzda dönüşür. Bu dönüşüm difüzyonsuz ve pratik olarak zamana bağlı değildir; yani fazın kristal kafesi eskisinden farklıdır, fakat bileşimi çeliğin bileşiminin aynıdır. Östenit içinde karbonun çözülme miktarı ferritten çok fazladır. (Şekil II.3) Östenit soğutulurken, Ms sıcaklığına geldiğinde kübik yüzey merkezli kafes halinden hacim merkezli kübik kafes olan ferrite dönüşür. [8]

Östenit içinde çözelti halinde bulunan karbon atomları yayılıp ayrışmadıklarından ferrit kafesi içinde sıkışıp kalırlar. Neticede distorsiyona uğramış kristal kafese sahip, karbona aşırı doymuş ferrit elde edilir ve bu yapıya da martenzit adı verilir. Martenzit mikroskop altında incelendiğinde, orijinal östenit taneleri arasında

birçok iğne ve plakçıklar bulunan bir yapı şeklinde görülür. Martenzit iğneleri zamanla büyümeyiz, ilk iğnecik Ms sıcaklığında oluşur ve sıcaklık sabit tutulursa dönüşüm durur. Sıcaklık yeniden düşürülürse dönüşüm tekrar başlar. TTT diyagramlarında Ms'in altında bölge için artık bir zaman sıcaklık dönüşüm diyagramı olduğu söylenemez, zira burada dönüşüm zamana tabi değildir. [8]

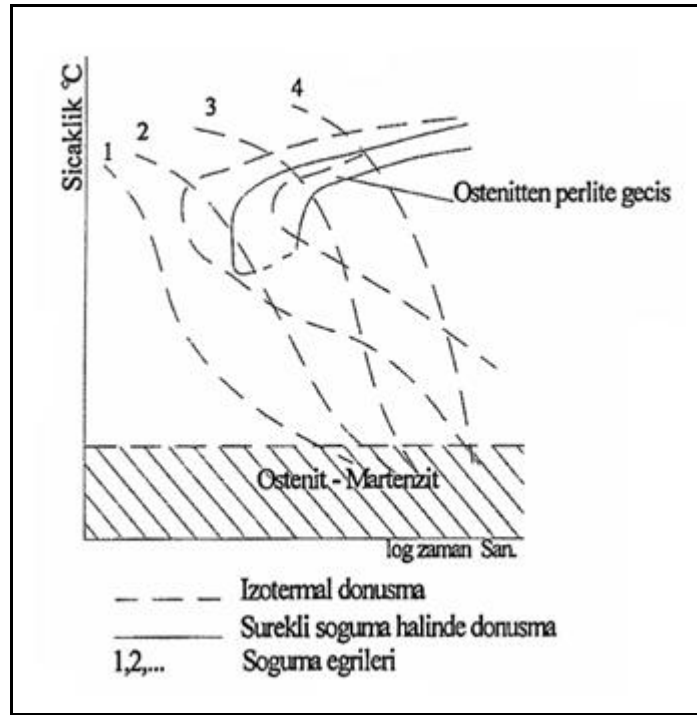
Martenzit çok sert ve kırılğan bir yapıya sahiptir; sertliği, çeliğin içerdiği karbon miktarına bağlıdır. (Şekil II.5)'de karbonlu çeliklerde, değişik oranlarda östenitin martenzite dönüşümü ve karbon miktarına bağlı olarak sertliğin değişimi görölmektedir. Uygulamada kaynak ve diğer endüstriyel ısıt işlemlerde, dönüşümlerin sabit bir sıcaklıkta oluşması beklenemez, bütün olaylar sürekli bir soğuma halinde gerçekleşir; bu neden ile izotermal TTT diyagramlarının pratik bir faydası yoktur. İzotermal TTT diyagramlarının değiştirilmesi ile sürekli soğumayı dikkate alan diyagramlar geliştirilmiştir. Bu diyagramlara sürekli soğuma TTT diyagramı veya soğuma dönüşüm(CT) diyagramı adı verilir. [7]



Şekil II. 5 Martenzit sertliğinin çeliğin içerdiği karbon miktarına göre değişmesi [7]

Şekil II.6'da gerek sürekli soğuma halini ve gerekse izotermal halini örnekleyen şematik bir diyagram görölmektedir. Burada dikkati çeken olay, sürekli soğuma halinde, kuluçka periyodunun uzaması ve dönüşümlerin daha alçak sıcaklıklarda oluşmasıdır. Gerek izotermal gerekse sürekli soğuma halindeki TTT diyagramlarında, dönüşümleri gösteren eğrilerin konumları bir seri faktörün etkisi altındadır. Bu faktörleri şöyle sıralayabiliriz [7]:

- Östenitleşme sıcaklığının yükselmesi, perlit çekirdekleşmesini yavaşlatır, bu olayda diyagramın üst kısmında bulunan perlit bölgesini sınırlayan eğrilerin sağa kaymasına neden olur.
- Östenitin tanelerinin irileşmesi, perlit çekirdekleşmesini geciktirir, dolayısıyla üst kısımda eğriler sağa doğru kayar.
- Eğrilerin durumuna en şiddetli etkiyi alaşım elementleri yapar. Bütün alaşım elementleri kuluçka periyodunu uzatır ve dönüşümleri yavaşlatır fakat hepsi aynı etkiyi göstermez. Bir kısmı daha şiddetli olarak perlit; diğer bir kısmı ise beyrit alanına etki eder. [7]



Şekil II. 6 İzotermal ve sürekli soğuma sıcaklık transfer tablosu (TTT) diyagramlarının karşılaştırılması [5]

Daha öncede belirtildiği gibi östenit tane büyüklüğü östenitleşme sıcaklığının şiddetli etkisi altında olup, yukarıda maddeler halinde verilen faktörler birbirinin aynı gibi görülmektedir. Burada belirtmek istenen husus daha önce tane büyümesine neden olacak bir ısıtma işlemi tabi tutulduktan sonra, ikinci kez östenizasyon sıcaklığına kadar ısıtılmış çelik halidir. Normal olarak, sürekli soğuma için çıkarılmış TTT diyagramları çeliğin ısıtma işlemlerinde kullanılır. Bu şekilde seçilmiş bulunan soğuma hızına göre içyapı veya arzu edilen içyapıya göre soğuma hızı saptanabilir. Kaynakta durum

farklıdır, çünkü östenitleşme sıcaklığı diğer ısıt işlemlerden daha yüksektir. Isının tesiri altında kalan bölgede çeşitli östenizasyon sıcaklıklarına erişilmektedir. [7]

II.5. DÜŞÜK ALAŞIMLI YAPI ÇELİKLERİ

Günümüzde yüksek mukavemetli çeliklerin kaynakta kullanılması hızla artmaktadır. Bu çeliklerin yumuşak karbonlu çeliklere nazaran, akma gerilmelerinin kopma gerilmelerine oranları daha yüksektir. Kopma ve akma mukavemetlerindeki yükselmeyi, terkipteki karbon miktarını arttırarak sağlamak mümkündür. Fakat bu yol sertleşme miktarını arttırıp, soğuk çatlakların teşekkülüne sebep olacağından kullanılmaması gereken bir usuldür. [9]

Kaynak için kullanılacak yüksek mukavemetli çeliklerde, karbon miktarı düşük bir sınırdan tutulmalı, yüksek mukavemet diğer alaşım elemanlarının ilavesi ve ısıt işlemlerle gerçekleştirilmelidir. Bugün bileşimlerinde büyük değişiklikler gösteren çok sayıda yüksek mukavemetli yapı çeliği piyasada mevcuttur. Durumu basite indirmek için üç sınıf şeklinde çelikler klasifiye edilmiştir. [9]

Birinci gruba çekme mukavemetleri 52-60 kg/mm² olan çelikler girer. Bu grubu teşkil eden çelikler ekserisi karbon-manganez tipi çeliklerdir. Normal olarak orta kalınlıkta levhaların kaynağında hiçbir zorluk ortaya çıkmamakta ve bazik tip elektrotlar kullanıldığında ön ısıtmaya ihtiyaç kalmamaktadır. İyi bir çentik darbe mukavemeti ve düşük geçiş sıcaklıkları elde edilmektedir. Kalın levhaların kaynağında hafif bir ön ısıtma tatbik edilebilir. [9]

İkinci gruba normalizasyon ve temperleme tatbik edilmiş ferritik-perlitik çelikler girer. Çekme mukavemetlerindeki artış manganez, nikel ve bakır gibi alaşım elemanlarının ilavesi ile sağlanmıştır. Manganez ve nikel ferrit içersinde erir ve neticede ferritin mukavemeti artar. Bu gruptaki çelikler iyi bir çentik darbe mukavemeti ile çok düşük bir geçiş sıcaklığına sahiptirler. [9]

Üçüncü grupta, manganze ilaveten karbonla çeşitli karbürler meydana getiren krom, molibden ve vanadyum gibi elemanlar ilave edilmiş çelikler bulunur. Bu grup çeliklerde çekme mukavemetinin yükselmesi, ince bir şekilde dağılmış bulunan karbür çökeltisi sayesinde olur. Bu çelikler ya normalize edilmiş ve temperlenmiş durumda (yapıları normal olarak beynitiktir) ya da su verilmiş temperlenmiş durumda bulunurlar. Temperleme sıcaklığı oldukça yüksektir. Bu son işlem normalizasyondan daha yüksek bir çekme ve daha iyi bir çentik darbe mukavemeti sağlar. Düşük alaşimli yapı çelikleri su verme ve temperleme işlemi ile en yüksek çekme mukavemeti verirler.

Mesela, 100 kg/mm² çekme mukavemeti gibi. Bunun % 90'nı akma mukavemetine eşit olur. [9]

Normalize edilmiş yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde, mukavemet kaynak ile bir değişme göstermez. Su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerde, çekme ve çentik darbe mukavemeti bakımından, ısının tesiri altında kalan bölgede büyük değişiklikler olabilir. Genel olarak düşük alaşımlı yapı çeliklerinin karbon miktarının çok az olmasına rağmen, kaynakta ısının tesiri altında kalan bölgede daima bir çatlağın meydana gelmesi tehlikesi mevcuttur. Bu yüzden kaynak şartları dikkatle ele alınmalı, ekseri hallerde kaynak kabiliyeti deneyleri yapılmalı ve elektrik ark kaynağının kullanıldığı yerlerde bazik elektrot kullanılmalıdır. [9]

II.5.1. Kaynak Bölgesinin Etüdü

Kaynak yapılan bir parçada, kaynak bölgesini eriyen ve ısının tesiri altında kalan bölge olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Eriyen bölge, ekseriya kaynak banyosunda meydana gelen türbülansın dolayı katılaşmadan evvel iyice birbirine karışmış esas ve kaynak metalinden ibarettir. Esas metalin kaynak metaline nispeti çeşitli kaynak usullerine bağlı olup, geniş bir aralık içersinde değişir. [9]

Belirli bileşim ve miktardaki kaynak ve esas metalin karışımından hasil olan eriyen bölgenin hesaplanan bileşimi, kimyasal analiz neticesi ile aynı değildir. Buna da sebep, bazı alaşım elemanlarının kaynak esnasında yanma dolayısıyla kayba uğramasıdır. Yanma derecesi ısı kaynağına, kaynak yerini çevreleyen atmosfere ve kullanılan kaynak usulüne göre değişir. Eğer hava atmosferine karşı korunma tam değilse, erime tarafından oksijen ve azot absorbe edilir. Oksijen kaynak yerinde önemli bir rol oynar ve kaybedilmesi zor olan birçok yanmalara sebep olur. [9]

Oksijen kaynak yerinde mevcut birçok elemanlarla birleşerek kaynağın kalitesine müspet ve menfi yönde tesir eden- oksitler meydana getirir. Örneğin kaynak banyosundaki erimiş haldeki çeliğin terki binde bulunan karbonla birleşerek karbon monoksit hasil eder ve bu gaz katılaşma esnasında dışarı çıkarken gözenekler meydana getirebilir. İyi kaliteli bir kaynak bağlantısı elde etmek için, kaynak yerini havanın tesirinden korumak veya diğer bir deyimle meydana gelebilecek kimyasal ve metalürjik reaksiyonları kontrol etmek gerekir. [9]

Oksijenle hasil olacak reaksiyonları kontrol için kullanılan usullerden biri, ilave kaynak metaline (tel veya elektrod) Mn, Si ve bazen de Al ve Ti gibi deoksidan maddelerin ilavesidir. Örtülü elektrotlarla yapılan ark kaynağında yanan elemanları

karşılama ve aynı zamanda kaynak dikişinden istenen bazı özellikleri sağlamak gayesiyle katıklar elektrot örtüsüne ilave edilir. Çıplak elektrot ve koruyucu gaz atmosferi altında yapılan ark kaynağında ise katılan elemanlar, elektrot teline ilave edilmelidir. Karbondioksit gazının koruyucu gaz olarak kullanıldığı düşük alaşımlı çeliklerin elektrik ark kaynağında, elektrot teline deoksidan olarak Si ve Mn katılır. Böylece ark atmosferinde karbondioksitin ayrışmasından çıkacak olan oksijenin sebebiyet vereceği porozite önlenmiş olur. [9]

Erimiş demir ile oksijen arasında meydana gelen reaksiyonları şöyle gösterebiliriz:



Mn, Si Al gibi deoksidan maddelerin ilavesiyle de, oksijenin tesiri aşağıdaki reaksiyonlarla bertaraf edilir. [9]



Baz ve asit karakterli oksitlerin arasındaki reaksiyonlara ait örnek aşağıda verilmiştir. [9]



Karbondioksit atmosferi altında yapılan ark kaynağında, ark atmosferinde serbest halde oksijen bulunmasına rağmen, kaynak teline ilave edilen alaşım

elemanlarının yeniden telafisi gayet iyidir. Fakat Si, Mn ve Ti gibi deoksidanların telafisi çok düşüktür. [9]

Eriyen bölgenin katılaşması, kendisini çevreleyen esas metale ısı ile olur ve oldukça iri sütunlar şeklinde kristaller meydana gelir. Bilhassa derin kaim parçalardaki derin nüfuziyeti kaynaklarda bu iri silindirik kristallerin birleştiği yerde yani ortada segregasyondan dolayı bir boşluk teşekkül eder ve zayıflama olur. [9]

II.5.2. En Önemli Oksitlerin Karakteristiği

Oksidasyon reaksiyonlarının sonunda, metallerin çeşitli oksitleri meydana gelir. Eğer oksit molekülü, herhangi bir metalin ve oksijenin atomlarından ibaret ise, bunlar basit olabilirler. Örneğin, FeO, SiO₂ ve Al₂O₃ gibi. Oksit molekülünde birden fazla elemanın birleşmesi halinde bunlar kompleks olur. Örneğin, demir silikatları (FeO.SiO₂) ve kalsiyum silikat (CaO.SiO₂) gibi. [9]

Oksidasyon reaksiyonlarının işlemleri, meydana gelen oksitlerin esas metal içersinde çözülmemeleri ve düşük bir özgül ağırlığa sahip olmaları şeklinde tanzim edilir. Bundan ötürü oksitler, kaynak işlemi sırasında erimiş metalin yüzeyine çıkarlar ve bunun üzerinde bir koruyucu tabaka teşkil ederler. Böylece metal, ark atmosferinden ayrılır ve erimiş metalin müteakip oksitlenmesi önlenmiş olur. Cürufun mekanik koruyucu tesiri bundan ibarettir. [9]

Eğer cüruf içersinde oksijene karşı ilgisi esas metalinden daha büyük olan oksitlenmemiş elemanlar mevcut ise, cüruf ve metal banyosu arasındaki sınırdaki esas metalin deoksidasyonu kendini gösterir. Cürufun kimyasal koruyucu tesiri de bundan ibarettir. Nihayet esas metalin oksitleri, cüruf içersinde çözülebilir oldukları müddetçe, yayınma (dağılma) kanuna uygun olarak, esas metalden cürufun içersine doğru sevk edilirler. Böylece sıvı metalin oksitlerden arınmasına ulaşılır. Cürufun fiziksel koruyucu tesiri de budur. [9]

II.5.3. Kaynak İşlemi Esnasında Teşekkül Eden Oksitlerin Özellikleri

II.5.3.1. Demir Oksit (FeO)

Kimyasal etkisine göre alkali karakterli bir oksittir. Böylece asit karakterli oksitlerle, örneğin SiO₂ ile kompleks bileşikler yapar. Demir silikatlar (FeO.SiO₂) ve Titanyum oksit (TiO₂) ile de demir titanatlar (FeO. TiO₂) teşkil eder. [9]

Demir oksit esas metal olan demir içersinde çözülür ve pratik olarak demir içinde çözülmeyen kompleks bileşiklere geçirtilerek veya deokside edilerek (oksijene ilgileri, demirinkinden daha fazla olan elemanlarla yer değıştirme reaksiyonları) metal banyosundan uzaklaştırılabilir. [9]

II.5.3.2. Silisyum Dioksit (SiO_2)

Kimyasal yapısına göre SiO_2 kuvvetli asit karaktere sahip bir oksittir. Alkali oksitlerle kompleks bileşikler (silikatlar) teşkil eder ve bu onun cürufun bileşimine ait olduğu haldir. Erimiş halden, hal diyagramına göre Cristobalit olarak nitelendirilen bir modifikasyonda katılaşıır ve daha ileri soğutmalarda da Tridymit ve nihayet α -kuvars veya β -kuvars'ına dönüşür. Bu esas modifikasyonlardan başka, Cristobalit, Tridymit ve kuvarsın diğer monotrop modifikasyonlarının da teşekkül ettiği bilinmektedir. [9]

II.5.3.3. Mangan Oksit(MnO)

Mangan oksit (MnO) kaynak dikişinin katılaşmasından sonra, SiO_2 metalden ayrılmasını güçleştiren katı halde mevcut olabilir. Saf halde MnO kaynak metalinde çok nadir bulunur ve bu da arzu edilmez. Zira bu oksit metalin mekanik özelliklerini kötüleştirir. Ekseriya bazik bir karaktere sahip olan MnO , SiO_2 ile silikatlar ve S ile de sülfürleri meydana getirir. Manganezin ve oksijenin kükürdü bağlama kabiliyeti, onun en önemli özelliklerinden biridir. [9]

II.5.3.4. Alüminyum Oksit (Al_2O_3)

Alüminyum oksit (Al_2O_3) bileşik, serbest (α -Korund) veya çeşitli mineraller şeklinde doğada bulunur. Amfoter karakterli bir oksittir. Bazen de bazik karakterli bileşikler teşkil eder. Alüminyum oksidin teşekkülü ısısı $380\ 000 \pm 400$ kalori civarındadır. Yalnız yüksek sıcaklıklarla fark edilir bir şekilde dizsiasyona uğrayan gayet sağlam bir bileşiktir. Kaynak dikişindeki erimiş metal banyosunda, Al_2O_3 katı halde kalır. Gayet zor yüzeye çıkan ve ekseriya kaynak metali içersinde kalan çok dallanmış kristaller şeklinde teşekkül eder. Bu yüzden alüminyum oksit erimiş metalin temiz kalmamasına iştirak eder. [9]

II.5.3.5. Kalsiyum Oksit (CaO)

Kalsiyum oksitin erime sıcaklığı $2572 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ' dir. Eriyik halden kübik sistemin kristalleri halinde katılaşır. Birbirinden çok az fark edilen iki modifikasyon halinde bulunur. Kalsiyum oksitin teşekkül ısısı 15200 kaloridir. Tavlama sırasında, kendisinin yüksek ısı yayılmasına uygun olarak çok az dizsiasyona uğrar. Verilen bileşiğin erime sıcaklığı ne kadar yüksekse, soğuma esnasında o kadar çabuk katı hale geçer ve dağılmış faz olarak sıvı metal içerisinde kalır. Eğer Al_2O_3 ve TiN gibi çok zor eriyen bileşikler metal içerisinde teşekkül ederse, bunun büyük bir kısmı içeride karışık olarak kalır. [9]

Cüruf parçacıklarının, kaynak metalinin yüzeyine çıkış hızı üzerine, özgül ağırlığın büyük etkisi vardır. Sıvı çeliğe nispeten cürufun özgül ağırlığı ne kadar az ise, kaynak metalinin yüzeyine çıkma meylide o kadar fazladır. Eğer özel tedbirler alınmış ise, metalin kaynak işlemi sırasında çok değişikliğe uğradığı açıktır. [9]

Çelik kaynağında meydana gelen bazı oksit ve bileşiklerin erime sıcaklıkları ve özgül ağırlıkları Tablo II.7' de verilmiştir. [9]

Çelik içerisinde, yüksek kaynak sıcaklıklarında ve ark içerisinde de oksijenin mevcut olması halinde; C, Si, Mn, Cr ve diğer elemanlar oksitlenir ve bunların ağırlık oranları da önemli miktarda düşer. Bu arada demir de az veya çok miktarda oksitlenir ve meydana gelen FeO bilhassa kaynak metalinin özelliklerini büyük ölçüde kötüleştirir. [9]

II.6. BAZI ALAŞIM ELEMANLARININ KAYNAK BAKIMINDAN ÇELİKTEKİ TESİRLERİ

Genelde metalik malzeme kavramından anlaşılan malzemeler alaşımlardır. Bilimsel anlamda alaşımlar, en azından bir bileşenin metalik olduğu ve birden fazla elementin oluşturduğu metalik karaktere sahip malzemelerdir. Bu tanımdan da görüleceği gibi Fe ve metalik olmayan karbon atomlarının oluşturduğu malzeme olan çelik bir alaşımdır. Ancak teknik olarak bu yapıdaki bir çelik alaşım olarak adlandırılmadığı gibi özellikle alaşımsız çelik olarak adlandırılır ve hatta yapısında karbonun yanı sıra düşük oranda Mn içersede alaşımsız çelikler grubuna dahil edilir.[10]

Tablo II. 7 Çelik kaynağında meydana gelen bazı oksit ve bileşiklerin erime sıcaklıkları ve özgül ağırlıkları [9]

Oksitler	Erime sıcaklığı (°C)	Özgül ağırlık (g/cm ³)
FeO	1370	5,9
MnO	1600	4,7–5,5
SiO ₂	1710	2,3–2,6
Al ₂ O ₃	2050	3,9–4,0
Cr ₂ O ₃	----	5,0
FeO.SiO ₂	----	3,0
2MnO.SiO ₂	1285	3,6
2MnO.SiO ₂	1365	4,1
FeS	1193	4,6
MnS	1620	4,0
TiN	2900	--

Alaşımli veya alaşımsız tüm metalik malzemeler yapılarında ilave olarak metalik veya metalik olmayan (katışkı, inklüzyon veya yan maddeler) maddeler içerirler. Katışkı veya inklüzyonlar arzu edilmeyen yabancı atomlar olup, teknik veya ekonomik olanaksızlıklar nedeniyle malzemenin yapısında bulunurlar. Yan maddeler denilen yabancı maddeler, malzemenin üretimi sırasında malzeme yapısına geçmiş ancak varlıkları bir sakınca oluşturmeyen maddelerdir. Örneğin alaşımsız çelikler olarak tanımlanan çelik türünde malzemenin yapısında bulunan Mn (Mangan) yardımcı element rolü oynamasına karşın, miktarı arttıkça alaşım elementi ve nihayet Mn 'li çeliklerde alaşım bileşeni olarak etki eder. [10]

Alaşım elemanlarının bir kısmı bazı özellikler kazandırmak gayesi ile ilave edildiği gibi diğer bir kısmı da cevherden veya çeliğin üretimi sırasındaki işlemlerden gelen istenmeyen kalıntılardır. Çeliğe katılan alaşım elemanları iki ana gruba ayrılır. Bunlardan birincisine ferrit alanını ve ikincisine de östenit alanını genişleten elemanlar adı verilir. Birinci grupta: Cr, Al, Si, P, V, Mo, W ve ikinci grupta da: Mn, Ni, Co, N bulunur. [11]

II.6.1. Karbon (C)

C çeliğin mekanik özellikleri üzerine en büyük tesiri olan elemandır. % 0,1 C çekme mukavemetini 9 kg/mm₂ ve akma mukavemetini 4-5 kg/mm² arttırır. C' nun

artması sertliği yükseltmesine mukabil, sünekliği ve çentik darbe mukavemetini azaltır. C östenitte arayer katı eriyiği halinde bulunur ve azami erime kabiliyeti 1145°C’ de % 2 (ağırlık bakımından)’ dir. [11]

Ferritteki erime kabiliyeti ise çok düşüktür, 723°C’ de azami % 0,025 (ağırlık bakımından) olup, oda sıcaklığında ise hemen hiç erimez. Çelikte erimeyen karbon demir ile birleşerek sementit (demir karbür: Fe₃C) meydana getirir. C büyük ölçüde sertliği arttırdığından, martenzitin de sertlik ve gevrekliğim arttırır. C’ un kaynak kabiliyeti üzerine daima fena bir tesiri vardır. Bu yüzden kaynak bakımından karbonun mümkün mertebe az olması gerekir. [11]

II.6.2. Manganez (Mn)

Mn, Fe’den daha fazla Oksijen (O), S ve C’a karşı büyük bir affiniteye sahiptir. Çelikte Mn bulunduğu zaman, oksijen MnO meydana getirmek üzere reaksiyona girer. Fakat bu reaksiyonlar sonuna kadar devam etmez, (yani Mn ve O bitinceye kadar) bir müddet sonra denge hasıl olur ve bütün oksijenle birleşmez. Mn, S ile birleşerek MnS meydana getirir; bu çelikte erimez ve ufak fakat oldukça sünek cüruf kalıntıları şeklinde görülür. [11]

Kalan Mn bir dereceye kadar C birleşerek MnC teşkil eder ve kalan serbest manganez ferritte ikame katı eriyiği halinde bulunur. Çeliğe % 1 nisbetinde ilave edildiği zaman çekme ve akma mukavemetini 10 kg/mm² arttırır. Düşük karbonlu çeliklerde manganez ilavesi %1,6’ya kadar çıkar ve buda çentik darbe mukavemetini arttırır fakat, geçiş sıcaklığını düşürür. Mn çeliğin kritik soğuma hızını düşürür ve sertleşme kabiliyetini arttırır. Mn aynı zamanda çelikte yüksek sıcaklıklarda tane büyümesi meyilini de arttırır. Mn östenit sahasını genişletir ve dönüşme sıcaklığını düşürür. %12 den fazla Mn ilavesi çeliği tamamen östenit yapar ve malzeme oda sıcaklığında hiçbir magnetik özellik göstermez. [11]

II.6.3. Silisyum (Si)

Si çelikte östenit sahasını küçültür. %1,7 den fazla Si ihtiva eden Fe-Si alaşım tamamen ferritik bir yapıya sahiptir. C’unda hazır bulunduğu hallerde yapıyı ferritik hale sokmak için daha fazla miktarda silisyuma ihtiyaç vardır. Örneğin %0,1 C için %3,5 Si gereklidir. Çeliğe % 1 nispetinde Si ilavesi çekme ve akma mukavemetini 10 kg/mm² kadar arttırır. Si’un O ile birleşmeye büyük bir meyli vardır. Si, O ile birleştiği zaman, çeliğin yapısında ince cüruf kalıntıları arasında görülen SiO₂ hasıl

eder. Si sıvı çeliğe ingot kalıplarına dökülmeden evvel deoksidan olarak katılır. Gazı alınmamış çelik en fazla %0,1 Si ve gazı alınmış çelikte %0,1-1,0 Si ihtiva eder. [11]

II.6.4. Nikel (Ni)

Ni sıvı ve katı demirde tamamen erimiş vaziyette bulunur. Çeliğin mekanik özelliklerine tesiri manganezin ki kadar kuvvetli değildir. % 1 Ni ilavesi çeliğin çekme mukavemetini 4 kg/mm^2 artırır. Fe’de tamamen eriyen nikel oksit (NiO) veya karbürler getirmez. Ni diğer birçok alaşım elemanları gibi çentik darbe mukavemetini düşürmez; geçiş sıcaklığını düşürerek alçak sıcaklıklarda gevrekliği azaltır. Düşük alaşımlı çeliklerde nikel Cr’la beraber mekanik özellikleri geliştirmek için kullanılır. Birçok paslanmaz çeliğe Ni büyük miktarda ilave edilir. Ni aynı zamanda östenit alanını genişlettiğinden paslanmaz ve korozyona dayanıklı çeliklere oda sıcaklığında östenit yapı elde etmek için % 7’den fazla ilave edilir. [11]

II.6.5. Krom (Cr)

Cr ferrit alanını genişleten kuvvetli bir elemandır. %13 Cr ihtiva eden Fe-Cr alaşım tamamen ferritik bir yapıya haizdir. Cr’un mekanik özelliklere tesiri oldukça büyüktür. % 1 Cr ilavesi çekme mukavemetini $8-10 \text{ kg/mm}^2$ artırır. Sertlik de Cr ilavesi ile büyük miktarda artar. Az miktarda Cr tane büyümesini önler. Neticede Mn kullanılması halinde daha ince taneli bir içyapı elde edilir. Cr çeliğin ısıya dayanma mukavemetini artırır. Korozyona dayanıklı çeliklere ilave edilen en tanınmış alaşım elemanı kromdur. [11]

II.6.6. Molibden (Mo)

Az miktarda Mo mekanik mukavemeti yükseltir. Mo ilavesinin ısıya dayanma mukavemetini arttırmasından ötürü, özel bir önemi vardır. Yüksek sıcaklıklarda krip ve çekme mukavemetini artırır. Mo temper gevrekliğine mani olur. Paslanmaz çeliklerde korozyon mukavemetini artırır. Mo’in sertliğe tesiri oldukça büyüktür. [11]

II.6.7. Fosfor (P) ve Kükürt (S)

Bu elementler çeliğe nadiren alaşım elemanı olarak katılır. Fakat daima çelikte çok az miktarda gayri safiyat elemanları şeklinde bulunurlar. P’un çelikte

segregasyona ve bandlı yapıyı meydana getirmeye büyük bir meyli vardır. Bu ekseriye haddeleme istikametine paralel kesilmiş mikro deney parçaları üzerinde zengin perlit bandları arasında, tipik ferrit bandları şeklinde tezahür eder. Kükürt demirle birleşerek FeS meydana getirir ve çelikte erimez. Düşük ergime sıcaklığına sahip olan bu bileşik, çelikte segregasyona son derecede meyillidir. Bu ise sıcak çatlakların meydana gelme tehlikesini arttırır. S'ün ilavesi çeliği sıcakta kırılgan yapar ve kaynakta gözeneklerin teşekkülüne sebep olur. [11]

II.6.8. Oksijen (O) ve Azot (N)

O ve N gazları da havayı teşkil eden ana elemanlar olmasına rağmen, ekseriya çelikte istenmeyen elemanlar arasında bulunur. Çeliğe daha ziyade istihsalı veya kaynak esnasında girer. Tedbir olarak ya sıvı haldeki metale bu gazların temasını önlemek ya da kaynak metali veya çeliğin özellikleri üzerine yapacakları kötü tesirleri kontrol altında bulundurmak lazımdır. O çelikte kısmen oksit kısmen de katı eriyik halinde bulunur. Katı eriyik halinde bulunan oksijenin çekme mukavemetine, sertliğe ve sünekliğe (uzama ve büzülme) tesiri azdır. Çentik darbe mukavemeti üzerine tesiri büyüktür. Erimiş haldeki O miktarı arttıkça çentik darbe mukavemeti süratle düşer. [11]

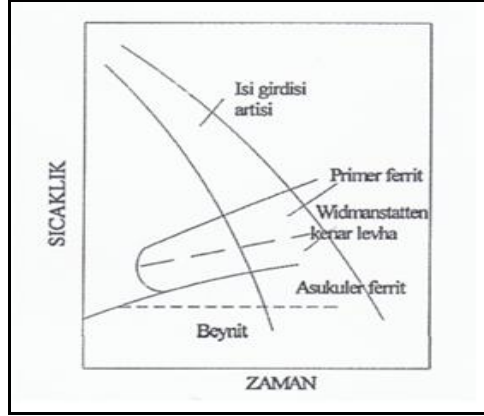
Katı eriyik halindeki N, kopma ve akma mukavemetlerini arttırır, fakat sünekliği azaltır ve çentik darbe mukavemeti üzerine tahrip edici bir tesiri vardır. Çelikte yaşlanma tesirleri örneğin zorlanma yaşlanması ve su verme yaşlanması katı eriyik halindeki N sayesinde olur. N gevrek kırılma tehlikesini büyük miktarda arttırır. [11]

II.7. MİKROYAPIYA TESİR EDEN FAKTÖRLER

II.7.1. Kaynak Soğuma Hızının Tesiri

Çelik kaynak metalinde 800-500°C arası soğuma süresi ($\Delta t_{8/5}$) süresine bağlı olarak farklı mikro yapılar meydana gelir. $\Delta t_{8/5}$ kadar çelik kimyasal bileşimi de final mikro yapıyı etkilediğini unutmamak gerekir. Genellikle $\Delta t_{8/5}$ 5 saniyeden az olursa mikro yapı martensit ve/veya beynit olur, $\Delta t_{8/5}$ 100 saniyeden fazla olursa poligonal ferrit ve perlit final mikro yapı olur. İki değerin arasında $\Delta t_{8/5}$ için mikro yapı çelik kimyasal bileşimine bağlı olarak yüksek miktarda asiküler ferrit hacim oranı elde edilir. $\Delta t_{8/5}$ süresine tesir eden faktörler kaynak

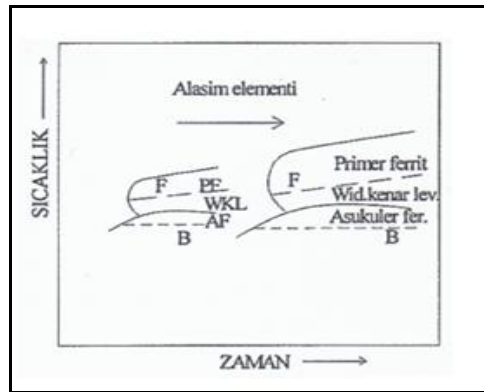
yöntemi, kaynak ısı girdisi, parça kalınlığı ve kaynak geometrisidir. Kaynak ısı girdisi arttıkça asüküler ferrit oranı azalır kaynak ısı girdisinin sürekli soğuma diyagramı üzerindeki tesiri Şekil II.7’de görülmektedir. Kaynak ısı arttıkça primer ferrit, widmanstatten kenar levhaları hacim oram artarken asüküler ferrit oranı azalır. [9]



Şekil II. 7 Kaynak ısı girdisinin kaynak metali sürekli soğuma diyagramı üzerindeki tesiri [9]

II.7.2. Kimyasal Bileşimin Tesiri

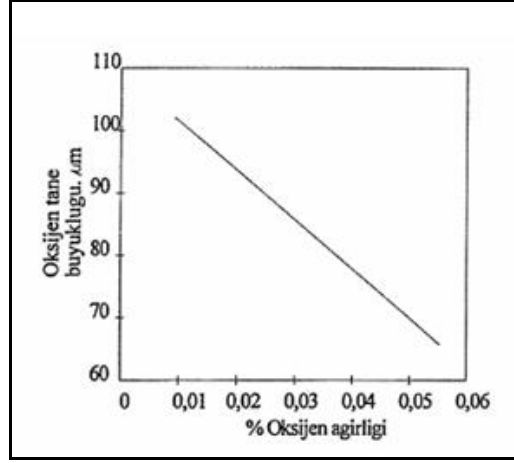
Kaynak telindeki alaşım elementleri oranı arttıkça çeliklerde sertleşme kabiliyeti artar. Alaşım elementlerinin soğuma diyagramı üzerindeki genel tesiri Şekil II.8’ de görülmektedir. [9]



Şekil II. 8 Kaynak metalinde alaşım elementlerinin S.S. diyagramı üzerindeki tesirleri [9]

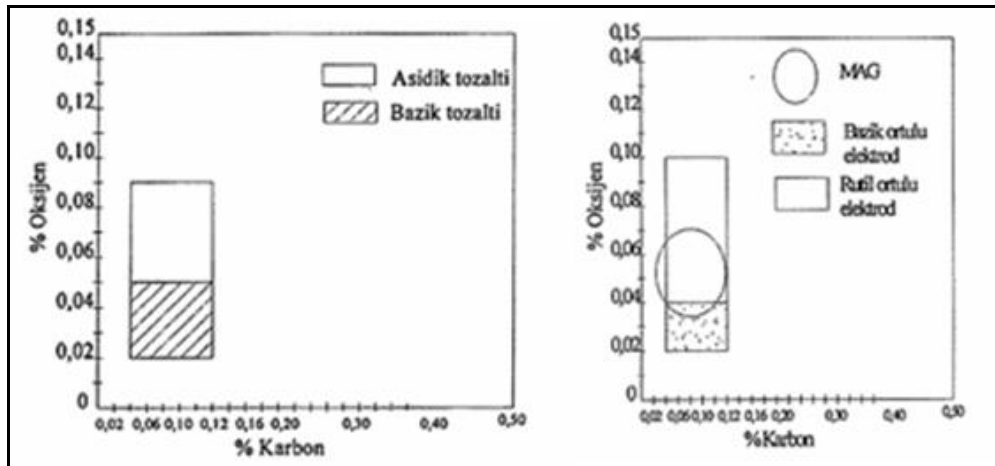
Kaynak metali katılaşıp soğurken östenit tanelerinin 1200°C gibi yüksek sıcaklıklarda kabalaşması gerçekleşebilir. Ancak kaynak metalinde çok sayıda ve küçük inklüzyonlar mevcuttur. Bu inklüzyonlar iğneleme tesiri yaparak östenit tanelerinin

irileşmesini engellemektedirler. Kaynak metalinde inklüzyon miktarı oksijen miktarına bağlı olduğundan Şekil II.9’de görüldüğü gibi östenit tane boyutu kaynak metali oksijen miktarı ile değişmektedir. [9]



Şekil II. 9 Kaynak metalinde oksijen oranına bağlı olarak östenit tane boyutunun değişimi [9]

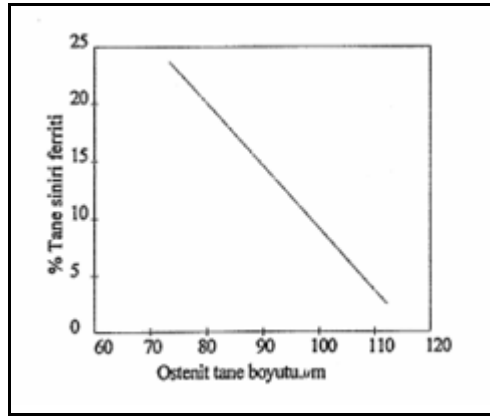
O ve dolayısıyla inklüzyon oranı arttıkça O tane boyutu küçülmektedir. Kaynak metalinin O miktarı kaynak yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Şekil II.10’da bazı kaynak yöntemlerinin de kaynak metalinde O oranını görmekteyiz. Inklüzyon oranı kadar kaynak ısı girdisi de östenit tane boyutunu etkiler. [9]



Şekil II. 10 Çeşitli kaynak yöntemlerinde kaynak metali oksijen oranının karbon miktarı ile değişimi [9]

II.7.3. İnküzyonların Tesiri

Tane boyutu östenitin faz dönüşümünde etkili olmaktadır. Şekil II.11’de görüldüğü gibi östenit tane boyutu küçüldükçe tane sınırı ferrit faz oram artar. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırının uzunluğu arttığından ferrit çekirdek ihtimali arttığından ferrit oranı artmaktadır. Kaynak metali oksijen oram çok az olduğu zaman (200–300 ppm) asiküler ferrit yerine beynit ve ferrit kenar levhalarının hacim oram artmaktadır. Oksijen oram azaldığında inklüzyon hacim oranı azaldığından asiküler ferrit çekirdeklenmesi gerçekleşmemektedir. [9]



Şekil II. 11 Östenit tane boyutuna bağlı olarak tane sınırı ferrit oranının değişimi [9]

II.8. MAG KAYNAK YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜK VE SINIRLAMALARI

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve eriyen bir tel elektrotla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrottan geçen kaynak akımının elektrotta oluşturduğu direnç ısıtması yoluyla üretilir. Elektrot çıplak bir tel olup, bir elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrot, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur.

Ergiyen elektrotla gazaltı kaynağı fikri 1920’lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948’den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Yöntem önceleri soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrotlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere

uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların(CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur.

Bu yöntemle ilgili diğer bir gelişme elektrotta meydana gelmiştir. Dolu tel yerine içi metal tozu ile doldurulmuş tüpten oluşturulmuş "özlü elektrotlar" geliştirilmiştir. Böylece, örtülü elektrotlardaki örtünün bazı görevlerini özü, çekirdek telinin görevini de özü saran çelik tüpün görmesi sağlanmıştır. [1]

Gazaltı kaynağında, ilerde görüleceği gibi, ark boyu kaynak makinesi tarafından kontrol edilir. Kaynakçıdan beklenen, gaz memesini kaynak banyosu üzerinde sabit bir yükseklikte tutarak (genellikle 20 mm) belirli bir hızda hareket ettirmesidir. Ark boyunun kaynak makinesi tarafından kontrol edilmesi nedeniyle bu yönteme “yarı otomatik” kaynak yöntemi adı verilmiştir. [1]

Otomatik kaynak yönteminde yukarıda açıklanana ek olarak gaz memesi de iş parçası üzerinde belirli bir hızda otomatik olarak hareket eder. Bu durumda kaynakçının kaynak işlemine fiili bir katkısı yoktur. Alaşımsız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, Al, Cu, Ti ve Ni alaşımları gibi ticari açıdan önemli tüm metaller uygun koruyucu gaz, elektrot ve kaynak değişkenleri seçmek şartıyla, bu yöntemle kaynak edilebilirler. [1]

II.8.1. MAG Kaynak Yönteminin Üstünlükleri

Yöntemin yaygın olarak kullanılması nedeni, doğal olarak sağladığı üstünlüklerden kaynaklanmaktadır. Bu üstünlükler aşağıda sıralanmıştır: [1]

- Ticari metal ve alaşımların tümünün kaynağında kullanılabilen yegâne eriyen elektrotla kaynak yöntemidir.
- Elektrik ark kaynağında karşılaşılan sınırlı uzunlukta elektrot kullanma problemini ortadan kaldırmıştır.
- Kaynak her pozisyonda yapılabilir. Bu tozaltı kaynağında mümkün değildir.
- Metal yığılma hızı elektrik ark kaynağına nazaran oldukça yüksektir.
- Sürekli elektrot beslenmesi ve yüksek metal yığılma hızı nedeniyle, kaynak hızları elektrik ark kaynağına nazaran yüksektir.
- Elektrot beslenmesinin sürekli olması nedeniyle hiç durmadan uzun kaynak dikişleri çekilebilir.

- “Sprey iletim” kullanıldığında, elektrik ark kaynağına nazaran daha derin nüfuziyet elde edilir. Böylece iç köşe kaynaklarında aynı mukavemeti sağlayan daha küçük kaynak dikişi çekmek mümkün olur.

- Yoğun bir cürufun mevcut olmayışı nedeniyle pasolar arası temizlik için sarf edilen zaman çok azdır.

Bu üstünlükleri yöntemi yüksek üretime ve otomatik kaynak uygulamalarına özellikle uygun hale getirilmiştir. [1]

Karbondioksit atmosferi altında yapılan MAG (Metal Aktif Gaz) Kaynak usulü geniş bir uygulama alanı bulmuş ve tozaltı kaynağına gittikçe büyüyen bir rakip haline gelmiştir. Özlü tel ile yapılan kaynak usulü de MAG ve MİG (Metal İnert Gaz) gibi bir çok otomatik ve yarı otomatik usullere rakip olmakta ve el ile yapılan ark kaynağından daha çok tercih edilmektedir. Gaz altında yapılan MAG kaynağında son on yıl içerisinde, artan nispette, endüstrimizin çeşitli alanlarında örneğin buhar kazanları, gemi inşaatı, çelik konstrüksiyon gibi alanlarında kullanılmaktadır. [12]

II.8.2. MAG Kaynak Yönteminin Sınırlamaları

Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi gazaltı kaynağının kullanılmasını zorlaştıran bazı sınırlamalar da mevcuttur. Bu sınırlamalar aşağıda sıralanmıştır: [1]

- Kaynak donanımı, elektrik ark kaynağına nazaran, daha karmaşık, daha pahalı ve bir yerden başka bir yere taşınması daha zordur.

- Kaynak torcunun elektrik ark kaynağı pensesinden daha büyük olması nedeniyle ve kaynak metalinin koruyucu gazla etkin bir şekilde korunması amacıyla torcun bağlantıya 10 ile 19mm arasında değişen yakın bir mesafeden tutulması gerektiği için bu yöntemin ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması pek mümkün değildir. [1]

Kaynak arkı koruyucu gazı bulunduğu yerden uzaklaştıran hava akımlarından korunmalıdır. Bu nedenle, kaynak alanının etrafı hava akımına karşı muhafaza altına alınmadıkça, yöntemin açık alanlarda kullanılması mümkün değildir. Göreceli olarak yüksek şiddete ısı yayılması ve ark yoğunluğu nedeniyle, kaynakçılar bu yöntemi kullanmaktan kaçınmaktadır. [1]

II.9. MAG KAYNAK DONANIMI VE KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR

II.9.1. MAG Kaynak Donanımı

II.9.1.1. Kaynak Torçları

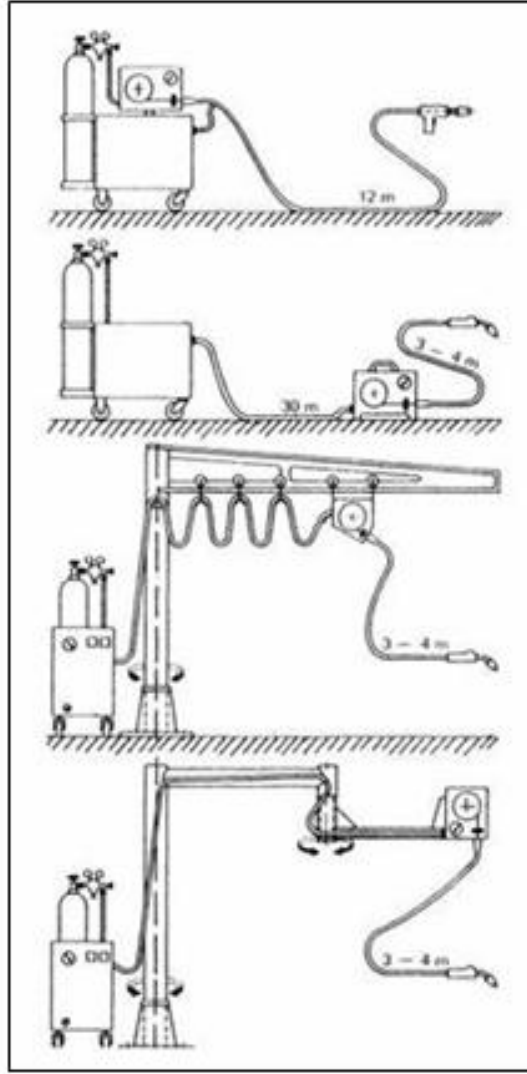
MAG yönteminde tel elektrot sürekli olarak ilerlediği için tele elektrik iletimi bir kontaktör ile sağlanır. Tel torcu terk etmeden biraz evvel bakır esaslı bir kontak lülesi içinden geçerken kaynak akımı ile yüklenir; bu kontak lülesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozül) bulunur ve bu lüle sayesinde, koruyucu gaz akımı laminar olarak (girdapsız olarak) kaynak bölgesine sevk edilir. [1]

Torcun ark sıcaklığından en fazla etkilenen parçaları gaz ve kontak lüleleridir; kontak lülesi, sıcaklığın yanı sıra hareket halindeki tele, kısa bir bölgede akımı ilettiğinden, yüksek bir akım şiddetinin ve kaynak banyosundan sıçrayan metal damlacıklarının etkisine de maruz kalmaktadır. [1]

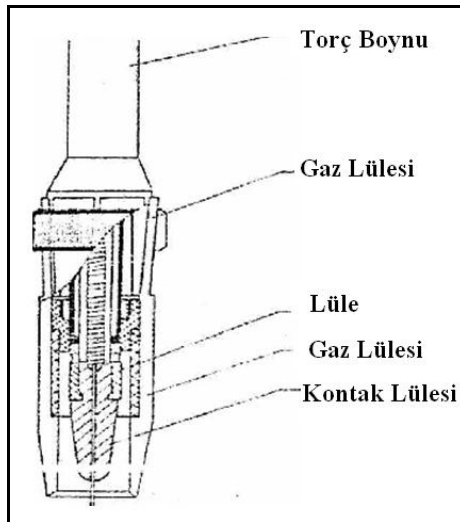
Yüksek sıcaklık aşınmayı artırarak telin geçtiği deliğin büyümesine ve dolayısı ile tele elektrik iletiminin zorlanmasına neden olur. Uygulamada, akım şiddetinin üst sınırlarında çalışılması halinde, kısa bir süre sonunda tel ilerleme hızında düzensizlikler görülmeye başlar. [1]

Bu telin aşırı ısınmış kontak lülesi içinde sürtünmesinin artmasından ortaya çıkmaktadır. Bu olay temas düzensizliğine yol açtığından arkın stabilitesini kaybetmesine, kaynaklı bağlantının da kalitesini yitirmesine neden olur. MAG kaynak donanımlarından bir kaçı ve Kaynak torcu uç kısmı kesiti sırası ile Şekil II.12 ve Şekil II.13' de gösterilmiştir. [1]

Kontak lüle malzemesi elektriği çok iyi iletmek ve aynı zamanda aşınmaya (Özellikle elektro-erozyona) dayanıklı olmak zorundadır. CuCr, CuCrZr, CuBe uygulamada çok sık kullanılmakta ve saf Cu tercih edilmektedir; günümüzde piyasada aşınmaya daha dayanıklı sinter tekniği ile üretilmiş CuTu, CuTuAg alaşımı kontak lüleleri de bulunmaktadır. Uygulamada lülenin iç çapının tel çapından takriben 0,2mm daha büyük olmasına müsaade edilir. Bu değer yumuşak tel elektrotları halinde daha da büyüyebilir. [1]

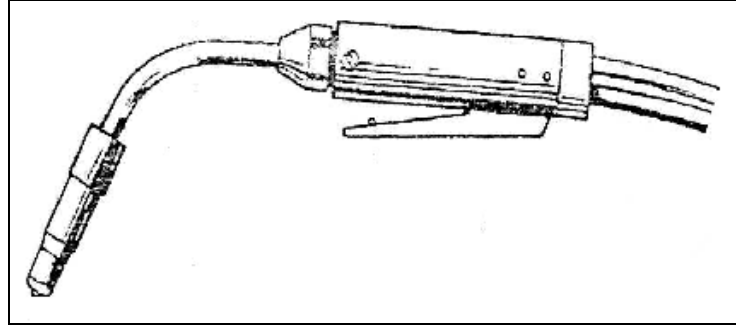


Şekil II. 12 Çeşitli tür MAG kaynak donanımları [1]

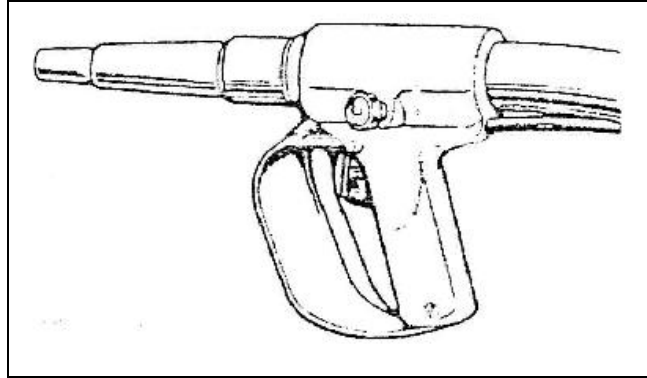


Şekil II. 13 Kaynak torcu uç kısmı kesiti. [1]

Kontak lülesinin kirlenmiş veya bozulmuş delikleri, aynen üfleçlerde olduğu gibi özel raybaları ile temizlenebilir ve iç çapı büyümüş lüleler daha büyük çaplı elektrotlar ile kullanılmak üzere rektifiye edilebilir. Kontak lülesi ile konsantrik olarak bulunan gaz lülesi de çalışma esnasında aşırı termik zorlamaya maraz kalan torç elemanlarındanr. Kaynak bölgesine gönderilen koruyucu gazın düzgün akımını sağlayan gaz lülesinin büyüklüğü, erime gücü ve kaynak hızına bağılı olarak değişir. Hava soğutmalı MAG Torcu ve MAG tabancası görünümüleri sırası ile Şekil II.14 ve Şekil II.15’ de gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 14 Hava soğutmalı MAG Torcu [1]



Şekil II. 15 Hava soğutmalı MAG tabancası [1]

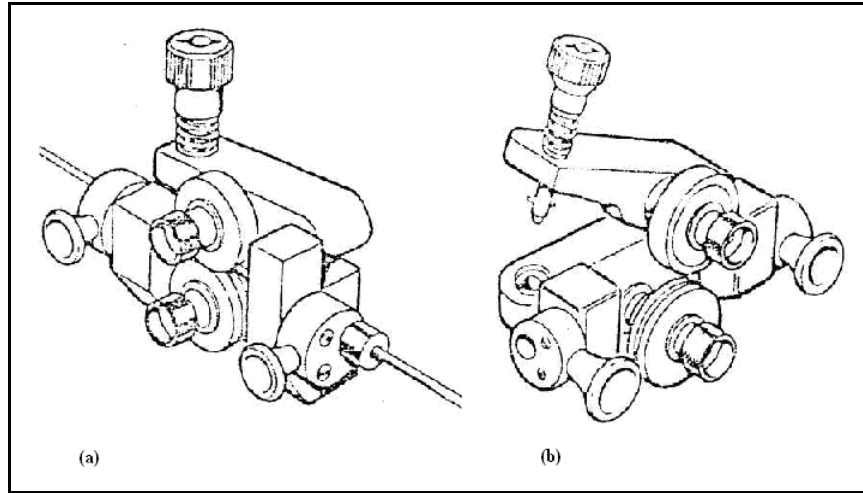
II.9.1.2. Torç Bağlantı Paketi

Torç kaynak makinesine, içinde tel elektrot kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın hortum ile irtibatlaşmıştır. Bu kalın hortuma torç bağlantı paketi adı verilir. Kullanılan tel elektrotun malzemesine göre çeşitli türde kılavuzlar kullanılır; bazı yörelerde bu kılavuzlara spiral veya gayd adı da verilir. Kılavuz, tel iletme tertibatından kontrol lülesine

kadar tel elektrotun sevk edilmesi görevini üstlenir. Al ve alaşımları, Cr-Ni paslanmaz çelikler için plastik hortum, alaşımsız ve alaşımlı çelik elektrotlar için ise çelik spiral şeklinde yapılmış kılavuzlar kullanılır. Kullanılan kılavuz hortumun çapı, elektrot çapına uygun olarak seçilir; uygulamada genellikle her kılavuz ile ancak iki bir birine yakın çaptaki teller kullanılabilir. [1]

II.9.1.3. Tel Sürme Tertibatı

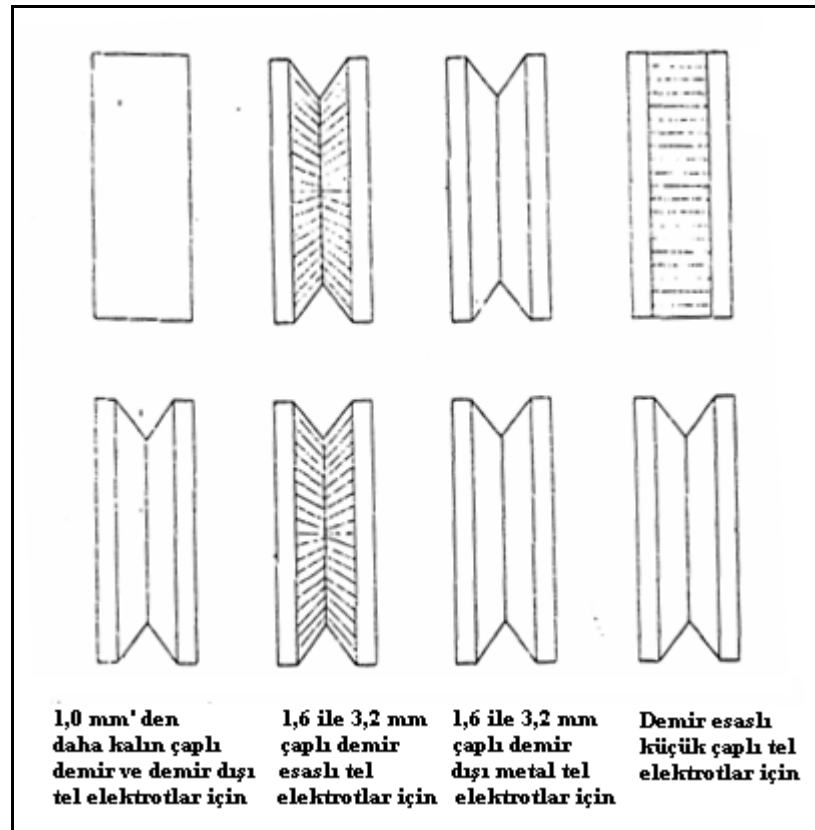
Tel elektrot sürme tertibatı, teli makaradan sağıp, önceden saptanmış bir hızla ark bölgesine gönderen bir mekanizmadır. Çalışma sistemlerine göre çekme, itme türü tertibatlar diye adlandırılırlarsa da prensip olarak çalışma bakımından bir birlerinden pek farkları yoktur. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir. Günümüzde daha çok bu ikinci sistem tercih edilmektedir. Tel sürme tertibatları (Şekil II.16) çalışma prensibi bakımından, rulolu tertibatlar (Şekil II.16 a) ve planet tertibatlar (Şekil II.16 b) olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. [1]



Şekil II. 16 Tel sürme tertibatları: (a) rulolu tertibatlar ve (b) planet tertibatlar [1]

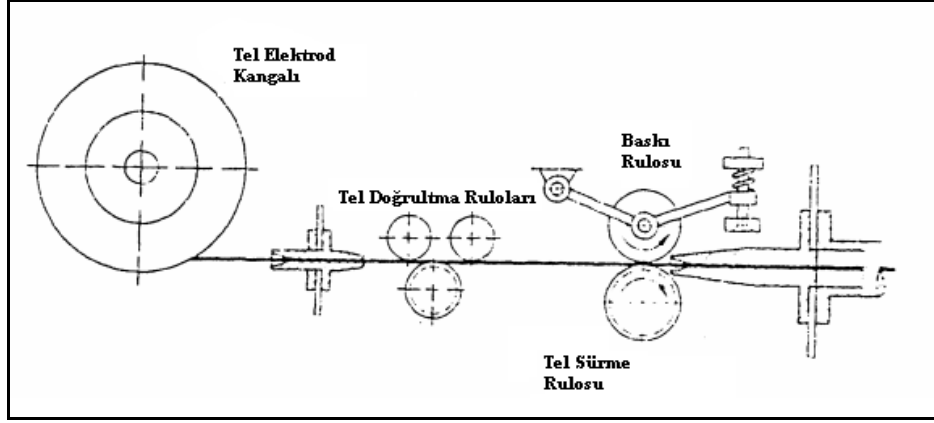
Rulolu tertibatlarda, tel iki veya dört rulo arasından geçer; bunlardan alt rulolar arzu edilen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönerler ve üzerlerinde tel çapına uygun bir kanal açılmıştır, üst rulolar avara döner bunların bazıları düz bazılarına da kanal açılmıştır. Kullanılan elektrotun sert olması halinde rulolara teli kaydırmamaları için tırtıllar da açılmıştır. [1]

Tel sürme tertibatında ruloların tel üzerine yaptıkları basıncın iyi ayarlanması ve tel türü çapına uygun biçimdeki ruloların kullanılması gereklidir. Tel makaradan sağılırken tam düz değildir ve bu şekilde tel kaynak bölgesine sevk edilirken, spiral kılavuz içinde sürtme yaptığından sürme tertibatını zorlar ve tel ilerletme hızının düzensiz olmasına neden olur ki bu olay da kaynak dikişinin kalitesini etkiler. Yumuşak malzemeden yapılmış kaynak telleri ile özlü elektrotlar halinde dört rulolu tel sürme tertibatıyla kullanılması daha iyi sonuç vermektedir. Bu halde rulo profilinin kalitesi ile rulo basıncının ayarı da büyük bir öneme sahiptir. Tel sürme tertibatlarında kullanılan rulolar Şekil II.17’de verilmiştir. [1]

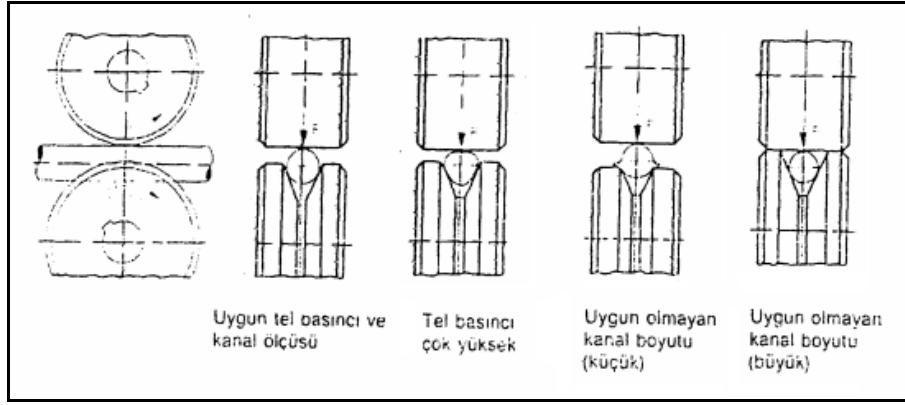


Şekil II. 17 Tel sürme tertibatlarında kullanılan rulolar [1]

Rulolu tel sürme tertibatlarının yegâne mahzuru makaradan sağılan teli tam olarak doğrultulamamasıdır. Doğrultulma işlemi iki rulolu ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması (Şekil II. 18) ile gerçekleştirilmektedir. Söz konusu mekanizmanın oluşturduğu rulo profilinin ve basıncının elektrot üzerine etkileri de Şekil II. 19’da gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 18 İki rulolu ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması [1]



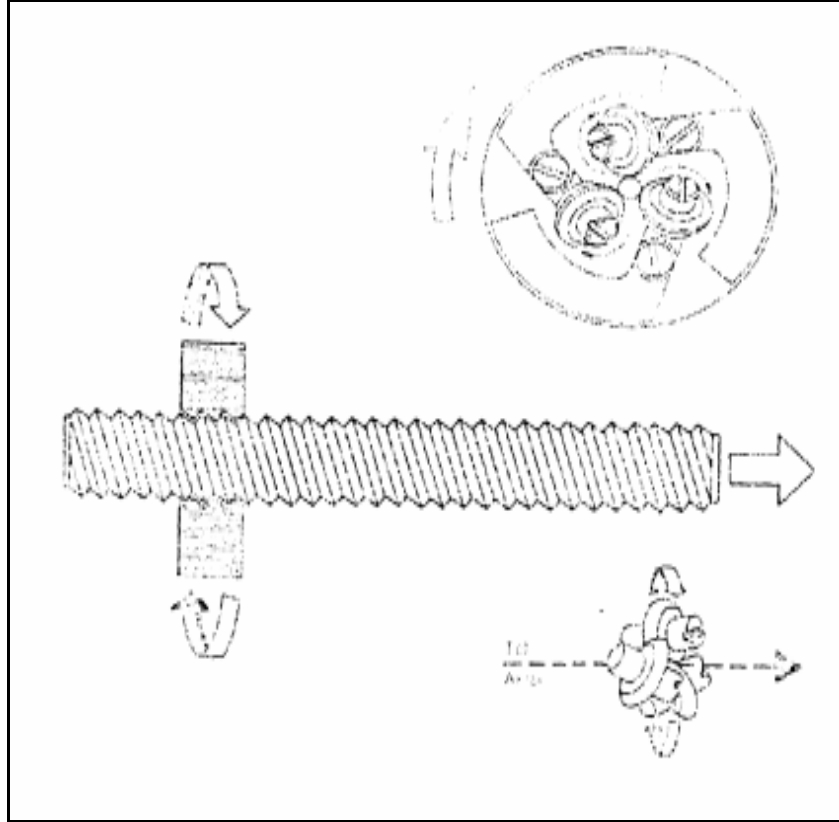
Şekil II. 19 Rulo profilinin ve basıncının elektrot üzerine etkileri [1]

Planet sistemi tel sürme mekanizmaları (Şekil II.20), teli çok iyi doğrulttuğundan, tel ile spiral kılavuz arasındaki sürtünme azalır ve dolayısı ile daha uzun hortumlar kullanmak mümkün olur; bu tertibatla hortum boyu 6m'ye kadar uzatılabilir. Yalnız bu sistem ince ve yumuşak metallerden yapılmış tel elektrotlar ile özlü elektrotlar için uygun değildir. Tel ilerlemesinin durması ile akımın kesilmesi sırasındaki süre (geri yanma süresi) telin ucunun biçimine farklı etkilerde bulunur (Şekil II.21). [1]

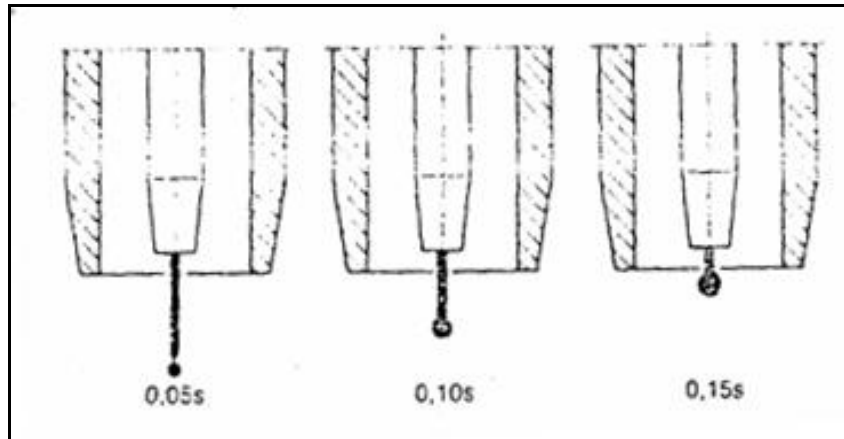
II.9.1.4. Kumanda Tertibatı

Gerekli ayarlar yapıp makinenin ana şalteri kapatılarak çalışmaya hazır hale gelince, kaynağa başlamak için yarı otomatik MAG makinelerinde torç üzerindeki düğmeye basmak yeterli gelir. Bu anda, önce ayarlanmış debide koruyucu gaz akımı başlar, kısa bir süre sonra ark oluşur ve ark oluşuktan çok kısa bir süre sonra tel sürme tertibatı devreye girer. [1]

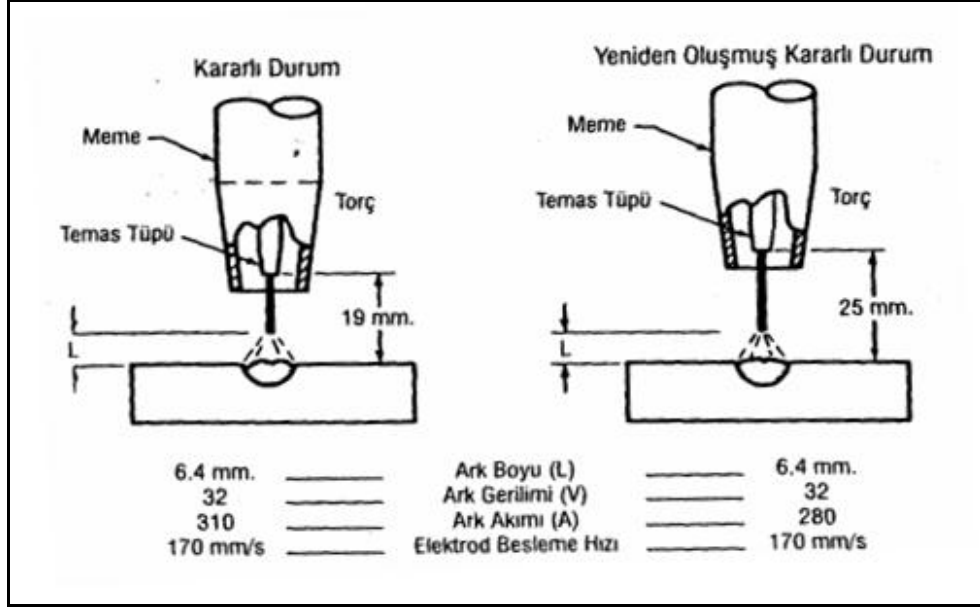
Kaynağa son verilmesi halinde ise bu sıralamanın tersi oluşur. Büyük güçlü makinelerde ayrıca soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışı da gene kumanda tertibatı tarafından gerçekleşir. Ark uzunluğunun otomatik ayarı (Şekil II. 22) kumanda tertibatı tarafından sağlanır. [1]



Şekil II. 20 Planet veya dönel tel sürme tertibatı şeması [1]



Şekil II. 21 Tel ilerlemesinin durması ile akımın kesilmesi sırasındaki sürenin (geri yanma süresi) telin ucunun biçimine etkisi [1]

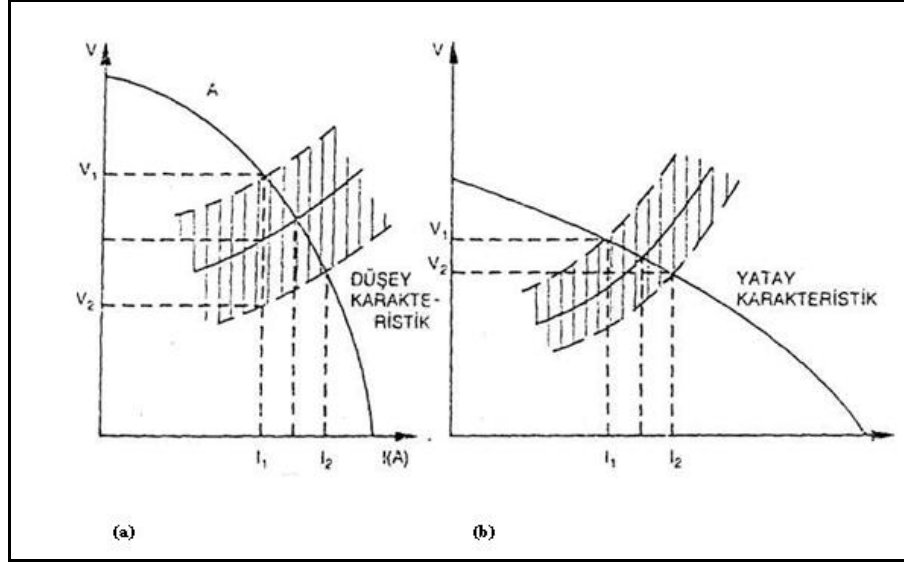


Şekil II. 22 Ark uzunluğunun otomatik ayarı [1]

II.9.1.5. MAG Kaynağı Akım Üreteçleri

MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin gerilim-akım(V-I) karakteristiği örtülü elektrot ile yapılan elektrik ark kaynağı ve tungsten inert gaz (TİG) kaynağında kullanılan akım üreteçlerinden çok farklıdır. Kaynak akım üreteçlerinde V-I karakteristikleri düşey karakteristik ve yatay karakteristik olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil II.23). MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiklidir; sabit gerilimli diye adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde; gerilimin tamamen sabit tutulması olmadığı gibi aynı zamanda da mahzurludur. Zira böyle bir üreteçte elektrot iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti sonsuz yükselecektir. Buda elektrot ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olur. Bu bakımdan bu tür kaynak akım üreteçlerinde her 100A için azami 7V kadar ark gerilimi düşümüne müsaade edilir; bu değer kaliteli üreteçlerde 2-5 V arasındadır. [1]

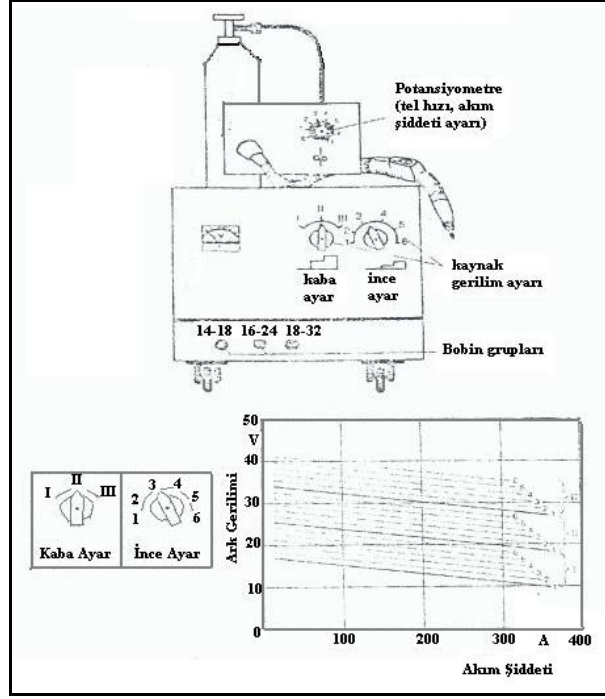
Bu tip kaynak akım üreteçlerinde iç ayar diye isimlendirilen ark boyu ayarı vardır. Bu tip üreteçlerde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Bu tür makinelerde tel ilerletme motoru, seçilmiş sabit bir devirde döner, yani diğer bir deyimle tel hızı sabittir. [1]



Şekil II. 23 Kaynak akım üreteçlerinde V-I karakteristikleri (a)Düşey karakteristik (b)Yatay karakteristik [1]

Günümüzde MAG kaynağında kullanılmak üzere genelde iki tür kaynak akım üretici imal edilmekte olup Şekil II.24’de örnek bir MAG akım üretici gösterilmektedir. Birinci tür, şantiyelerde, elektrik akımının bulunmadığı yerlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş, dizel veya benzin motoru tarafından tahrik edilen jeneratörlerdir. Bunlar genellikle gerektiğinde yatay ve gerektiğinde düşey karakteristik ile çalışabilecek tarzda dizayn edilirler ve bu şekilde bilhassa boru hatları kaynağında hem örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı ve hem de MAG yönteminde kullanılabilir. Bu özellik bilhassa boru hatları kaynaklarında büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Atölyelerde kullanılan akım üreteçleri ise bir transformatör ve bir redresörden oluşmuş paket cihazlardır. [1]

Günümüzde artık elektrik motoru ile tahrik edilen jeneratörlerin imali yok denecek kadar azalmıştır. Normal şebekeye bağlanan bu cihazların monofaze ve trifaze akım ile çalışanları vardır. Trifaze akımı ile çalışan ürteçler gerek daha kararlı bir kaynak arkı oluşturmaları ve gerekse de şebekeyi dengeli bir şekilde yüklemeleri nedeni ile tercih edilirler. [1]

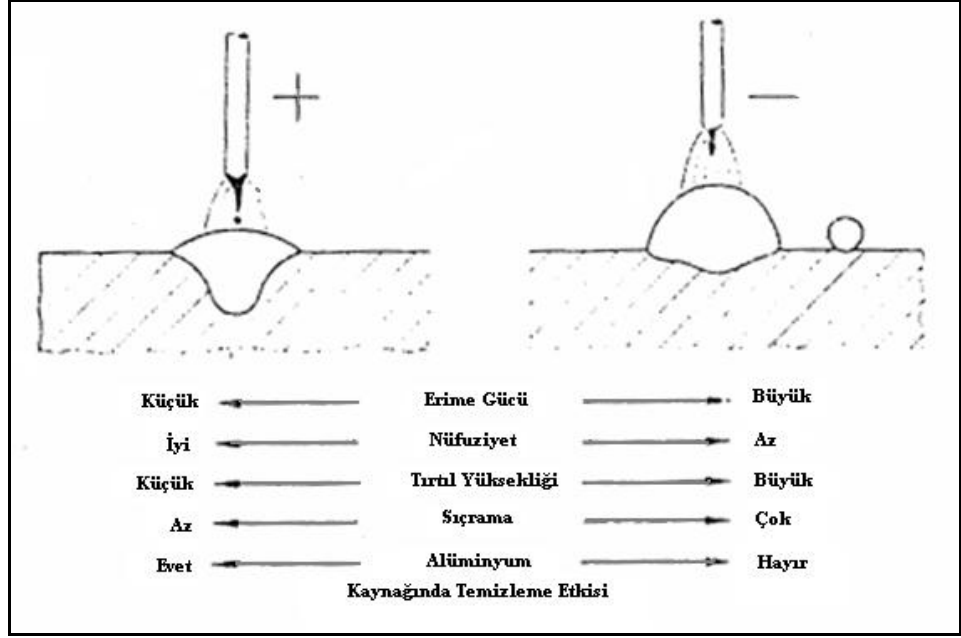


Şekil II. 24 MAG akım üretici ve ayarı [1]

Eriyen elektrot ile gazaltı kaynağında doğru akım ve yatay karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılır. Bilinen diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi doğru akımın kullanılması halinde elektrot pozitif veya negatif kutba bağlanabilir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağındı banyo üzerinde oluşan oksit tabakasının parçalanabilmesi için elektrotun muhakkak pozitif kutba (ters kutuplama) bağlanması gereklidir. [1]

Diğer metal ve alaşımların özellikle çeliklerin kaynağında her iki kutuplama türü de kullanılabilirse de çok daha derin bir nüfuziyet sağladığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir. Doğru kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olması gerekli olduğunda kullanılır. Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkileri Şekil II.25’de gösterilmiştir. [1]

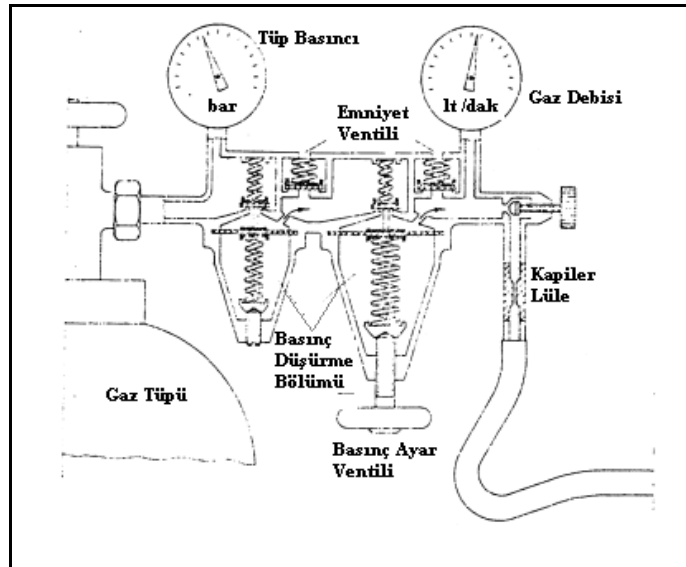
İyi bir nüfuziyetin, buna karşın parçaya kaynaktan olan ısı girdisinin sınırlı tutulmasının gerekli olduğu hallerde, darbeli doğru akım yöntemi uygulanır. Darbeli doğru akım (pulsed direct current) ile alternatif akımı bir birine karıştırmamak lazımdır; darbeli doğru akım halinde, seçilen akım şiddeti önceden saptanmış iki değer arasında, arzu edilen bir frekansta değişmektedir. [1]



Şekil II. 25 Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkileri. [1]

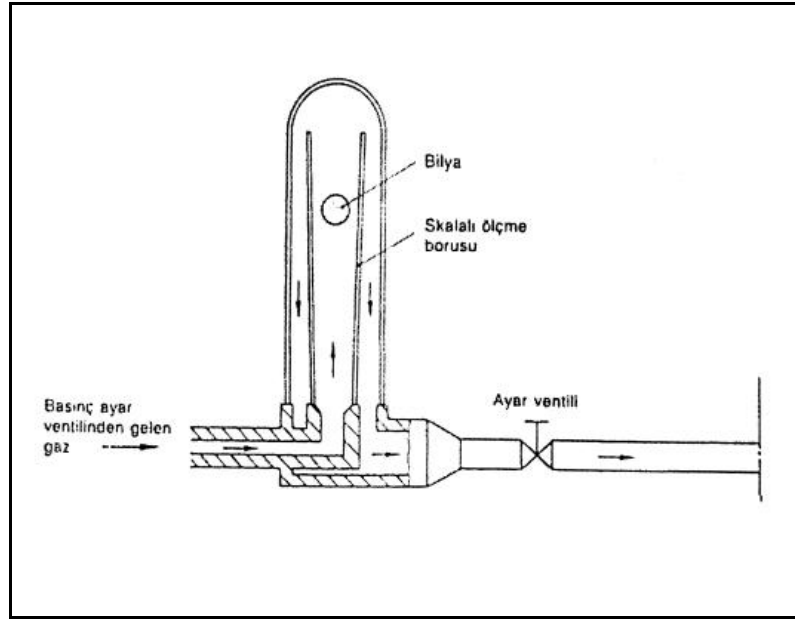
II.9.1.6. Koruyucu Gaz Tüpleri

Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması halinde, tüp içinde gaz sıvıdan buharlaşırken ortamdaki enerji çeker. Dolayısıyla tüpte ortaya çıkan sıcaklık düşmesi sonucu kuru buz diye adlandırılan CO₂ karı oluşur ve bu da ventili tıkar; sürekli olarak 12 lt/dak daha fazla debilerde CO₂ kullanılması veya kaynak işleminin soğuk iklimlerde yapılması hallerinde tüp çıkışına bir ısıtıcı konur. Gaz akımının kaynak esnasında açılıp kapanması tüpler ile değil, kumanda dolabında bulunan bir magnetik ventil (Şekil II.26) ile sağlanır. [1]



Şekil II. 26 Basınç düşürme ventili. [1]

CO₂ tüpleri içinde gaz sıvı haldedir ve bu bakımdan gaz tüpleri içindeki sıvı gazın ağırlığına göre 10, 20 ve 30 kg'lık olmak üzere sınıflandırılırlar. 1 kg sıvı CO₂ teknik olarak 540 litre koruyucu gaz oluşturur. Tüp ağızlarına gaz basınç ayar ventili diye isimlendirilen ve aynen oksijen tüpündeki tertibatı andıran bir düzenek takılır: bunun üzerinde tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini gösterir. Gaz debisi bu şekilde ölçülüp ayarlanabildiği gibi Şekil II.27' de gösterilen flovmetre denilen bir konik cam tüp içinde hareketli bir bilye bulunan aletle de yapılabilir. [1]



Şekil II. 27 Gaz debisi ölçümünde kullanılan akış ölçer (şematik) [1]

II.10. MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR

Gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tür sarf malzemesi vardır, bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir. Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi koruyucu gazın MAG yöntemlerinde ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gereklidir. [1]

MAG kaynağında inert ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımı kullanılır. Genel olarak asal gazlar, reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır. [1]

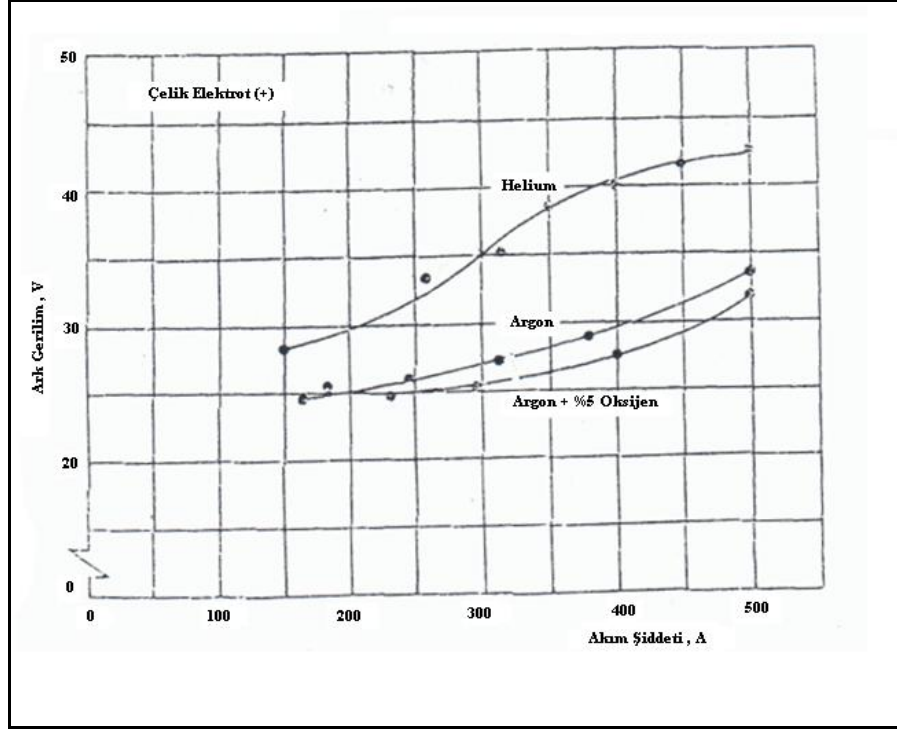
Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir[1]:

- Kaynatılan metal veya alaşımın türü,
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti,
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler.

II.10.1. Asal Gazlar

Asal gazlar, kabuklarındaki bütün yerlerin elektrotlar ile dolu olması, diğer bir deyişle dış kabuğun kapalı olması dolayısıyla diğer elementlerin atomları ile elektron alışverişinde bulunamazlar; yani kimyasal bir reaksiyon oluşturmazlar. Koruyucu gaz kaynağı yöntemlerinde, asal gaz olarak helyum ve argon kullanılır. Argon gazı içinde oluşan arkın gerilim düşümü diğer koruyucu gazlara nazaran daha azdır, ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması nedeniyle ark sütunu daha geniş sıcaklığı da özellikle dış kısımlarda düşüktür Sütunun merkezinde gerek metal buharları ve gerekse damla geçişi dolayısıyla sıcaklık daha yüksektir. Bu bakımdan argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişin merkezinde derin, kenarlarda azdır. Çeşitli asal gaz ve karışımı gaz atmosferlerinde oluşan ark gerilimleri Şekil II.28’de gösterilmiştir. [1]

Al ve Cu gibi metallerin kaynağı için uygun olan argon, çelikler halinde, ancak başka gazlarla karıştırılarak kullanıldığında iyi sonuçlar vermektedir. Helyum’un havadan çok hafif olması gaz sarfiyatını çok arttırmaktadır. Örneğin; yatay pozisyonda aynı şartlarda argonun yaptığı korumayı sağlamak için 3 misli helyuma gerek vardır. Helyum atmosferi ısıyı iyi iletmediğinden, bu gazın koruyucu gaz olarak kullanılması halinde derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Ark geriliminin düşümü de argona nazaran yüksek olduğundan, helyum atmosferlerinde oluşan kaynak arkı daha yüksek enerjilidir. Bu bakımdan ısıyı iyi iletken metallerin kalın kesitlerinin kaynağında ekstra ön ısıtma gerektirmez. [1]



Şekil II. 28 Çeşitli asal gaz ve karışımı gaz atmosferlerinde oluşan ark gerilimi. [1]

II.10.2. Karbondioksit (CO_2)

Karbondioksit renksiz, kokusu ve özgül ağırlığı $1,997 \text{ kg/m}^3$ olan bir gazdır. Havadan takriben 1,5 misli daha ağırdır. Basıncılı tüplerde kullanılır. Karbondioksit tüpleri 15°C 'de takriben 65 atmosferde doldurulur, Bu şartlarda tüpün ihtiva ettiği gaz sıvı haldedir. Kullanma sırasında sıvı haldeki karbondioksit gaz haline geçer. [1]

Karbondioksit kaynak işletmelerine genellikle tüp içinde getirilir, tüp içindeki karbondioksitin büyük bir kısmı sıvı halinde bulunur ve sıvının üst kısmında (tüpün 1/3) ise buharlaşmış karbondioksit gaz halindedir ve bu gazın basıncı düştükçe de sıvıdan buharlaşarak basıncı normale döndürür. Buharlaşma esnasında, tüp daima bir buharlaşma ısısına ihtiyaç gösterir. Bu bakımdan standart bir tüpten bir anda çok fazla gaz çekebilme olanağı yoktur. Zira buharlaşma ısının çekilmesi sonucu sıcaklık düşer ve sıvı karbondioksit zerrecikleri karbondioksit karına dönüşür, çıkış borusunu ve detandörü tıkar; bu bakımdan bir tüpten sürekli olarak 12 lt/dak'dan daha büyük debiler çekilmemesi gereklidir, sürekli olmamak koşulu ile bu değer 17 lt/dak'ya kadar çıkabilir. [1]

Tüp içinde karbondioksitin çok büyük bir kısmının sıvı halde bulunması nedeni ile hiçbir zaman bu tüpler eğik veya yatay durumda kullanılmamalıdır; karbondioksit tüpleri daima kullanma esnasında dik durumda tutulmalıdır. Birçok

MAG kaynağında, kaynak işlemi esnasında bir miktar alaşım elementi oksidasyonla kaybolduğundan, dikişin üzerinde çok ince bir cüruf tabakası oluşur ve bu da çok kolay bir şekilde kalkar. [1]

II.10.3. Karışım Gazlar

Ark atmosferinin karakteri, kullanılan çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir. He ve Ar karışımları korur ucu gaz olarak yukarıda belirtilmiş olan özellikleri karışım oranına göre gösterirler. Argon gazına az miktarda oksijen, çeşidi oranlarda CO₂ ilave ederek karışım gazlar elde edilir. [1]

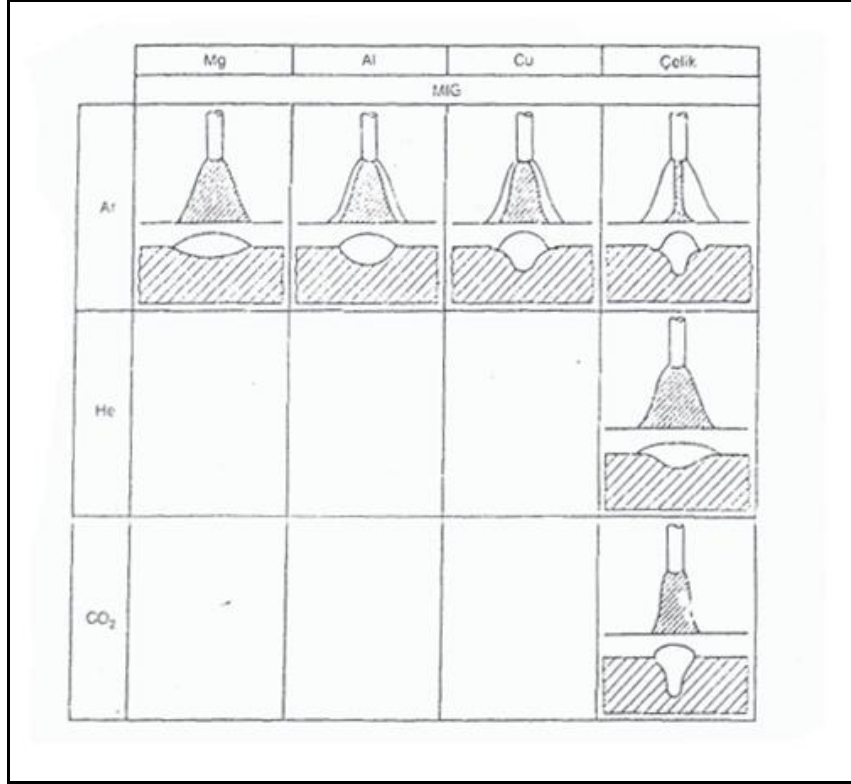
Argon, Helyum gibi asal gazların oluşturdukları ark atmosferinin nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karıştırılmasıyla ark atmosferine oksitleyici bir karakter kazandırılabilir. Hidrojen gazının karıştırılması halinde ise redükleyici bir gaz atmosferi oluşur. Koruyucu gaz tür ve bileşiminin kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi. Tablo II.8’de gösterilmiştir. [1]

Tablo II. 8 Koruyucu gaz tür ve bileşiminin kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi. [1]

Koruyucu Gaz	Tel Türü	Çekme Mukavemeti		Akma Mukavemeti		Uzama	
		A	Ü	A	Ü	A	Ü
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
%100 CO ₂	SG2	594	538	489	422	24,2	26,9
%100 CO ₂	SG3	586	562	455	435	26,8	25,6
%100 CO ₂	Cr-Mo	836	795	786	721	17,1	15,3
%100 CO ₂	İT	757	720	700	610	16,3	17,1

Argon’a oksijen veya karbondioksit gazlarının karıştırılması ile oluşan ekzoterm bir reaksiyon sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar, böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur. Ayrıca, koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin (Sprey ark) oluşmasına yardımcı olur. Oksijen, oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük bir

afinitesi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir. Argon, Helyum ve CO₂ atmosferinde oluşan ark ve dikiş formlarındaki farklılıklar Şekil II.30'da gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 30 Argon, Helyum ve CO₂ atmosferinde oluşan ark ve dikiş formu. [1]

II.11. MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE ELEKTROT SEÇİMİ

Eriyen elektrot ile gazaltı kaynak yönteminde en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrotun seçimidir. Bu kaynak yönteminde tel ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır, bu bakımdan elektrot seçiminde aşağıda belirtilmiş olan hususlar göz önüne alınmak zorundadır. [1]

Elektrot seçimini etkileyen en önemli faktör esas metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimidir. Esas metalin bu özellikleri bilinmediği zaman görünüşü, ağırlığı, magnetik özeliği ile kama testi, kırma ve kıvılcım testi gibi basit atölye testleri ile bu konuda bir fikir edilebilirse de, özellik gerektiren işlerde, kimyasal bileşimin muhakkak bir analiz ile saptanması gereklidir. Elektrot seçimi aşağıda belirtilmiş olan kriterler gözönünde bulundurularak yapılır. [1]

II.11.1. Esas Metalin Mekanik Özellikleri

Bu kritere göre elektrot seçimi, genellikle esas metalin çekme ve akma mukavemeti gözönüne alınarak yapılır: bazı hallerde, özellikle ferritik çelikler halinde malzemenin kırılma tokluğunun da (çentik-darbe mukavemeti) gözönüne alınması gereklidir. [1]

II.11.2. Esas Metalin Kimyasal Bileşimi

Esas metlin kimyasal bileşiminin bilinmesi, bilhassa renk uyumunun, korozyon direncinin krep dayanımının elektriksel ve ısı iletkenliğinin söz konusu olduğu hallerde gereklidir. Bunun yanı sıra çelikler halinde. ısının tesiri altında kalan bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağının önceden belirlenmesi bakımından da esas metlin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir. Genel olarak sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler halinde elektrot seçiminde, esas metalin kimyasal bileşimi en önemli faktördür. [1]

II.11.3. Koruyucu Gazin Türü

Koruyucu gaz olarak asal gaz veya karışımlarının kullanılması halinde bir yanma kaybı söz konusu değildir. Buna karşın bir aktif gaz, örneğin karbondioksit veya asal gaz+aktif gaz karışımı kullanılması halinde birtakım yanma kayıpları ile karşılaşılır. Daha önceden belirtilmiş olduğu gibi aktif gaz kullanılarak çeliklerin kaynatılması halinde az bir demir oksijen tarafından oksitlenir. Ortaya çıkan demir oksit de mangan ve silisyum tarafından redüklenir. Buradaki silisyum ve mangan kaybı elektrot tarafından karşılanmak zorundadır. [1]

II.11.4. Esas Metalin Kalınlığı ve Geometrisi

Kaynakla birleştirilecek olan parçaların, kalın kesitli olması veya karmaşık şekilli olmaları halinde, çatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gereklidir. Bu durumda sünekliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde elektrot seçilmelidir. Kaynaklı yapının aşırı düşük veya yüksek sıcaklıklarda, korozi ortamlarda çalışmasının gerekli olduğu hallerde, kaynak metalinin her bakımdan esas metalin özelliklerini aksettirmesi gereklidir. Ayrıca şartnamelerde kaynak metalinin bazı ilave özelliklere de sahip olması istenebilir. Bu husus da elektrot seçiminde çok önemli bir rol oynar. [1]

Günümüz endüstrisinde elektrot seçimini kolaylaştırmak gayesi ile çeşitli standartlar hazırlanmış ve özellikler sınıflandırılmıştır, gereksinimleri karşılayacak ve metal ile renk uyumu sağlayarak en iyi sonuçları verecek türde çok çeşitli tel ve özlü tel elektrotlar üretilmektedir. [1]

II.12. ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN ELEKTROTLAR

II.12.1. Alaşımsız Teller

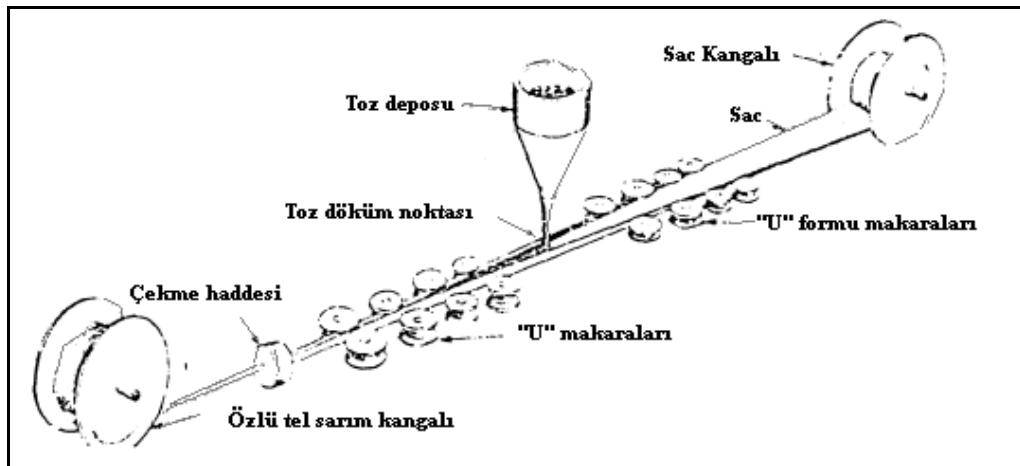
Bu tür teller yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılır, bunların bileşimlerini alaşımsız çeliklerden ayırt eden sadece mangan ve silisyum içeriklerinin bir miktar daha fazla olmasıdır. [1]

II.12.2. Alaşımlı Teller

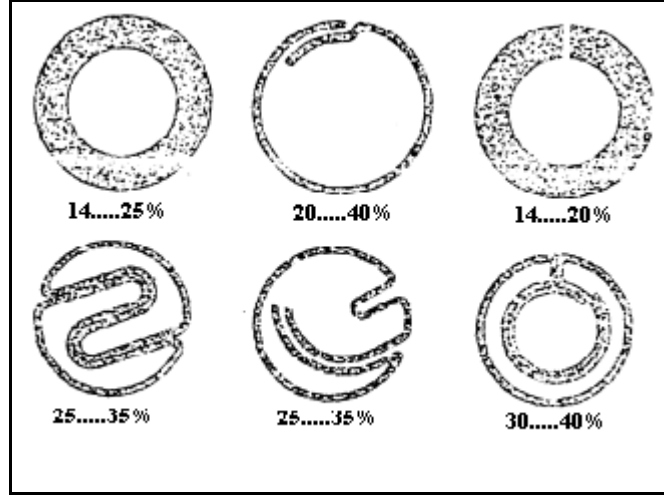
Bu teller özel bileşimde olup alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır. [1]

II.12.3. Kenetli Veya Özlü Teller

Bu tür tel elektrotlar, alaşımsız ince bir sac şeridinin boru haline getirilmesi veya bir lüleden geçilerek tel şeklinde çekilmesi sonucu elde edilmişlerdir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında bir dekapan ve ferroalaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin dezoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilir. Bu özlü tellerin sırasıyla üretimi ve çeliklerin kaynağında kullanılan özlü elektrotların kesitleri Şekil II.31 ve Şekil II.32’de verilmiştir. [1]



Şekil II. 31 Özlü tel üretimi (Şematik) [1]



Şekil II. 32 Çeliklerin kaynağında kullanılan özlü elektrotların kesitleri [1]

Dezoksidasyon, kaynak banyosundan bir elementin oksijenle birleşerek oksit oluşturup cürufa geçmesine denir. Oksijen dikişte gözenek oluşumuna neden olduğundan kaynak esnasında gerçekleşmesi çok önemlidir. Çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlara ilave edilen alaşım elementleri ve bunların etkileri aşağıda belirtilmiştir. [1]

Silisyum:

Çeliklerin eriyen elektrotla gazaltı kaynağında silisyum elektrot metalinde en yaygın kullanılan dezoksidasyon elementidir. Genelde, çelik gazaltı telleri %0,40 ile %1,2 arasında değişen bir oranda silisyum içerirler ve bu bileşim aralığında iyi bir dezoksidasyon özelliğine sahiptir. Silisyum içeriğinin yükselmesi sonucu kaynak metalinin sünekliğinin az bir miktar azalmasına karşın mukavemeti oldukça şiddetli bir artma oluşturur. Bu sınır değerinin üzerinde, silisyum miktarının artması kaynak dikişinin çatlama hassasiyetini artırır. [1]

Mangan:

Manganda silisyum gibi kaynak metalinin mukavemet özelliklerini geliştirilmesi ve kaynak banyosunun dezoksidasyonu için ilave edilir. Mangan içeriğinin artması kaynak mukavemetini silisyumdan daha fazla artırır. Aynı kaynak metalinin çatlama hassasiyetini de azaltır. Çeliklerin kaynağında kullanılan kaynak tellerinin magnezyum içeriği %1 ile 2 arasında değişir. [1]

Alüminyum, Titanyum, Zirkonyum:

Bu elementleri hepsi de çok kuvvetli dezoksidanlardır, kaynak teline %0,20'ye yakın ilave edildiğinde aynı zamanda mukavemeti arttırıcı yönde de etkirler. [1]

Karbon:

Karbon, çeliklerin yapısal ve mekanik özelliklerini diğer bütün alaşım elementlerinden çok daha şiddetli bir şekilde etkiler, bu bakımdan çelik kaynak tellerinde miktarı %0,05–0,12 arasında değişir. Bu miktar kaynak metalinin mukavemetini gerektiği kadar yükselttiği gibi süneklik ve tokluğuna da olumsuz yönde hissedilebilir bir etki yapmaz. [1]

Esas metal veya telde karbon miktarının artması, koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması halinde porozite oluşumuna neden olur; karbon miktarı artınca, banyoda CO₂ oluşarak karbon kaybı ortaya çıkar. Bu da gözenek oluşumuna neden olur, bu olay dezoksidasyon elementlerinin ilavesi ile önlenir. [1]

II.12.4. İnce Taneli Yüksek Mukavemetli Yapı Çelikleri İçin Elektrot Seçimi

HSLA (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli çelikler) çeliklerinde ve yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde ilave metal kaynak kabiliyetinin yeterli olmasını sağlamak şartıyla esas metalin mukavemetine eşit bir mukavemet sağlayacak şekilde seçilir. Çatlamaya eğilim uygun bir ilave metal kullanımını gerekli kılar. Kaynak şartları öntavlamaya ve kaynak sonrası tavlamaya imkân veriyorsa elektrot seçimi kritik değildir. Aksi halde kritiktir. [13]

Bu çeliklerin ark kaynağında kullanılan ilave metaller aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar;

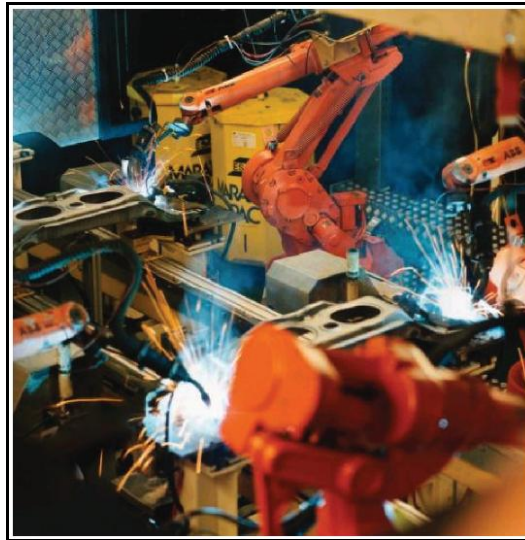
- Düşük karbonlu çelik
- Alaşımli çelik
- Yüksek alaşımli çelik

Esas metalin karbon içeriğinin çok az olduğu haller dışında ilave metalin karbon içeriği esas metalinkinden daha fazla olmamalıdır. Aksi halde çatlamaya eğilim gereksiz yere artacaktır. Genellikle ilave metalin karbon içeriği esas metalden azdır. Kaynak metali ile esas metalin mukavemetleri arasında yeterli uygunluk ilave metalin karbon içeriği esas metalinkinin yarısı kadarken sağlanır. [13]

Bu eliklerde kaynak metaline, esas metalin mikro alaşımlarının karışması, özellikle kök pasosunda, kaynak metalinin çatlamaya eğilimini ITAB'dan daha yüksek hale getirir. Kaynak dikişinin küçük keside sahip olması gerilmelerin burada daha yüksek olmasına neden olur; bu durum ise çatlamaya eğilimi arttırır. Dikiş çatlaması daha sonraki kaynak dikişlerini vakit kaybetmeden çekmek suretiyle azaltılabilir. [13]

II.12.5. MAG Tellerindeki Teknolojik Gelişim

Uzun süredir, MAG Kaynağında bakır kaplanmış masif tellerin kullanılması standart bir uygulama olmuştur. Birçok kullanıcı bilir ki, bakır kaplamalı tellerde, üreticilerine göre, büyük kalite farklılıkları vardır. Mekanize ve robot uygulamalarında, tellerin, özelliklerine göre, kaynak maliyetlerine muazzam bir etkisi olabilmektedir. Yüksek kalitedeki bir telden beklentiler, kararlı bir ark oluşumunun sağlanması, ark sırantılarının minimum seviyede kalması ve bilhassa mükemmel besleme özelliklerine sahip olması şeklindeyir. Besleme kalitesi, birçok bakır kaplı telin zayıf noktasıdır. Kaynak esnasında, tel yüzeyinden kopan serbest bakır parçacıkları, tel sürme makarasında birikir. Bu noktada, tel ile makaralar arasında sürtünme oluşur. Eğer bu bölgede düzenli temizlik yapılmazsa, bu sürtünme, kusurlara ve çalışma hızında azalmaya neden olur. Dolayısıyla bakır kaplamanın çekirdeğe yapışma özelliği, bakır kaplama tellerin kalitesini belirleyen bir faktör olmuştur. Bakır kaplamasız MAG tellerin otomotiv endüstrisindeki uygulaması şekil II.33'de gösterilmiştir. [14]



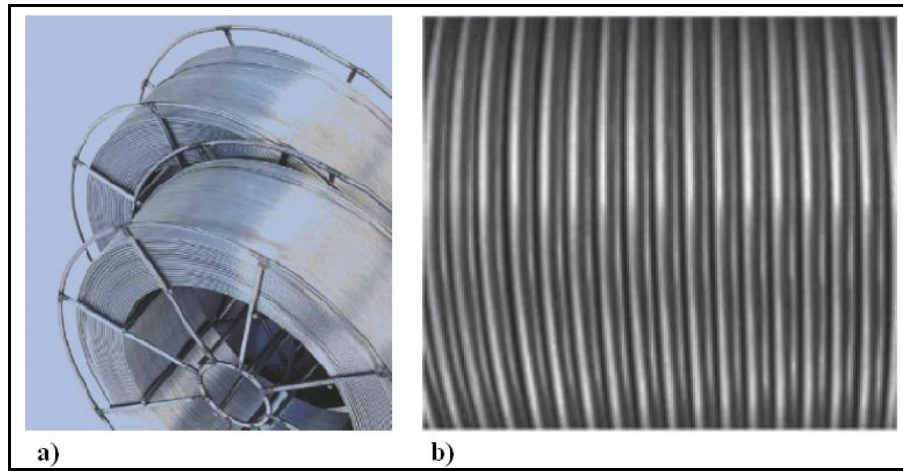
şekil II. 33 Bakır kaplamasız MAG tellerin otomotiv endüstrisindeki uygulaması[14]

MAG kaynağını yeni performans seviyelerine taşımak için, yeni bir MAG kaynak teli geliştirilmiştir. MAG teli üretim teknolojisinde büyük bir ilerleme sağlanarak, ASC (Advanced Surface Characteristics) Geliştirilmiş Yüzey Karakteristiği teknolojisi ile mekanize ve robot kaynağı için, üstün özellikler sağlayan, yeni nesil çıplak MAG telleri (*OK AristoRod™*) üretilmiştir. [14]

Avantajları

- Çok yüksek kaynak • akımlarında, çok kararlı ark
- Çok düşük düzeyde sıçranı
- Kusursuz başlangıç özelliği
- Yüksek tel hızında ve uzun besleme mesafelerinde sürekli ve sorunsuz besleme
- Teldeki korozyona karşı geliştirilmiş koruma.
- Düşük duman oluşumu (Dumadaki bakır miktarı) Şekil II.34 a
- Kontak meme kullanımında azalma Şekil II.34 b

Şekil II.34 b’ de görülen bakır kaplamasız tel yüzey profil resmi, tropik koşullar altında 10 gün testten sonra alınmıştır. ASC teknolojisi ile üretilen bu yüzey profili sayesinde telin korozyon dayancı, en iyi bakır kaplı tel ile aynı seviyededir. [14]



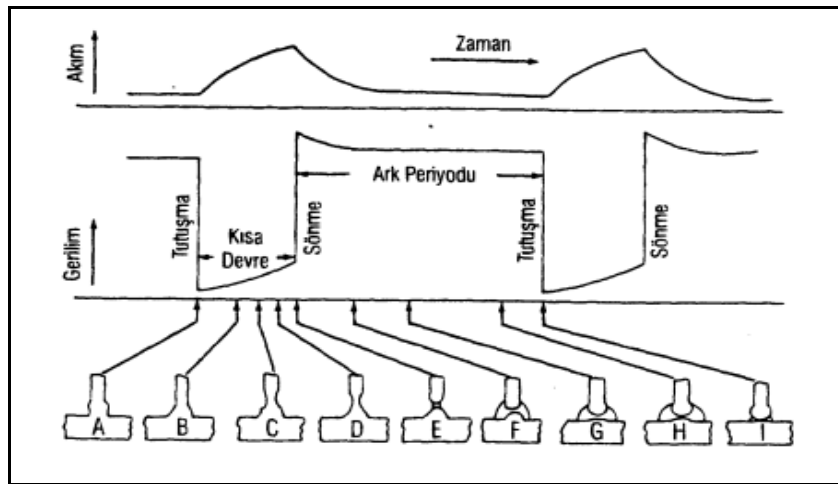
Şekil II. 34 (a) Bakır kaplamasız MAG teli (b) Bakır kaplamasız telin test sonrası yüzey profili [14]

II.13. ARK TÜRLERİ

II.13.1. Kısa Devre İletim (Kısa Ark)

Kısa devre iletimi, gazaltı kaynağındaki en düşük kaynak akımı aralığında ve en küçük elektrot çaplarında gerçekleştirilir. Bu tip bir iletim ince kesitlerin birleştirilmesi için, pozisyon kaynağı için ve büyük kök açıklıklarını birleştirmeye uygun olan küçük ve hızla katılaştan bir kaynak banyosu oluşturmak için kullanılır. Metal, elektrottan iş parçasına, sadece elektrot kaynak banyosu ile temas halinde olduğu sırada iletilir. Ark aralığı boyunca herhangi bir metal iletimi olmaz. Elektrot iş parçasına saniyede 20 ila 200 kez temas eder. Metal iletiminin düzeni ve bu sıradaki gerilim ve akım değeri Şekil II.35'te gösterilmiştir. [15]

Elektrot kaynak banyosuna temas edince, kaynak akımı artar (Şekil II.35'te A, B, C, D). Tel ucundaki erimiş damla D ve E safhasında daralarak telden iş parçasına geçer ve E ve F'de gösterildiği gibi ark yeniden oluşur. Akımın artma hızı elektrotu ısıtmaya ve metal iletimi sağlamaya yetecek kadar yüksek, ancak metal damlasının şiddetli ayırmasının neden olacağı sıçramayı en az düzeyde tutacak kadar düşük olmalıdır. Akımın artma hızı güç ünitesindeki endüktansın ayarlanması ile kontrol edilir. En uygun endüktans ayarı hem kaynak devresinin elektrik direncine hem de elektrotun erime sıcaklığına bağlıdır. Ark oluşuktan sonra elektrot yeni bir kısa devre oluşturmak üzere ileri doğru beslenirken elektrotun ucu erir. [15]



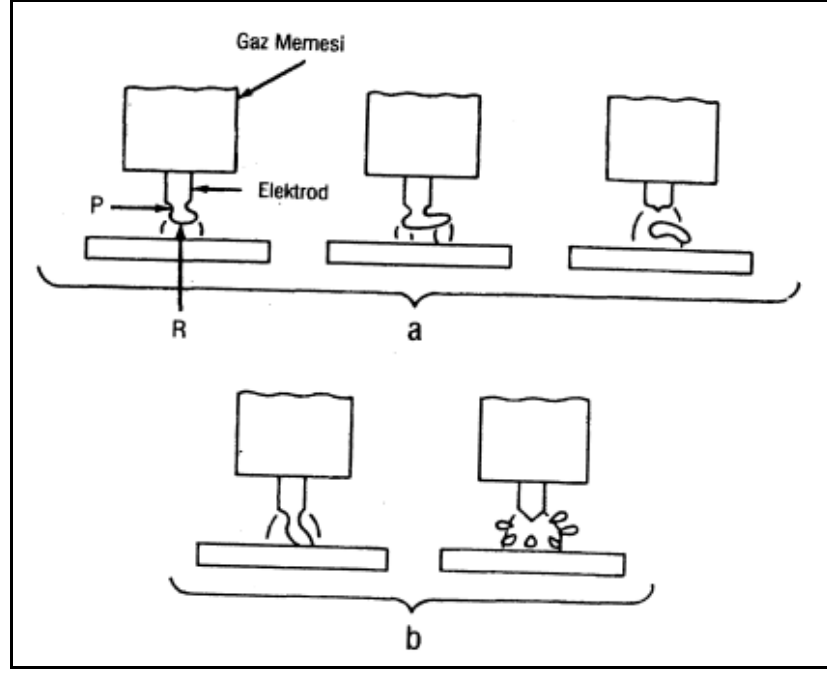
Şekil II. 35 Kısa devre metal iletimi.[15]

Elektrot ucundaki erimiş metal damlasının esas metale temasını önlemek amacıyla güç ünitesinin açık devre gerilimi düşük tutulur. Arkı sürdürmek için gerekli enerjinin bir kısmı kısa devre sırasında endüktörde depo edilen enerjiden sağlanır. Metal iletiminin kısa devre sırasında oluşmasına rağmen koruyucu gazın cinsinin erimiş metalin yüzey gerilimi üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Koruyucu gaz bileşiminin değişmesi damla çapını ve kısa devre süresini ciddi biçimde etkiler. Buna ilave olarak, koruyucu gazın tipi arkın çalışma karakteristiğini ve esas metale nüfuziyeti etkiler. Karbondioksit soy gazlarla kıyaslandığında, genellikle daha fazla sıçrama oluşturur. Ancak CO₂ daha derin nüfuziyet de sağlar (Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında). Nüfuziyetle sıçrama arasında iyi bir denge oluşturmak için genellikle CO₂ ve argon karışımı kullanılır. Argona helyum ilavesi demirdışı metallerde nüfuziyeti arttırır. [15]

II.13.2. Uzun Ark (Globüler Metal Taşınımı)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrotun uç kısmında erime başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve elektrot çapını aştıktan sonra elektrottan kopar ve yerçekimi yardımı ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer. Yüksek gerilim kullanarak yapılan kaynakların yetersiz erime, yetersiz nüfuziyet ve aşırı dikiş taşması nedeniyle reddedilme olasılığı yüksektir. Bu ise iri damla iletiminin kullanımını büyük ölçüde sınırlar. Kaynak akımı kısa devre iletimi için kullanılan akım aralığından oldukça yüksekse, karbondioksitle koruma tesadüfi şekilde yönlenmiş iri damla iletimine neden olur. Eksenel iletim hareketinden sapmaya, kaynak akımının oluşturduğu ve erimiş elektrot ucuna etki eden elektromanyetik kuvvetler neden olur (Şekil II.36). Bu kuvvetlerin en önemlileri elektromanyetik büzme kuvveti (P) ile anot reaksiyon kuvveti (R) dir. [1]

Büzme kuvvetinin şiddeti kaynak akımına ve elektrot çapına bağlı olup bu kuvvet elektrot ucundaki erimiş damlanın telden ayrılmasından sorumludur. Ark geriliminin yüksek olması nedeni ile burada ark boyu uzundur ve dolayısı ile normal halde damla banyoya intikal ederken kısa evre oluşumu nadirdir. [1]



Şekil II. 36 Eksenel olmayan iri damla iletimi[1]

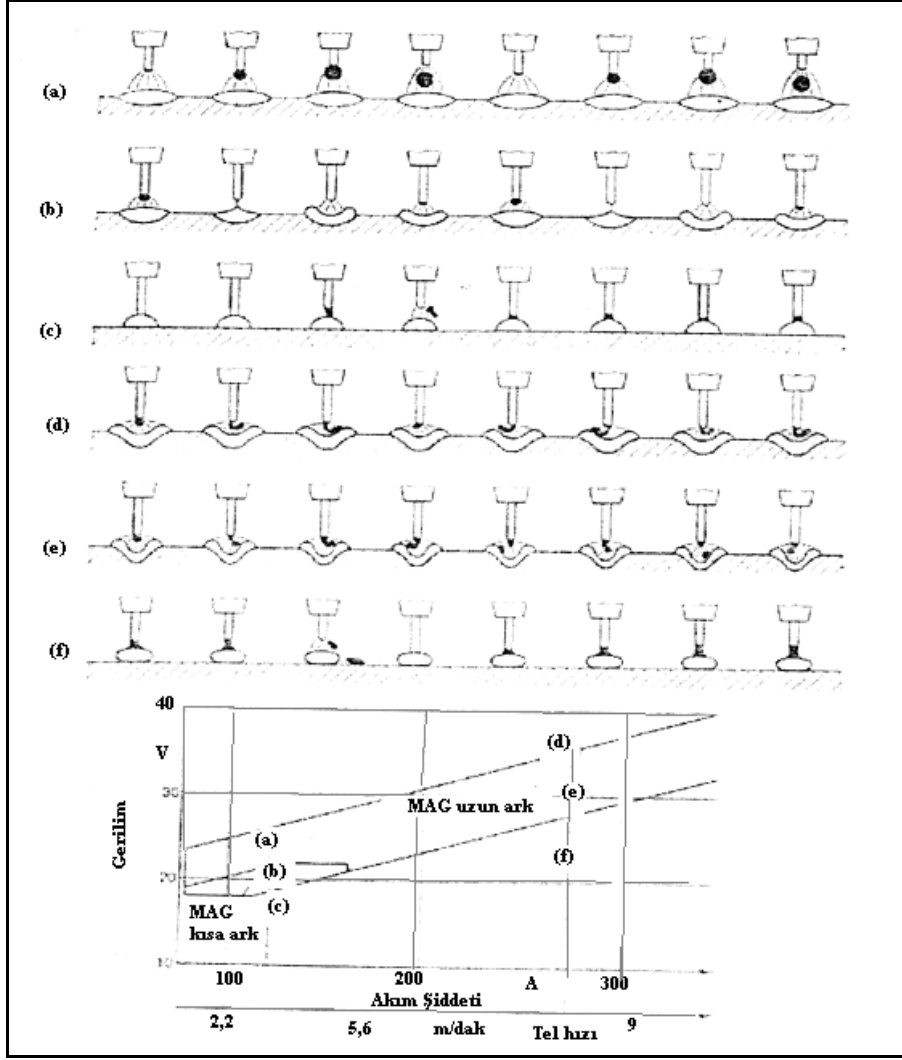
Bu tür ark hemen hemen bütün kullanılan koruyucu gazlar ile ortaya çıkar, yalnız CO₂ haricindeki gazlarda bu ark ancak çalışma bölgesinin alt kısımlarındaki değerlerde görülür. Buna karşın CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen her çalışma bölgesinde damlasal metal taşınımı görülür(Şekil II.37). Damlaların iri olması ve metalin kaynak banyosuna yerçekimi ile taşınmasından ötürü bu yöntemde tavan kaynağı yapmak zorlaşır. Damlasal metal taşınımı halinde ark stabile değildir ve sıçrama miktarı fazladır. [1]

II.13.3. Sprey Ark

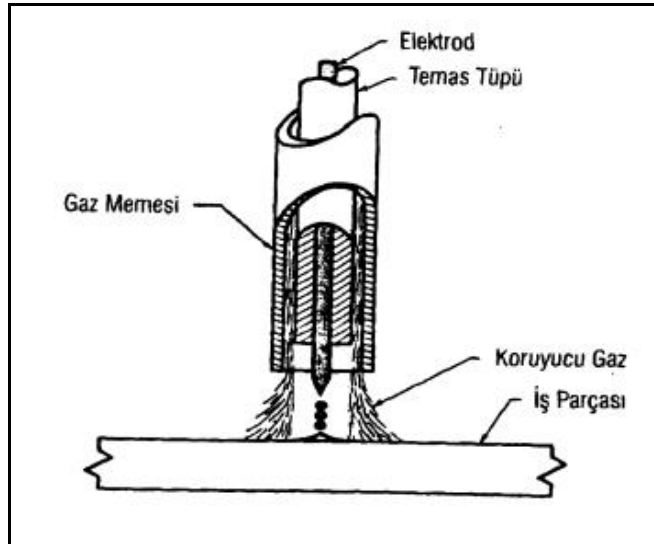
Kaynak metalinin iş parçasına duşlama şeklinde geçişi, sprej ark halinde görülür. Kaynak metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrot ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlalar halinde geçişi ile gerçekleşir. [1]

Damlacıklar tel çapından çok küçüktür ve telden uzun ark halinden çok daha süratle ayrılırlar. Damla sayısı saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir. Sprej ark genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi kullanıldığında ortaya çıkar. [1]

Argonca zengin gaz korumasında kararlı, sıçramasız “ eksenel sprej ” tipi bir iletim elde etmek mümkündür (Şekil II.38). [1]

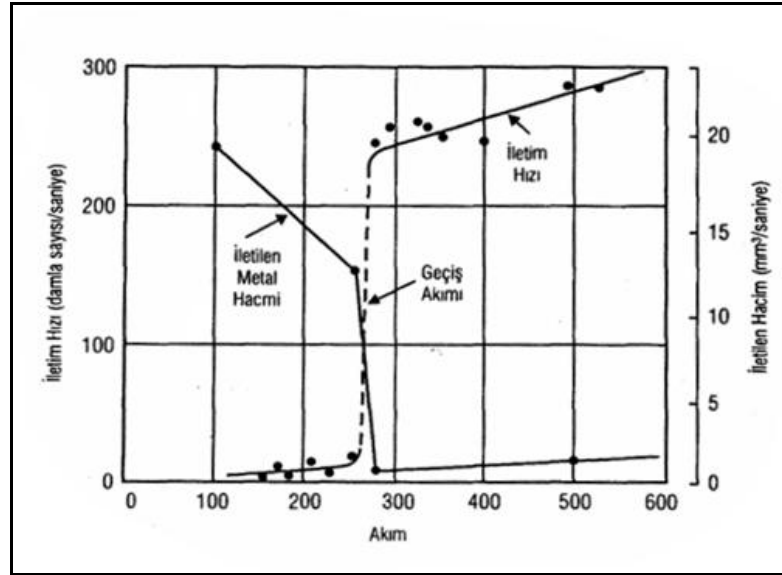


Şekil II. 37 CO₂ atmosferi altında kısa ark ve uzun arkla çalışma bölgelerinde arkta kaynak metali taşınımı (Şematik) [1]



Şekil II. 38 Sprey ark [1]

Bunun için elektrot pozitif kutupta doğru akım kullanılması ve akım şiddetinin geçiş akımı adı verilen kritik bir değerinin üzerinde olması gerekir (Şekil II.39). Bu akımın altında iletim daha önce açıklanan iri damla iletimi yoluyla olur ve damla iletiminin hızı saniyede birkaç damladır. Geçiş akımının üzerindeki değerlerde ise iletim, küçük çaplı (elektrot çapından daha küçük çapa sahip) damlaların oluşumu ve bunların saniyede yüzlerce damla iletim hızında ayrılmasıyla oluşur. Bunlar ark aralığı boyunca eksenel olarak hızlanırlar. Damla iletim hızı ile akım arasındaki ilişki Şekil II.39’da gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 39 Damla İletim Hızının ve Damla Hacminin Kaynak Akımıyla Değişimi (çelik elektrot) [1]

Sıvı metalin yüzey gerilimine bağlı olan metal “geçiş akımı” elektrot çapıyla ve bir dereceye kadar da serbest elektrot uzunluğu ile ters orantılı olarak değişir. Elektrotun erime sıcaklığı ve koruyucu gazın bileşimi de geçiş akımını etkiler. [15]

Sıvı metalin yüzey gerilimine bağlı olan metal “geçiş akımı” elektrot çapıyla ve bir dereceye kadar da serbest elektrot uzunluğu ile ters orantılı olarak değişir. Elektrotun erime sıcaklığı ve koruyucu gazın bileşimi de geçiş akımını etkiler. Sprey damla iletimi kuvvetle yönlendirilmiş damlalar demetinden ibaret olup damlalar ark kuvvetleri tarafından ivmelendirilerek yerçekimi etkisini yenen hızlara ulaşırlar. Bu nedenle belirli şartlar altında yöntem her pozisyonda kullanılır. Damlaların çapı ark boyundan daha küçük olduğu için kısa devre meydana gelmez ve bu nedenle de sıçrama, tamamen yok olmasa bile ihmal edilecek mertebeye düşer. [1]

Sprey ark yüksek akım şiddetlerinde oluştuğundan bilhassa kalın parçaların kaynağı için çok uygundur ve bu yöntemde sıçrama çok azdır. Yüksek erime gücü nedeni ile banyo diğer ark türlerine nazaran daha geniş oluşur. Bu bakımdan yatay ve oluk pozisyonlarda dolgu ve kapak pasolarının çekilmesi için çok uygundur: kök pasolar için ancak altlık kullanmak koşulu ile uygulanabilir. Bu ark türünde yüksek güçlerde çalışıldığından torcun çok iyi bir şekilde soğutulması gereklidir. [1]

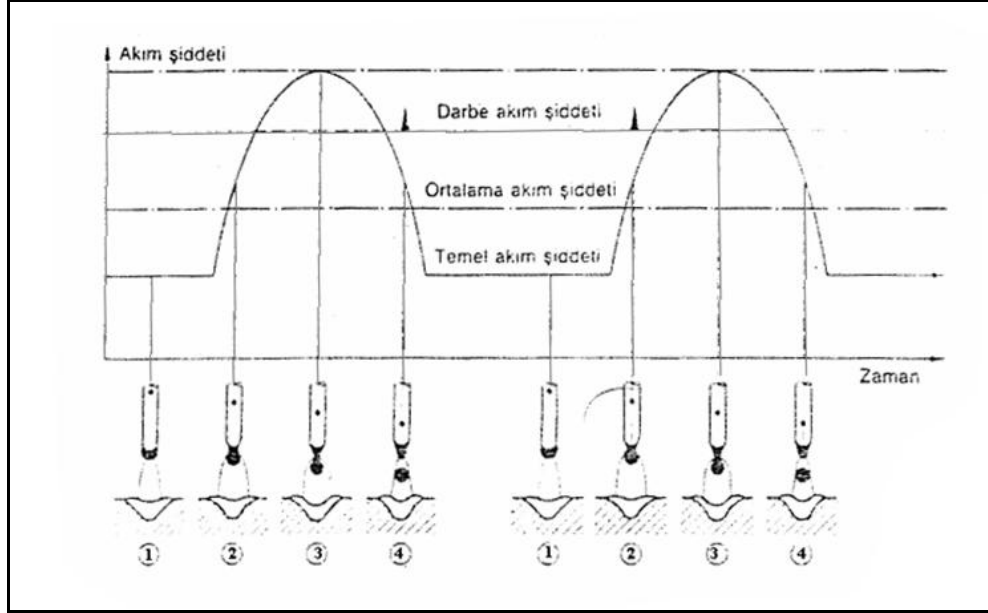
II.13.4. Darbeli Ark

Bu yöntemin uygulanabilmesi için bu tür kaynak akımını üreten özel bir kaynak akım üreteci gereklidir. Burada sözü edilen darbeli doğru akım ile alternatif akımı birbirlerinden iyi ayırt etmek gereklidir. Darbeli doğru akımda akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir. Bu yöntem ile arzulanan her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmada iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışmak mümkün olabilmektedir ve ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte erimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanabilmekte olup Şekil II.40'da darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi de gösterilmiştir. Bu yöntemin tek dezavantajı kaynak akım üretecinin ve tel iletme tertibatının pahalı ve donanımı bakımından külfetli olmasıdır. [1]

Bu yöntemde akım şiddeti ayarı yapılırken temel akım şiddeti darbeler arasında arkın sönmeyeceği bir değerde seçilmelidir. Gerekli temel akımı şiddetinin değeri, büyük çapta darbe frekansının etkisi altındadır, frekans yükseldikçe akım şiddeti azaltılabilir. [1]

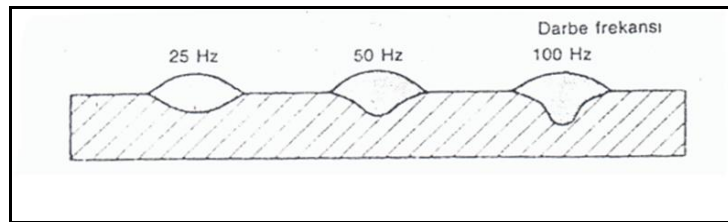
Akım şiddetinin yükselmesi parçaya olan ısı girdisinin artmasına neden olur ve daha çok yükselmesi halinde ise darbeler arasındaki sürede de erime olabileceğinden damla oluşum düzeni yok olur. Bu bakımdan kalın ve ısıyı iyi ileten metaller mümkün olduğu kadar kalın elektrot kullanarak kaynatılmalıdır. [1]

Darbe akımı, elektrot ucunda temel akım tarafından oluşturulmuş damlaya, kuvvetli bir büzülme kuvveti (Pinch efekt) uygular ve damla kısa devre oluşturmada ark tarafından kaynak banyosuna taşınır. Bu şekilde kısa devresiz damla taşınır. Ancak darbe akımı belirli bir değere eriştiği zaman mümkündür ve bu değer elektrot malzemesi ile koruyucu gazın türüne ve tel çapına bağlı olarak değişir. [1]



Şekil II. 40 Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi (Şematik). [1]

Çok yüksek şiddetli darbe akımı, damlanın çok fazla ivmelenmesine neden olur ve bu da sıçramayı artırır, banyoya hızla çarpan damla yarıcı bir etki yapar, dikiş kenarlarında kertikler oluşturur. Bu ark türünün çeliklere uygulanmasında koruyucu gaz olarak CO_2 kullanılamaz, zira darbe fazında ark kuvvetleri damla oluşumuna ters yönde etki yapmaktadır. Darbe genişliğinin azalması, sinüzoidal değişim gösteren darbe de ortalama akım değerinin azalmasına neden olur; yalnız darbe genişliği daraltılırken damlaların gereken şekilde ivmelenip elektrot ucundan ayrılması için gerekli zaman göz önünde tutulmalıdır. Darbe frekansının yükselmesi, damla sayısını, etkin akım şiddetini, parçaya olan ısı girdisini artırır ve bu da dikiş biçimini etkiler. Darbe frekansı akım üreteçlerinde genellikle 25, 33, 50 ve 100 olacak şekilde kademelendirilmiştir: 25 ve 33 gibi düşük frekans değerlerinde oluşan ark, gözler için zararlı olduğundan, bu kademeler, el ile yapılan kaynakta kullanılmazlar. Darbe frekansının dikiş profiline etkisi Şekil II.41’de gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 41 Darbe frekansının dikiş profiline etkisi (Şematik). [1]

II.13.5. Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi

İnce parçaların kaynağında birçok hallerde sadece çok küçük ark güçlerinde çalışma gerekirken, kalın parçalarda gerek ekonomiklik ve gerekse de yeterli bir nüfuziyetin sağlanması, uygun pozisyonlarda çalışmanın gerçekleştirilmesi gibi nedenlerden ötürü yüksek güçlü arklar tercih edilmektedir. Yalnız şurası da unutulmamalıdır ki her kaynak makinesinde her koruyucu gazla bütün ark türlerinin eldesi mümkün değildir. MAG Kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları Tablo II.9’da verilmiştir. [1]

Tablo II. 9 MAG Kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları [1]

TÜR	SPREY ARK	UZUN ARK	KISA ARK	DARBELİ ARK
MİG	Alüminyum Bakır	Alüminyum -	Alüminyum $S \leq 1.5$ mm	Alüminyum Bakır
MAG M	Alaşsız, az alaşlı ve yüksek alaşlı çelikler	Alaşsız ve az alaşlı çelikler	Alaşsız, az alaşlı ve yüksek alaşlı çelikler	Az alaşlı ve yüksek alaşlı çelikler
MAG	-	Alaşsız ve az alaşlı çelikler	Alaşsız ve alaşlı çelikler	-
	Yatay ve oluk pozisyonda kalın ve orta kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerini n dolgu ve kapak pasolarında Oluk pozisyonda kök ve dolgu pasolarında	Yatay oluk ve yukarıdan aşağıya dik pozisyonlard a kalın ve orta kalın parçaların alın birleştirmeler inin dolgu ve kapak pasolarında	Her pozisyonda ince parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinde Her pozisyonda kalın parçaların alın birleştirmelerinin kök pasolarında Tavan iç köşe tavan yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarı dik korniş pozisyonlarında iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında	Her pozisyonda orta ve kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmeler inin dolgu ve kapak pasolarında Kök paso için özel hallerde Az ısı girdisinin uygulanması nın gerekli olduğu hallerde

II.14. KAYNAK PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ

Kaynak parametreleri kaynak işlemini ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli unsurlardır. Kaynak parametreleri, kaynaklanan metal veya alaşım ile kaynak metalinin türü ve kaynak ağız geometrisi göz önünde bulundurularak saptanır. Bu parametrelerin seçimi kaynakçının çalışma koşullarını kolaylaştırdığı gibi gereken özellikte kaynaklı bağlantı elde edebilme olasılığını da artırır. [1]

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, birinci derecede ayarlanabilir ve ikinci derecede ayarlanabilir parametreler olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir. [1]

Birinci gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce saptanan, kaynak koruyucu gaz türü, elektrot tür ve çapı gibi etmenlerdir. Bunların kaynak işlemi esnasında değiştirilmesine olanak yoktur. Bu parametreler, kaynaklanan malzemenin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu, erime gücü ve bağlantıdan beklenen mekanik özellikler göz önüne alınarak saptanır. [1]

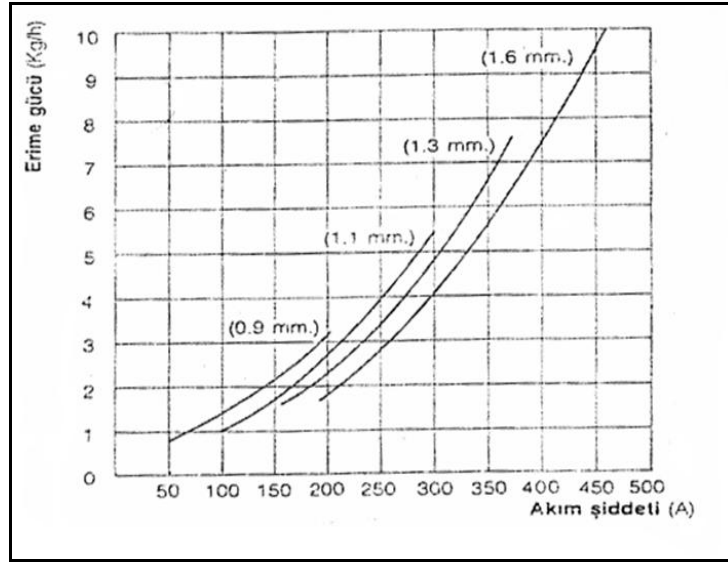
Birinci derecede ayarlanabilir diye adlandırılan, ikinci gruba giren parametreler, ilk gruba giren parametreler seçildikten sonra, kaynak dikişini kontrol altında tutan, dikişin biçimini, boyutlarını, ark stabilitesini ve kaynaklı bağlantının emniyetini etkileyen değişkenlerdir. MAG kaynağında bu parametreler akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızıdır. Bu parametreler kolaylıkla ölçülebildiği gibi, kaynak esnasında da gereken hallerde yeniden ayarlanabilen ve tüm dikişi en sıkı ve etkin bir biçimde kontrol altında tutan etmenlerdir. Üçüncü gruba, kaynak işlemi süresince sürekli olarak değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça şiddetli bir şekilde etkileyen parametreler girer. Bu parametrelerin önceden seçilip değerlendirilmeleri oldukça zordur ve bazı hallerde etkileri de açık bir şekilde görülmez. Bunlar genelde ikinci gruba giren parametreleri etkileyen ve dolaylı olarak da kaynak dikişinin biçimini belirleyen parametrelerdir. MAG kaynağında bunlar torç açısı ve elektrot serbest uç uzunluğu olarak sıralanabilir. [1]

II.14.1. Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler

II.14.1.1. Elektrot Çapı

Her tür elektrot bileşimi için çapa bağlı olarak bir akım şiddeti aralığı vardır. Büyük çaplı elektrotlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabildiklerinden daha yüksek bir erime gücüne sahiptirler ve daha derin nüfuziyetli dikişler

oluştururlar. Erime gücü akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur, eş çaplı iki elektrot farklı akım şiddetlerinde kullanıldıklarında, yüksek akım şiddeti ile yüklenende, akım yoğunluğu büyük olduğundan, daha yüksek bir erime gücü elde edilir. Akım şiddeti, tel çapı ve erime gücü arasındaki ilişkiler Şekil II.42’de görülmektedir. Dikişin nüfuziyeti de akım yoğunluğuna bağlıdır, aynı akım şiddetinde, küçük çaplı elektrotla daha derin nüfuziyetli dikişler elde edilir. Büyük çaplı elektrot halinde ise kaynak dikişi daha büyük olur. [1]



Şekil II. 42 Yığılan, kaynak metali, akım şiddeti ve elektrot çapı arasındaki ilişki (Yumuşak çelik elektrot, CO2 ile kaynatıldığında). [1]

Kullanılacak olan kaynak elektrotunun çapının seçiminde kaynatılan parçanın kalınlığı, nüfuziyet derecesi, erime gücü, arzu edilen kaynak dikişi profili, kaynak pozisyonu ve elektrotların fiyatı göz önünde bulundurulur. Küçük çaplı elektrotlar ağırlık ölçüsünde daha pahalıdır, fakat her uygulama için kaynak maliyetini asgariye indiren bir elektrot çapı bulmak mümkündür. [1]

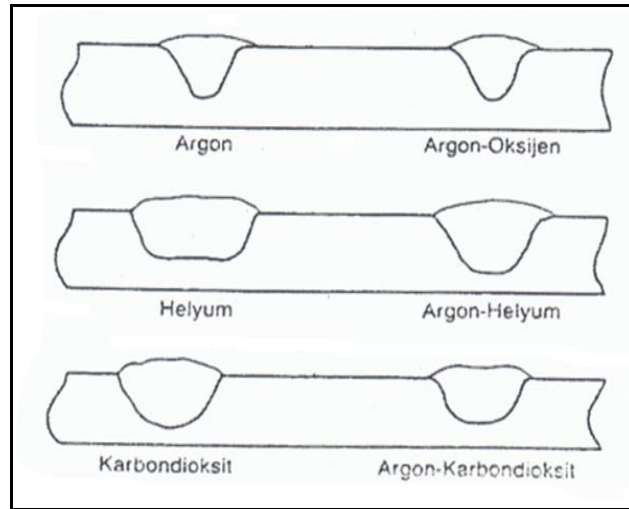
II.14.1.2. Koruyucu Gaz Türü:

Gazaltı kaynağında çeşitli türlerde gazlar kullanılır ve her gazın oluşturduğu erime gücü, dikiş biçimi ve nüfuziyet birbirlerinden farklıdır. Koruyucu gaz türünün aynı zamanda kaynak esnasında sıçrama miktarına, kaynak hızına, kaynak metalinin arktaki transfer şekline ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır.[1]

Demir esaslı metallerin kaynağında CO₂ ile, Ar - CO₂ ve Ar - O karışımları kullanılır. CO₂'in koruyucu gaz olarak kullanılması halinde aynı akım şiddeti için en büyük erime gücü, en derin nüfuziyet, en geniş ve en konveks kaynak dikişi elde edilir. CO₂ en ucuz koruyucu az olmasına karşın en fazla sıçrama kaybı ve en fazla duman oluşturan gazdır. CO₂'in koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oluşan yüksek ısı girdisi dolayısı ile aynı akım şiddeti için daha yüksek hızlarda kaynak yapmak mümkün olabilmektedir. [1]

Ar ve Ar - O karışımı gazlar, kaynak esnasında karbondioksitin tam bir karşıtı özellik gösterirler: bu gazlar ile en düşük erime gücü en az nüfuziyet en dar ve en az yüksek kaynak dikişi elde edilir. Ar- O karışımı gazlar aynı zamanda en az duman ve en az sıçrama oluşturan bir kaynak işlemi sağlarlar. Ar - CO₂ karışımı gazlar ise CO₂ ve Ar - O karışımı arasında bir özellik gösterirler. [1]

Demir dışı metallerin kaynağında kullanılan koruyucu gazlar Ar, He ve Ar-He karışımlarıdır. Bu durumda da argon en az nüfuziyeti ve en düşük erime gücünü, en dar dikişi veren gazdır. He ve Ar - He karışımlarına nazaran daha ucuz olan argon aynı zamanda en az sıçrama oluşturan gazdır. He en derin nüfuziyeti daha yüksek bir erime gücü geniş ve konveks bir kaynak dikişi oluşumunu sağlar. He' un kullanılması halinde aynı ark boyu için ark gerilimi daha yüksektir ve kaynak esnasında koruyucu gaz sarfiyatı argona nazaran daha fazladır. Ar-He karışımları karışım oranına bağlı olarak bu ikisinin arasında bir karakteristik gösterir. Şekil II.43'de çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profili şematik olarak gösterilmiştir. [1]



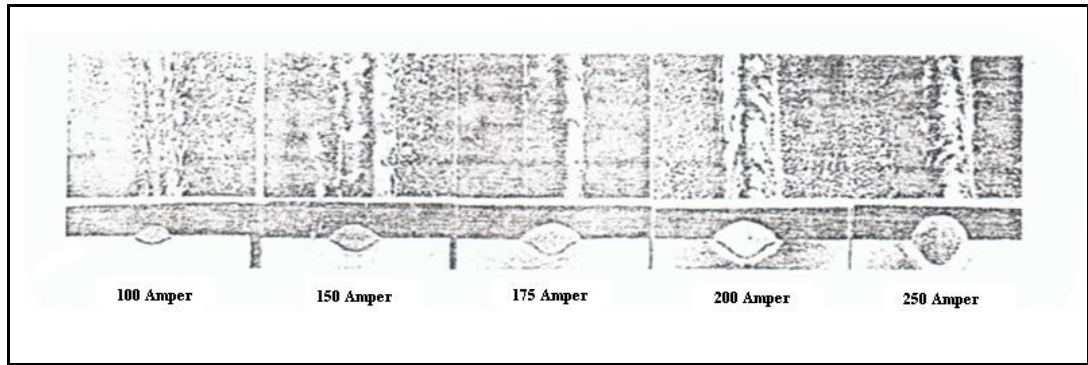
Şekil II. 43 Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profilinin şematik olarak gösterilişi. [1]

II.14.2. Birinci Dereceden Ayarlanabilen Parametreler

II.14.2.1. Kaynak Akım Şiddeti

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin erime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha şiddetlidir. Sabit gerilim sistemli olan MAG kaynak makinelerinde, kaynak akım şiddeti tel hızı ile beraberce, tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır, tel ilerletme hızı arttıkça, kayna akım şiddeti de artar. Kaynak akım şiddeti yükseldikçe erime gücü de artar, bu olay açık bir biçimde Şekil II.42'deki diyagramda görülmektedir. [1]

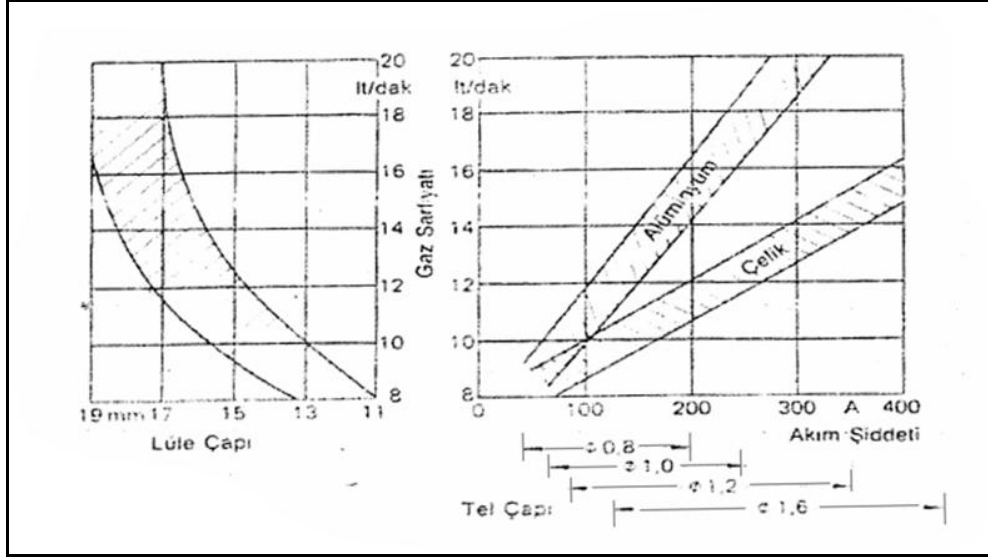
Akım şiddetinin, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi Şekil II.44'te gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 44 Akım şiddetinin, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi. $U = 21$ V, Kaynak hızı 390 mm/dak., Tel çapı 0,9 mm, serbest tel ucu 9,5 mm., MAG kaynak yöntemi. [1]

Diyagramdaki eğrilerin alt kısmının eğimleri azdır, yukarı doğru ise dikleşmektedirler, bu artan akım şiddeti ile erime gücü arasındaki bağıntının doğrusal olmadığı, yüksek akım yoğunluklarında erime gücünün daha şiddetli arttığını ortaya koymaktadır. Bu husus serbest tel ucunda, telin yüksek akım şiddetlerinde ortaya çıkan şiddetli bir elektrik direnç ısıtmasına bağlanmaktadır. [1]

Bütün diğer kaynak parametreleri sabit tutulduğu zaman artan akım şiddeti ile kaynak dikişinin eninin yüksekliğinin, nüfuziyetinin ve boyutlarının artan akım şiddeti ile arttığı görülür (Şekil II.45). Aşırı yüksek akım şiddeti çok geniş bir kaynak banyosu ve derin nüfuziyete neden olduğundan delinmelerin ortaya çıkmasına neden olabilir; çok düşük akım şiddeti de çok kötü bir nüfuziyete ve elektrot metalinin parçanın üzerine yığılmasına neden olur. [1]



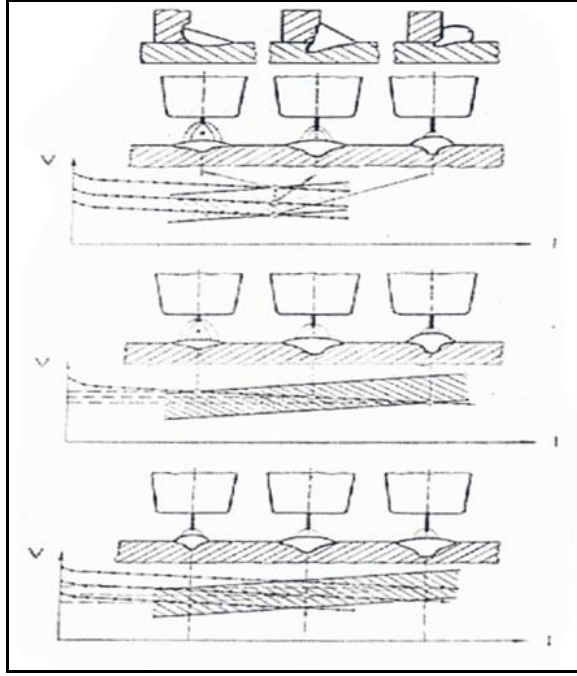
Şekil II. 45 MAG kaynağında gaz sarfiyatı tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı [1]

Kaynak akım şiddetinin ergime gücüne, kaynak dikişi biçim ve boyutlarına, nüfuziyet derinliğine etkisi diğer parametrelerin etkisinden daha çoktur. Aşırı yüksek kaynak akımı çok geniş bir kaynak banyosu ve derin bir nüfuziyete sebep olduğundan ince parçaların kaynağında delinmelere yol açar. Çok düşük bir kaynak akımı ise yetersiz nüfuziyete ve kaynak metalinin esas metal üzerine yığılmasına neden olur. Sabit gerilim karakteristikli akım üreteçlerinde ark gerilimi tel elektrot ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafında belirlenir. Diğer bütün parametreler sabit tutulmak kaydı ile ark geriliminin artması halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır. Düşük ark gerilimi dar ve yüksek bir kaynak dikişi oluşmasına sebep olur. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali miktarı artar, kaynak banyosunun büyümesi ve nüfuziyetin azalmasına sebep olur. Sonuçta geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Hızın artması birim boya verilen ısıнын azalmasına sebep olur ve nüfuziyeti azaltır. En derin nüfuziyet, kaynak hızının optimum değerlerinde elde edilir. [16]

II.14.2.2. Kaynak gerilimi (Ark Boyu)

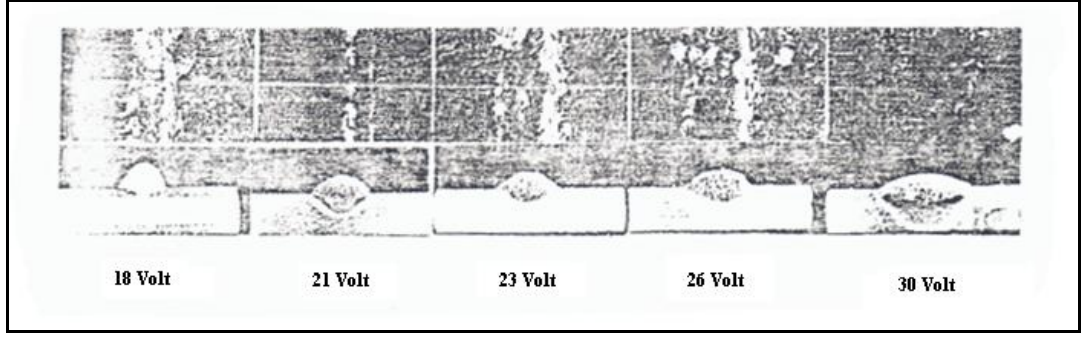
Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üretecinde ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrot ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir. Sabit gerilim karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde ark gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya

bazı tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanır. Bir uygulama için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrot çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve esas metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanır. Her koşulda aynı kaynak dikişini veren bir sabit ark boyu mevcut değildir. Örneğin, ark boyu aynı gerilim için helyum ve karbondioksit kullanılması halinde, argonun koruyucu gaz olarak kullanılması haline nazaran çok daha uzundur. Ark üretimi ve akım şiddetinin kaynak dikişinin biçimine etkileri Şekil II.46'da gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 46 Ark üretimi ve akım şiddetinin kaynak dikişinin biçimine etkileri (Şematik). [1]

Bütün diğer parametreler sabit tutulmak koşulu ile ark geriliminin artması halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır (Şekil II.47). Nüfuziyet ise artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar artar ve bu değerden sonra azalmaya başlar. Yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısı ile bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve aşırı şişkin (konveks) kaynak dikişlerinin oluşmasına, aşırı derecede küçük ark gerilimi ise poroziteye neden olur. [1]



Şekil II. 47 Ark geriliminin kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi. Kaynak akımı 175 Amper, Kaynak hızı 390 mm/dak. Kaynak tel çapı, 0,9/mm., Serbest tel uzunluğu 9.5 mm. MAG kaynak yöntemi [1]

Uygun seçilmiş bir çalışma noktası, arkın sakin ve kararlı bir şekilde yanışı ile kendini belli eder. Bir MAG kaynak akım üreticinde sabit gerilim karakteristik ayar imkanı ne kadar fazla olursa optimal çalışma noktasının saptanması da o derece de kolay olur. Genel olarak standart akım üreticilerinde 3 kaba ayar ve 5 adet ince ayar vardır, bu da toplam 15 kademede gerilim ayar olanağı sağlar. [1]

Kaynak işleminde optimum sonuçların elde edilmesi için ark ve kaynak banyosunu etkileyen parametrelerin iyi bilinmesi, bunların hangi şartlarda ve nasıl değiştirileceğinin önceden bilinmesi gerekir. Mükemmel olarak tarif edilebilecek ark, bütün parametreler birbiri ile denge halinde olduğu zaman meydana gelir. [17]

II.14.2.3. Kaynak Hızı

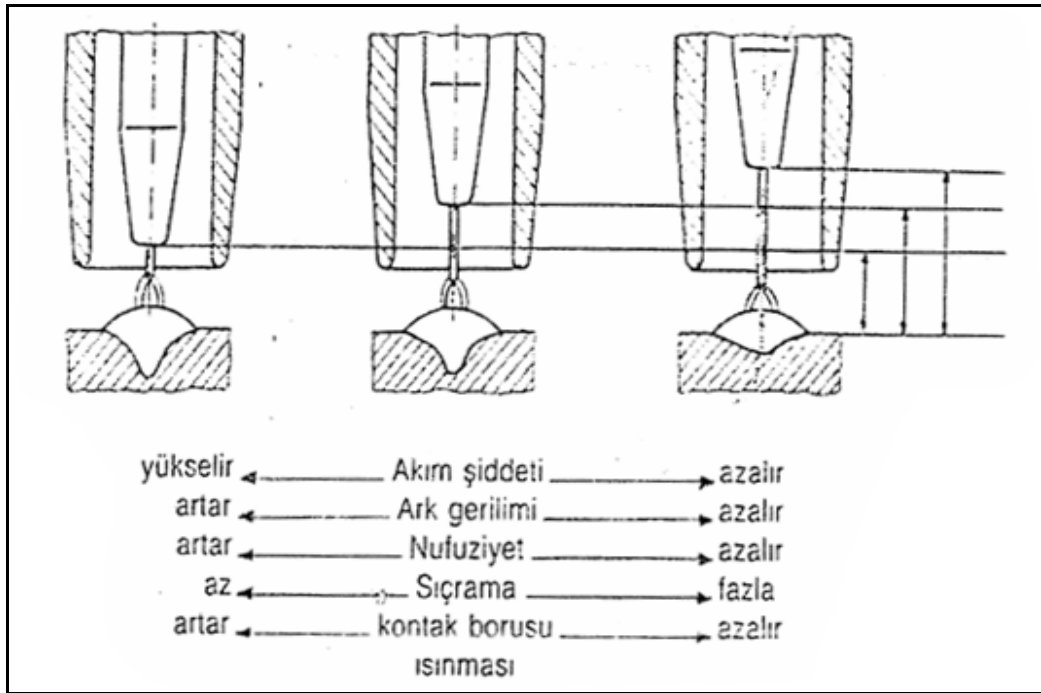
Kaynak hızı yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanır. Kaynak hızı kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi veya birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanır. En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim zamanda birim boya yığılan kaynak metalı artar ve bu da kaynak banyosunun büyümesine neden olur. Çok akışkan hale gelen sıvı metal ağız içinde arkın önüne doğru akar ve bu da nüfuziyetin azalmasına neden olur ve sonuçta geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Kaynak hızının artması, dikiş yüksekliğinin artmasına neden olur. Aşırı derecede yavaş kaynak hızı, fazla miktarda kaynak metalinin yığılması ve nüfuziyetin azlığı nedeni ile ağız kenarlarında kalan bölge oluşmasına neden olur. [1]

Hızın artması birim boya verilen ısıya azalmasına ve dolayısı ile de esas metalin eriyen miktarlarının azalmasına neden olur ve bu da nüfuziyeti azaltır. Kaynak hızının aşırı artması, kaynak metalinin kaynak ağzını doldurmaması nedeni ile dikiş kenarlarında yanma oluklarını andıran yarıkların oluşmasına neden olur. [1]

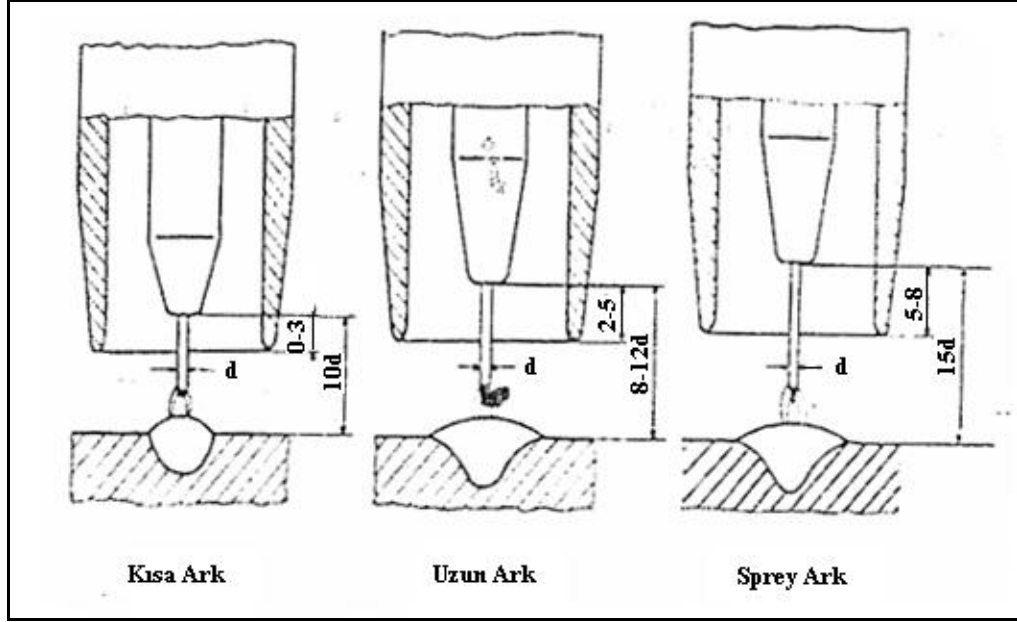
II.14.3. İkinci Dereceden Ayarlanabilen Parametreler

II.14.3.1. Serbest tel uzunluğu

Elektrot serbest tel uzunluğu, torç içindeki kontak borusunun en uç noktası ile tel elektrotun uç kısmı arasındaki mesafe olarak tarif edilir. Bu boyun uzaması sonucu elektrotun elektrik direnci artar ve elektrotun ön ısınması diye tanımlanan sıcaklığı yükselir ve dolayısı ile de elektrotun uç noktasını eritebilmek için gerekli akım şiddetinin de azalma ortaya çıkar. Serbest tel uzunluğunun artması erime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur, sonuç olarak serbest tel uzunluğunun aşırı artması fazla miktarda soğuk kaynak metalinin (düşük sıcaklıkta) kaynak dikişine yığılmasına neden olur (Şekil II.48). Çeşitli ark türlerinde uygun serbest tel uzunlukları da Şekil II.49’da gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 48 Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (Şematik) [1]



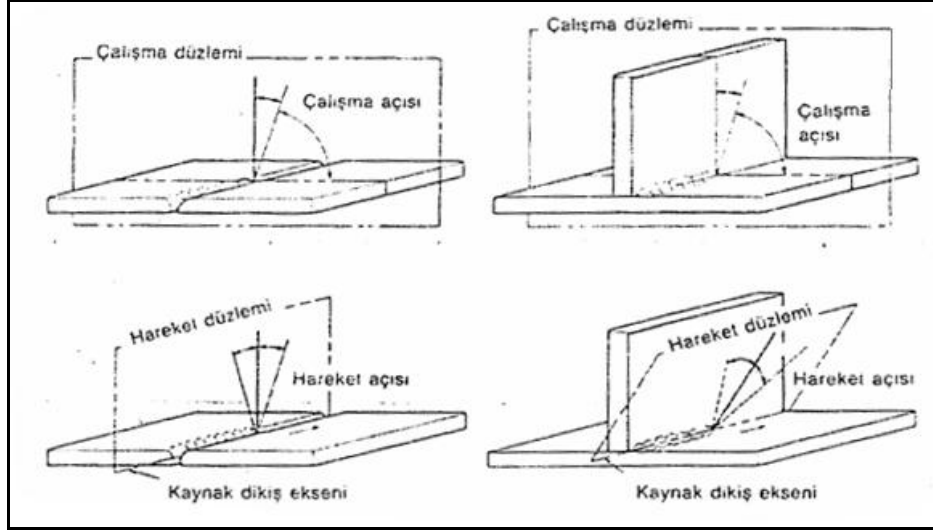
Şekil II. 49 Çeşitli ark türlerinde uygun serbest tel uzunluğu (Şematik) [1]

II.14.3.2. Torç Açısı

Kaynak elektrotunun veya torcunun iş parçasına nazaran konumu ve kaynak esnasındaki hareketi kaynak dikişinin formunu etkileyen etmenlerden bir tanesidir. Kaynak elektrotunun konumunu, kaynak dikişini referans alarak belirlemek konusunda Avrupa da bir kural veya alışkanlık yoktur, buna karşın Amerikan literatüründe bu konuya yer verilmektedir. Bu konumlamaya göre, kaynak doğrultusuna dik düzleme çalışma düzlemi ve bu düzlem üzerinde torcun iz düşümü ile kaynak yapılan parçanın üst yüzü arasındaki açıya çalışma açısı denir. [1]

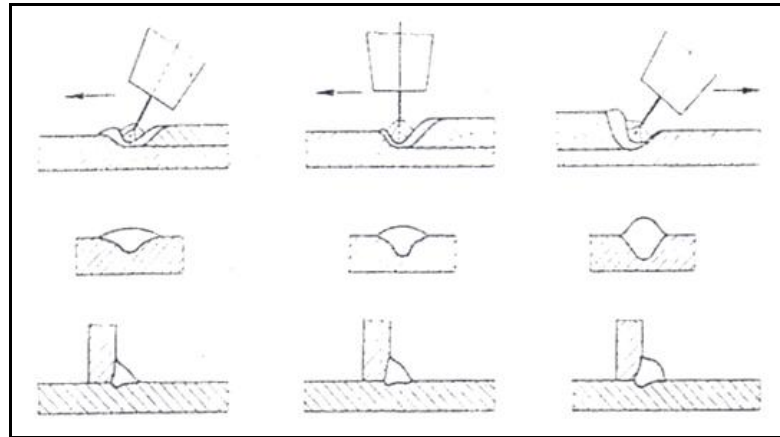
Kaynak doğrultusu ve elektrottan geçen düzleme de hareket düzlemi adı verilir. Elektrotun bu düzlemde bulunan ve kaynak doğrultusuna dik olan çizgi ile yaptığı açı hareket açısı diye tanımlanır ve elektrotun ucu kaynak yönünde olursa bu açı negatif, aksi yönde olursa pozitif olarak gösterilir. [1]

Sağa kaynak pozitif hareket açısı ile daha dar daha yüksek ve daha derin nüfuziyetli dikiş elde edilir, ark daha stabiledir. Sıçrama daha azdır: sağa kaynak daha ziyade çeliklerin kaynağında tercih edilen bir yöntemdir. Sola kaynak (hareket açısı negatif) ise kontaminasyona mani olmak ve esas metale intikal eden ısı miktarını azaltmak gayesi ile alüminyumun kaynağında tercih edilen bir yöntemdir. Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrot açıları Şekil II.50'de gösterilmiştir. [1]



Şekil II. 50 Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrot açıları. [1]

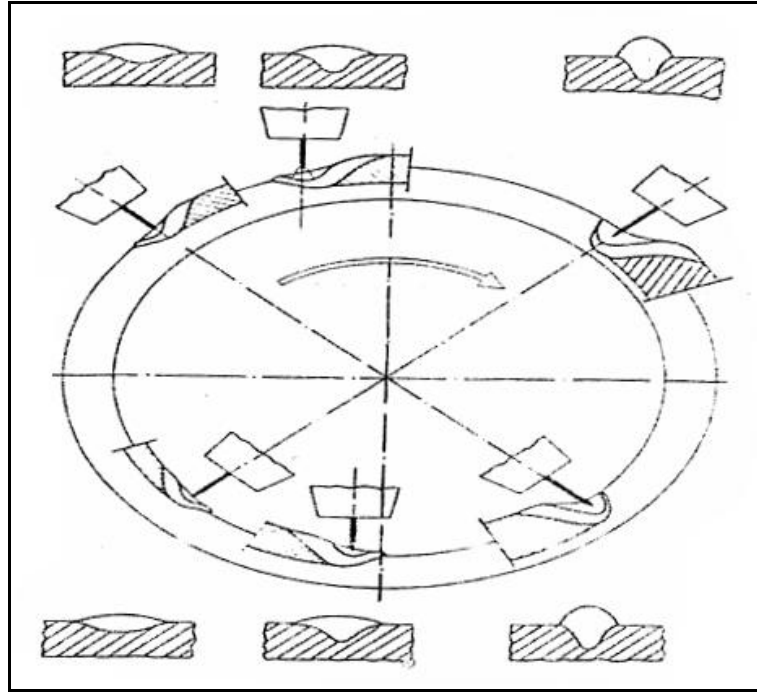
MAG kaynağında da aynen oksiasetilen kaynağında olduğu gibi sola ve sağa kaynak yöntemi uygulanabilir. Torcun kaynak yapılan iş parçasına tam dik olarak tutulması halinde sağ veya sol kaynak arasında sonuç yönünden bir fark görülemez, buna karşın kaynak hamlacı 30° 'ye kadar bir hareket açısı ile tutulduğu zaman sol ve sağ kaynağın dikiş biçimi üzerine olan etkisi açık bir şekilde görülür. Hareket açısı 30° 'yi aşmadığı sürece, bu açı; kaynağın, kaynakçı tarafından kontrolüne yardımcı olur; kaynakçı kaynak banyosunu ve elektrot ucunun erimesini rahatlıkla görebildiği için dikişin kalitesi yükselir. Buna karşın bu değer aşıldığında nüfuziyet azalır ve dikiş inceler, bu durumda kaynak hızının arttırılması gerekir, aksi halde sıvı metal kaynak banyosunun önüne doğru ilerler ve dikişte gözenek ve kalıntı oluşumu olasılığı artar. [1]



Şekil II. 51 MAG yönteminde sola (hareket açısı negatif) ve sağa (hareket açısı pozitif) kaynak halinde dikiş formunun değişimi. [1]

MAG yönteminde kaynak dikişinin biçimine, kaynak dikişinin yataya nazaran konumu da büyük ölçüde etki eder; zira kaynak esnasında banyo sıvı haldedir ve kaynak ağzı içinde yer çekiminin etkisi ile eğim doğrultusunda akarak ister. Bu olayın etkisi en belirgin bir biçimde büyük çaplı bir boru biçiminde bir yapının çevre kaynağının, torç sabit tutulup parçanın eksenine etrafında döndürülerek gerçekleştirilmesinde görülür (Şekil II.52). [1]

Burada torcun dönen parçaya göre konumuna göre dikişin biçimi değişir, genel bir kural olarak kaynak doğrultusunun eğimi yukarı doğru arttıkça dikiş daralır, nüfuziyeti ve yüksekliği artar, aksi halde meyil aşağı doğru olduğu zaman dikişin genişliği artar, nüfuziyeti ve yüksekliği azalır. [1]



Şekil II. 52 MAG yönteminde kaynak yönünün eğimine göre dikiş biçiminin değişimi [1]

II.15. KAYNAK HATALARI

II.15.1. Çatlaklar

En tehlikeli kaynak hatasıdır. Eritme kaynağında, esas metalde, kaynak metalinde veya ısının tesiri altındaki bölgede ortaya çıkabilir. [18]

Çatlaklar görünüşleri bakımından aşağıdaki biçimde sınıflandırılırlar;

- Boylamasına çatlaklar
- Enlemesine çatlaklar

- Yıldız çatlaklar
- Krater çatlaklar
- Dağınık çatlaklar
- Mikro çatlaklar

II.15.2. Boşluklar

Gözenek olarak da adlandırılan bu hatalar; kaynak esnasında meydana gelen gazların dikişi terk edemeyip, içerde hapsolması veya tam yüzeyde iken katılaşmanın tamamlanması neticesinde ve bazen de metalin kendini çekmesi dolayısıyla meydana gelir. [18]

Kaynak metalinde meydana gelen boşlukların teşekkülü üzerinde, aşağıdaki faktörler etkili olmaktadır; [18]

- Esas metal kimyasal bileşimi
- İlave metalin (kaynak teli veya elektrot) kimyasal bileşimi
- Elektrot örtüsünün rutubetli olması
- Düşük akım şiddeti ile kaynak yapılması
- Çok uzun veya kısa ark boyu ile kaynak yapılması

Kaynak dikişinde bulunan gözenekler, dikiş kesitini azaltmanın yanında, gerilme yığılmalarına ve çentik teşekkülüne sebep olurlar. Bu nedenle bağlantının mukavemetini azaltırlar. Gözeneklerin meydana gelmemesi için, yukarda sayılan sebeplerin ortadan kaldırılması gereklidir. [18]

II.15.3. Kalıntılar

Kalıntılar kaynak metalinde bulunabilecek dekapan ve kaynak tozu kalıntıları, oksit kalıntıları ve ağır metal kalıntılarıdır. Örnek olarak alüminyumun kaynağında teşekkül eden Al_2O_3 'ün kaynak metali içersinde kalması, tungsten kalıntıları verilebilir. Cüruf kalıntıları, mukavemeti düşürür ve çatlakların oluşumuna sebep olur. Kalıntıların önlenmesi için, erimiş banyo hareketlerinin kontrolü, pasolar arasında cürufların iyi temizlenmesi gerekir. [18]

II.15.4. Yetersiz Erime

Kaynak metali ile esas metal veya çok pasolu birleştirmede pasolar arasında ortaya çıkan birleşme azlıklarıdır. [18]

II.15.5. Nüfuziyet Azlığı

Erimenin bütün malzeme kalınlığı boyunca olmaması şeklinde ortaya çıkan, kaynaklanmamış kısımların bulunmasıdır. Bu hata aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana gelir; [18]

- Uygun elektrot çapının seçilmemesi
- Uygun akım şiddetinin seçilmemesi
- Kaynak ağzının uygun olmaması
- Kök pasonun kötü çekilmesi

II.15.6. Dış Yüzey Hataları

II.15.6.1. Yanma Olukları

Esas malzeme ve dikiş kenarlarında, yanmadan dolayı meydana gelen oluk ve çentiklerdir. Yanma olukları şu sebeplerden dolayı meydana gelir; [18]

- Akım şiddetinin yüksek olması
- Hızlı kaynak yapılması
- Esas metalin aşırı derecede paslı ve elektrotun rutubetli olması

II.15.6.2. Aşırı Metal Yığılma

Dikiş üzerine gereğinden fazla, kaynak metali yığılmasıdır. Aşırı metal yığılma, malzeme israfından başka gerilme dağılımını da bozar. Kaynak hızının veya elektrot çapının yanlış seçilmesi neticesinde ortaya çıkar. [18]

II.16. MALZEMELERİN İÇYAPISININ İNCELENMESİ

Malzemelerin tüm fiziksel, kimyasal, elektronik ve mekanik özellikleri bileşimlerinin yanı sıra içyapıları ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle, üretimde kalite kontrolü, yeni malzemelerin geliştirilmesi, dayanıklılık, hasar ve kazaların sebebini araştırma gibi olaylarla karşılaşıldığında, malzemenin içyapısının etüdü gerekmektedir. Malzemelerin içyapısını inceleyen ilme genel olarak metalografi denir. [19]

Malzemelerin içyapısını incelemek için çeşitli mikroskopik ve mikroskopik olmayan yöntemler mevcuttur. Bunlar, optik, elektronik ve nükleer teknolojideki ilerlemelere paralel olarak gelişmektedir. Mevcut cihazların fonksiyonları her geçen gün biraz daha arttırılmakta veya yepyeni yöntem ve cihazlar devreye

girmektedir. Halen malzemelerin içyapısını incelemeye en fazla kullanılan yöntemlerden biri, numunenin mikroskopta incelenmesidir. Malzemelerin içyapısını incelemeye amaç; a) malzemede mevcut fazları, miktarı ve dağılımını, b) tane boyut, şekli ve dağılımı ve c) genel olarak yapı kusurlarının (çatlak, porozite, segregasyon, kalıntılar v.b.) cinsini ve miktarını saptamaktır. [19]

Günümüzde mikroskobik yöntemler atomik seviyeye kadar inmiş olup başlıca iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlar,

- Optik Mikroskobu
- Elektron Mikroskobu' dur. [19]

II.16.1. Mikroskobik İnceleme İçin Numune Hazırlanması

Malzemelerin içyapısının incelenmesinde başlıca dört kademe vardır. Bunlar; [19]

- Numune alınması
- Numunenin hazırlanması
- Numunenin incelenmesi
- Sonuçların bir rapor halinde düzenlenmesidir.

II.16.1.1. Numune Alınması

Numunenin nereden alınacağı tespit edildikten sonra, en uygun bir kesici alet ile numune kesilir. Bunlar testere, keski, torna, kesici taş, çekiçle kırma ve oksiasetlen olabilir. Bazı hallerde bunların birkaçı birden kullanılır. Burada dikkat edilecek nokta, minimum yapı değişmesin sağlayacak yöntemin seçimidir. Bu yöntemlerden her biri, kestikleri yüzeyden belirli bir derinliğe kadar malzeme iç yapısını değiştirir ve bizi yanıltabilirler. [19]

II.16.1.2. Numunenin Kalıplanması

İncelenecek numuneler, şayet küçük veya biçimsiz şekilli ise zımparalama ve parlatma esnasında elde tutmak güçlük yaratır. Bu durumda numuneler genellikle kalıplanır. Numuneyi kalıplamanın diğer önemli bir sebebi de, zımparalama ve parlatma esnasında temizliğin kolayca sağlanmasıdır. [19]

Numuneyi kalıplarken iki farklı yöntemden biri uygulanabilir. Bunlar; [19]

- Sıcakta ve basınç altında (compression moulding)

- Soğukta (cold moulding)

II.16.1.3 Numunenin Parlatılması

Numuneler kesildikten ve kalıba alındıktan sonra, mikroskopik inceleme için parlatılmaları gerekir. Parlatma işlemi, çeşitli parlatma kademelerini içerir. Her kademedede, bir evvelki kademedede kullanılan aşındırıcılardan daha ince aşındırıcı kullanılır ve böylece her kademenin numune yüzeyinde yarattığı deformasyon ve çizik minimuma indirilir. Numunelerin parlatılmasındaki başarı, parlatılacak malzemeye uygun yöntem ve aşındırıcının seçimine bağlıdır. [19]

II.16.1.4. Parlatma Araçları

Aşındırıcıların tane büyüklüğü, meşh veya mikron cinsinden belirtilir. Zımparalar ise genellikle “ Zımpara no ” su ile ifade edilir. [19]

Silisyum Karbür (SiC) sentetik aşındırıcı olup, kum ve kokdan elde edilir. Mohs sertliği 9,5 olup hegzagonal yapıdadır. SiC taneleri hem toz hem de kâğıt veya kumaş üzerine bir bağlayıcı ile tespit edilerek zımpara şeklinde kullanılır. [19]

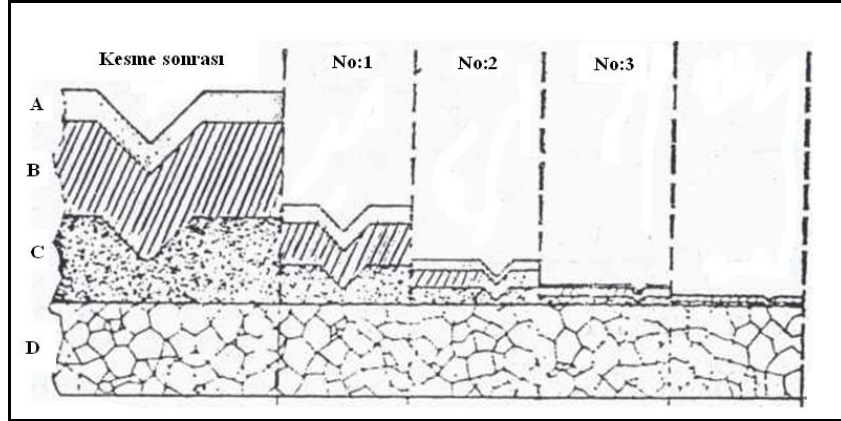
Zımparalar yukarıda belirtildiği gibi SiC taneleri veya genellikle tabii % 55–75 Al_2O_3 (Korindon) ve magnetit tozu ihtiva ederler. Bazen korindon yerine boksitin elektrik fırınında muamelesinden elde edilen Al_2O_3 (alümina) de kullanılır. Zımpara kâğıtları Tablo II.10’da gösterildiği gibi tasnif edilir. Tablo dan, “ Zımpara tane no’’su arttıkça tane boyutunun küçüldüğü görülmektedir. [19]

Tablo II. 10 Zımpara Kâğıtlarının Tasnifi [19]

Zımpara Tane No	Uzun Yazılış Şekli	Kısaltılmış Şekli	Mikron Cinsinden Tane Boyutu
80	4	-	210–177
240	1	-	53–45
320	0	1/0	37–31
400	00	2/0	31–27
600	000	3/0	22–18
800	0000	4/0	15–11

II.16.1.5. Mekanik Parlatma Tekniği

Numunenin yüzeyinde numuneyi kestiğimiz aletin izleri bulunur. Ayrıca kesme esnasında numunenin yüzeyi bir miktar deforme olmaktadır, Şekil II.53, el testeresi ile kesilmiş numunedeki yüzey durumunu şematik olarak göstermektedir. A, B, C tabakaları kesme sonucu deformasyona uğrayan bölgeyi ve D orijinal içyapıyı göstermektedir. [19]



Şekil II. 53 El testeresi ile kesilmiş numunedeki yüzey durumu ve müteakip zımparalama kademelerinin bu bölgeye etkisi [19]

Numuneyi orijinal yapı temsil ettiğinden, toplam deformasyona uğramış tabakanın ortadan kaldırılması parlatmanın amacıdır. Bu iş başlıca dört kademeyle yapılır : [19]

- Kaba zımparalama kademesi
- İnce zımparalama kademesi
- Kaba parlatma kademesi
- Nihai parlatma kademesi

II.16.1.6. Numunenin Dağlanması

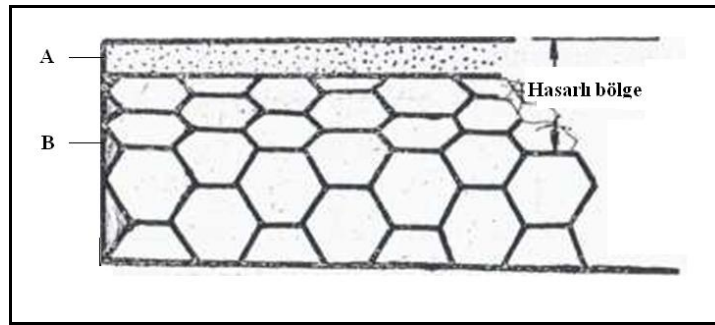
Parlatılmış numunelere mikroskopta bakıldığında, yapıları hakkında bilgi sahibi olmak ender rastlanan bir durumdur. Parlatmadan sonra ancak, metalik olmayan kalıntılar, porozite, çatlak, yüzeydeki diğer benzeri kusurlar kolaylıkla görülebilir. Bazı demir-dışı alaşımlarda taneler dağlanmadan önce sadece polarize ışık altında görülebilmektedir. Bu nedenle parlatmadan sonra numunelerin mikroskopta incelenmesinde yarar vardır. Parlatılmış numunenin yüzeyi ışığı eşit

bir şekilde dağıttığından yapıdaki ayrıntılar ayırt edilemez. Bu nedenle yapıda kontrast oluşturulması gerekir. Bunun için uygulanan yöntem genel olarak dağlama (Etching) denilmektedir. Dağlama fiziksel veya kimyasal olabilir. Fiziksel dağlama ile yüzeyden atom tabakaları atılır. Bunun için belirli bir enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerji, ısı veya yüksek voltaj uygulanarak sağlanabilir. [19]

Nihai parlatmadan çıkan numunede gösterilen bütün ihtimama rağmen kaçınılmaz olarak parlatılan yüzeyde Şekil II.54’de gösterildiği gibi soğuk işlenmiş bir tabaka bulunmaktadır. Bu tabaka başlıca iki kısımdır. [19]

A tabakasının serbest enerjisi B tabakasına kıyasla daha fazladır. Bu nedenle ilk dağlama işlemi sonunda A tabakası kolayca reaktifin etkisi ile ortadan kalkar ve yüzeyde B tabakası kalır. Bu durumda mikroskopik etüt yapıldığında, orijinal yapıya benzemeyen bir yapı görülür. Bu tabakayı ortadan kaldırmak için parlatma ve dağlama işlemi bir daha tekrarlanmalıdır. Genel olarak parlatma ve dağlama işlemlerinin üç defa tekrarı, bu tabakanın tamamen ortadan kalkması için yeterlidir. Bu tabakanın mevcudiyeti ve kalınlığı, [19]

- Numunenin yapısına,
- Uygulanan parlatma yöntemine,
- Numunenin parlatılması esnasında az veya çok kuvvetli bastırılmasına,
- Parlatmada kullanılan aşındırıcının karakterine bağlıdır.



Şekil II. 54 Nihai parlatmadan sonra numunedeki yüzey durumu [19]

II.16.1.7. Dağlama Reaktifleri

Genellikle metalografik numunelerin dağlanmasında kullanılan reaktifler su, alkol, gliserin, glikol veya bunların karışımı olan çözücülerin içinde, organik ve inorganik asitle, çeşitli alkalilerin ve diğer kompleks bileşiklerin eritilmesi ile elde edilir. Kullanılan reaktiflerin aktiviteleri ve genel davranışları; [19]

- Hidrojen iyonu konsantrasyonuna
- Hidroksit iyonu konsantrasyonuna
- Reaktifin bir veya daha fazla yapı bileşenlerini karartma yeteneğine

bağlıdır. [19]

BÖLÜM III

ÇALIŞMALAR

III.1. MATERYAL VE AMAÇ

Yapılan deney çalışmalarında deney malzemesi olarak StE 26 (1.0461) ince taneli yüksek mukavemetli çelik seçilmiştir. Ayrıca aynı malzemeye gerilme giderme ısıtma işlemi uygulanarak söz konusu deneyler bu ısıtma işlemine tabi tutulan malzemeye de uygulanmıştır.

MAG kaynak birleştirme yöntemi ile birleştirilmiş olan bu iki deney numunelerinin sertlik değerleri, çekme deneyleri yapılarak metalografik işlemler sonucunda mikro yapılarındaki farklılıklar SEM (taramalı elektron mikroskobu) altında incelenerek ortaya çıkarılacaktır.

III.2. DENEY MALZEMESİNİN KAYNAK ÖNCESİ SPEKTRAL ANALİZİ

StE 26 (1.0461) çeliğinin kaynak öncesindeki spektral analizi Tablo III.1’de verilmiştir.

Tablo III. 1 StE 26 (1.0461) çeliğinin kaynak öncesindeki spektral analizi

Elementler	Değerler (%)	Elementler	Değerler (%)
C	0,18	Nb	0,002
Si	0,352	Ti	0,0118
Mn	0,473	V	0,00707
P	0,0173	W	0,005
S	0,018	Pb	0,002
Cr	0,163	Sn	0,00438
Mo	0,00257	Sb	0,002
Ni	0,00690	Al	0,0233
Cu	0,0358	Co	0,0157
		Fe	98,67

III.3. DENEY MALZEMELERİNİN KAYNAK İŞLEMİ

III.3.1. Kullanılan MAG Kaynak Makinesinin Teknik Özellikleri

Deney malzemelerinin birleştirilmesinde kullanılan makine (Şekil III.1) DC (Doğru Akım) MAG kaynağı için elverişli üç fazlı bir makinedir. Alüminyum ve paslanmaz saçlarda üstün nüfuziyet ve servis kolaylığı sağlamaktadır. Modüler dizaynı sayesinde enerji, tel ve zamanda tasarruf sağlamaktadır. Makinede elektrolitik bakır malzeme kullanılarak sarılmış bobinler, 0,2 mm. cam elyaf izole ile verniklenerek H sınıfı yalıtılmıştır. Makine üç ayrı termostat tarafından korunur. 3500 volt trafo izolasyon testi her trafoya yapılmıştır. Trafo çıkışlarında cam elyafli makaron ve ısı değişimine dayanacak karakterde malzeme kullanılmıştır. Trafonun tüm kullanılan malzemeleri uzun çalışma koşullarına dayanımlı seçilmiştir. İsteğe bağlı olarak kolaylıkla doğrultmaçlı 4 makara sistemine geçilir Torcu su soğutmalı sistem ile çalışmaktadır. 0.8–1.6 mm. Ø MAG telleri ile kaynak imkanı sağlamaktadır. Makinenin ön yüzündeki “ DATA CHECK ” sayesinde kaynakçı çeşitli elektrot telleri için ayarları çok kolay yapabilir buda kaynak arkının daha doğru ve hassas bir şekilde düzenlenmesi imkânını sağlar. Elektronik kontrol ünitesi Ayarlanan her değerde sabit tel besleme hızını sağlayan transistor kontrollü regülasyon devresi bulunmaktadır. Çok konumlu kaynak yönetimi seçme anahtarı ile manüel, otomatik aralıklı ve nokta kaynağı yapmak mümkündür. Optimum ark ve kaynak karakteristiği almak için özel, kademeli kaynak ayar imkânı vardır. Elektronik kart “ FEED BACK ” (Geri besleme) sistemine haizdir. Elektrot telinin lineer sürüşünü sağlar. Şebeke dalgalanmalarından tel hızı etkilenmez. Seyyar tel sürme ünitesi, standart 3,5 m ara kablo ile 10 m.ye uzatma imkânı bulunmaktadır.



Şekil III. 1 MAG Kaynak Makinesi

III.3.2. Numunelerin Kaynak İşlemi İçin Hazırlanması

Kaynak işlemi için 37x75x2 mm boyutlarındaki ince taneli çelik malzemeler giyotin makas yardımı ile kesilerek hazırlandı. Çelik yüzeyindeki oksit tabakasının uzaklaştırılmasına yardım maksadıyla kesilen parçalar mekanik olarak temizlendi ve saf alkole (trikloretilen, CCl₂CHCl) batırıldı.

Kaynak işlemi sırasında torç sağdan sola doğru hareket ettirildi. Çatlak oluşumundan kaçınmak maksadıyla dikişe parça kenarından değil, birkaç cm. üzerinden başlandı. Elektrot olarak bakır kaplı SG-2 elektrot, torç ucundan 4-5mm dışarıda, küt alın formunda kullanılmış olup kimyasal bileşimi Tablo III.2 de gösterilmiştir. Koruyucu gaz olarak ise %100 karbondioksit (CO₂) gazı kullanıldı.

Tablo III. 2 Bakır Kaplı SG-2 elektrotun kimyasal bileşimi

C	Mn	Si	P	S	Cu (*)
0,07-0,10	1,4-1,6	0,8-1,0	Max. 0,025	Max. 0,025	Max. 0,30

(*)Bakır miktarı kaplanan bakırı da içermektedir.

Kaynak işleminde, ark başlamadan önce kaynak bölgesine kaynak akımı 105 Amper Ark gerilimi 24 Volt Kaynak Hızı 60 cm/dak ayarlanarak küt alın kaynağı pozisyonunda yatay kaynak tek paso olarak çekildi. Kaynak parametreleri Tablo III.3’de gösterilmiştir.

Tablo III. 3 StE 26 (1.0461).Çeliğe uygulanan MAG kaynak parametreleri

KAYNAK PARAMETRESİ	StE 26 (1.0461) ÇELİĞİ
Kullanılan Makine	Gedik Fronius Vario Star 404-2
Kullanılan Akım Türü	Doğru Akım
MAG Giriş Voltajı	380 V / 3 Faz
Elektrot Çapı, türü	0.8mm – SG-2
Gaz Akış Debisi	9-10 lt/dk
Lüle Çapı	11-13mm
Kaynak Hızı	60 cm/dak
Kaynak Akımı	105 Amper
Ark Mesafesi	1-2mm
Ark Oluşumu	Uzun Ark (Globüler Metal Taşınımı)

III.4. DENEY MALZEMELERİNİN BAKALİTE ALINMASI

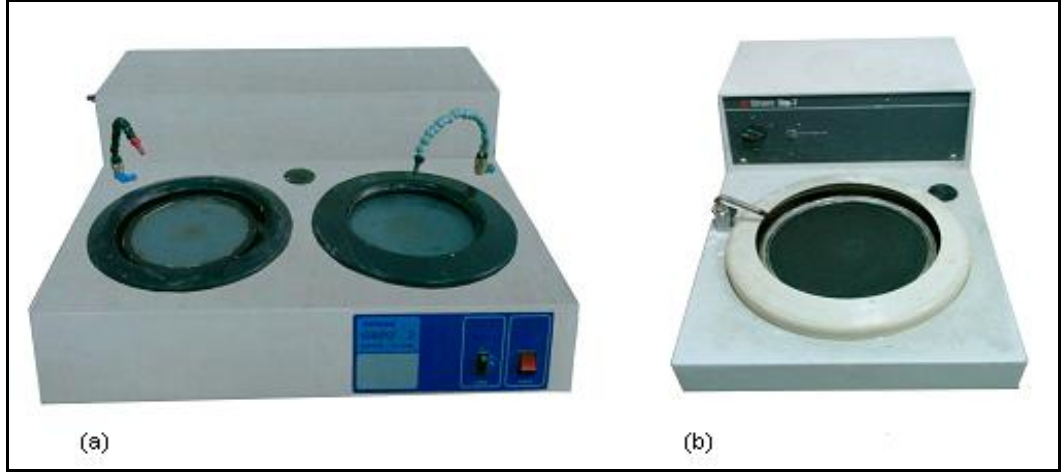
StE 26 (1.0461) Kaynaklanmış deney numuneleri Mecatome T 255/300 marka kesme diskiyle (Şekil III.2) bakalite alınabilecek boyutlarda kesildi. Bakalitlime işlemi için hazırlanan numuneler bakalite alınacak kabın içersine yerleştirildi. % 0,1 kobalt (Co) ve %99,9 reçine den oluşan birleşim bakalit kalıp içersine dökülerek numuneler kalıplandı. Kalıplanan numuneler iki kademedede parlatıldı.



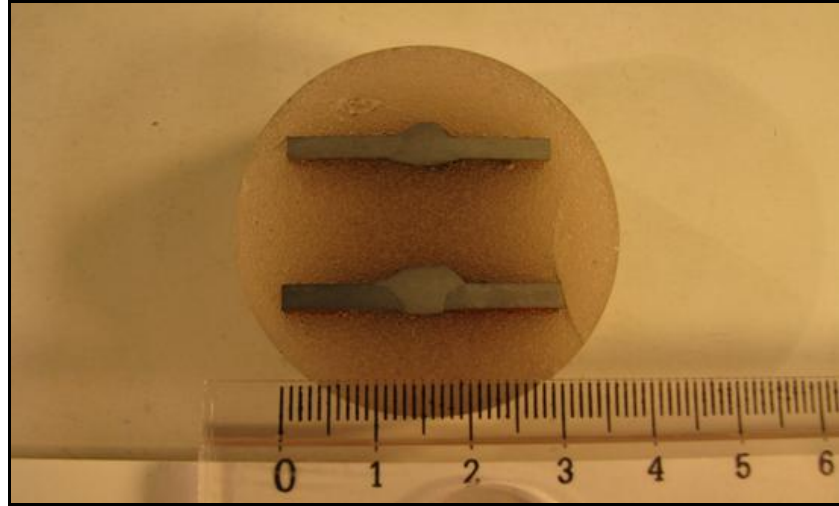
Şekil III. 2 Mecatome T 255/300 marka kesme cihazı

Birinci kademe parlatma silisyumlu kumlu zımpara ile yapıldı. Bu işlemde Şekil III.3a'daki Metkon Gripo markalı zımpara cihazı kullanılarak kaba zımparadan başlanıp ince zımparaya doğru işlem yapıldı. Bu işlem için 80, 150, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 no' lu zımparalar kullanıldı.

İkinci kademedede, son olarak da alümina elmas pasta ile yine Şekil III.3b'de gösterilen 250 devir/dakika ile dönen Struers Dap-7 marka parlatma cihazı ile kadife çuhada parlatılarak işlem tamamlandı. İşlem sonunda numuneler damıtık su ile yıkanıp hava ile kurutuldu. Bakalite alınarak kalıplanan numuneler parlatıldıktan sonra %95 nital ve %5 asetilen (HNO_3) karışımı dağlama reaktifi ile dağlandı. Kalıba alınmış deney numunelerinin fotoğrafı Şekil III.4'de verilmiştir.



Şekil III. 3 (a) Metkon Gripo markalı zımpara cihazı ve (b) Struers Dap-7 marka parlatma cihazı



Şekil III. 4 Bakalit kalıba alınmış deney numuneleri

III.5. UYGULAMA YAPILAN MALZEMELERİN SERTLİK DENEYİ

Bu deney TS EN 1043-2 / Nisan 1997 numaralı Metalik Malzeme Kaynaklarında Tahribatlı Deneyler – Sertlik Deneyi – Bölüm 2: Kaynaklı birleştirmelerde Mikro Sertlik Deneyi adlı standarta göre hazırlanmıştır.

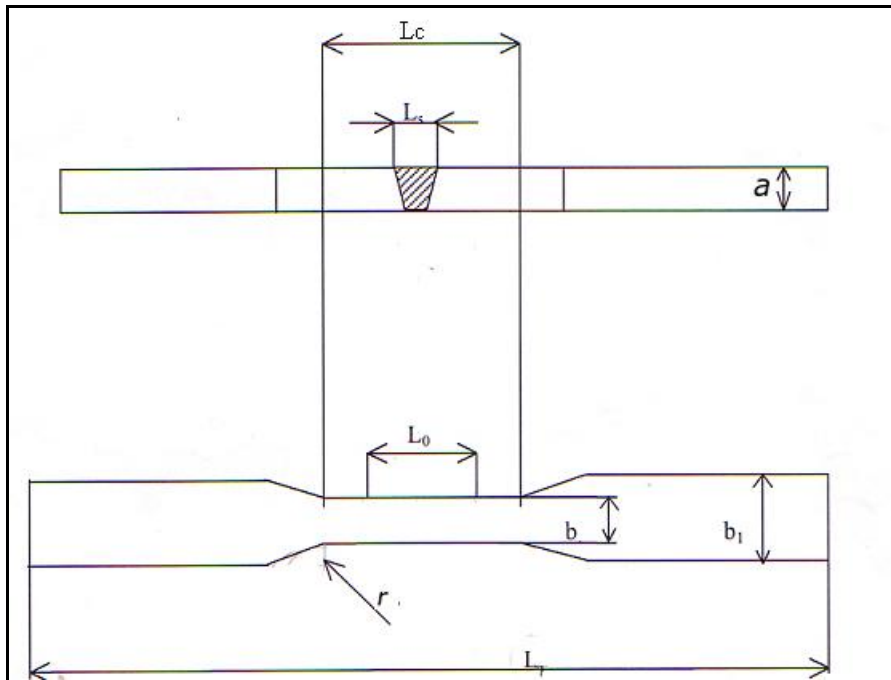
Deney numunesinin kaynaktan sonra ısıtılma işlemi görmeden ve ısıtılma işlemi sonrası mikro sertlik ölçümleri, 1 kg (9,81 N) yük ve 35 sn.'lik bir sürede, Instron Wolpert marka sertlik ölçme cihazıyla her numunedan ayrı ayrı olmak üzere kaynak metali, ITAB, ana metal bölgelerinden alınmıştır. Ölçümlerde 136° elmas piramit uç kullanıldı. 1 kg'dan 30.kg' a kadar yük uygulanabiliyor. Şekil III.5' te görülmekte olan cihaz x140 büyütme yapabilmektedir.



Şekil III. 5 Instron Wolpert marka sertlik ölçme cihazı

III.6.UYGULAMA YAPILAN MALZEMELERİN ÇEKME DENEYİ

Bu deney için TS 287 no'lu Metalik Malzemeler-Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Enine Çekme Deneyi isimli standarda göre numune hazırlanmış ve deney şartları yine bu standarda göre uygulanmıştır. Şekil III.6' de TS 287 no' lu Metalik Malzemeler-Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Enine Çekme Deneyi standardına uygun olarak hazırlanmış deney numunesi gösterilmiştir. Ayrıca Şekil III.6'da verilmiş olan görünümüne ait sembol ve boyutlar Tablo III.4'de verilmiştir.



Şekil III. 6 TS 287 no' lu standarda uygun olarak hazırlanmış deney numunesi

Tablo III. 4 Şekil III.6’ de verilmiş olan görünüme ait sembol ve boyutlar

Kısa Gösteriliş		Semboller	Boyutlar
Toplum Uzunluk		Lt	Özel deney makinesine uygun şekilde
Baş kısım genişliği		b1	B2 + 12
Kalibre edilmiş paralel uzunluğun genişliği	Plakalar	b	a<2 için 25 a>2 için 12
	Borular	b	D<50 için 6 50<D<168.3 için 25
Paralel uzunluk		Lc	›Ls+60
Baş kısmı kavis yarıçapı		r	›25
1) Basınç ve demet kaynağı için (EN 24063’ e uygun olan işlem grupları 2,4,751 ve76) Ls değeri sıfıra eşittir.			
2) Alüminyum bakır ve bunların alaşımları gibi diğer bazı metalik malzemeler için $L_0 > L_s + 100$ eşitsizliği gerekebilir.			

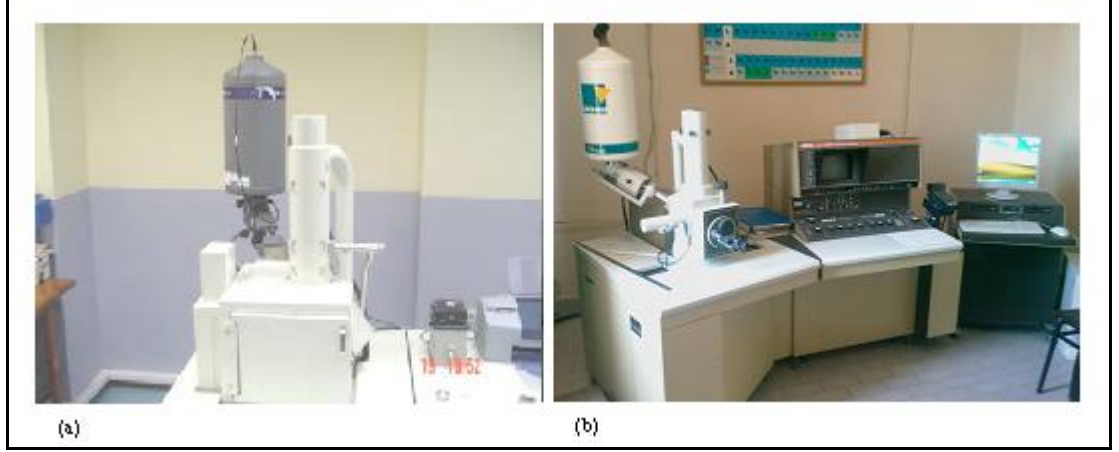
Çekme deneyi için DARTEC marka makine (Şekil III.7) kullanılmıştır. Aynı makine 25.000 kg yük ile çekime haizdir.



Şekil III. 7 DARTEC marka çekme deneyi makinesi

III.7. DENEY MALZEMELERİNİN SEM İNCELEMESİ

Deneysel çalışmalarda MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen parçalardan standartlara uygun olarak tüm ITAB bölgesini ve ana metali temsil eden numunelerden mikro yapı değişikliklerini incelemek için farklı büyütme ölçeklerinde görüntü alabilen Jeol JSM-5910 LV ve Jeol JSM-T330 marka Taramalı Elektron Mikroskopları (SEM) kullanılmıştır. (Şekil III.8).



Şekil III. 8 (a) Jeol JSM-5910 LV marka Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) (b) Jeol JSM-T330 marka Taramalı Elektron Mikroskop (SEM)

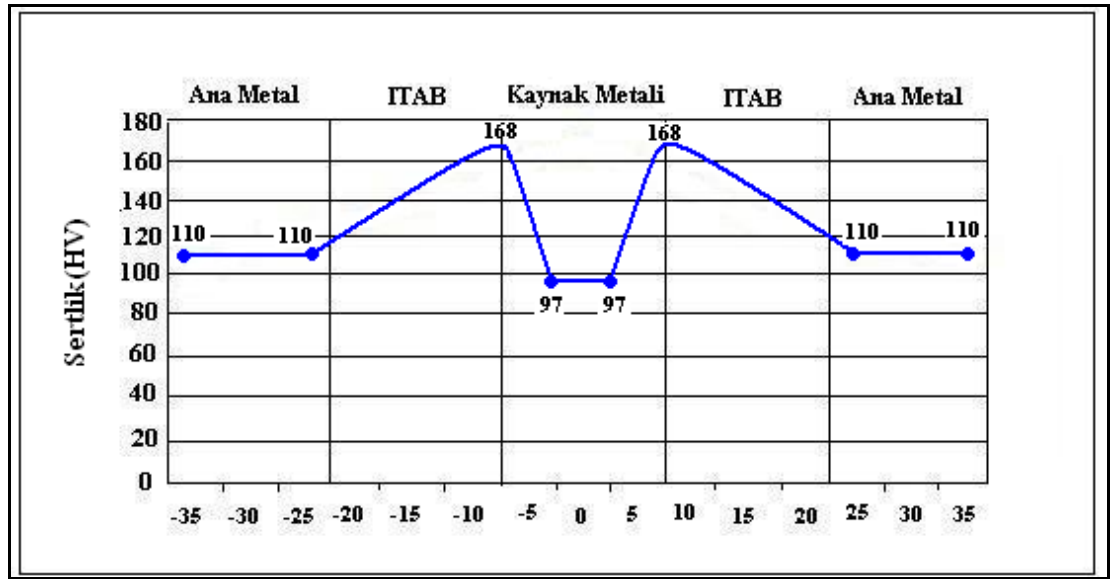
BÖLÜM IV

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

IV.1. ISIL İŞLEM ÖNCESİ StE 26 NUMUNESİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

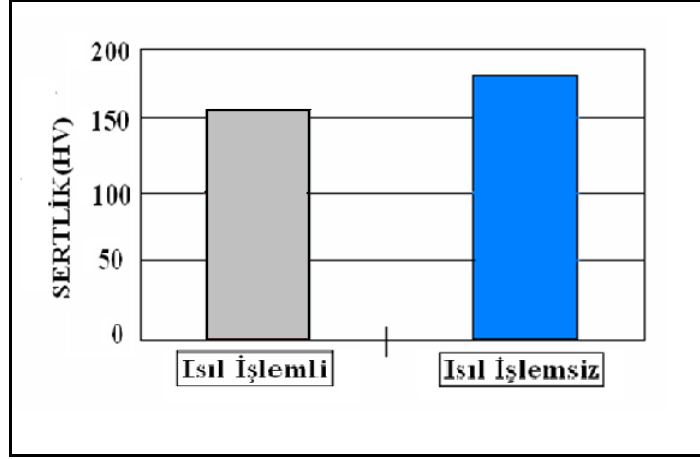
IV.1.1. Isıl İşlem Öncesi StE 26 Numunesinin Mikro Sertlik Değeri(HV)

StE 26'nın ısıtıl işlemden önce ve ısıtıl işlem sonrası HV sertlik ölçümü yapılmış olup ısıtıl işlem öncesi StE 26'nın farklı bölgelerinden alınan sertlik değerleri Şekil IV.1'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Isıl işlem öncesi StE 26'nın ana metal sertliği 110 HV, ITAB bölgesi ve kaynak metali arasında kalan bölgenin en yüksek sertlik değeri 168 HV olarak tespit edilmiştir.



Şekil IV. 1 Isıl işlem öncesi StE 26'nın farklı bölgelerinden alınan (HV) sertlik değerleri

Şekil IV.2'de StE 26 kaynaklı İnce taneli çeliğinin ısıtıl işlem öncesi ve sonrası sertlik değerlerinde ki farklılığı grafiksel olarak gösterilmiştir.



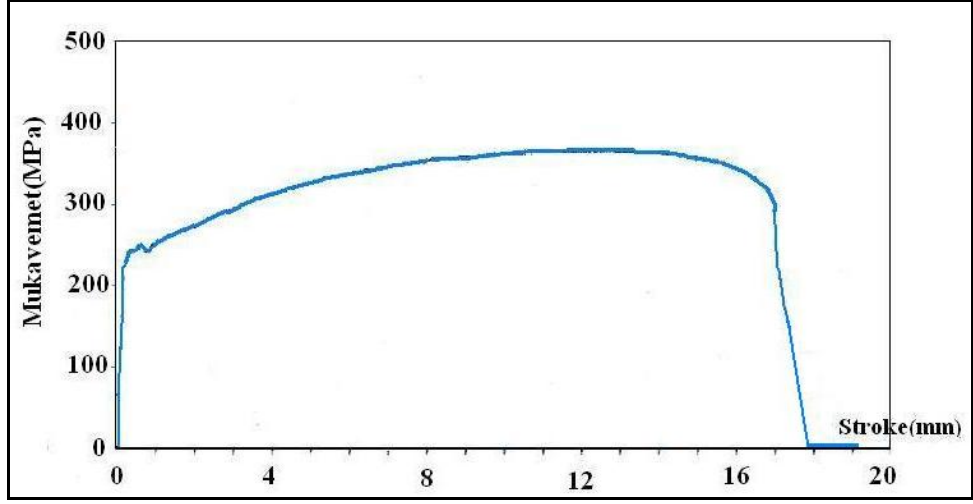
Şekil IV. 2 StE 26’nın karşılaştırmalı sertlik değer grafiği

IV.1.2. Isıl İşlem Öncesi StE 26 Numunesinin Çekme Deney Sonuçları

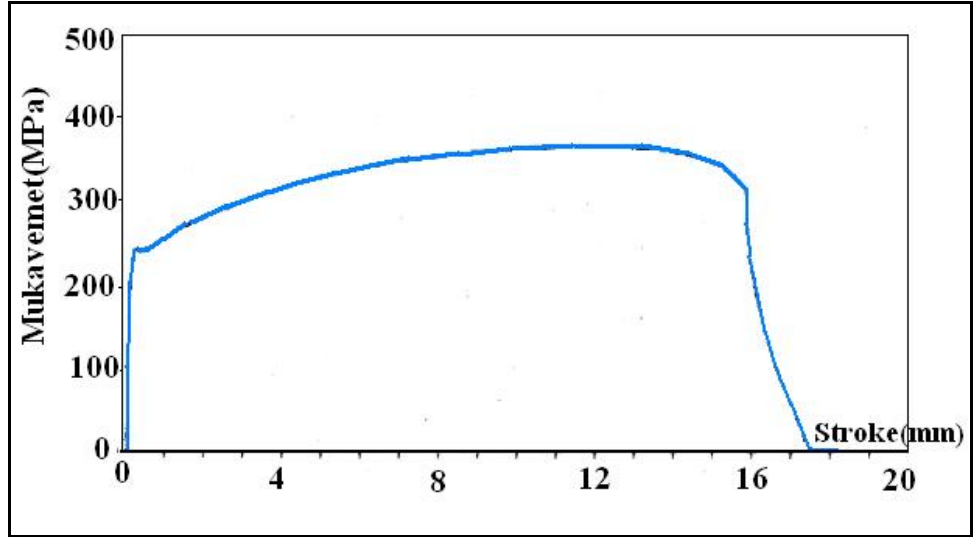
MAG Kaynak Yöntemi ile küt alın kaynağı pozisyonunda kaynatılan numuneler TS 287 nolu standardına göre hazırlandıktan sonra DARTEC marka çekme deney makinesinde farklı deney numuneleri çekilmiş olup bu deneylerin sonuçları Tablo IV.1 de verilmiştir. Ayrıca bu farklı deney numunelerine uygulanan çekme deneylerinin sonuç grafikleri Şekil IV.3, Şekil IV.4 ve Şekil IV.5’de gösterilmiştir.

Tablo IV. 1 Isıl işlem Öncesi StE 26 Numunesinin Çekme Deney Sonucu

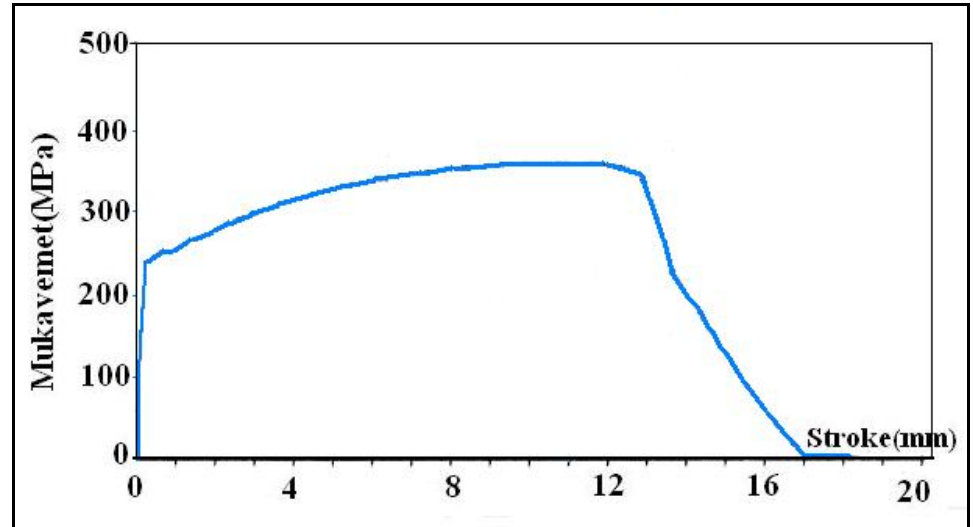
NUMUNE	GEN. mm	KAL. .mm	ÇEKME MUK. MPa	AKMA MUK. MPa	STROKE mm	% UZAMA
StE 26 numune 1	27,8	2,9	361	247	17,9	30,8
StE 26 numune 2	27,6	2,9	365	242	17,6	27,2
StE 26 numune 3	26,9	2,9	368	239	17,1	23



Şekil IV. 3 Isıl işlem öncesi StE 26 Numune1 için çekme deney sonuç grafiği



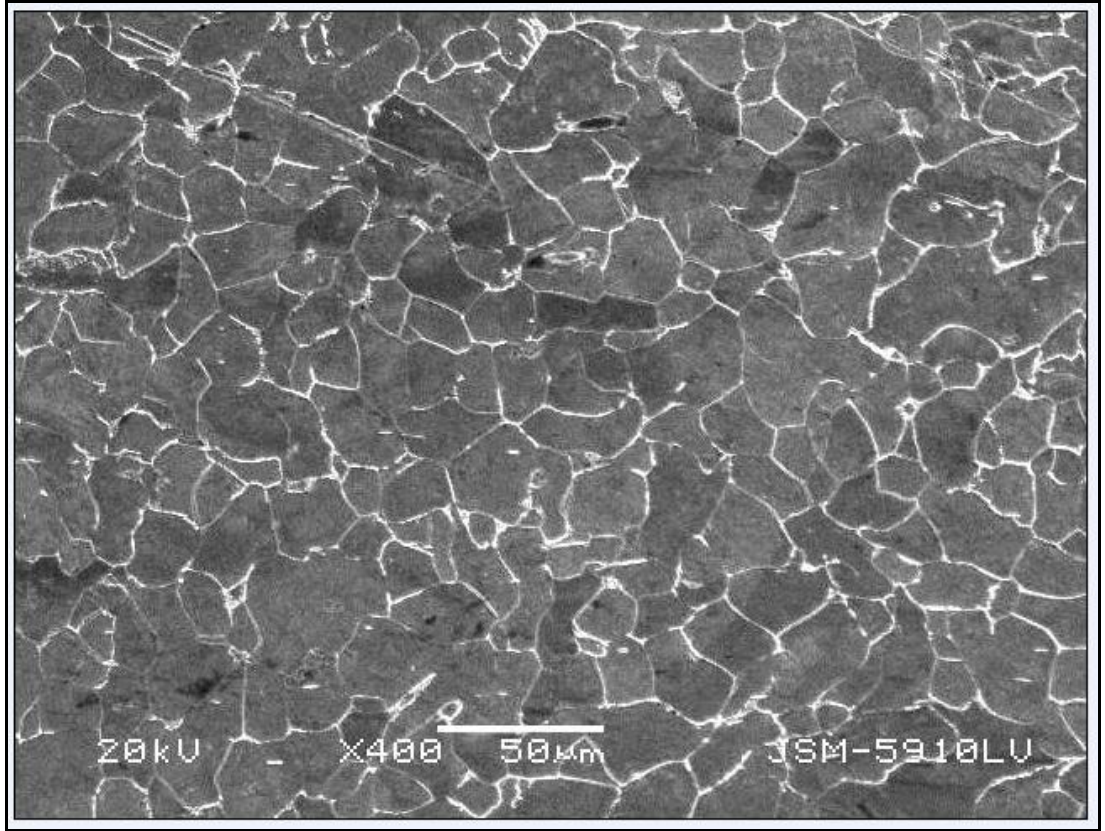
Şekil IV. 4 Isıl işlem öncesi StE 26 Numune2 için çekme deney sonuç grafiği



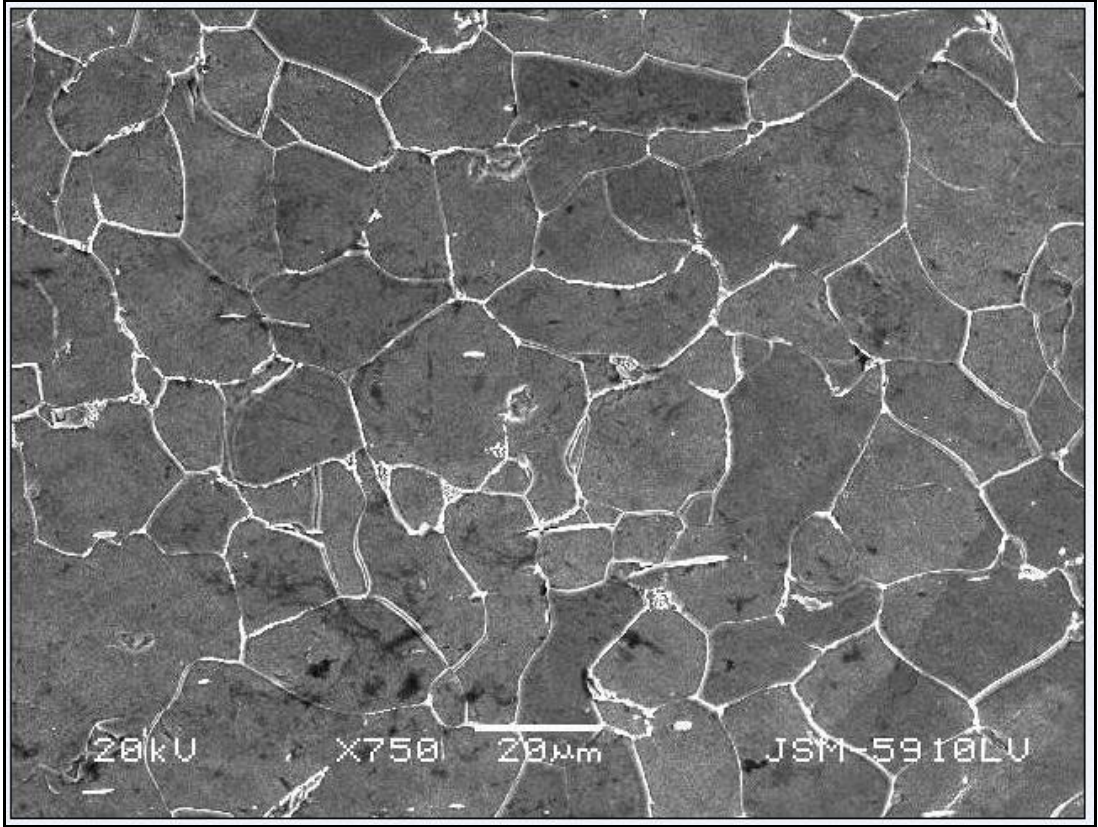
Şekil IV. 5 Isıl işlem öncesi StE 26 Numune3 için çekme deney sonuç grafiği

IV.1.3. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Ana Metalinden Alınan SEM Görüntüleri

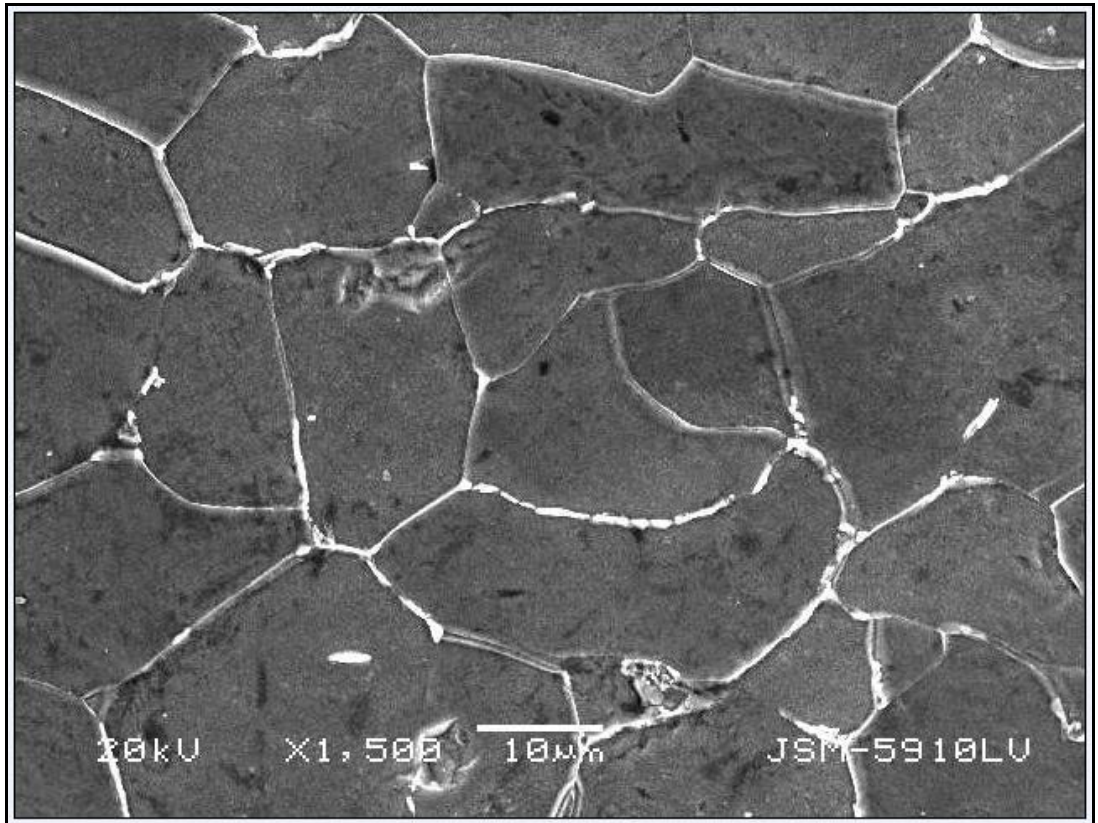
StE 26 Kaynaklı İnce taneli çeliğinin SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi) mikrografisinde tane içi matris, tane sınırları ve renk farkı olan bölgeler belirlenerek belirlenen bölgelerin EDS (Enerji Dağılım Diyagramı) analizleri alınmıştır. Tane içlerinden yapılan EDS analizlerinde, daha çok Fe ağırlıklı ve düşük oranda C pikleri elde edilmesine karşın tane sınırlarında yapılan analizlerde büyük oranda ilave alaşım elemanı saptanmıştır. SEM'de özgül ağırlığı düşük olan element daha koyu görünürken özgül ağırlığı yüksek olan element daha açık renkte görünmektedir. Örneğin; Fe'nin özgül ağırlığı Al'den daha yüksek olduğu için SEM'den alınan görüntüde daha açık renkte görünecektir. Isıl işlem Öncesi StE 26 numunesinin ana metalinden farklı büyütme ölçeklerinde alınan görüntüler Şekil IV.6, Şekil IV.7 ve Şekil IV.8'de verilmiştir.



Şekil IV. 6 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X400)



Şekil IV. 7 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X750)

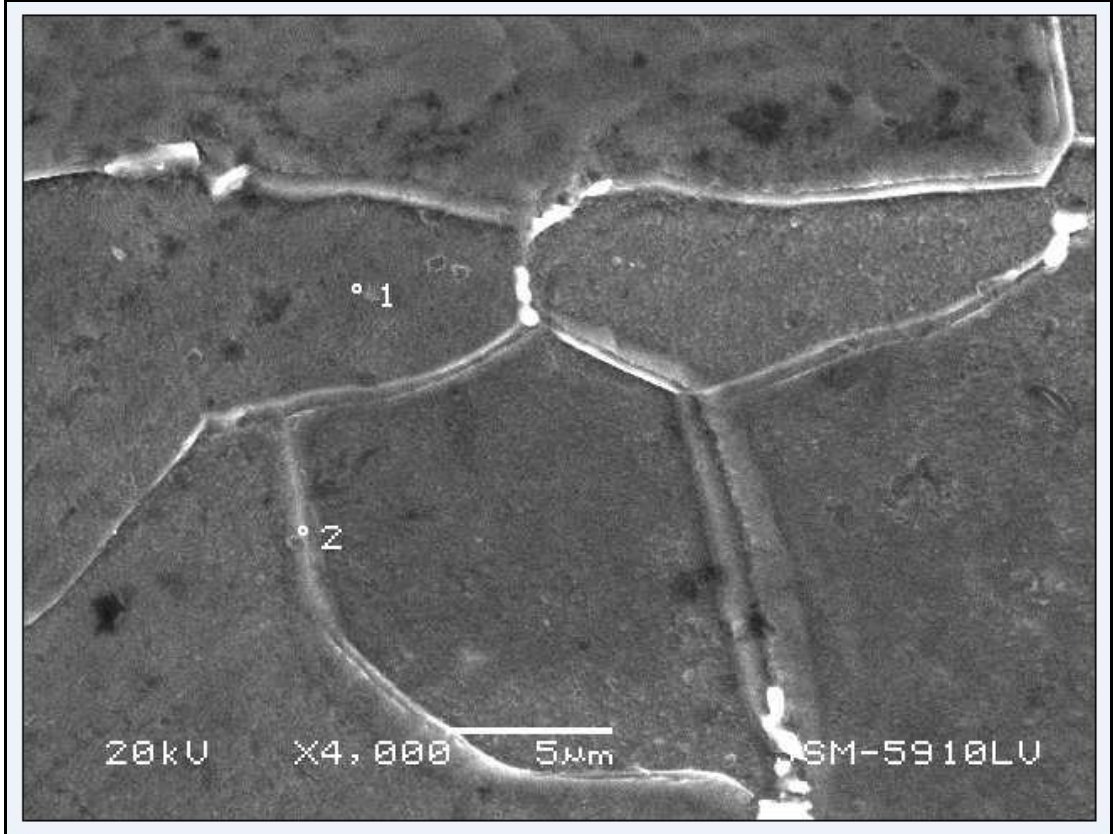


Şekil IV. 8 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1500)

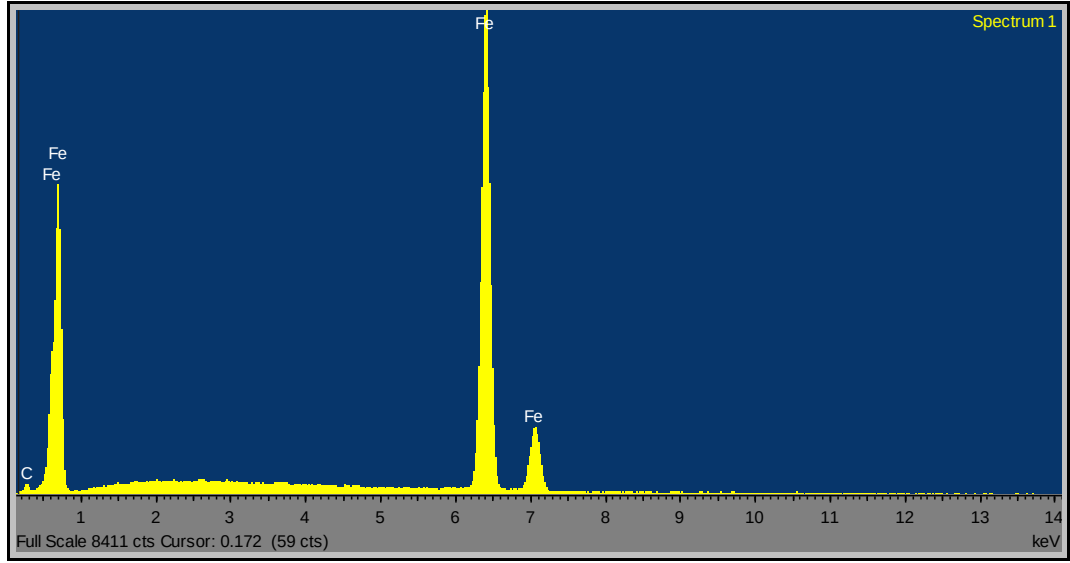
IV.1.4. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Ana Metalinden Alınan EDS Analizleri

StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğinin ana metalinin matris (1) ve tane sınırından (2) EDS analizi alınmıştır. EDS analizi alınan bölgelerin SEM görüntüsü Şekil IV.9'da verilmiştir. Şekil IV.10 ve Şekil IV.11'de sırasıyla StE 26 ana metal matris EDS grafiği ve StE 26 ana metal tane sınırı EDS grafiği görülmektedir.

Tane içlerinden yapılan analizlerde, Fe ağırlıklı pikler ve düşük oranda C pikleri elde edilmesine karşın tane sınırlarında yapılan analizlerde ilave alaşım elemanı olarak Al'a rastlanılmıştır. C çeliğin mekanik özellikleri üzerine en büyük tesiri olan elemandır. Burada mikro alaşım elementi olarak bulunan Al oluşturduğu ince karbür, nitrür ve karbünitrür taneleri ile çelikte iğneleme tesiri yaparak tane yapısının büyümesine engel teşkil etmektedir.



Şekil IV. 9 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal EDS analiz bölgesi(X4000)



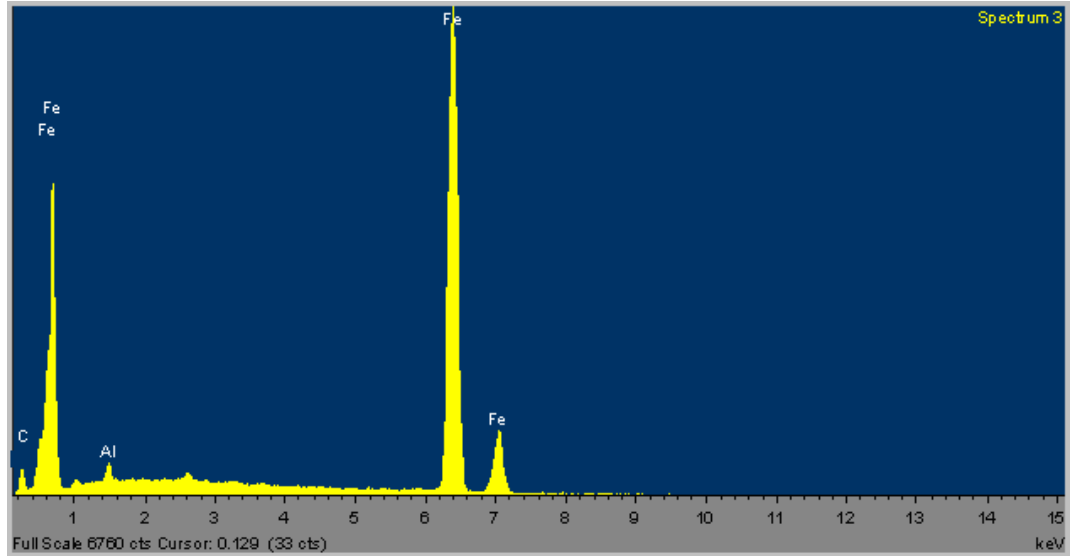
Şekil IV. 10 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal matris EDS analiz grafiği

Ana Metal EDS

MATRİS

Fe 99,76

C 0,24



Şekil IV. 11 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal tane sınırı EDS analiz grafiği

Ana Metal EDS

TANE SINIRI

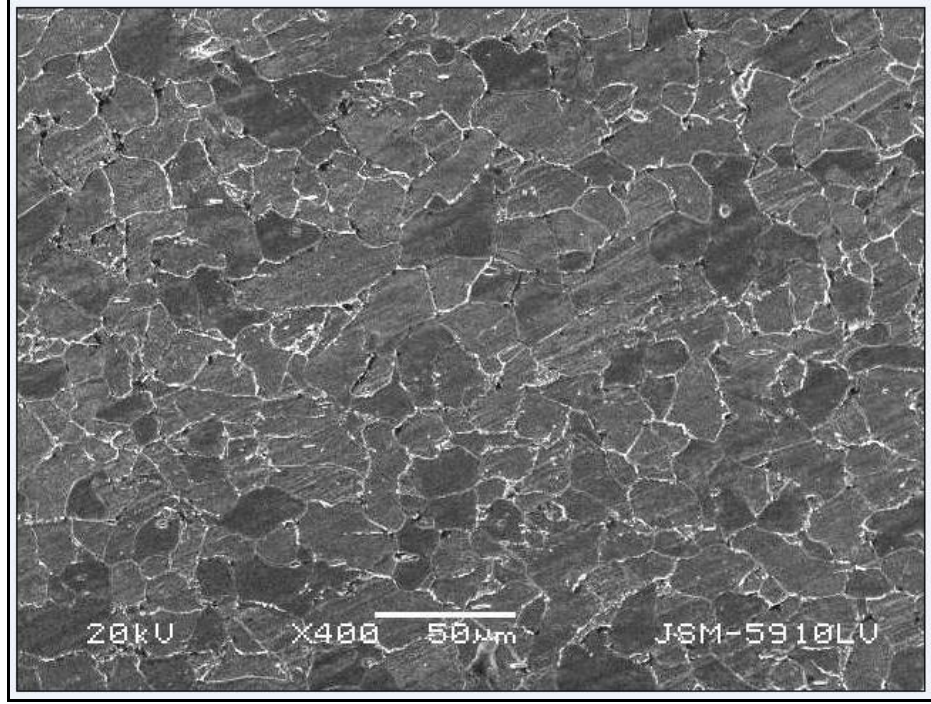
Fe 98,03

C 0,54

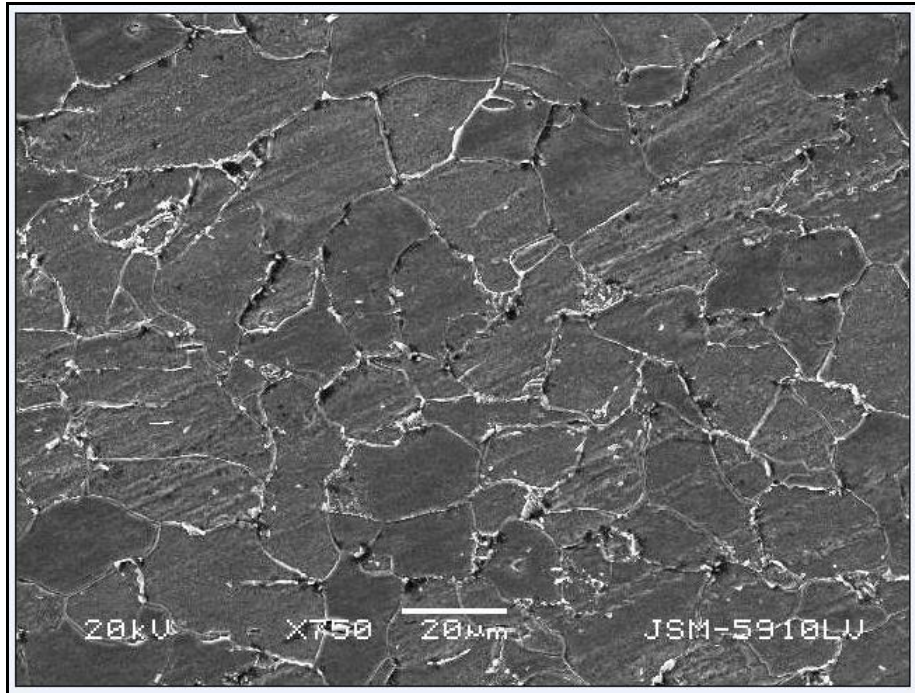
Al 1,43

IV.1.5. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Ana Metalinden Alınan SEM Görüntüleri

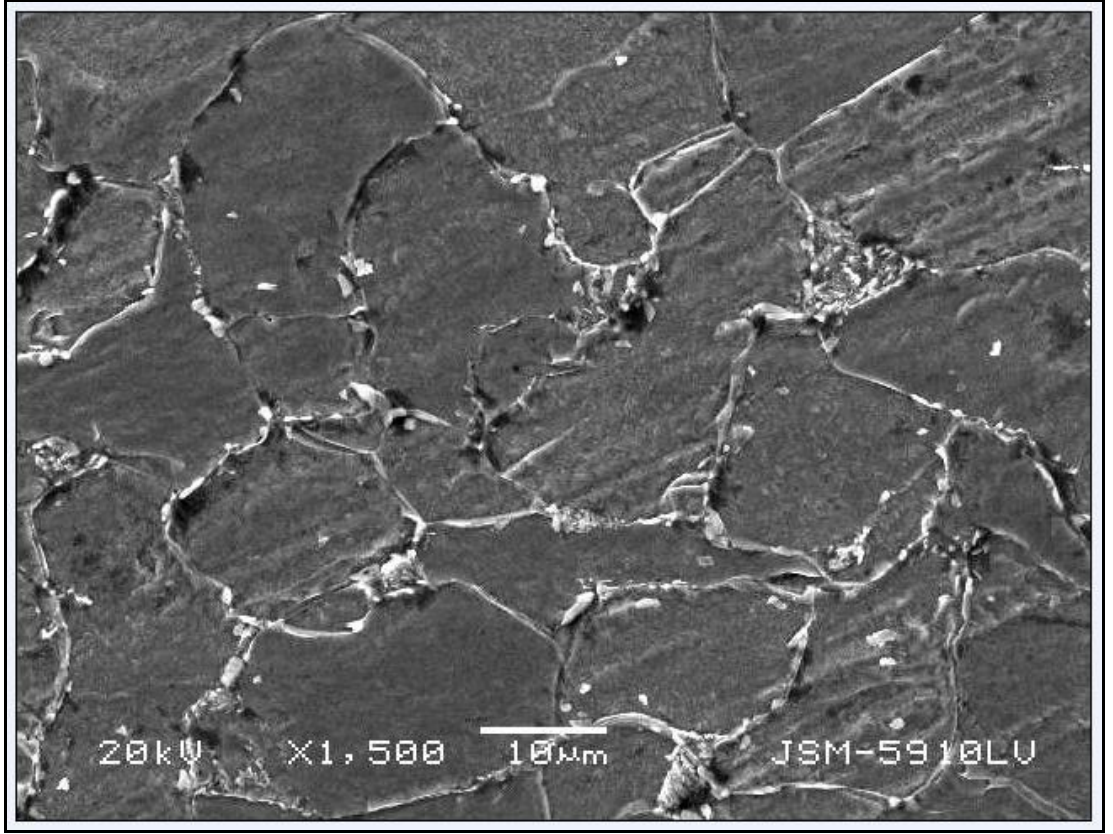
Isıl işlem Öncesi StE 26 numunesinin ana metalinin ITAB'a yakın bölgesinden farklı büyütmelerde alınan görüntüler Şekil IV.6, Şekil IV.7 ve Şekil IV.8'de verilmiştir. Bu alınan görüntülerle ana metalde ITAB bölgesine yaklaştıkça tane boyutlarında küçülmelerin olduğu gözlemlenmiştir.



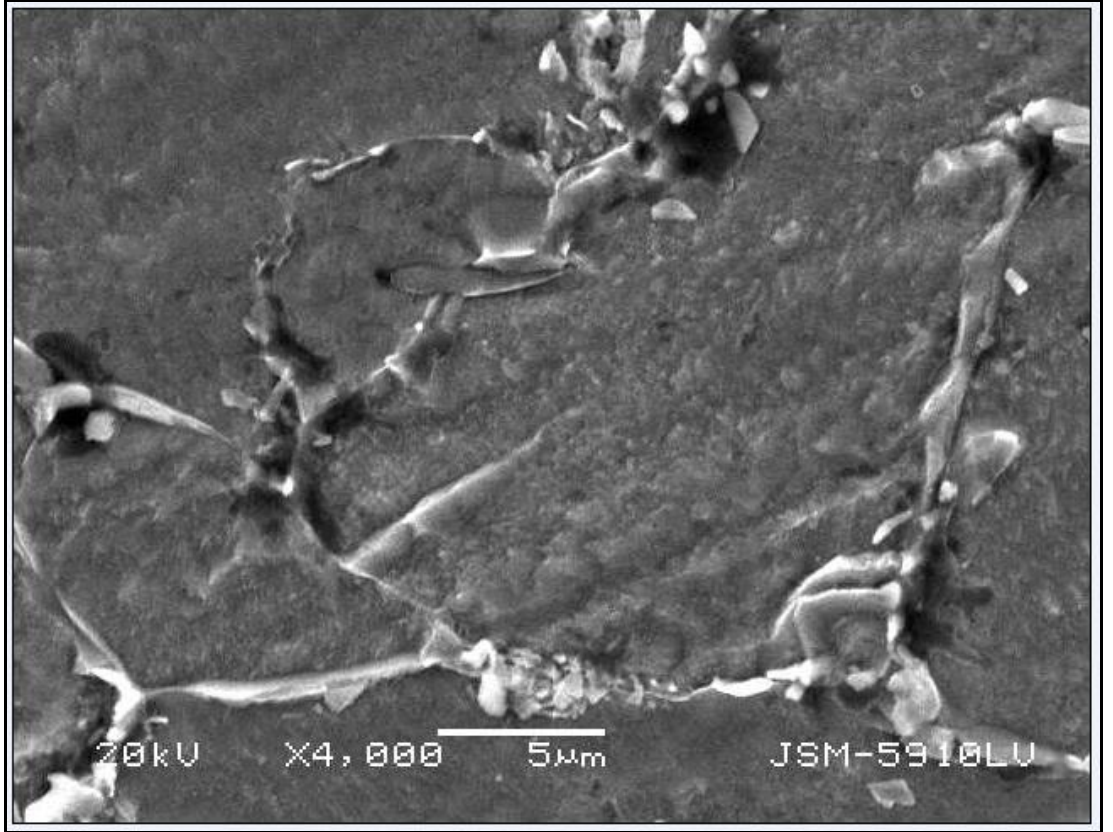
Şekil IV. 12. Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X400)



Şekil IV. 13. Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X750)



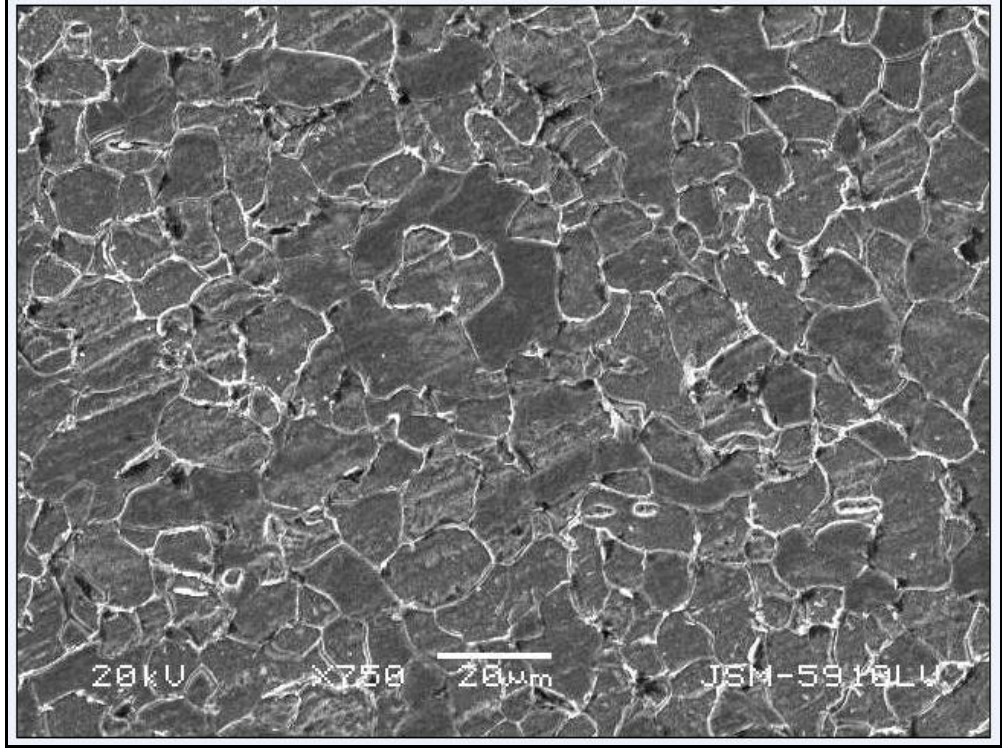
Şekil IV. 14 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1500)



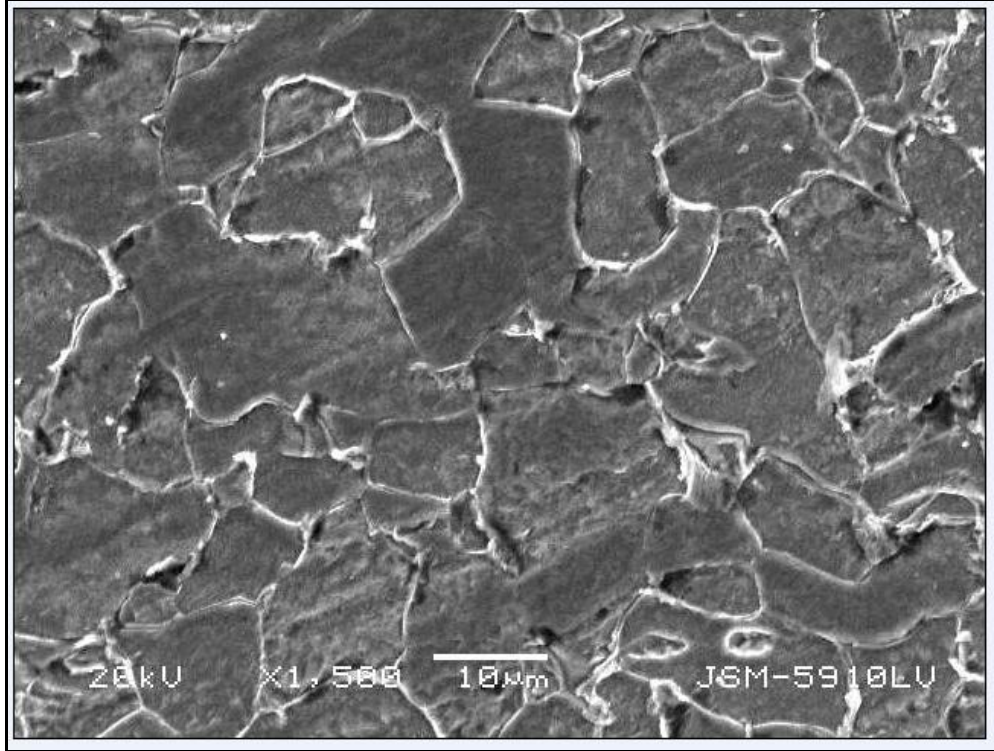
Şekil IV. 15 Isıl işlem öncesi StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X4000)

IV.1.6. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın ITAB'ından Alınan SEM Görüntüleri

Isıl işlem Öncesi StE 26 numunesinin ITAB'ından farklı büyütmelerde alınan görüntüler Şekil IV.16 ve Şekil IV.17'de gösterilmiştir.



Şekil IV. 16 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X750)

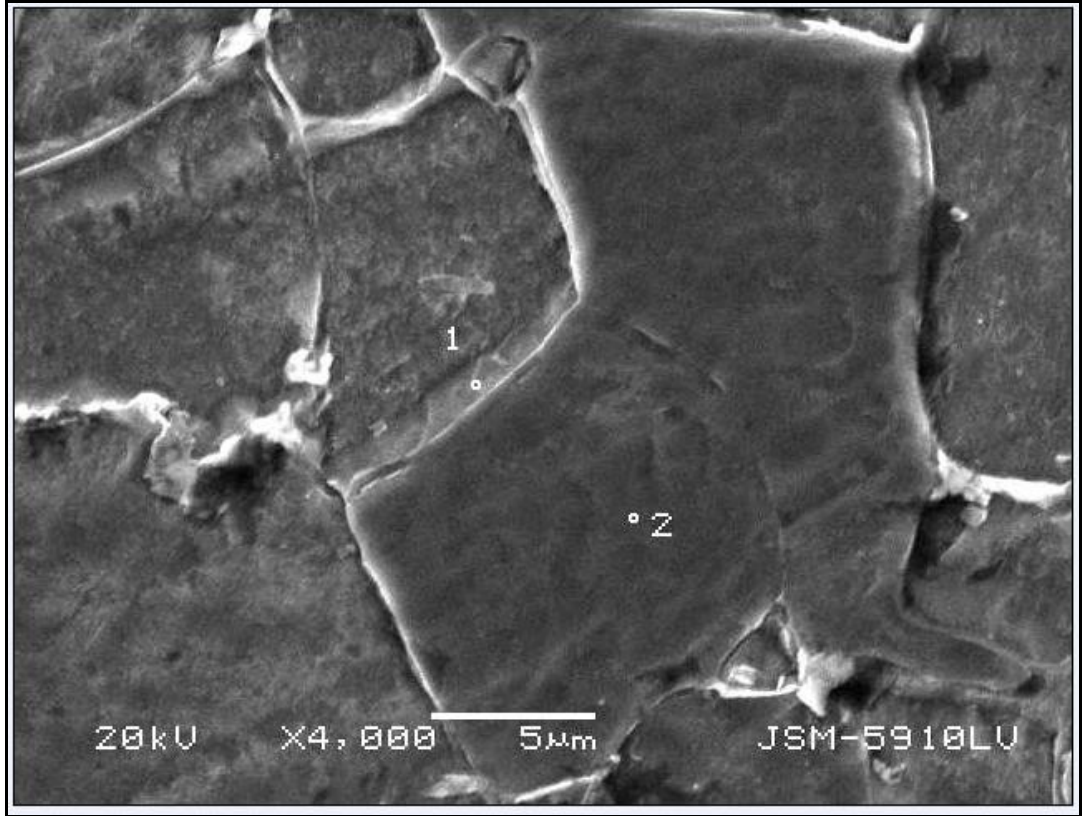


Şekil IV. 17 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X1500)

IV.1.7. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın ITAB'ından Alınan EDS Analizleri

StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğinin ana metalinin matris (2) ve tane sınırından (1) EDS analizi alınmıştır. EDS analizi alınan bölgelerin SEM görüntüsü Şekil IV.18'de verilmiştir. Şekil IV.19 ve Şekil IV.20'de sırasıyla StE 26 ITAB tane sınırı EDS grafiği ve StE 26 ITAB matris EDS grafiği görülmektedir.

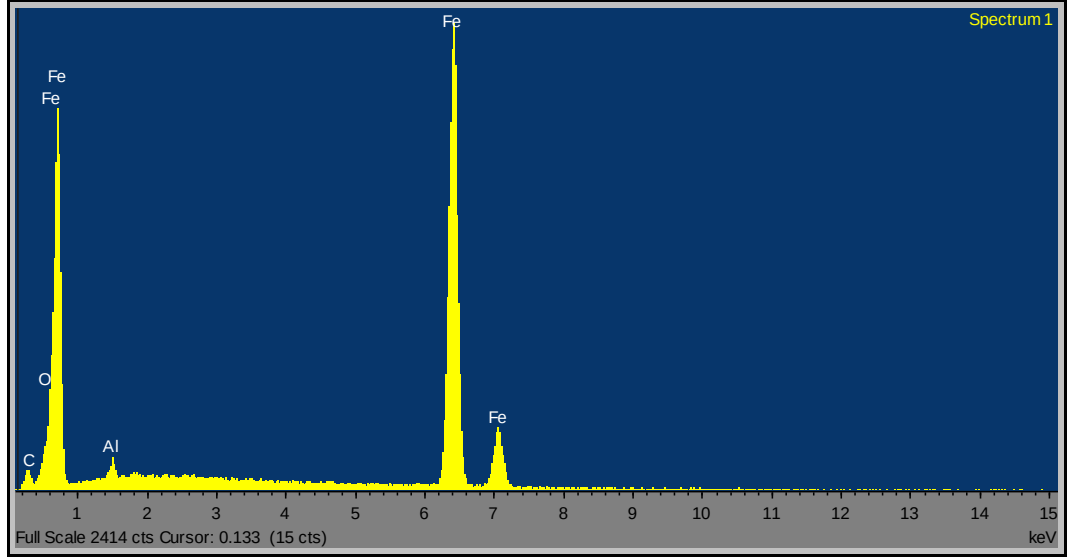
Tane içlerinden yapılan analizlerde, Fe ağırlıklı pikler ve düşük oranda C piklerinin yanısıra alaşım elemanı olarak Mn ve Si görülmüştür. Tane sınırlarında yapılan analizlerde ise ilave alaşım elemanı olarak Al'a ve O'e rastlanılmıştır.



Şekil IV. 18 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB EDS analiz bölgesi(X4000)

Şekil IV.19' da verilen ısıtıl işlem öncesi StE 26 ITAB tane sınırı EDS analiz ine ait alaşım elementlerinin % oranları aşağıdaki gibidir;

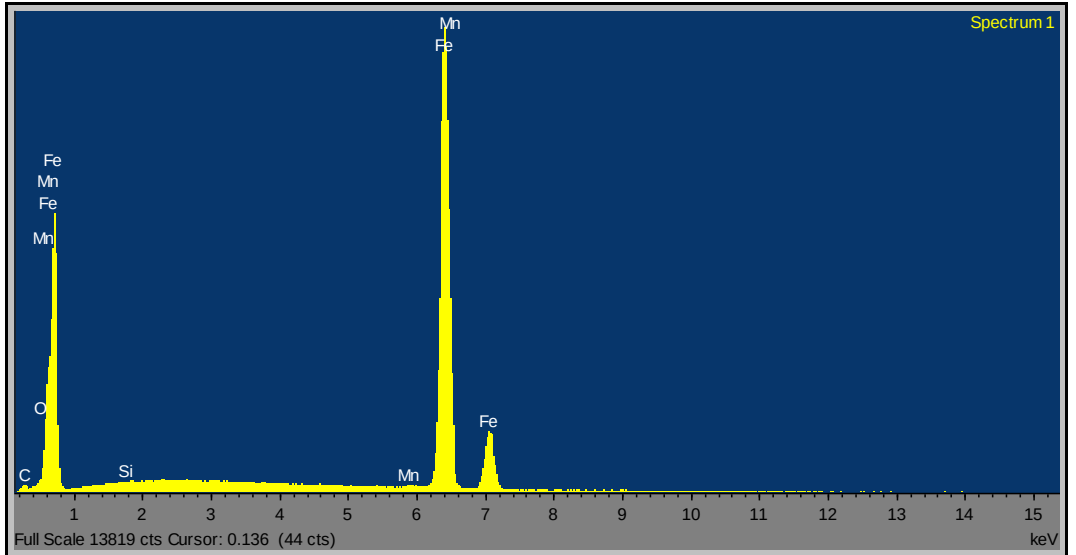
Fe	94,05
C	0,82
O	3,68
Al	1,45



Şekil IV. 19 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB tane sınırı EDS analiz grafiği

Şekil IV.20’ da verilen ısıl işlem öncesi StE 26 ITAB tane sınırı EDS analiz ine ait alaşım elementlerinin % oranları aşağıdaki gibidir;

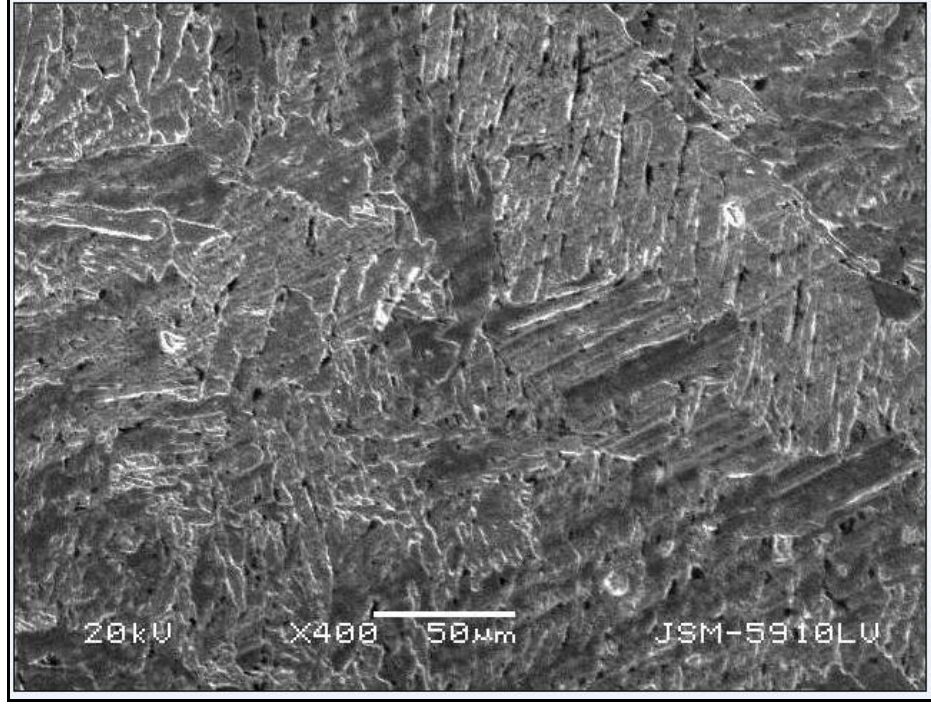
Fe	98,59
C	0,23
O	0,41
Si	0,32
Mn	0,45



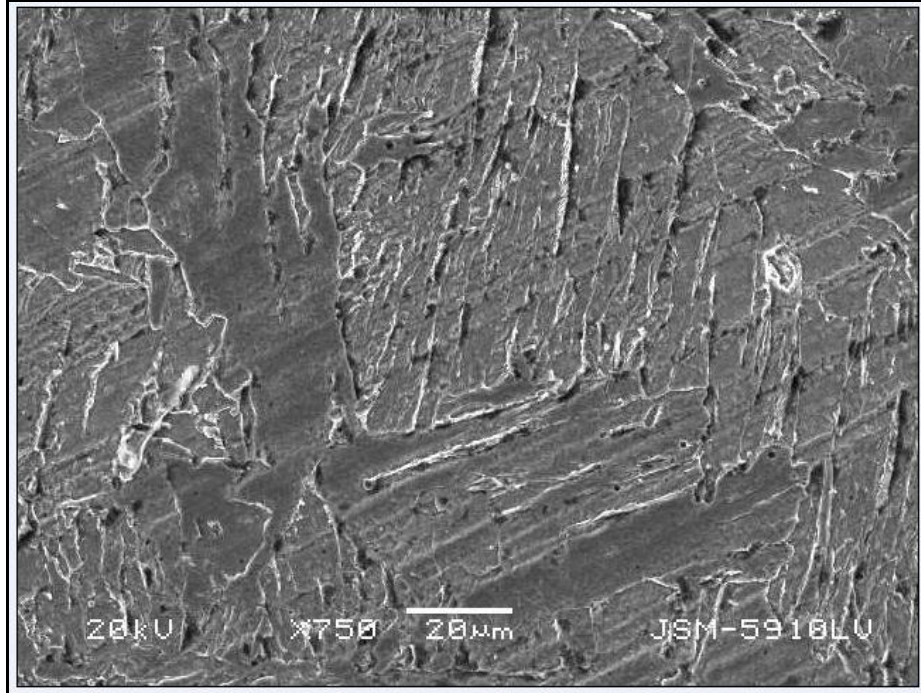
Şekil IV. 20 Isıl işlem öncesi StE 26 ITAB matris EDS analiz grafiği

IV.1.8. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Kaynak Metalinden Alınan SEM Görüntüleri

Isıl işlem Öncesi StE 26 numunesinin kaynak metalinden farklı bölge ve büyütmelerde alınan görüntüler Şekil IV.21, Şekil IV.22, Şekil IV.23 ve Şekil IV.24'te gösterilmiştir.



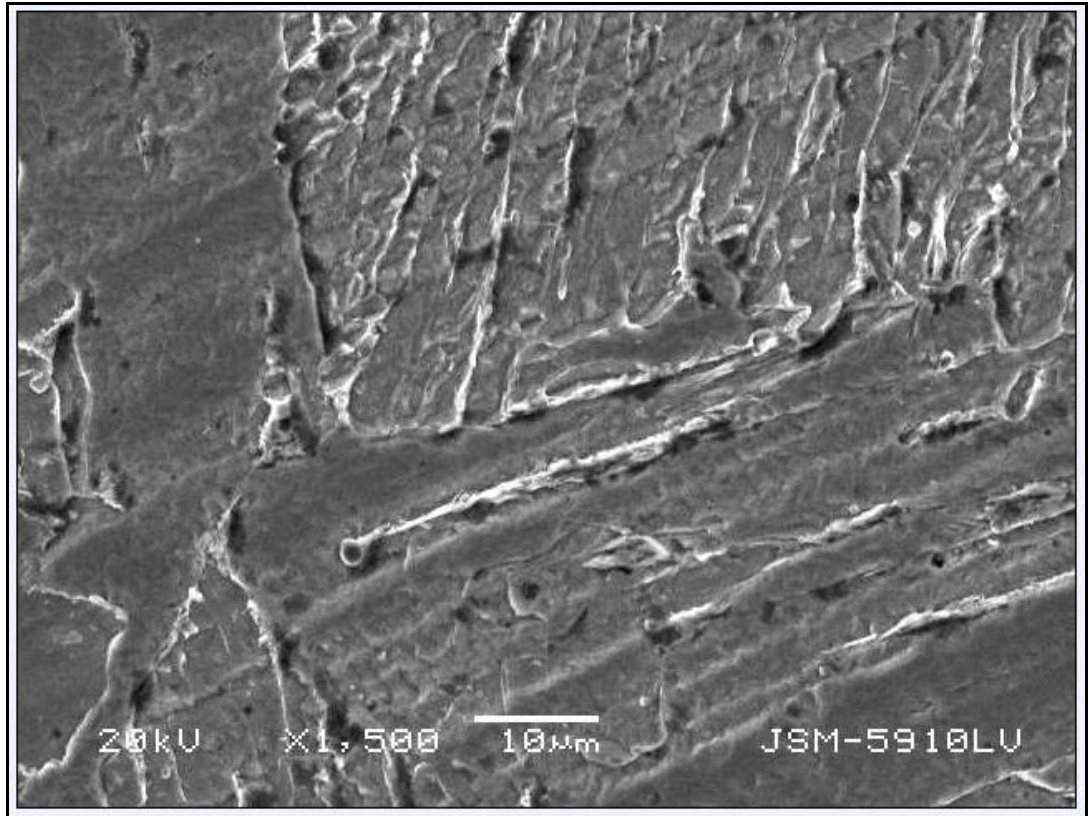
Şekil IV. 21 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X400)



Şekil IV. 22 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X750)



Şekil IV. 23 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X750)



Şekil IV. 24 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X1500)

IV.1.9. Isıl İşlem Öncesi StE 26'nın Kaynak Metalinden Alınan EDS Analizleri

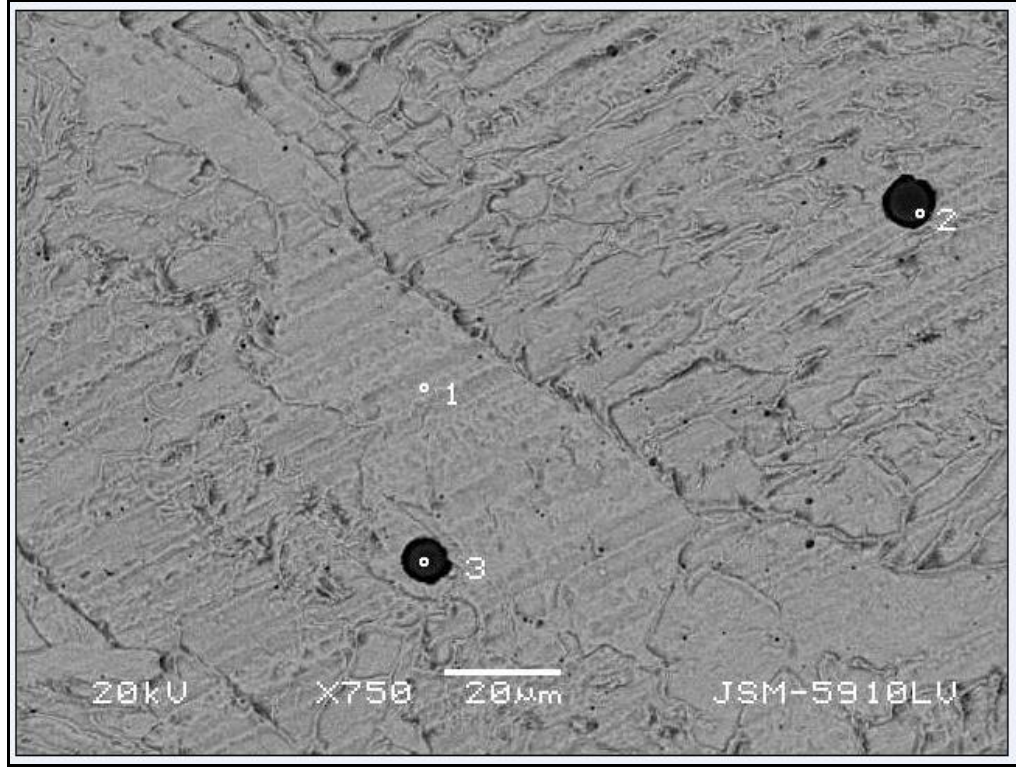
StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğinin kaynak metalinin belirli yerlerinden EDS analizi alınmıştır. EDS analizi alınan bölgelerin SEM görüntüsü Şekil IV.25'de verilmiştir. Şekil IV.26, Şekil IV.27 ve Şekil IV.28'de StE 26 kaynak metalinin EDS grafikleri verilmiştir.

Kaynak metali bölgesinde tane sınırlarından bahsetmenin neredeyse mümkün olmadığı ve kaynak ısının tesiri ile tane sınırları oluşturmaya çalışan bir yapı görülmektedir. Kaynak işleminin sağladığı ısının tesiri ile bileşikler kaynak metaline doğru ince çizgisel, ana metal bölgesine doğru ise daha kalın ve bazı noktalarda toplu olarak oluşmaktadır.

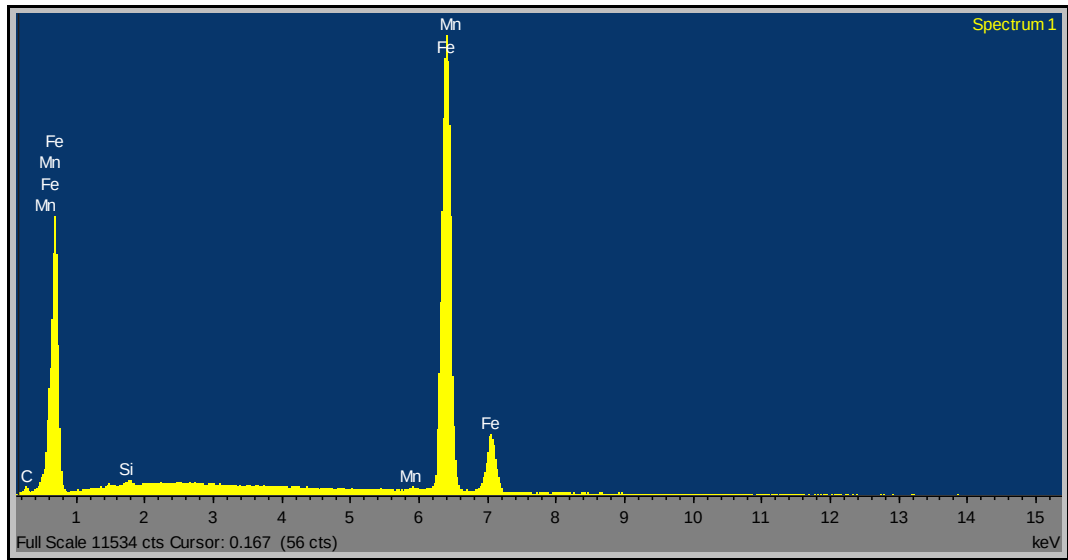
Yapılan analizlerde, Fe ağırlıklı piklerle birlikte (1) nolu nokta da alaşım elemanı olarak C, Mn ve Si (2) ve (3) nolu noktalarda ise ilave alaşım elemanı olarak C, Mn ve Si'un yanı sıra Al, S, O ve W'a rastlanılmıştır.

Al kaynak metalinde oksijen ile inklüzyon ve çökelti yapan bir elementtir. Gayet zor yüzeye çıkar ve ekseriya kaynak metali içerisinde kalan çok dallanmış kristaller şeklinde teşekkül eder. O ekseriya alaşım elemanları ile (özellikle Al, Mn ve Si) tepkimeye girerek inklüzyon teşkiline yol açtığından çelikte istenmeyen elemanlar arasında bulunur. Şekil IV.25'te görülen (2) ve (3) nolu inklüzyon noktalarının oluşumu da O'nin aynı noktada bulunan Mn, Si veya Al alaşım elementlerine bağlanması ile meydana gelmiştir.

Şekil IV.25'de verilen kaynak metali EDS analiz bölgesi SEM görüntüsü bölgedeki özellikle inklüzyonların oluşturduğu atomik faz ayrımının daha net görüntülenebilmesi için backscatter electron image (BEI) formatında alınmıştır.

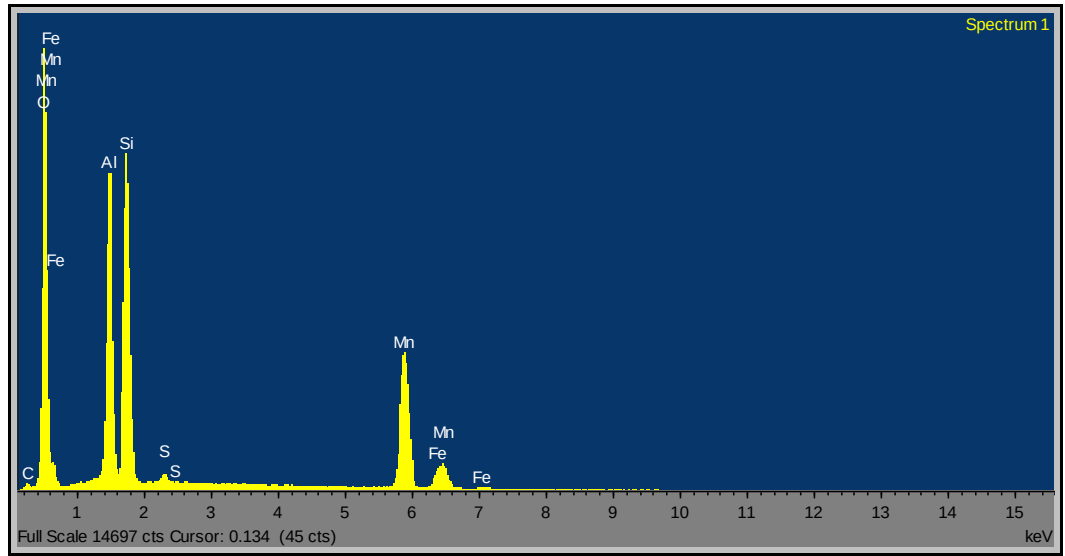


Şekil IV. 25 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali EDS analiz bölgesi backscatter görüntüsü



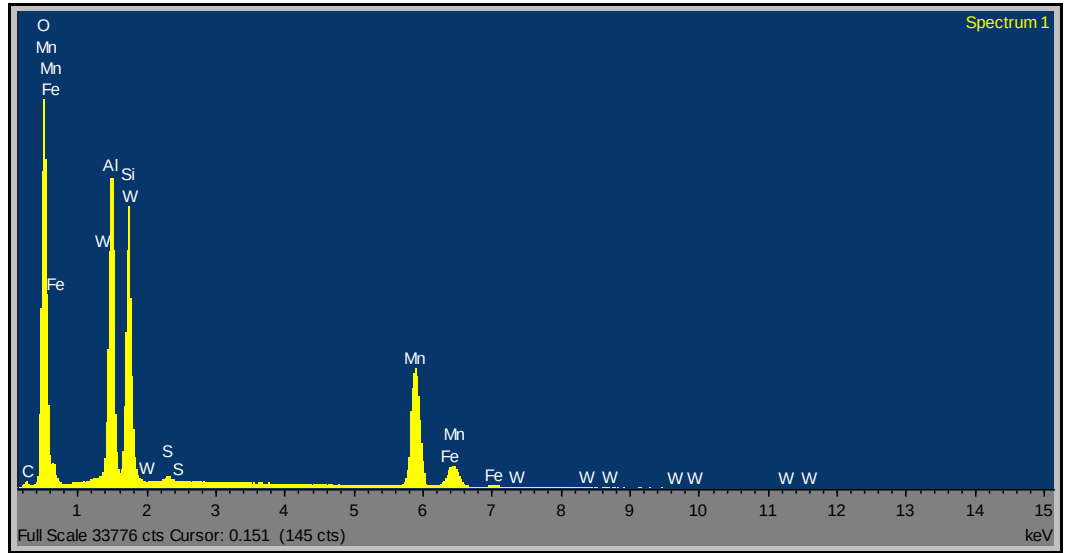
Şekil IV. 26 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali (1). nokta EDS analiz grafiği

Fe	98,73
C	0,28
Si	0,38
Mn	0,61



Şekil IV. 27 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali (2). nokta EDS analiz grafiği

Fe	2,37	Si	15,34
C	2,45	Mn	19,76
O	46,38	S	0,42
Al	13,27		



Şekil IV. 28 Isıl işlem öncesi StE 26 kaynak metali (3). nokta EDS analiz grafiği

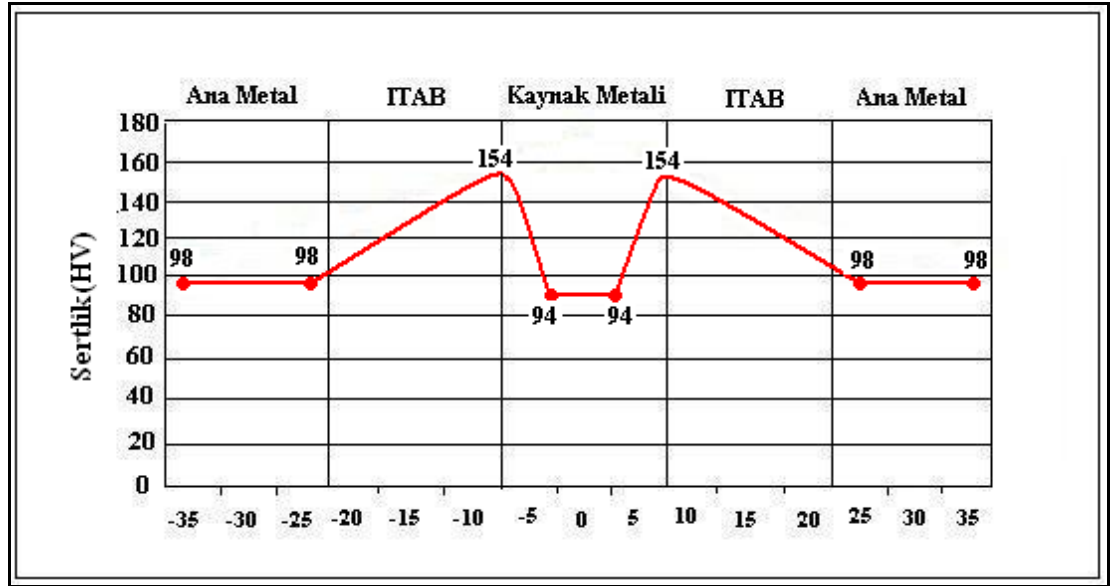
Fe	2,49	Si	14,48
C	2,71	Mn	19,12
O	45,97	S	0,30
Al	14,28	W	0,64

IV.2. ISIL İŞLEM SONRASI StE 26 NUMUNESİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğine ısıtıl işlem olarak 640 °C’de 150 dakika gerilme giderme tavlama uygulanmıştır. Bu tavlama ısıtıl işleminden sonra malzemenin mekanik ve mikroyapısında meydana gelen değışikliklerin tespiti için ısıtıl işlemden önce StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğe uygulanan tüm deneyler ısıtıl işlem sonrasında da uygulanarak sonuçlar irdelenmiştir.

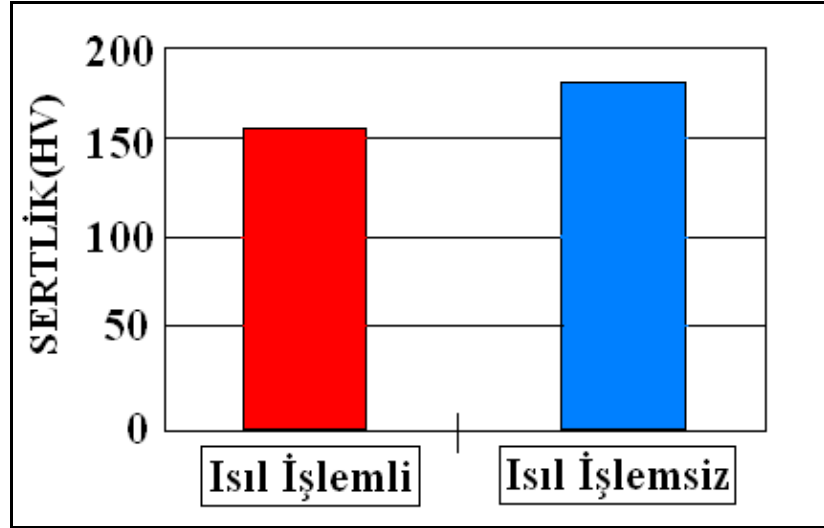
IV.2.1. Isıl İşlem Sonrası StE 26 Numunesinin Mikro Sertlik Değeri(HV)

StE 26’nın ısıtıl işlem sonrası HV sertlik ölçümü yapılmış olup farklı bölgelerinden alınan sertlik değeri Şekil IV.29’da grafiksel olarak gösterilmiştir. Isıl işlem sonrası StE 26’nın ana metal sertliği 98 HV, ITAB bölgesi ve kaynak metali arasında kalan bölgenin en yüksek sertlik değeri 154 HV olarak tespit edilmiştir.



Şekil IV. 29 Isıl işlem sonrası StE 26’nın farklı bölgelerinden alınan (HV) sertlik değeri

Şekil IV.30’da StE 26 kaynaklı İnce taneli çeliğinin ısıtıl işlem öncesi ve sonrası sertlik değeri ki farklılığı grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil de görüldüğü gibi ısıtıl işlem sonrası numunenin sertliğinde bir azalma görülmektedir.



Şekil IV. 30 StE 26'nın karşılaştırmalı sertlik değer grafiği

IV.2.2. Isıl İşlem Sonrası StE 26 Numunesinin Çekme Deney Sonuçları

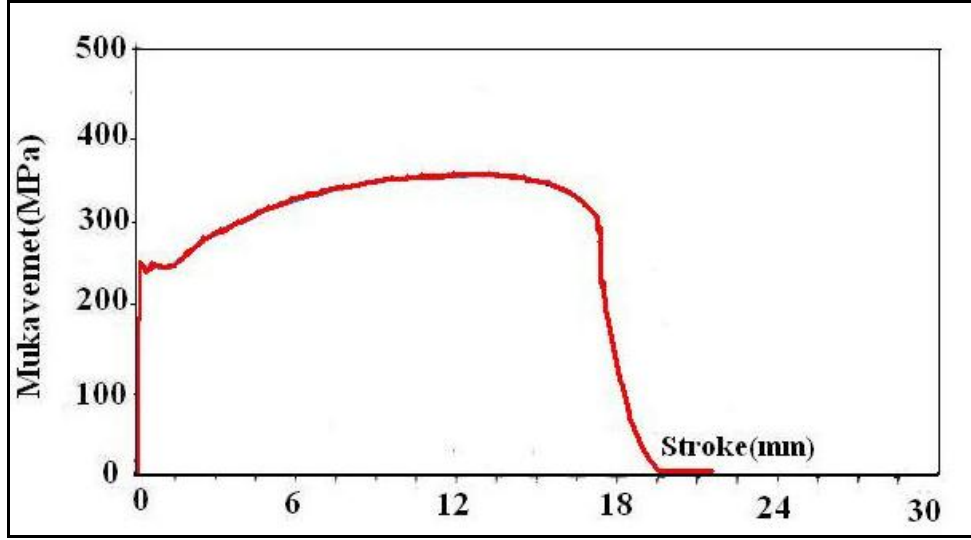
MAG Kaynak Yöntemi ile küt alın kaynağı pozisyonunda kaynatılan numuneler 640 °C'de 150 dakika gerilme giderme tavlamaına tabii tutulmuşlardır. Isıl işlem sonrası TS 287 nolu standarda göre hazırlanan numuneler DARTEC marka çekme deney makinesinde çekilmiş olup bu deneylerin sonuçları Tablo IV.2'de verilmiştir. Ayrıca bu farklı deney numunelerine uygulanan çekme deneylerinin sonuç grafikleri Şekil IV.31, Şekil IV.32 ve Şekil IV.33'de gösterilmiştir.

Tablo IV. 2 Isıl işlem Sonrası StE 26 Numunesinin Çekme Deney Sonucu

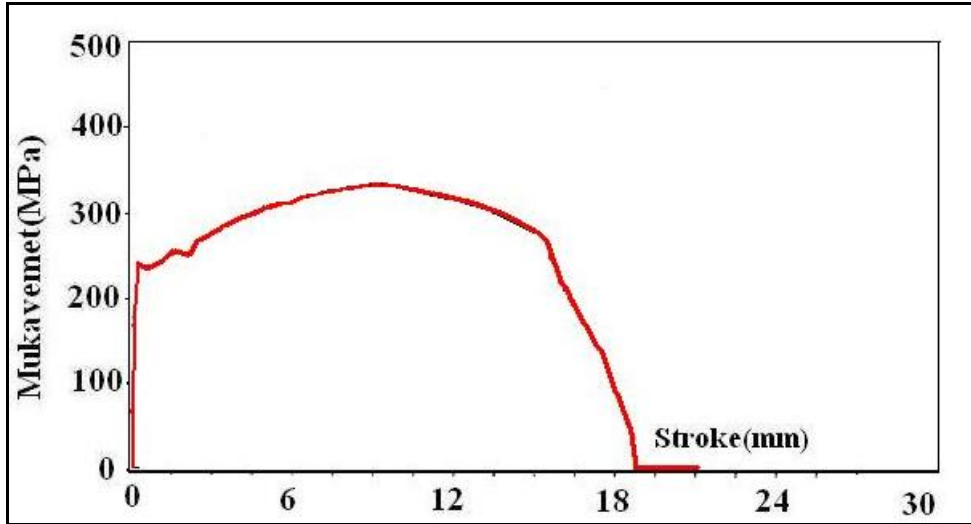
NUMUNE	GEN. mm	KAL. .mm	ÇEKME MUK. MPa	AKMA MUK. MPa	STROKE mm	% UZAMA
StE 26 numune 4	27,8	2,9	352	249	19,2	32,7
StE 26 numune 5	27,6	2,9	354	248	18,7	32,3
StE 26 numune 6	26,9	2,9	357	246	18,1	31,2

Isıl işlem sonrası ve öncesinde StE 26 numunesi için elde edilen çekme deney sonuçlarını incelediğimizde numunelerin çekme mukavemetlerinde bir düşüş

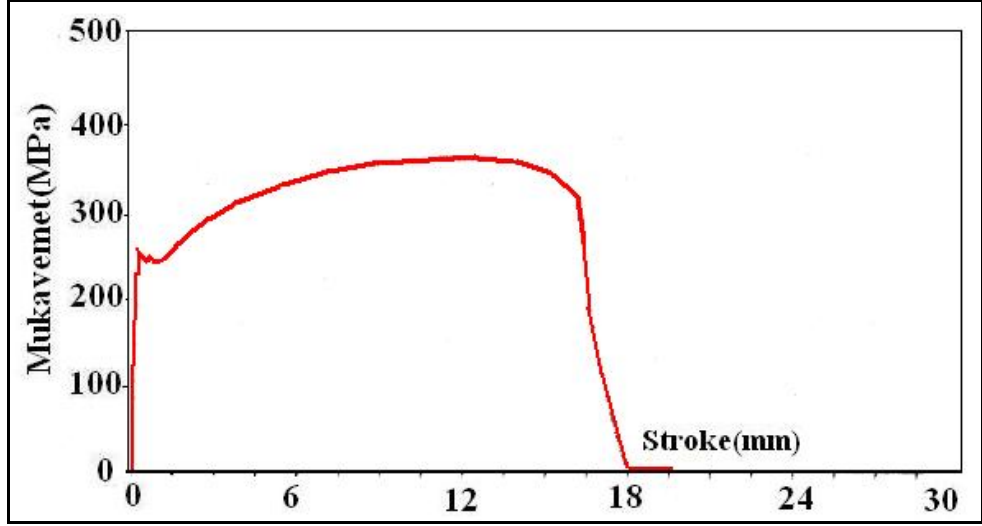
yaşanırken akma mukavemetlerinde ve % uzama değerlerinde bir artış görülmektedir.



Şekil IV. 31 Isıl işlem sonrası StE 26 Numune1 için çekme deney sonuç grafiği



Şekil IV. 32 Isıl işlem sonrası StE 26 Numune2 için çekme deney sonuç grafiği



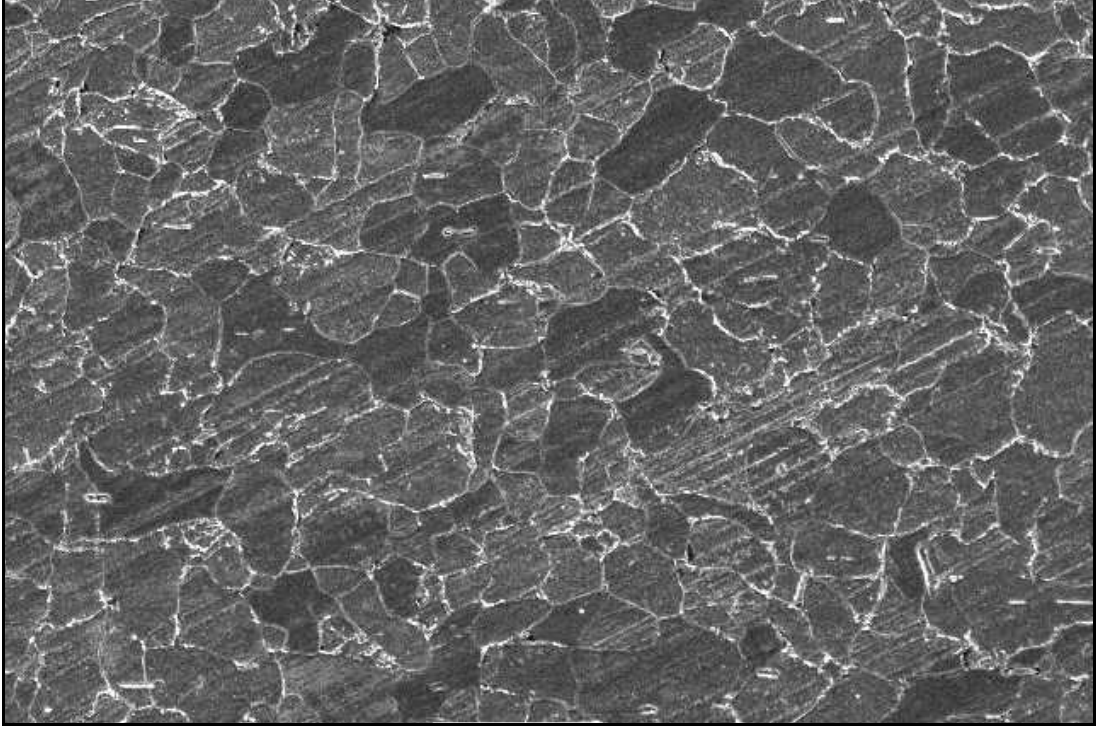
Şekil IV. 33 Isıl işlem sonrası StE 26 Numune3 için çekme deney sonuç grafiği

IV.2.3 Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Ana Metalinden Alınan SEM Görüntüleri

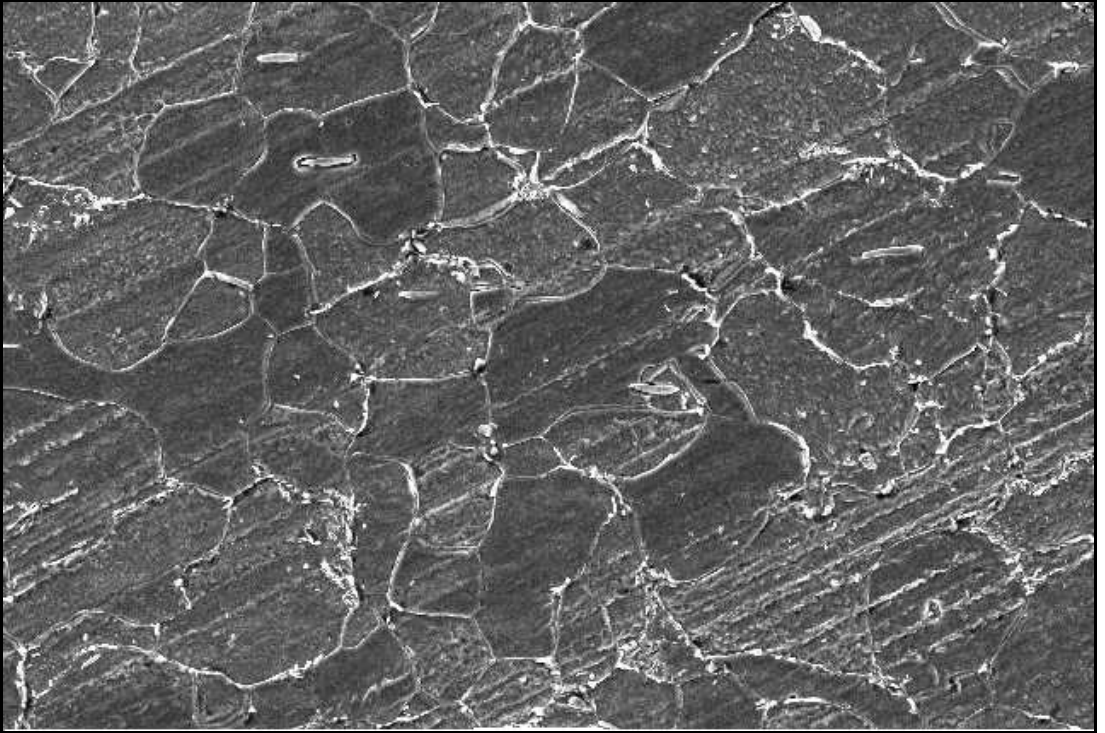
StE 26 Kaynaklı İnce taneli çeliğinin SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi) mikrografisinde tane içi matris, tane sınırları ve renk farkı olan bölgeler belirlenerek belirlenen bölgelerin EDS (Enerji Dağılım Diyagramı) analizleri alınmıştır.

Isıl işlem sonrası yapılan incelemelerde tanelerin daha küçük bir görünüm aldığı elde edilen görüntülerden gözlemlenmiştir.

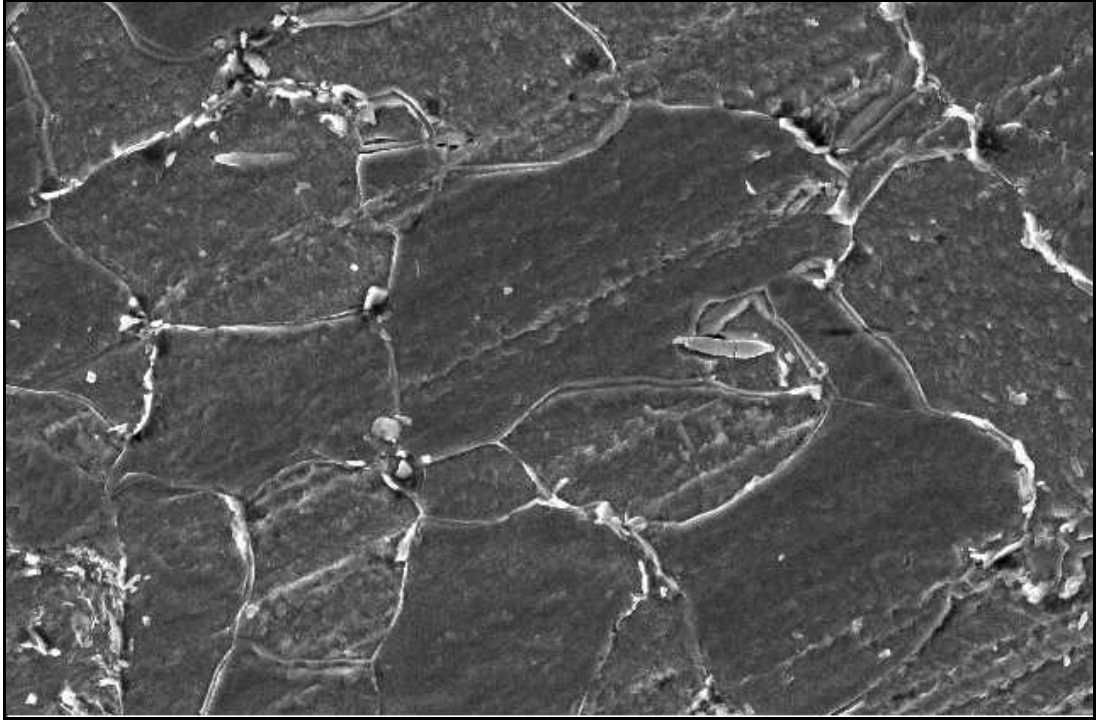
Tane içlerinden yapılan EDS analizlerinde, daha çok Fe ağırlıklı ve düşük oranda C pikleri elde edilmesine karşın tane sınırlarında yapılan analizlerde büyük oranda ilave alaşım elemanı saptanmıştır. Isıl işlem sonrası StE 26 numunesinin ana metalinden farklı büyütme ölçeklerinde alınan görüntüler Şekil IV.34, Şekil IV.35 ve Şekil IV.36'da verilmiştir.



Şekil IV. 34 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X400)



Şekil IV. 35 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X750)

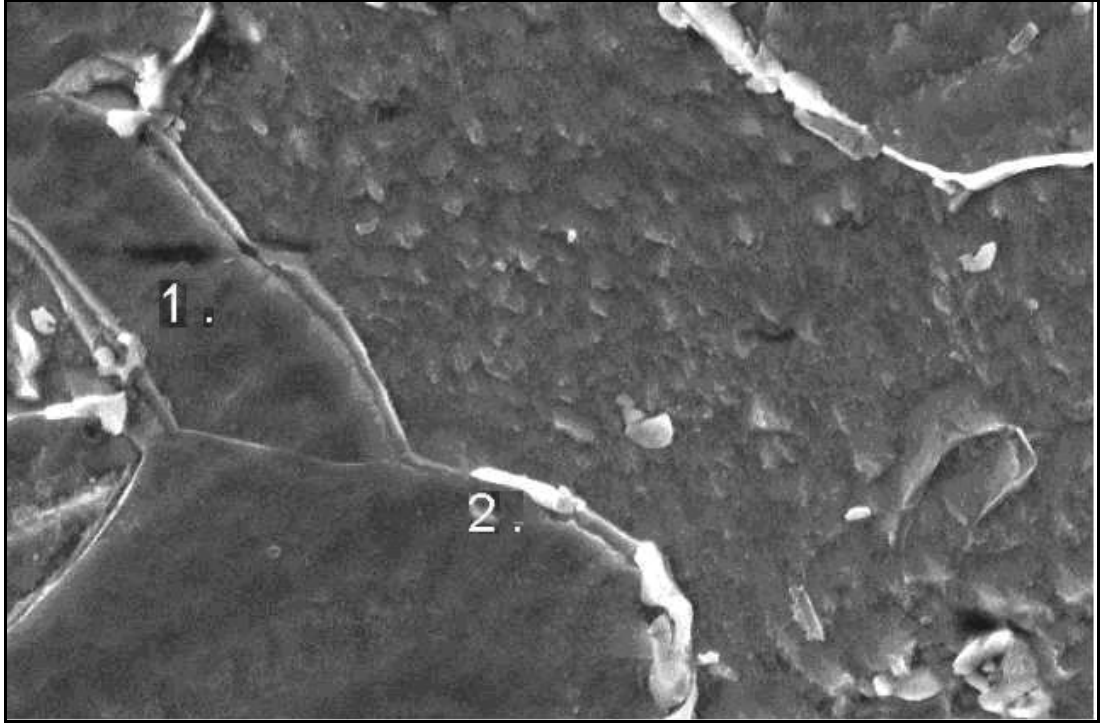


Şekil IV. 36 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1500)

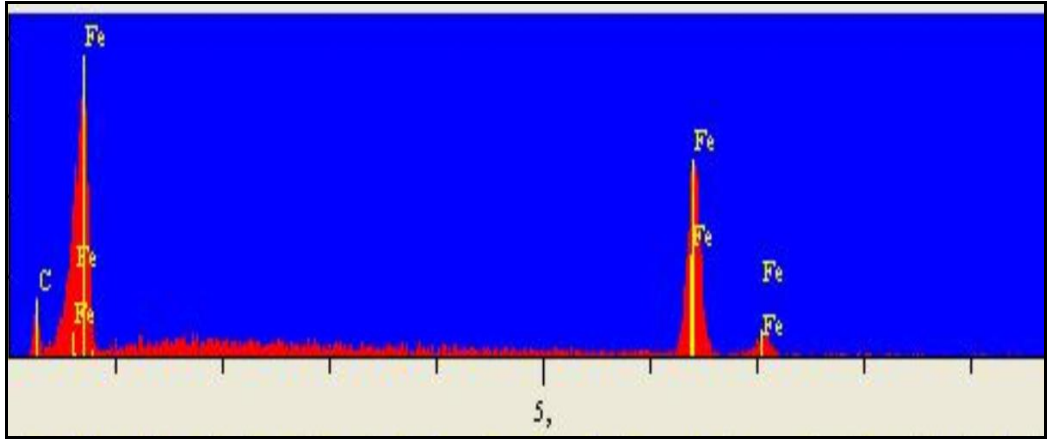
IV.2.4 Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Ana Metalinden Alınan EDS Analizleri

StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğinin ana metalinin matris (1) ve tane sınırından (2) EDS analizi alınmıştır. EDS analizi alınan bölgelerin SEM görüntüsü Şekil IV.37'de verilmiştir. Şekil IV.38 ve Şekil IV.39'da sırasıyla StE 26 ana metal matris EDS grafiği ve StE 26 ana metal tane sınırı EDS grafiği görülmektedir.

Tane içlerinden yapılan analizlerde, Fe ağırlıklı pikler ve düşük oranda C pikleri elde edilmesine karşın tane sınırlarında yapılan analizlerde ilave alaşım elemanı olarak Al'a rastlanılmıştır. C çeliğin mekanik özellikleri üzerine en büyük tesiri olan elemandır. Burada mikro alaşım elementi olarak bulunan Al oluşturduğu ince karbür, nitrür ve karbünitrür taneleri ile çelikte iğneleme tesiri yaparak tane yapısının büyümesine engel teşkil etmektedir.

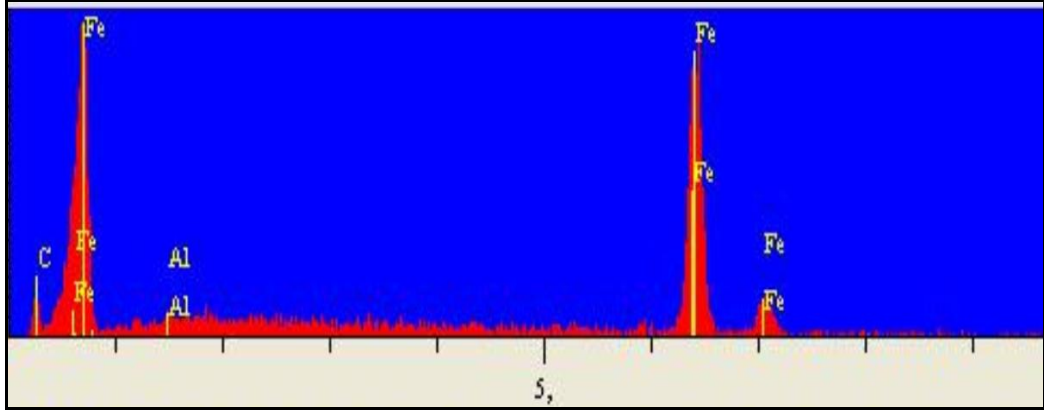


Şekil IV. 37 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal EDS analiz bölgesi



Şekil IV. 38 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal matris EDS analiz grafiği

Fe	99,77
C	0,23

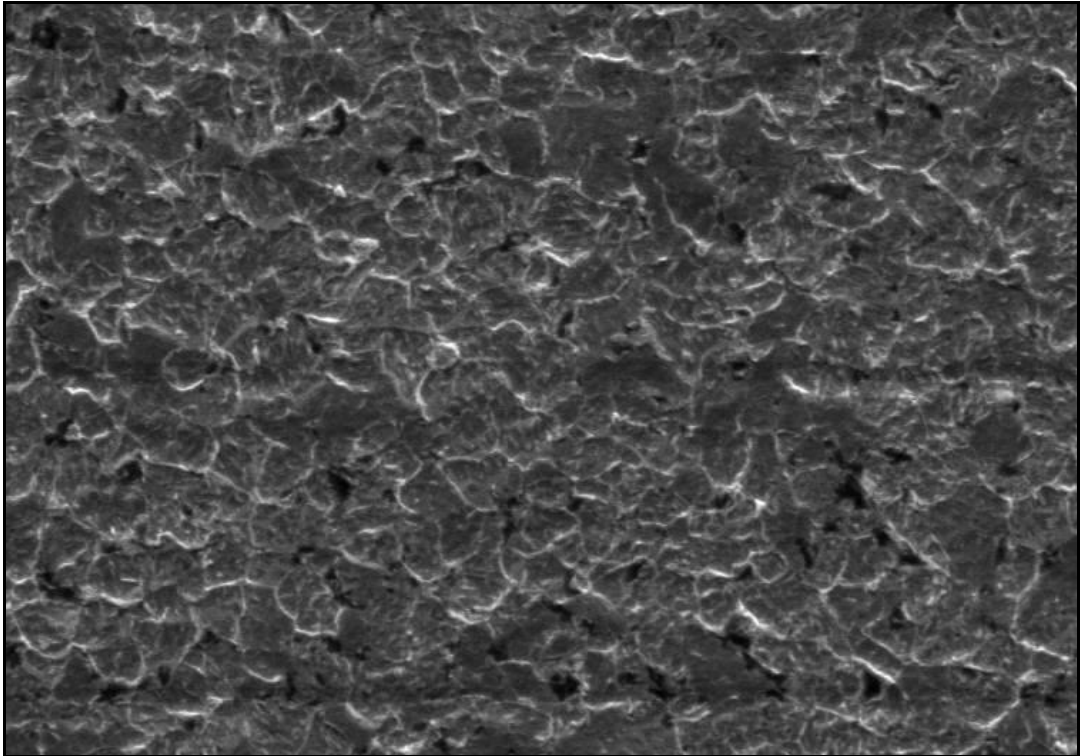


Şekil IV. 39 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal tane sınırı EDS analiz grafiği

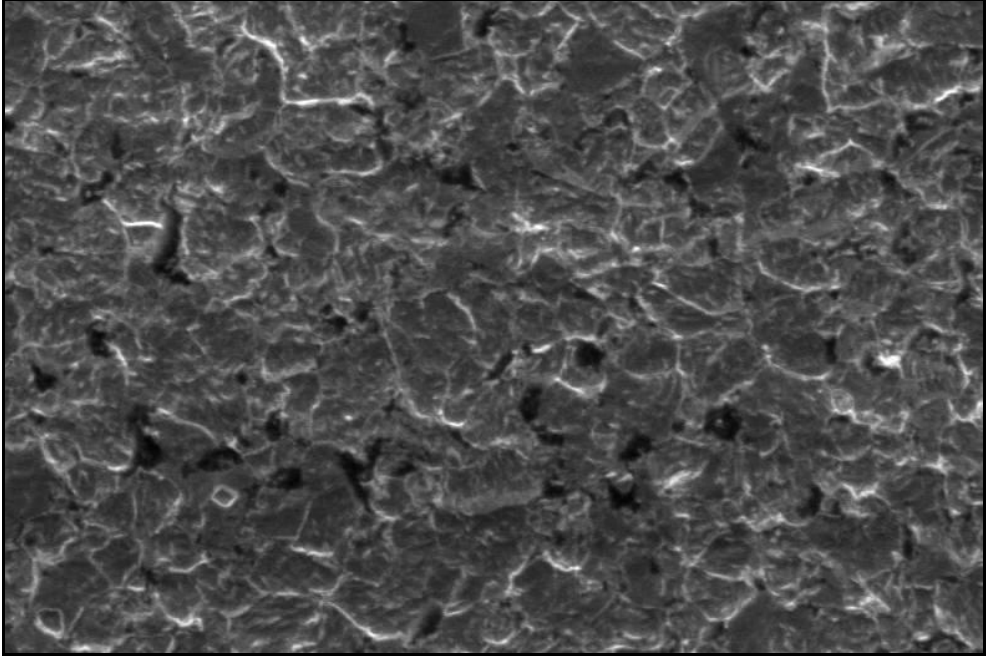
Fe	98,06
C	0,47
Al	1,47

IV.2.5. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Ana Metalinden Alınan SEM Görüntüleri

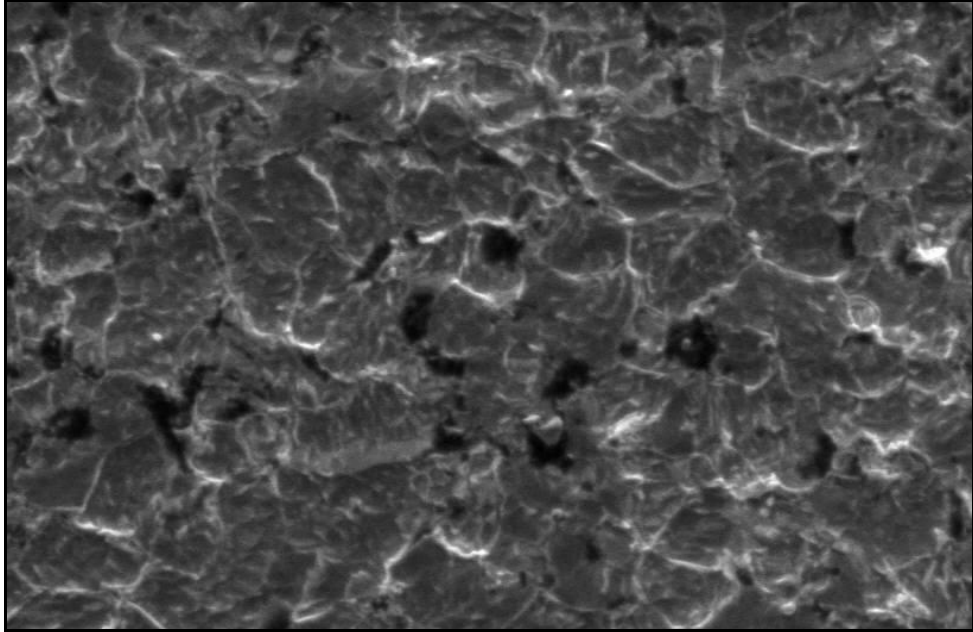
Isıl işlem Sonrası StE 26 numunesinin ana metalinin ITAB'a yakın bölgesinden farklı büyütme ölçeklerinde alınan görüntüler Şekil IV.40, Şekil IV.41 ve Şekil IV.42'de verilmiştir. Bu alınan görüntülerle ana metalde ITAB bölgesine yaklaştıkça tane boyutlarında küçülmelerin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil IV. 40 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X750)



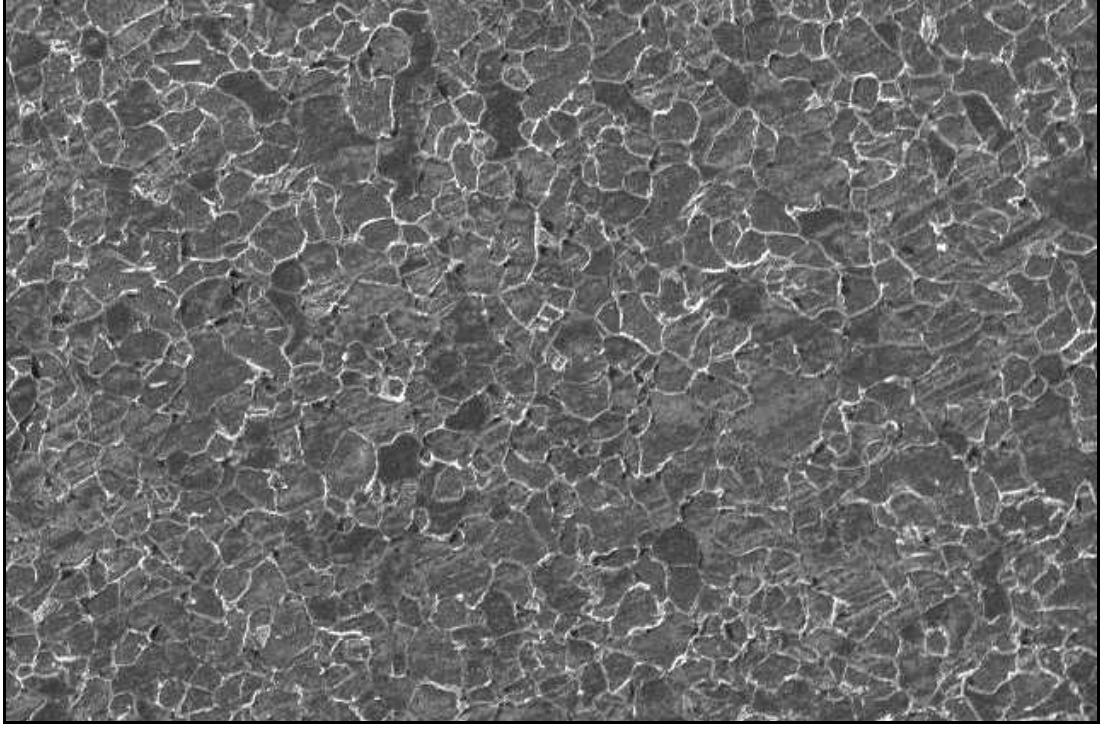
Şekil IV. 41 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1000)



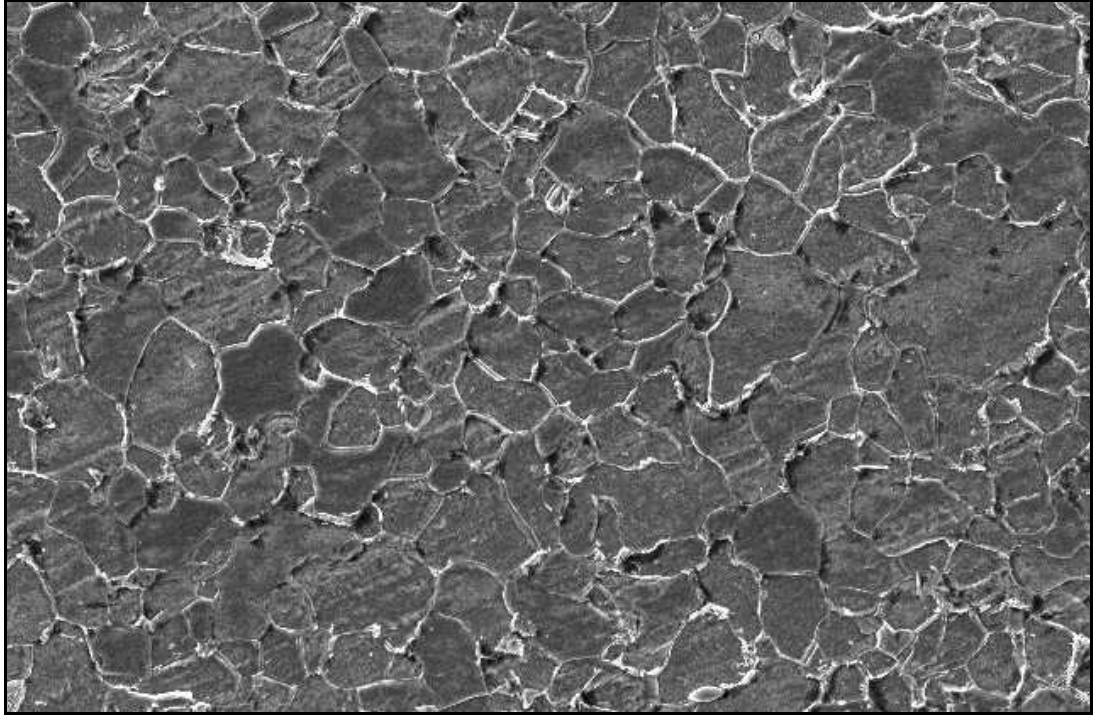
Şekil IV. 42 Isıl işlem sonrası StE 26 ana metal SEM görüntüsü (X1500)

IV.2.6. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın ITAB'ından Alınan SEM Görüntüleri

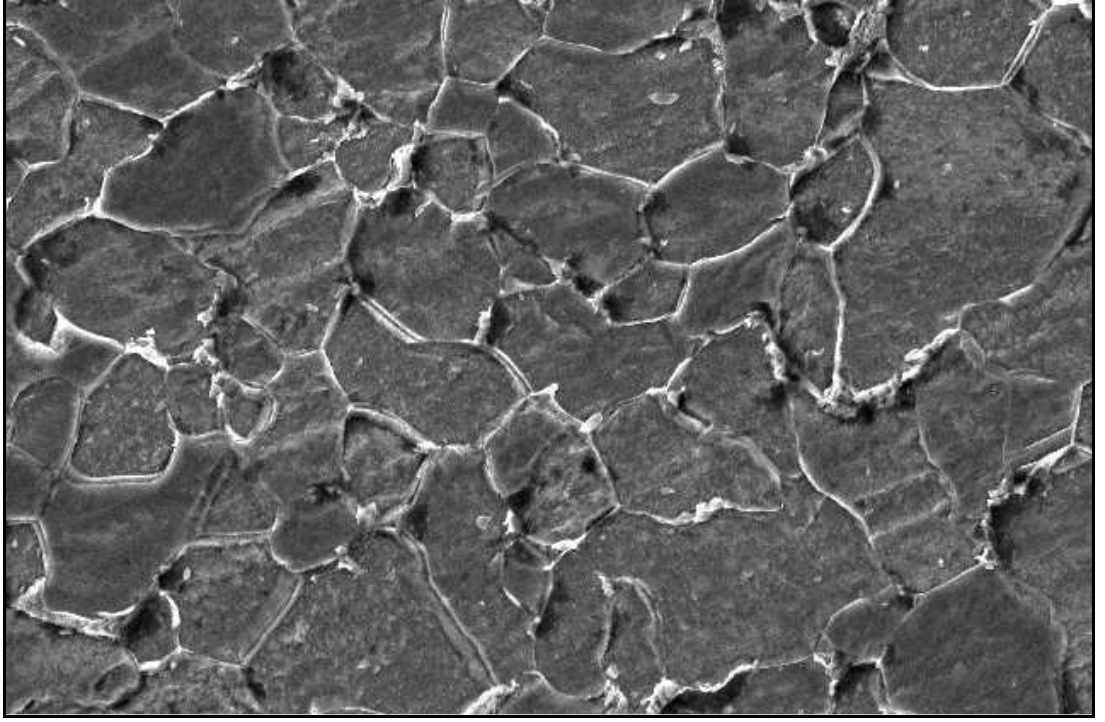
Isıl işlem Sonrası StE 26 numunesinin ITAB'ından farklı büyütmelerde alınan görüntüler Şekil IV.43 ve Şekil IV.44'de gösterilmiştir.



Şekil IV. 43 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X400)



Şekil IV. 44 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X750)

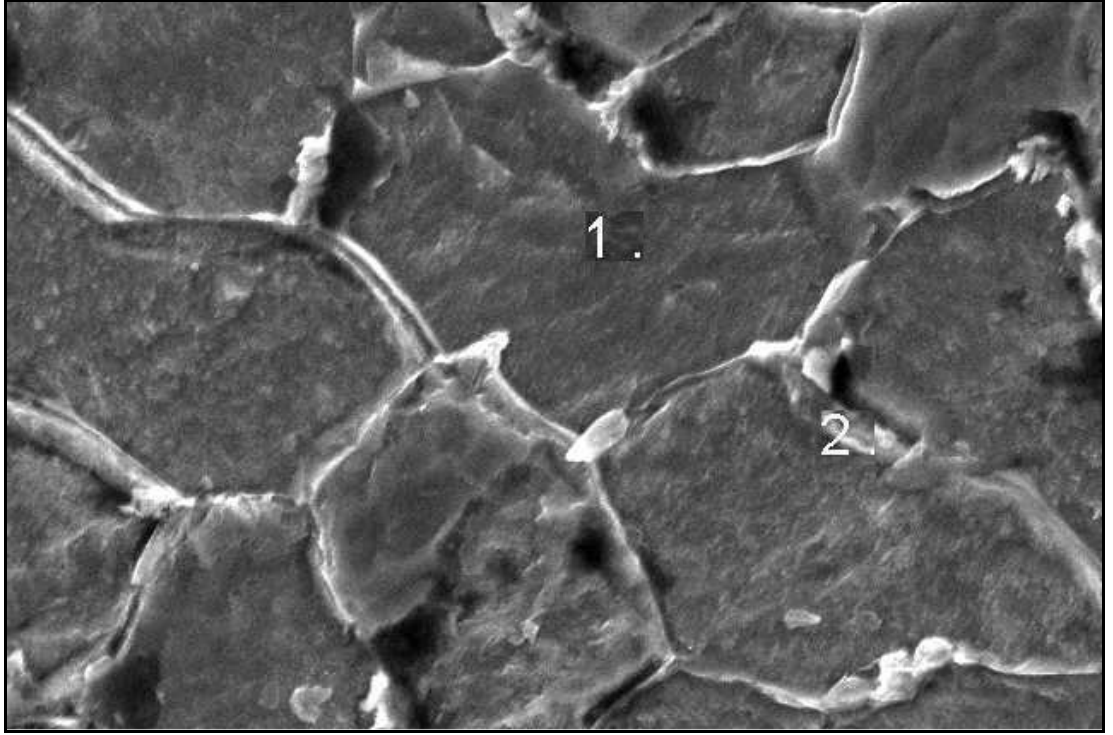


Şekil IV. 45 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB SEM görüntüsü (X1500)

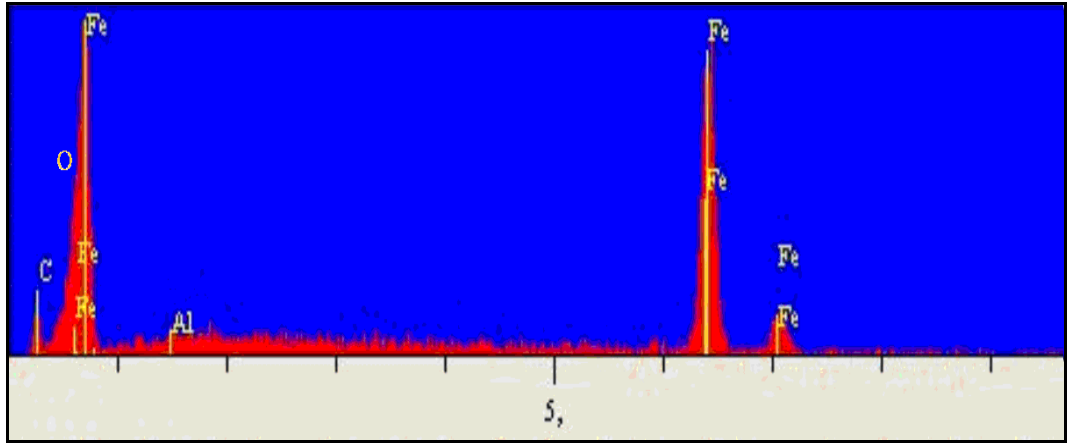
IV.2.7. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın ITAB'ından Alınan EDS Analizleri

StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğinin ana metalinin matris (1) ve tane sınırından (2) EDS analizi alınmıştır. EDS analizi alınan bölgelerin SEM görüntüsü Şekil IV.46'da verilmiştir. Şekil IV.47 ve Şekil IV.48'de sırasıyla StE 26 ITAB tane sınırı EDS grafiği ve StE 26 ITAB matris EDS grafiği görülmektedir.

Tane içlerinden yapılan analizlerde, Fe ağırlıklı pikler ve düşük oranda C piklerinin yanısıra alaşım elemanı olarak Mn ve Si görülmüştür. Tane sınırlarında yapılan analizlerde ise ilave alaşım elemanı olarak Al'a ve O'e rastlanılmıştır.

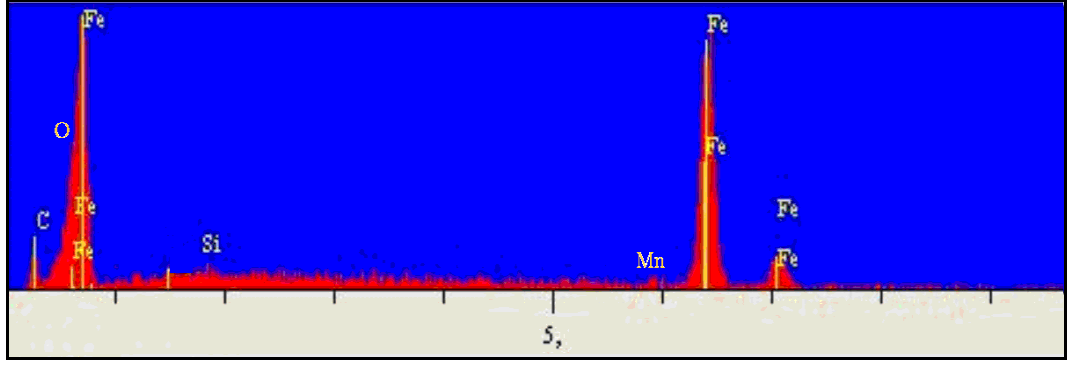


Şekil IV. 46 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB EDS analiz bölgesi(X4000)



Şekil IV. 47 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB tane sınırı EDS analiz grafiği

Fe	94,27
C	0,78
O	3,58
Al	1,37



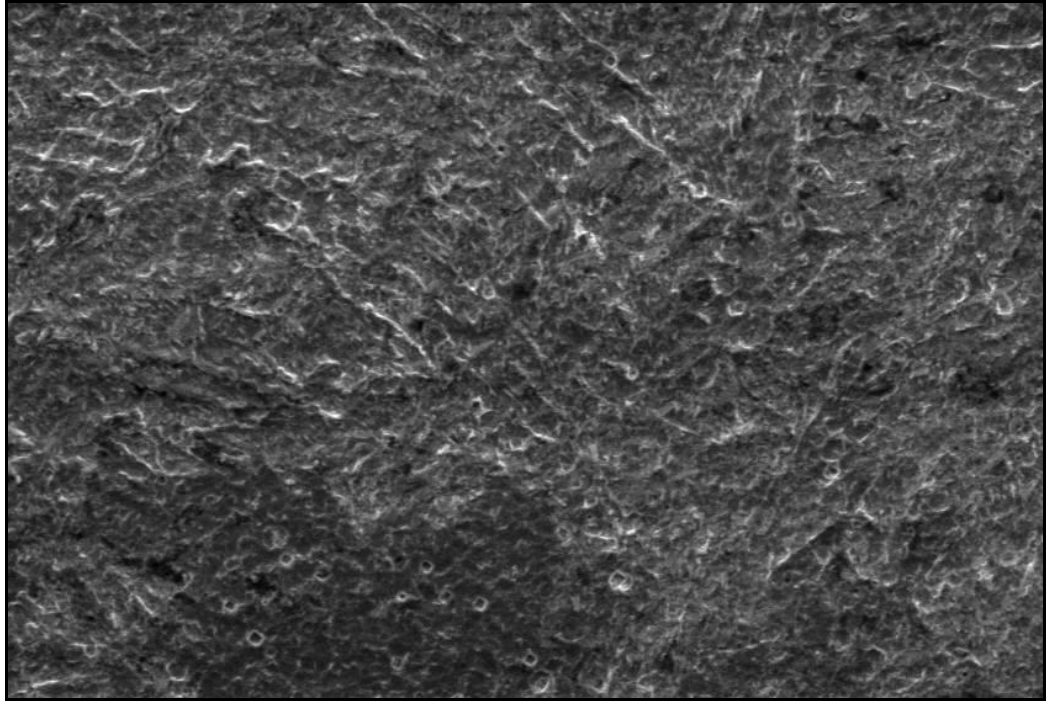
Şekil IV. 48 Isıl işlem sonrası StE 26 ITAB matris EDS analiz grafiği

Fe	98,53
C	0,21
O	0,43
Si	0,35
Mn	0,48

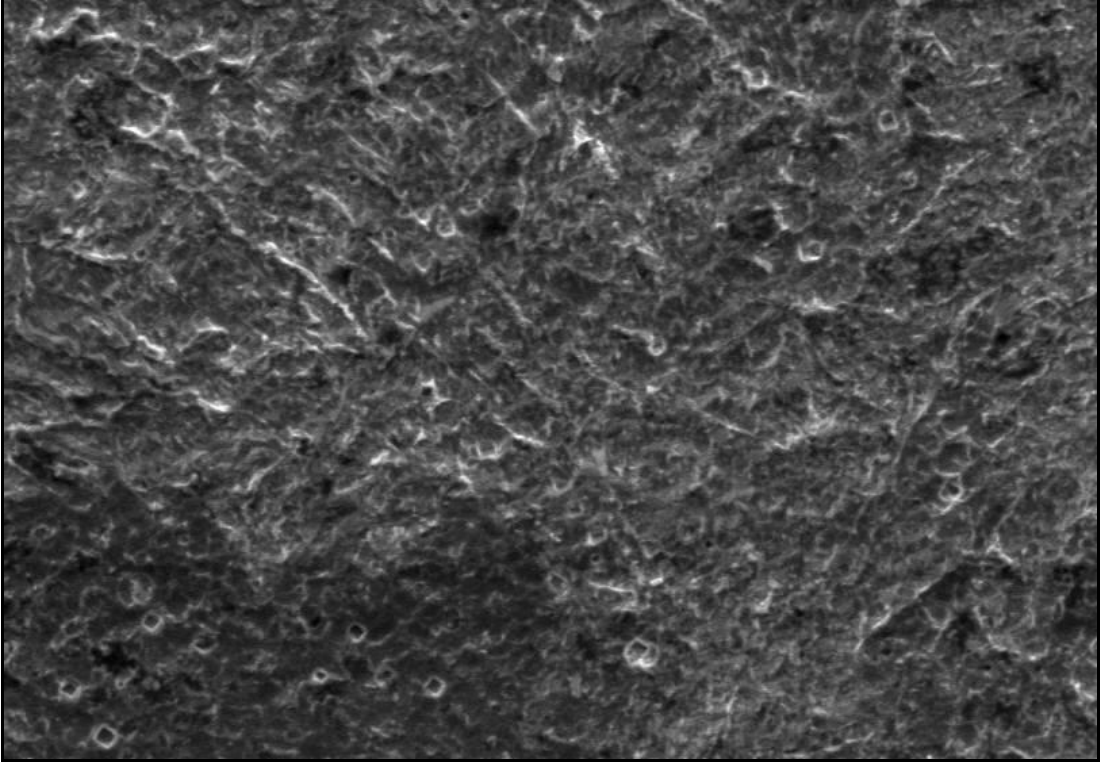
IV.2.8. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Kaynak Metalinden Alınan SEM

Görüntüleri

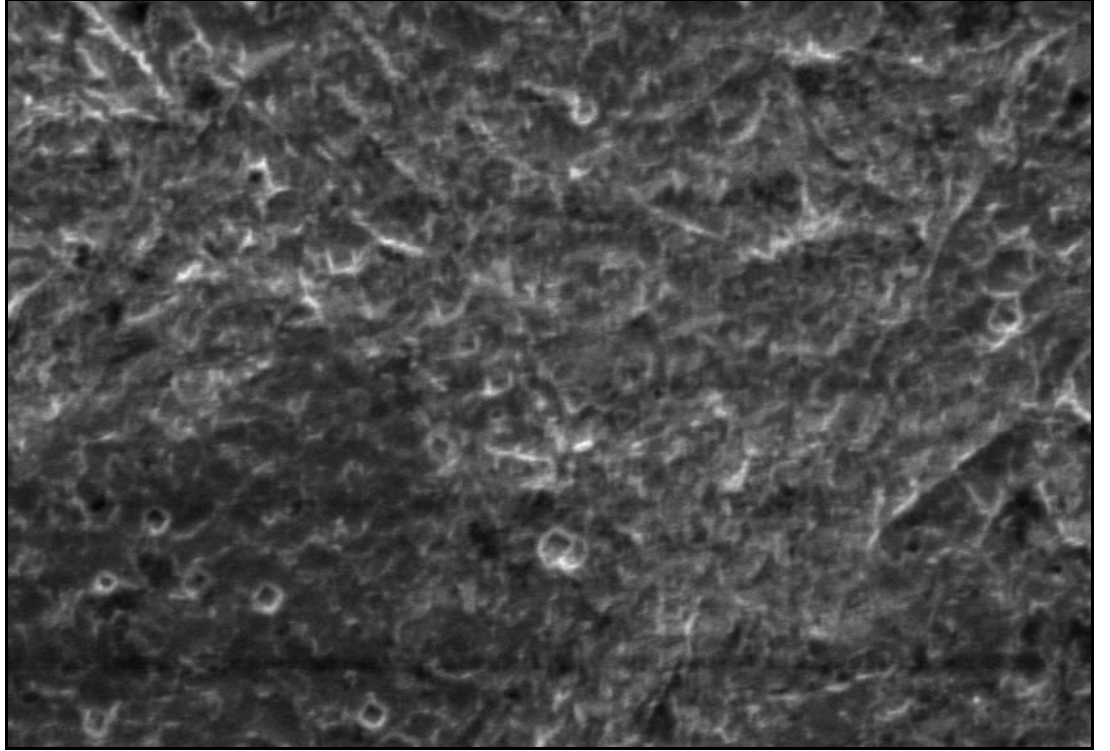
Isıl işlem sonrası StE 26 numunesinin kaynak metalinden farklı bölge ve büyütmelerde alınan görüntüler Şekil IV.49, Şekil IV.50 ve Şekil IV.51'de gösterilmiştir.



Şekil IV. 49 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X750)



Şekil IV. 50 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X1000)

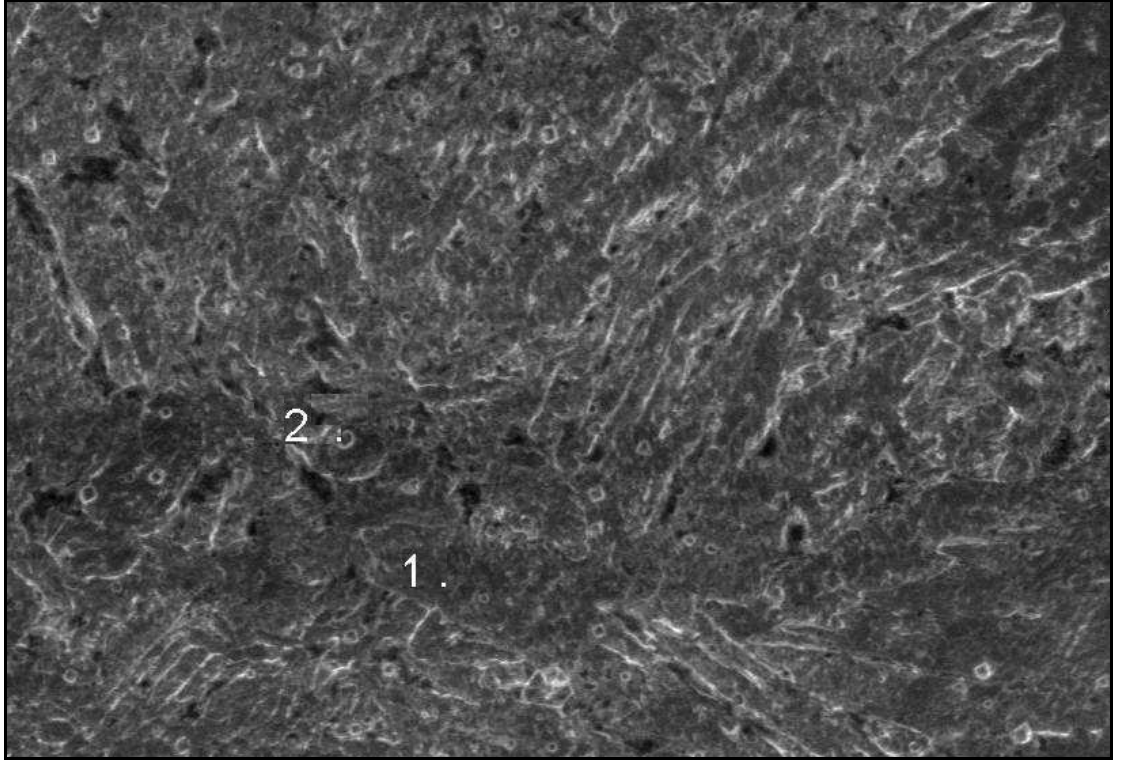


Şekil IV. 51 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali SEM görüntüsü (X1000)

IV.1.9. Isıl İşlem Sonrası StE 26'nın Kaynak Metalinden Alınan EDS Analizleri

StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğinin kaynak metalinin belirli yerlerinden EDS analizi alınmıştır. EDS analizi alınan bölgelerin SEM görüntüsü Şekil IV.52'de verilmiştir. Şekil IV.53 ve Şekil IV.54'de StE 26 kaynak metalinin EDS grafikleri verilmiştir. Yapılan analizlerde, Fe ağırlıklı piklerle birlikte (1) nolu nokta da alaşım elemanı olarak C, Mn ve Si (2) nolu noktada ise ilave alaşım elemanı olarak C, Mn ve Si'un yanı sıra Al, S, O ve W'a rastlanılmıştır.

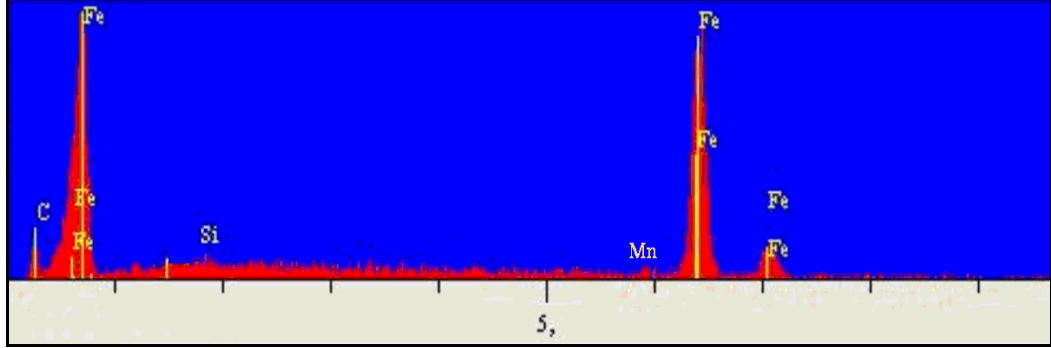
Kaynak metali bölgesinde tane sınırlarından bahsetmenin neredeyse mümkün olmadığı ve kaynak ısının tesiri ile tane sınırları oluşturmaya çalışan bir yapı görülmektedir. Kaynak işleminin sağladığı ısının tesiri ile bileşikler kaynak metaline doğru ince çizgisel, ana metal bölgesine doğru ise daha kalın ve bazı noktalarda toplu olarak oluşmaktadır.



Şekil IV. 52 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali EDS analiz bölgesi görüntüsü

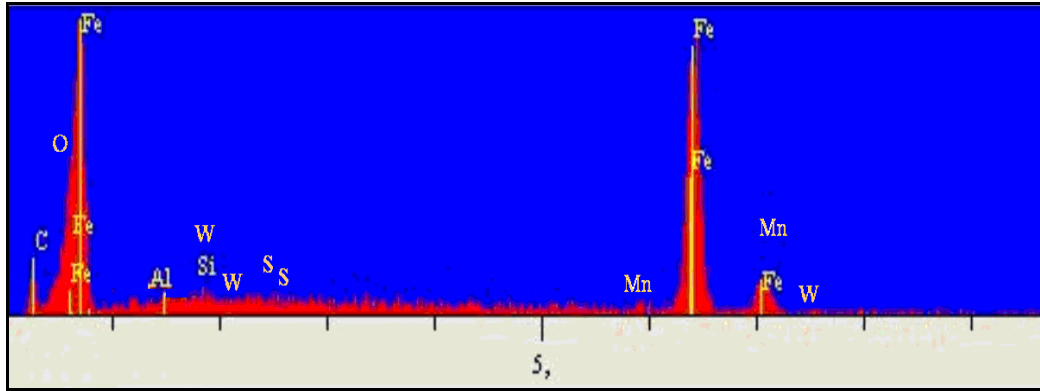
Al kaynak metalinde oksijen ile inklüzyon ve çökelti yapan bir elementtir. Gayet zor yüzeye çıkar ve ekseriya kaynak metali içersinde kalan çok dallanmış kristaller şeklinde teşekkül eder. O ekseriya alaşım elemanları ile (özellikle Al, Mn ve Si) tepkimeye girerek inklüzyon teşkiline yol açtığından çelikte istenmeyen elemanlar

arasında bulunur. Şekil IV.52’de görülen (2) nolu inklüzyon noktasının oluşumu da O’nin aynı noktada bulunan Mn, Si veya Al alaşım elementlerine bağlanması ile meydana gelmiştir.



Şekil IV. 53 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali (1). nokta EDS analiz grafiği

Fe	98,75
C	0,27
Si	0,41
Mn	0,57



Şekil IV. 54 Isıl işlem sonrası StE 26 kaynak metali (2). nokta EDS analiz grafiği

Fe	83,5
C	2,71
O	5,97
Al	4,28
W	0,64
Si	1,48
Mn	1,12
S	0,30

BÖLÜM V

SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

MAG kaynak yöntemi ile küt alın kaynağı pozisyonunda kaynatılan StE 26 ince taneli çeliğinin numuneleri için değişken kaynak parametreleri olarak kaynak akımı, ark gerilimi ve kaynak hızlarından kaynak akım şiddeti ve ark gerilimi artışı ile, nüfuziyetin arttığı kaynak hızının artışı ile nüfuziyetin azaldığı tespit edilmiş olup bu kaynak parametrelerinden kaynak akımının nüfuziyete etkisinin ark gerilimi ve kaynak hızından daha fazla olduğu görülmüştür.

StE 26 ince taneli çeliğine kaynak işlemi uygulandığında sertlik, mukavemet ve süneklik'te birbirinden farklı değerler elde edilmiştir. StE 26 ince taneli çeliklerinin kaynaklarında mukavemet ve süneklik birçok faktöre bağlıdır. Bunlar kaynak edilen parçanın kimyasal bileşimi, ısıtım işlem şartları, kaynak metalinin kimyasal bileşimi, kaynak yöntemi, kaynak parametreleri, kaynak sonrası ısıtım işlemlere ve birleştirme türüne bağlıdır.

Farklı kaynak parametreleri ile kaynak edilen numunelerin kaynak bölgesinden sertlik tarama amacıyla mekanik kesim yöntemleri kullanılarak alınan sertlik ölçüm kesiti üzerinde yapılan sertlik taramasında StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğinin sertlik değerlerinde ana metalden kaynak metaline doğru bir artış olduğu tespit edilmiştir. StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğine gerilme giderme tavlama ısıtım işlemi uygulaması yapıldıktan sonra alınan sertlik ölçüm kesiti üzerinde yapılan sertlik taramasında ise numunenin ısıtım işleme bağlı olarak sertliğinde azalma olduğu gözlemlenmiştir.

StE 26 ince taneli çeliği kaynak işlemi sonrası çekme deney numunesi olarak hazırlanan malzemelerin sonuçları toplu halde verilmiş olup çekme deney sonuçları istenilen düzeydedir. Çekme deneyinde, deney parçalarının tamamında kopma ana malzeme üzerinde olmuştur. Kopmanın hepsi sünek kopma olarak gerçekleşmiştir. Bu da malzemenin şekillendirilebilme kabiliyetinin iyi olduğunu göstermektedir. Buradan kaynak metalinin mukavemetinin ana malzemeden daha yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Tane içlerinden yapılan analizlerde, Fe ağırlıklı pikler ve düşük oranda C pikleri elde edilmesine karşın tane sınırlarında yapılan analizlerde alaşım elemanı olarak Mn, Si, S, O, W ve Al'a rastlanılmıştır. Burada mikro alaşım elementi olarak bulunan Al oluşturduğu ince karbür, nitrür ve karbünitrür taneleri ile çelikte işleme tesiri yaparak tane yapısının büyümesine engel teşkil etmektedir. Kaynak metalinden alınan EDS analizlerinde saptanan Al, Mn ve Si alaşım elementlerinin oksijen ile birleşmesi sonucu oluşan inklüzyon ve çökeltilerin görüntüleri SEM fotoğraflarında gözlemlenmiştir.

Kaynak metali bölgesinde tane sınırlarından bahsetmenin neredeyse mümkün olmadığı ve kaynak ısının tesiri ile tane sınırları oluşturmaya çalışan bir yapı görülmektedir. Kaynak işleminin sağladığı ısının tesiri ile bileşikler kaynak metaline doğru ince çizgisel, ana metal bölgesine doğru ise daha kalın ve bazı noktalarda toplu olarak oluşmaktadır.

StE 26 İnce taneli çeliğinin kaynak uygulaması sonrasında ITAB' ın kaynak metali sınırına yakın olan iri taneli ITAB bölgesinde martenzit oluşumunun bu bölgenin sertliğini arttırdığı yapılan mekanik sertlik ölçümlerinde tespit edilmiştir ITAB' ın en sert ve genellikle en gevrek bölgesi iri taneli alt bölgesidir. Bu nedenle bu bölgede çatlama riski çok yüksektir. Bu gevrekliğin giderilmesi için StE 26 kaynaklı ince taneli çeliğine kaynak uygulaması sonrasında ısıtılma işlemi olarak 640 °C'de 150 dakika gerilme giderme tavlama uygulanmıştır. Bu tavlama ısıtılma işleminden sonra malzemenin mekanik değerlerinden çekme mukavemetinde sertlik değerlerinde azalma, akma mukavemetinde ve % uzama değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca ısıtılma işlemi sonrası malzemenin SEM fotoğraflarında görülen mikro yapılarında ise tane yapılarında küçülme gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Tülbentçi, K.: “(MİG-MAG) Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı”, Gedik Holding Yayını, İstanbul, **(1990)**, 99-114, 118-130.
- [2] AWS.: “Materials and Applications”, *8th Edition*, USA, **(1998)**
- [3] Çakıcı, B.: “Ark Kaynak Yöntemleriyle Kaynak Edilmiş HY-80 Çeliğı Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, **(2002)**
- [4] Kaluç, E.: “Metallerin Kaynak Kabiliyeti Yüksek Lisans Ders Notları”, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, **(1999)**
- [5] Anık, S.; Tülbentçi, K.; Kaluç, E.: “rtl Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı”, *Gedik Holding Yayını*, İstanbul, **(1991)**
- [6] Thelning, K.E.; eviren Tekin, A.: “Çelik ve Isıl İşlemi”, **(1984)**
- [7] Yükler, İ.: “Isıl İşlem Prensipleri”, Marmara Üniversitesi Teknik Eğıtim Fakültesi, İstanbul, **(1999)**, 2, 13-2, 25.
- [8] Dikicioğlu, A.: “Kaynaklı İmalat ve Tasarım”, Mart, **(2006)**
- [9] Yükler, İ.: “Kaynak Metali”, Marmara Üniversitesi Teknik Eğıtim Fakültesi Matbaası, İstanbul, 45-89
- [10] Eruslu, N.; Altımoşoğlu, A.; Taptık, Y.: “Alaşımlar Ders Notu”, Maslak, Nisan, **(1990)**
- [11] Baggerud, A.; eviren.ANIK, S. ; TÜLBENTÇİ, K.: “Kaynak Metalürjisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, İstanbul, **(1966)**
- [12] Anık, S.: “Günümüz Endüstrisinde Kaynağın Yeri”, Birinci Ulusal Kaynak Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, 13-15 Kasım, **(1984)**
- [13] Eryürek, İ.B.: “Çelikler İçin rtl Elektrot Seçimi”, *Askaynak Yayını*, İstanbul, **(1998)**, 56-58
- [14] Sistemblkbaşı, H.: “Mag Tellerindeki Teknolojik Gelişim”, Kaynak Teknolojisi VI.Ulusal Kongresi ve Sergisi, Ankara, 9-10 Kasım, **(2007)**
- [15] Eryürek, İ.B.: “Gaz Altı Ark Kaynağı”, *Askaynak Yayını*, İstanbul, **(2007)**

- [16] Ateş, H.; Türker, M.: “Elektrik Ark ve MİG-MAG Kaynaklarında Değişik Kaynak Parametreleri Altında Nüfuziyetlerin Belirlenmesi”, Gazi Üniversitesi, Ankara, 3 Temmuz, **(1999)**
- [17] Ankara, A.; Öztürk, O.: “Gazaltı Kaynağında Metal Geçişinin Optik Olarak Gözlemlenmesi ve Sınırlarının Belirlenmesi”, I. Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 13-15 Kasım, **(1997)**
- [18] Anık, S.: “Kaynak Hataları ve Giderilmesi”, *Türk Kaynak Cemiyeti Yayını*, No.2, **(1960)**
- [19] Geçkinli, A.E.: “Metalografi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi, İstanbul, **(1989)**

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimimi Gaziantep İli'nde tamamlamış olup 2000 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümüne giriş yaptım. 2004 yılında Fakülte üçüncüsü olarak lisans eğitimimi tamamladım. 2004 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünde yüksek lisans eğitime ingilizce hazırlık sınıfı ile başladım. 2005 yılından itibaren Bilgi İşlem Şube Müdürlüğü Mobil Uygulamalar Büro Amirliği bünyesinde görev yapmaktayım.