

168837

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ *FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI METALLERİN KAYNAĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Aykut Varoğlu

Ana Bilim Dalı: Makina Mühendisliği

TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr.-Müh. Erdiñç KALUÇ

KASIM, 2005

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI METALLERİN KAYNAĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisi Aykut VAROĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11/10/2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 27/12/2005

Tez Danışmanı

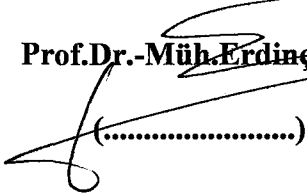
Üye

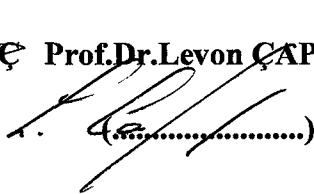
Üye

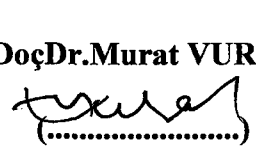
Prof.Dr.-Müh.Erdi KALUÇ

Prof.Dr.Levon ÇAPAN

DoçDr.Murat VURAL


(.....)


(.....)


(.....)

KASIM 2005

FARKLI METALLERİN KAYNAĞI

AYKUT VAROĞLU

Anahtar Kelimeler: MIG, TIG, MMA, Farklı metallerin kaynağı, Ostenitik paslanmaz çelik, Normal çelik, Mekanik özellikler, Metalurjik özellikler, Sertlik taraması.

Özet: Teknolojide, bir iş parçasından değişik özelliklerin beklendiği durumlarda, farklı malzemelerin birleştirilmesi yoluna gidilmektedir. Tez çalışmasının konusunu, günümüzde uygulama alanı hızla artan farklı malzemelerin birbirleri ile kaynağı oluşturmaktadır. Farklı malzeme kaynağı bir alaşım sistemi içerisindeki grupların ya da farklı alaşım sistemleri içerisindeki iki ana malzemenin birleştirilmesi işlemidir.

Farklı malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesi ihtiyacı, değişken zorlanma ve ortam şartlarında uygulamaların artışı sonucu ortaya çıkmıştır. Endüstride kullanılan farklı kimyasal bileşimdeki malzeme türlerinin çokluğu ve bunların birbirleri ile kaynağında kullanılacak yöntemlerin çeşitliliği nedeniyle bütün bağlantı türlerini ve yöntemlerini bu çalışma içinde ele almak mümkün olmadığından uygulamalarda en sık karşılaşılan malzemeler ve yöntemler incelenmiştir.

Bu çalışmada ostenitik paslanmaz çelik ile normal çelik levhalar MIG, TIG ve elektrik ark kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş, bağlantının mekanik ve metalurjik özellikleri araştırılmıştır. Kaynaklı numunelere çekme, eğme, sertlik testleri uygulanmış ayrıca mikro yapı ve makro yapı incelemeleri yapılmıştır. Çekme deneyi sonucunda kopmanın ısının tesiri altında kalan bölgeden olmayıp normal çelik malzemedenden olduğu ve eğme deneyinde kaynaklı numunelerde herhangi bir çatlak ve yırtılma olmadığı tespit edilmiştir.

WELDING DISSIMILAR METALS

AYKUT VAROĞLU

Keywords: MIG, TIG, MMA, Welding dissimilar metals, Austenitic stainless steel, Normal steel, Mechanical properties, Hardness scanning

Abstract: In the technology, where different properties are expected from work piece, different materials have to be joined together. The subject of this study is welding different materials together which has an extending field of application today. Welding different materials together is the process of coupling groups in an alloy or two different main materials in different alloy systems.

The need of coupling different materials together is the result of the increase in application of variable force and environment conditions. Because of different chemical compounds of material types that are used in industry and the variety of different methods that can be used to weld together, and all the connection types and methods can not be possibly shown in this study, the most common materials and methods in applications have been examined.

In this study, an austenitic stainless steel and normal steel plate were welded by MIG, TIG, MMA welding and then mechanical and metallurgical properties of the weldment were investigated. Tensile properties, bending strength and hardness of the welded specimens were investigated and optical microscopy studies were carried out. In the tensile tests fracture always occurred in the normal steel portion of the welded specimens apart from the HAZ regions. Visual observation of the bended specimens showed no crack and tears.

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Konstrüksiyon-İmalat programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Farklı malzemelerin kaynağı, özellikle son 30 yıl içinde kullanımına başlanan kaynak yöntemleri ile paralel olarak gelişmektedir. Böylece daha yaygın olarak proseslerde kullanımına başlanmıştır.

Endüstriyel uygulamada kullanılan malzemelerin çok çeşitli olması, farklı özelliklere sahip bu malzemelerin, tasarımın gerektirdiği durumlarda birbirleriyle birleştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır. Günümüzde hızla gelişmekte olan kaynak teknolojisi farklı malzemelerin birleştirilmesinde başarı ile kullanılmaktadır. Farklı malzemelerin kaynağı son derece geniş kapsamlı bir alan olmasına rağmen, ülkemizde bu konu üzerinde yapılan çalışmalar sınırlıdır.

Farklı malzemelerin kaynakla birleştirilmesinde birçok kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar arasında en fazla kullanılan yöntemler arasında ark kaynağı yöntemleri, elektron ışın kaynağı, lazer kaynağı, elektrik direnç kaynağı, soğuk basınç kaynağı, sürtünme kaynağı, difüzyon kaynağı, ultrasonik kaynak ve patlamalı kaynak yöntemleri sayılabilir, ayrıca lehimleme tekniğiyle de farklı bileşimdeki malzemeler birleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, sözü edilen kaynak yöntemlerinden deneysel çalışmamın kapsamına giren MIG, TIG, MMA kaynak yöntemleri anlatılmış ve bu yöntemlerle birleştirilebilen malzemelerden örnekler verilip, yine bu kaynak yöntemleriyle birleştirilebilen malzemelerin kombinasyonları tablolar halinde sunulmuştur.

Deneysel çalışmamda malzeme çifti olarak AISI304L ve AISI316L kalite ostenitik tip 5mm kalınlığında paslanmaz çelik sac ile 5mm kalınlığında genel yapı çeliği olan S235JR kalite sac kullanılmıştır, kaynak yöntemi olarak gaz altı kaynak yöntemlerinden olan MIG ve TIG kaynak yöntemi ile örtülü elektrotla ark kaynak

yöntemi kullanılarak kaynak yapılmıştır. Kaynak bölgesinde makro yapı, mikro yapı ve mikro sertlik incelemeleri yapıp, çekme ve eğme deneyleri ile tamamlanarak her üç kaynak yöntemi de birbirleriyle karşılaştırılarak deneysel çalışmam tamamlanmıştır.

Bu çalışmam da bana yardımcı olan ve beni yönlendiren tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Erdiñ KALUÇ' a, malzemelerimin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Bersey A.Ş. imalat şefi Sn. Sait Yıldız'a, MIG ve örtülü elektrodla ark kaynağı yönteminin uygulanmasında ve deney numunelerinin eğme deneyinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Gedik Kaynak imalat kontrol şefi Sn. Selim Cengiz' e, deney numunelerin hazırlanmasında İnci Makine'nin sahibi Sn. İbrahim İnci' ye ve Yalçıntaş kesici takımlar yetkilisi Sn. Fatih Yalçın'a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımın makro yapı ve mikro yapı ve mikro sertlik deneylerinde yardımlarını esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Ahmet Topuz'a, Araş. Görevlisi metalurji mühendisi Zekeriya Cömert'e ve Y.T.Ü metalografi laboratuvarı teknisyeni Sn. Şevki Şahin bey'e, numunelerin çekme deneyinin yapımında KOSGEB yetkilileri teknisyen Mustafa Büyük ve metalurji mühendisi Özgür Alparslan'a teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim süresinde her konuda bana destek olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim 2005
Aykut VAROĞLU
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. FARKLI METALLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	8
2.1. Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı (MMA).....	8
2.1.1. Kaynak yöntemi.....	9
2.1.2. Alaşimsız çelikler için elektrod seçimi.....	10
2.1.2.1 Düşük karbonlu çelikler.....	10
2.1.2.2 Orta karbonlu çelikler.....	11
2.1.2.3.Yüksek karbonlu çelikler.....	11
2.1.3. Paslanmaz çelikler için elektrod seçimi.....	12
2.1.4.Kaynak işlemi.....	14
2.2. Gazaltı kaynak yöntemleri.....	15
2.2.1.Ergimeyen elektrod ile gazaltı (tig) kaynak yöntemi.....	16
2.2.1.1.TIG kaynak donanımı.....	20
2.2.1.1.1.Kaynak torçları.....	20
2.2.1.2. TIG yönteminde kullanılan koruyucu gazlar.....	22
2.2.1.3.TIG kaynak yönteminde kaynak ağızlarının hazırlanması.....	25

2.2.1.4.TIG kaynak yöntemi için kaynak dolgu metali (tel ve çubuk elektrodlar)	28
2.3. Ergiyen Elektrod İle (Mig-Mag) Gazaltı Kaynak Yöntemi	30
2.3.1. MIG-MAG kaynak donanımı.....	35
2.3.1.1. Kaynak torçları.....	36
2.3.1.2. Karışım gazlar	38
2.3.2. MIG-MAG yönteminde kullanılan tel elektrodlar	42
2.3.2.1. MIG-MAG kaynak yönteminde elektrod seçimi	42
2.3.2.1.1. Çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodlar	45
2.3.3. MIG/MAG kaynağında kullanılan kaynak ağızları ve ön hazırlığı	48
2.4 Farklı Metalsel Malzemelerin Kaynağında Dikkat Edilmesi Gereken Konular ..	50
2.4.1. Kaynak bağlantısının yapısal kararlılığı.....	52
2.4.2. Fiziksel özellikler.....	54
2.4.3 Mekanik özellikler	58
2.4.4 İşletme koşullarında mekanik ve fiziksel özellikler.....	58
2.4.5.Korozyon ve oksidasyon direnci.....	59
2.4.6 Kaynak metali,erime oranı ve ilave metal seçimi	60
2.4.6.1 Kaynak metali (Kaynak Banyosu)	60
2.4.6.2 Ergime oranları.....	62
2.4.6.3. İlave metal seçimi	65
2.4.6.3.1. Karbonlu ve hafif alaşımlı çelikten üretilmiş ilave metallerde erime durumu	67
2.4.6.3.2 Östenitik çelik ilave metallerde erime durumu	67
2.4.6.3.3. Kromlu çelikten üretilmiş ilave metallerde erime durumu	68
2.4.6.3.4 Saf nikelli ilave metallerde erime durumu	68
2.4.6.3.5. Nikel-bakırdan imal edilen ilave metallerde erime durumu	69
2.4.6.3.6. Nikel-demir-kromdan imal edilen ilave metallerde erime durumu.....	69
2.5.Farklı ferritik çeliklerin kaynağı	71
2.5.1. Yöntem seçimi	72
2.5.2. Dolgu malzemesinin seçimi	73
2.5.3. Dolgu malzemesinin seçimi	73
2.5.4. Isıl işlemin seçimi	75
2.4.Dökme demirlerin çeliklere kaynağı.....	75

2.6.1. Dökme demirlerin kaynağında kullanılan ilave malzemeler	76
2.6.2. Isının etkisi altında kalan bölgede ortaya çıkan problemler.....	77
2.6.3.İsının etkisi altında kalan bölgede ortaya çıkan problemler için çözüm önerileri	78
2.6.3.Tampon tabaka ile sıvama.....	79
2.6.Paslanmaz çeliklerin karbon çelikleri ya da düşük alaşımlı çeliklere kaynağı	81
2.7.1. Karşılaşılan problemler	82
2.7.1.1 Gerilmeli korozyon çatlamaşı	82
2.7.1.2. Gevreklik kırılması.....	83
2.7.1.3. Karbon difüzyonu.....	85
2.7.2. İlave malzeme seçimi ve işletme koşulları.....	87
2.7.2.1.Östenitik paslanmaz çelik tür ilave malzeme.....	87
2.7.2.2.Nikel alaşımlı ilave malzeme	88
2.7.2.3.İşletme koşulları	89
2.7.2.Östenitik paslanmaz çelik-yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik.....	90
2.7.2.Krom paslanmaz çeliğı - yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik.....	97
2.7.5.Östenitik mangan çeliğı - yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik.....	98
2.7.6.Nikel ve kobalt alaşımları -yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik	98
2.7.6.1.Nikel alaşımları	98
2.7.6.2.Kobalt alaşımları	102
2.7.6.3.Bakır alaşımları-çelik	102
2.7.6.3.1.Bakır	103
2.7.6.3.2.Bakır-nikel alaşımları.....	103
2.7.6.3.3.Alüminyum bronz	104
2.7.6.3.4.Pirinç	105
2.7.6.3.5.Bakır alaşımları - nikel alaşımları	105
2.7.6.4.Alüminyum alaşımlarının farklı metallere kaynağı	106
2.7.6.4.2.Alüminyum alaşımları - bakır alaşımları	109
2.7.6.5. Titanyum alaşımları - farklı metallere	110
3.ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ	112
3.1.Giriş.....	112

3.1.Kaynak kabiliyeti	113
3.2.1.Yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynak kabiliyeti	124
3.2.2. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti	135
3.2.2.1.Kaynak metalürjisi	136
3.2.2.1.1.Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalllerinde delta ferit	137
3.2.2.1.2.Krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon	141
3.2.2.1.3.Gerilmeli korozyon	144
3.2.2.1.4.Sigma fazı.....	145
4. ÇALIŞMANIN AMACI VE PLANLANMASI	146
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	147
5.1 Genel	147
5.2. Deneyde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	147
5.3.Deney Parçalarının Boyutlandırılması	148
5.4 Kaynak Öncesinde Yapılan İşlemler.....	149
5.5 Kaynak İşlemlerinin Yapılışı	149
5.5.1. MIG kaynak yönteminin uygulanması.....	149
5.5.1.1. MIG kaynağında kullanılan tel elektrod	149
5.5.1.2. MIG kaynağında kullanılan koruyucu gaz.....	150
5.5.1.3. MIG kaynağında kullanılan kaynak parametreleri.....	150
5.5.2.TIG kaynak yönteminin uygulanması	150
5.5.2.1.TIG kaynak yönteminde kullanılan tel elektrod.....	150
5.5.2.2.TIG kaynağında kullanılan koruyucu gaz	151
5.5.2.3.TIG kaynağında kullanılan kaynak parametreleri.....	151
5.5.3.MMA (örtülü elektrod ile ark kaynağı) kaynak yönteminin uygulanması	151
5.5.3.1.MMA kaynak yönteminde kullanılan elektrod	151
5.5.3.2.MMA kaynağında kullanılan kaynak parametreleri	152
5.6.Kaynaklı Levhaların Görsel Muayenesi.....	152
5.6.1.MIG kaynağı ile yapılmış numunelerin muayenesi	153
5.6.2.TIG kaynağı ile yapılmış numunelerin muayenesi	154
5.6.3.MMA kaynağı ile yapılmış numunelerin muayenesi	156
5.7.Deney Numunelerinin Hazırlanma Esasları.....	157

5.7.1.Deney numunelerinin kodlanması.....	157
5.7.1.1.Kaynak yöntemi kodu	158
5.7.1.2.Paslanmaz çeliğin türü	158
5.7.1.3.Deney türü.....	158
5.7.1.4.Numune sayısı.....	158
5.7.2.Kaynaklı levhalardan deney numunelerinin çıkarılması.....	159
5.7.2.1Çekme deney numuneleri.....	160
5.7.2.2.Kaynaklı levhaların eğme deneyi.....	161
5.7.2.3.Metalografi incelemeleri ve sertlik taraması için numune hazırlanması	162
5.8.Deneylerin Yapılışı	162
5.8.1.Çekme deneyleri.....	162
5.8.2.Eğme deneyleri.....	163
5.8.3.Metalografik inceleme deneyleri.....	164
5.8.4.Vickers sertlik deneyi.....	164
6. DENEY SONUÇLARI	166
6.1 Çekme Deneyi Sonuçları.....	166
6.2. Eğme Deneyi Sonuçları.....	168
6.3. Metalografik İnceleme Sonuçları.....	172
6.4.- Mikro Sertlik İnceleme Sonuçları.....	181
6.5. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	183
6.5.1 Görsel inceleme sonuçlarının irdelenmesi	183
6.5.2 Çekme deneyi sonuçlarının irdelenmesi	183
6.5.3 Eğme deneyi sonuçlarının irdelenmesi	184
6.5.4 Metalografik İnceleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	184
6.5.5 Vickers Sertlik Taraması Değerlerinin İrdelenmesi.....	185

SİMGE LİSTESİ

$C_{eş}$	Karbon eşdeğeri
DA	A metalinde ki yüzde ergime
DB	B metalindeki yüzde ergime
DT	A ve B metalinde ki toplam ergime yüzdesi
HV	Vickers sertliği
L	İlk malzeme boyu
R_m	Çekme Mukavemeti (N/mm^2)
$R_{p0,2}$	Yük kaldırıldıktan sonra ilk ölçü uzunluğunun %20'si kadar kalıcı uzama sağlayan gerilme (N/mm^2)
T_e	Ergime Sıcaklığı
u	Elektrik gerilimi
X_w	X elementinin kaynak metalindeki ortalama yüzdesi
X_A	X elementinin A metalinde ki yüzdesi
X_B	X elementinin B metalinde ki yüzdesi
X_F	X elementinin ilave malzemede ki yüzdesi
α	Lineer ısısal genleşme katsayısı
Δl	Malzeme uzunluğunda ki değişim
ΔT	Sıcaklıktaki değişim
Δs	Gerinimdeki değişim

KISALTMALAR

AISI	American Iron and Steel Institute
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Deneying and Materials
AWS	American Welding Society
HMK	Kübik Hacim Merkez
IIW	Uluslararası Kaynak Enstitüsü
IEB	Isıdan etkilenmiş Bölge
MIG	Metal Asal Gaz
MAG	Metal Aktif Gaz
TIG	Tungsten Asal Gaz
YMK	Yüzey Merkezli Kübik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil1.1.Farklı malzemelerin kaynağında kullanılan yöntemler ve kullanım yoğunlukları (N.Bailey,1986)	2
Şekil1.2.Farklı malzemelerin kaynağında kullanılan malzemeler ve kullanım yoğunlukları (N.BAİLEY,1986).	3
Şekil1.3.Farklı metalsel malzemelerin kaynak prosesi ile birleştirilmesi (Güleç ve Aran, 1993)	7
Şekil 2.1.Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı Prensi Şeması (Kaluç,2004).....	9
Şekil 2.2.Örtülü elektrotla ark kaynağı (Oğuz,1989).....	10
Şekil 2.3.TIG kaynak yönteminde ark bölgesi.(Kaluç,2004).....	17
Şekil 2.4.TIG kaynak donanımı prensip şeması.(Kaluç,2004)	19
Şekil 2.5.Bir TIG kaynak torcunun parçaları.(AS Kaynak 2004).....	21
Şekil 2.6.MIG kaynak yönteminde ark bölgesi.....	30
Şekil 2.7.MIG-MAG kaynağı donanım blok şeması.	32
Şekil 2.8.Ni-Fe-Cr sisteminde (650 °C'de) Ni-Cr-Fe esaslı ilave metalin yeri koyu olarak gösterilmiştir (Amık, 1988).....	53
Şekil 2.9.Farklı iki metalin beş paso ile kaynağı (Amık vd., 1993).....	61
Şekil2.10.Farklı metallerin kaynağında ergime oranlarının hesaplanması (Weisman 1984a)	64
Şekil2.11.Farklı metalsel malzeme kaynak tasarımları için esas metal ergime durumları.....	65
Şekil2.12.A= Ön kaplama yapıldıktan sonra gerçekleştirilen bağlantı ve Ni esaslı bölgeye rastlayan IEB B= Ön kaplama yapılmadan gerçekleştirilen bağlantı ve dökme demir üzerindeki IEB (Odabaş, 1992).	80
Şekil2.13.Gerilmeli korozyon direncinin artırılması amacıyla yığıma işlemi (Kaluç,1995).....	83
Şekil2.14.Sürünme dayanımının iyileştirilmesi (Odabaş, 1992).	5
Şekil2.15.Ostenitik Paslanmaz çelik ilave malzemelerin Schaeffler diyagramındaki konumları(As kaynak, 2004)	87

Şekil2.16.304 tip paslanmaz çeliğin ve düşük alaşımlı çeliğin 67Ni-16Cr-15Mo-2Co (a) ve ERNiMo-3 tip (b) tip ilave malzemeleri kullanılarak birleştirildiği enine bükme numuneleri(Weisman, 1984a)	88
Şekil2.17.Sıcaklığın fonksiyonu olarak ısısız genişleme katsayısı değişimi (Weisman, 1984a)	89
Şekil2.18.Paslanmaz çelik kaynak metali bileşimlerinin Schaeffler diyagramında incelenmesi (AS Kaynak,2004)	91
Şekil2.19.Düşük alaşımlı çelik ve 304 tip paslanmaz çelik malzemelerinin Er 309 tip ilave malzemeler kullanılarak birleştirilmesinin Schaeffler diyagramında incelenmesi (Weisman, 1984a)	93
Şekil2.20.Yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzeme yüzeyinin paslanmaz çelik ilave malzemesi ile kaplanması(Weisman, 1984)	94
Şekil.2.21.Yalın karbonlu veya düşük alaşımlı çelik malzemenin paslanmaz çelik ile kaynağı (Weisman, 1984a)	94
Şekil2.22.Düşük alaşımlı çelik ve paslanmaz çelik malzemelerinin değişken işletme sıcaklıklarını karşılayabilecek kaynak tasarımı (ASM Committe,1983)	97
Şekil2.23.Nikel ve nikel alaşım, kaynak metalleri için demir ergime limitleri(Weisman, 1984a)	100
Şekil2.24.Nikel ve nikel alaşımlı kaynak metalleri için krom ergime limitleri(Weisman,1984a)	101
Şekil2.25.Nikel-bakır kaynak metalinde, demir ergimesine bağlı olarak oluşan sıcak kırılma bölgesi (Anık,1993)	104
Şekil2.26.Alüminyum ve bakır metalsel malzemelerinin metal ark nokta kaynağı kullanılarak birleştirilmesi	110
Şekil3.1.Kaynak metalinin katılaşma evreleri.	115
Şekil3.2.Çeşitli tür metal ve alaşımlarının kaynağında IEB' inde ortaya çıkabilecek iç yapılar.....	118
Şekil3.3.DIN 8528'e göre kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığı(Kaluç , 1999).....	120
Şekil3.4.DIN 8528' e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler (Kaluç,1999)122	
Şekil3.5.Bir alın ve köşe kaynağında segregasyon bölgesi (Siyah olarak gösterilen kısımlar)	123
Şekil3.6.Kaynak bölgesinde oluşan yapıların Fe-Fe ₃ C faz diyagramında	

gösterilişi	126
Şekil3.7.Kaynak dikişinin ve IEB' in sıcaklıkla yapı değişimi (ASM Handbook, 1988)	127
Şekil3.8.Ostenitik tip paslanmaz çeliklerin türleri ve kullanım alanları	136
Şekil3.9.Ostenitik kaynak metallerde Ferrit sayısının tanımlaması için kullanılan De Long diyagramı	140
Şekil3.10.Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesine bağlı olarak krom azalması(şematik).	142
Şekil5.1.Kaynak edilecek levhaların boyutları (EN 288-4).	148
Şekil5.2.v-alın kaynaklı deney parçası boyutları	149
Şekil5.3.MIG Kaynağı AISI 304L-S235JR malzeme çifti	153
Şekil5.4.MIG Kaynağı AISI 316L-S235JR malzeme çifti	154
Şekil5.5.TIG kaynağı AISI 304L-S235JR malzeme çifti	155
Şekil5.6.TIG kaynağı AISI 316L-S235JR malzeme çifti	155
Şekil5.7.MMA kaynağı AISI 304L-S235JR malzeme çifti	156
Şekil5.8.MMA kaynağı malzeme çifti AISI 316L-S235JR	157
Şekil5.9.EN 288-4' e göre kaynaklı levhalardaki numune dağılım planı.....	159
Şekil5.10.Kaynaklı levhalardan deney numunelerinin kodlanarak çıkarılması.....	160
Şekil5.11.EN 895'e göre çekme deneyi.....	161
Şekil5.12.İşlenmiş Çekme Deneyi Numuneleri	161
Şekil5.13.EN 910'a göre eğme deney numunesi	162
Şekil5.14.Çekme deneyi uygulanmış bir deney numunesi görüntüsü	162
Şekil5.15.Kaynak dikişlerinin eğme deneyi uygulanma prensibi	163
Şekil5.16.Eğme deneyi uygulanmış bir deney numunesi görüntüsü.	163
Şekil5.17.Mikro sertlik taraması yapılmış bir deney numunesinin makro görüntüsü.....	164
Şekil6.1.Çekme deneyi uygulanmış numunelerin görünüşü.....	166
Şekil6.2.304L-S235JR Çiftinin MIG, TIG, MMA Bağlantılarının Mukavemet Değerlerinin Esas Metaller İle Karşılaştırılması	168
Şekil6.3.316L-S235JR çiftinin MIG, TIG, MMA Bağlantılarının Mukavemet Değerlerinin Esas Metaller İle Karşılaştırılması	168
Şekil6.4.304L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi.....	169
Şekil6.5.316L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi.....	169

Şekil6.6.304L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi.....	169
Şekil6.7.316L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi.....	170
Şekil6.8.304L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi.....	170
Şekil6.9.316L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök (sağ) eğme deneyi.....	170
Şekil6.10.MIG, TIG ve MMA yöntemlerin 304L-S235JR bağlantılarının makro yapı görüntüleri.....	173
Şekil6.11.MIG, TIG ve MMA yöntemlerinin 316L-S235JR bağlantılarının makro yapı görüntüleri.....	174
Şekil6.12.MIG 304L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri.....	175
Şekil6.13.TIG 304L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri.....	176
Şekil6.14.MMA 304L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri.....	177
Şekil6.15.MIG 316L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri.....	178
Şekil6.16.TIG AISI 316L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri.....	179
Şekil6.17.MMA AISI 316L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri.....	180
Şekil6.18.304L Kodlu Malzeme Çiftlerinin Sertlik Dağılımları.....	182
Şekil6.19.316L Kodlu Malzeme Çiftlerinin Sertlik Dağılımları.....	182
Şekil6.20.316L ve 304L Kodlu Malzeme Çiftlerinin Sertlik Dağılımlarının toplu halde gösterimi.....	183

TABLolar DİZİNİ

Tablo1.1.Farklı malzemelerin birbirleri ile kaynak edilebilme kabiliyetleri (Odabaş, 1992)	4
Tablo2.1.Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Örtülü Elektrodlar.....	13
Tablo2.2.Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Örtülü Elektrodların Kimyasal Bileşimleri (% Ağırlık)(As Kaynak,2004).....	14
Tablo2.3.Argon ve Helyum gazlarının TIG yöntemindeki davranışlarının karşılaştırılması.(Kaluç,2004).....	24
Tablo2.4.Çeşitli metallerin TIG kaynağı için önerilen koruyucu gazlar ve elektrodlar.(Kaluç,2004)	24
Tablo2.5.TIG yönteminde genel olarak uygulanan alın birleştirme türleri ve kaynak ağızları (Kaluç,2004).....	26
Tablo2.6.Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı için önerilen kaynak ağızları.	28
Tablo2.7.TIG Kaynak yönteminde çeşitli metal ve alaşımlar için kullanılan kaynak tellerine ait AWS standartları.....	30
Tablo2.8.Çağımız endüstrisinde MIG-MAG kaynak yönteminde sık kullanılan koruyucu gaz ve gaz karışımları (Kaluç,2004)).....	41
Tablo2.9.MIG-MAG kaynak yönteminin sık uygulandığı çelikler	46
Tablo2.10.MIG-MAG kaynağında çeşitli metal ve alaşımlar için kullanılan AWS standartlarının numaraları.	47
Tablo2.11.DIN 8559 ve TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodların kimyasal bileşimi.....	47
Tablo2.12.Paslanmaz çelik MIG kaynağında kullanılan kaynak ağızları.	49
Tablo2.13.Metallerin fiziksel özelliklerinin, yalın karbonlu çeliğin fiziksel özellikleri baz alınarak karşılaştırılması (Weisman, 1984a)	57
Tablo2.14.Üç alaşımın kimyasal bileşimleri.....	63
Tablo2.15. Nikel alaşımlarının çelik malzemelerle kaynağında kullanılacak ilave malzemeler (Weisman, 1984a).....	101
Tablo2.16.Nikel alaşımları ve çelik malzemeler arasında gerçekleştirilen	

bağlantıların mekanik özellikleri.....	102
Tablo2.17.Alüminyumun diğer metallerle birleştirilmesinde kullanılacak kaynak yöntemlerinin incelenmesi (Aslan,2001)	107
Tablo3.1.Karbon eşdeğerine bağlı ön tavlama sıcaklıkları (Anık vd., 1993)	130
Tablo3.2.Karbon eşdeğeri, elektrod çapı, parça kalınlığı, ağız türüne göre uygulanması önerilen öntav sıcaklıkları.	132
Tablo3.3.Endüstride Sıkça Karşılaşılan ve Problemsiz Kaynak Edilebilen Çelikler.....	133
Tablo3.4.Krom karbür çökelmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlılığı .	143
Tablo5.1.Kullanılan Ana Malzeme Özellikleri.....	147
Tablo5.2.Deneysel çalışmada kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri	148
Tablo5.3.MIG Kaynağında Kullanılan Telin kimyasal bileşimi.....	149
Tablo5.4.MIG Kaynağında Kullanılan Telin mekanik özellikleri.....	150
Tablo5.5.TIG Kaynağında Kullanılan Telin kimyasal bileşimi.....	150
Tablo5.6.TIG Kaynağında Kullanılan Telin mekanik özellikleri	151
Tablo5.7.MMA Kaynağında Kullanılan Elektrodun kimyasal bileşimi	152
Tablo5.8.MMA Kaynağında Kullanılan Elektrodun mekanik özellikleri	152
Tablo6.1.TIG, MIG ve MMA kaynaklı bağlantılarının çekme deneyi sonuçları	167
Tablo6.2.MIG, TIG ve MMA kaynaklı bağlantılarının Eğme Deneyi Sonuçları....	171
Tablo6.3.MIG, TIG, MMA Kaynaklı Bağlantılarının Vickers Sertlik Tarama Sonuçları (HV10).	181

1. GİRİŞ

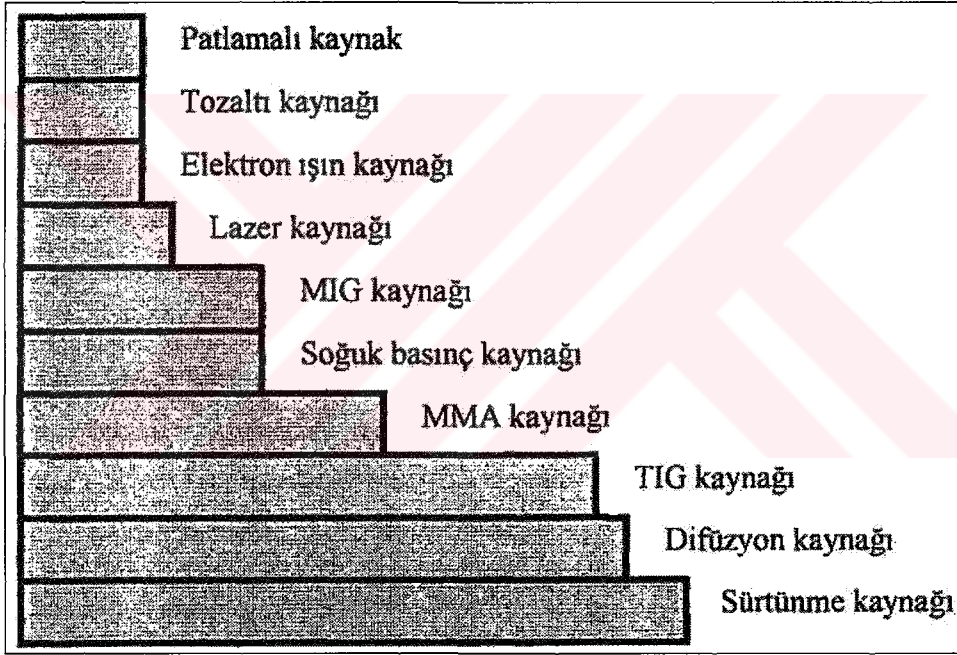
Günümüzde, endüstriyel alanlar için gerçekleştirilen konstrüksiyonlardan beklenen özellikler, farklı malzemelerin bir arada kullanılmalari gereğini ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla bu malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesi bir zorunluluk olarak görülmekte, bu durum ile özellikle değişken zorlanma ve ortam şartlarının söz konusu olduğu uygulamalarda karşılaşılmaktadır. Bunun içinde, birbiri ile kaynak yapılarak birleştirilecek bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve metalürjik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Mühendis belirli bir uygulama alanında çalışırken, bu özellikleri göz önünde tutarak malzeme seçimine karar verir. Buhar borularının kaynaklı bağlantıları bu tür uygulamalara verilebilecek tipik bir örnektir. Çünkü buhar taşıyıcı sistemin yüksek sıcaklıktaki ucuna östenitik paslanmaz çelik bir malzeme gerekirken, buraya oranla daha düşük sıcaklığa sahip uçta daha az özelliklere sahip, düşük alaşımlı bir ferritik çeliğin kullanılması yeterli olmaktadır. Isı değiştiricilerde ve sıcak hava veya gaz soğutma sistemlerinde paslanmaz çeliklerin diğer çeliklerle birleştirilmesi tercih edilmektedir.

Farklı malzemelerin kaynağında kullanılabilcek olan ürünler arasında en uygun olanının seçilmesinde kullanıcılara yardımcı olması amacıyla üreticiler tarafından hazırlanan bilgi verilerine bakmadan önce "farklı malzemelerin kaynağı" terimini açıklamak gerekmektedir.

Gerçekte, ergitme yöntemi ile gerçekleştirilen bağlantıların tamamına yakını birer farklı metal kaynağıdır. Bu gibi uygulamalarda kaynak metali döküm, ana metal ise bir tür işlenik demir olup gerek kaynak metali gerekse ana metal, kimyasal analizleri açısından farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar çoğu zaman belirli amaçlar için bilerek oluşturulmaktadır. Örneğin bir yapı çeliğine tane küçültücü özelliğinden dolayı niobyum (Nb) katılırken bu elementin kaynak metalinde bulunması problemlere yol açabilmektedir. Bunun yanında erimiş metalin akışını kolaylaştırmak amacı ile kaynak metali çeşitli düzeylerde silisyum (Si) içerebilirken aynı element işlenik demir malzemelerde sıcak çatlak sorunları yaratabilmektedir.(N.Bailey,1986)

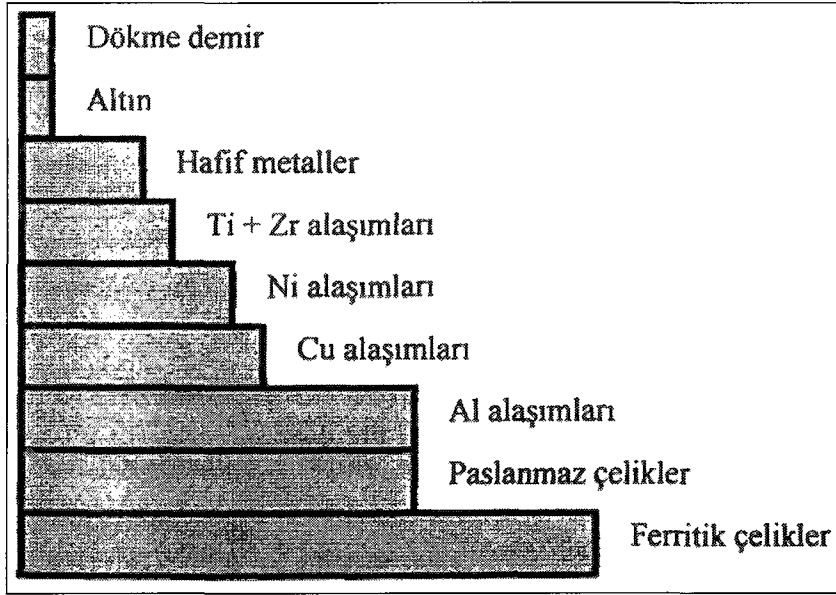
Tüm bunların yanında yukarıda belirtilen ayrıntı ve küçük farklılıkları bir yana bırakacak olursak farklı malzemelerin kaynağını şu şekilde tanımlamak mümkündür. Farklı malzeme kaynağı bir alaşım sistemi içerisindeki grupların ya da farklı alaşım sistemleri içerisindeki iki ana malzemenin birleştirilmesi işlemidir.

1979-1980 yıllarında yapılan araştırmalarda farklı malzemelerin kaynağında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin sürtünme kaynağı ve difüzyon kaynağı olduğu ortaya çıkmıştır. Bunları TIG kaynağı, MMA (örtülü elektrodla ark kaynağı), soğuk basınç kaynağı, MIG kaynağı, lazer kaynağı, elektron ışın kaynağı, toz altı kaynağı ve patlamalı kaynak yöntemleri izlemektedir (Şekil 1.1). N.BAİLEY (1986)



Şekil 1.1. Farklı malzemelerin kaynağında kullanılan yöntemler ve kullanım yoğunlukları N.Bailey (1986)

Yine aynı yıllar arasında yapılan araştırmalarda farklı malzemelerin kaynaklı bağlantılarında en çok kullanılan malzemelerin ferritik çelikler ile paslanmaz çelikler olduğu görülmüştür (Şekil 1.2). Bunları sırası ile alüminyum alaşımları, bakır alaşımları, nikel alaşımları, titanyum + zirkonyum alaşımları, hafif metaller, altın ve dökme demirler izlemektedir N.Bailey, (1986).



Şekil 1.2. Farklı malzemelerin kaynağında kullanılan malzemeler ve kullanım yoğunlukları. (N.BAİLEY,1986).

Dökme demirler oldukça yaygın kullanılan bir mühendislik malzemesi olmasına rağmen sıralamanın sonunda yer almaktadır.

Farklı malzemelerin kaynağında incelenen ana konular; mukavemet, tokluk ve yorulma direncidir. Bunların yanında korozyon davranışları, uygun ısıl işlemlerin seçimi, yöntemler arasındaki tercih nedenleri ve maliyet kıyaslamaları diğer ilgi alanlarını oluşturmaktadır.

Tablo 1.1' de gerek demir esaslı gerekse demir dışı malzemelerin kaynak edilebilirlikleri hakkında pratik bilgiler yer almaktadır.

Herhangi bir farklı metal kombinasyonunda kaynak bağlantısından istenen özellikler, farklı malzeme seçimini belirleyen en önemli faktörlerdir. Uygulamanın gerektirdiği bir zorunluluk olarak, iki ayrı cins metalin kullanılması her ne kadar arzu edilmese bile, eğer bu iki metalin birbiri ile kaynağı mümkün değilse, bu proje yalnız tasarım aşamasında kalır.

sonra bu yüzeyin yine nikel ilave malzemesi kullanılarak bakır malzemeyle kaynak edilmesi şeklinde gerçekleştirilir (Schwartz, 1979; ASM Committee, 1983).

Farklı metallerin birleştirilmesinde, metallerin fiziksel, mekanik ve metalürjik özelliklerinin çok iyi incelenmesi, başarılı bir kaynak konstrüksiyonunun elde edilebilmesi için bir zorunluluktur. Farklı metalsel malzemelerin kaynağında karşılaşılan problemler, metaller arasındaki geçiş bölgesinde meydana gelen intermetalik bileşenlere bağlı olmaktadır. Bu sebepten dolayı birleştirilecek olan malzemelerin ısısız genleşme katsayıları ve ergime sıcaklıkları çok iyi gözden geçirilmeli, gerekiyorsa gerekli önlemler alınmalıdır.

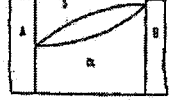
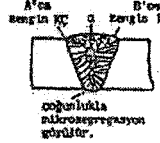
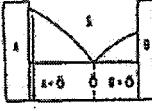
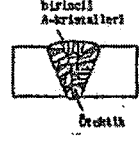
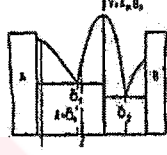
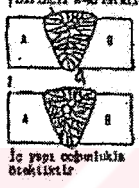
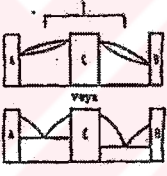
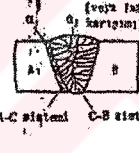
Kaynak sonrası oluşan bağlantının özelliklerinin belirlenmesinde, birleştirilen malzemelerin özellikleri ile, malzemelerin birlikte oluşturdukları faz diyagramları en önemli faktörlerdir. Bununla birlikte, kaynak ile birleştirilecek malzemelerin birbirlerinden farklı alaşımlar içermesi ve hatta bunların çok sayıda bileşenden oluşması sonucu önceden tahmin edilmesine olanak vermez, erime bölgesinde bileşimi oluşturan malzemelerin bileşimine ve bileşenlerine bağlı olarak bileşim ve özellik bakımından çok farklı kısımlar ortaya çıkar (Şekil 1.3). Birleştirilecek metalsel malzemeler sürekli katı çözültü oluşturuyorlarsa, kaynak metalini şekil değiştirme özelliğine sahip ve kırılgan olmayan bir iç yapıya sahip olacaktır. (Şekil 1.3.1). Kaynak işlemi esnasında soğuma hızı çok yüksek olduğundan çoğunlukla belirgin bir mikro segregasyon görülür. Bu olayın tam tersi ise katı durumda hiç çözünme olmaması durumudur (Şekil 1.3.2). Bu durumda kaynak metalini A ve B metallerinin bir karışımıdır ve kaynak metalinin özellikleri bileşenler tarafından belirlenir. Birincil katılaştıran A-kristallerinin tane sınırlarında, hızlı soğuma nedeniyle çok ince ve sert bir ötektik oluşur. Dolayısıyla kaynak metalinin büyük ölçüde ötektik olarak katılaştığı bölgelerinde çatlama eğilimi vardır. Bu ötektik bölgeler erime sıcaklıklarının düşük olması nedeniyle ayrıca sıcak çatlama duyarlıdır.

Birbirleri ile ara bileşikler yapan metaller ergitme kaynağı ile birleştirilemezler (Şekil 1.3.3). Çok kırılgan olan bu içyapı bileşenlerinin, yapıda az miktarda bulunması bile kaynak bağlantısının tümüyle gevrekleşip kullanılmamasına yol açar (Cu-Zn, Cu-Sn, Al-Cu, Al-Fe).

Bazen her iki metal ile de ara bileşikler oluşturmayan bir üçüncü metalden yararlanılarak sorun çözülür (Şekil 1.3.4). Nikel bir çok metal ile (bakır, demir, kobalt) sürekli veya geniş alanlı katı çözeltili oluşturur. Bu nedenle farklı metalsel malzemelerin kaynağında nikelin ilave malzeme olarak kullanılması çok yaygındır.

Hem sıvı hem de katı durumda tam çözünmezlik söz konusu ise, iki farklı metal ancak her ikisi ile de sıvı durumda çözünür olan bir üçüncü metalsel malzeme yardımıyla birleştirilebilir.

Ergitme kaynağı yöntemlerinin hatalara açık bir yöntem olması ve soğumaya bağlı olarak makro düzeyde iç gerilmelerin oluşması bu yöntemlerin önemli dezavantajları olup kaynağın mukavemetini düşürmektedir. Ancak pratikte TIG ve elektrik ark kaynağı en çok kullanılan yöntemlerdir. Ancak farklı bileşimde ki malzemelerin birleştirilmesinde eğer boyutları ve şekilleri müsaade ediyorsa, ergitme kaynağına nazaran bir ergitme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve kaynak sonrası minimum iç gerilmelere sahip olması nedenleriyle katı hal kaynak yöntemleri büyük bir üstünlük göstermektedir. Örneğin bu amaçla günümüzde farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemleri olarak sürtünme kaynağı ve yakma alın kaynağı yöntemleri en ideal yöntemler olmaktadır. Günümüz teknolojisine uygun olması sebebiyle ergitme yöntemleri ve özellikle işlem süresinin kısalığı nedeniyle Laser yöntemi uygulanmaktadır. Otomotiv endüstrisinde ise TIG kaynağının kullanımı da yaygındır. Ayrıca elle de uygulanabilen bir yöntem olması sebebiyle Laser yöntemine göre avantajı vardır. 5 mm' den kalın parçaların birleştirilmesinde ise MIG yöntemi kullanılır.

No	Faz Diyagramı	Kaynak Metali İç Yapısı	Bağlantının Özellikleri
1		 A' ve B' evrenleri K' ve K' evrenleri K' evrenleri çoğunlukla mikrosegregasyon görülür.	1. Kaynak metali tok ve çatlak oluşumuna az duyarlı olan katı çöeltiden oluşur. 2. Metalürjik ve mekanik özellikler iyidir. 3. Mikrosegregasyon kuvvetlidir.
2		 birincil A-kristalleri Ötektik	1. Bağlantının kalitesi ötektik özelliklerine bağlıdır. Ötektik ise A ve B birincil kristallerinden daha sert ve gevrektiler. 2. Düşük sıcaklıkta ergiyen ötektik iç yapı bileşenleri sıcak çatlama neden olabilir.
3		 1. Birincil A-kristalleri 2. İkinci evrenler 3. İç yapı çoğunlukla ötektiktir	1. Az miktarda V bağlantının tümüyle gevrekleşmesine yol açar. 2. Kaynak metalinin yüksek oranda A ve B içermesi sağlanabilirse, V gevrekleşme yaratmayacak düzeye azaltılmış olur. 3. Her iki metalde de ara bileşik oluşturmayan bir C metalinden yararlanılabilmektedir.
4		 A-C sistemli C-B sistemli (evrenler A ve B karışımı)	C ilave malzemesi ile önce A'nın kaynak ağzı yüzeyinde bir tampon tabaka (α_1) yapıp, daha sonra da bu bölgeyle B arasında asıl kaynak dikisi gerçekleştirilir.

Şekil 1.3. Farklı metalsel malzemelerin kaynak prosesi ile birleştirilmesi (Güleç ve Aran, 1993)

Gerçekleştirmiş olduğum bu tez çalışmasının teorik kısmında farklı malzeme kombinasyonları ve farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemlerinden; ark kaynağı yöntemleri grubuna giren MIG, TIG, MMA kaynak yöntemleri genel incelenmesi ele alınmıştır. Deneysel çalışma olarak ise proses olarak örtülü elektrotla elektrik ark kaynağı, TIG ve MIG kaynak yöntemi yani ergitme esaslı kaynak yöntemleri kullanılarak (MMA), AISI304L ve AISI316L kalite ostenitik tip paslanmaz çelikler S235JR kalite genel yapı çeliği ile kaynak edilmişlerdir, daha sonra makro yapı, mikro yapı, mikro sertlik, çekme ve eğme deneyleri yapılarak yöntemlerin karşılaştırılması yoluna gidilerek tez çalışması tamamlanmıştır.

2. FARKLI METALLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Bugün farklı metallerin kaynağı için birçok kaynak yöntemi özellikle katı faz kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Burada tez çalışmasının kapsamına giren ergitme esaslı kaynak yöntemlerinden; gaz altı kaynak yöntemlerinden MIG, TIG kaynak yöntemi ile örtülü elektrotla ark kaynak (MMA) yöntemi incelenmiştir.

2.1. Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı (MMA)

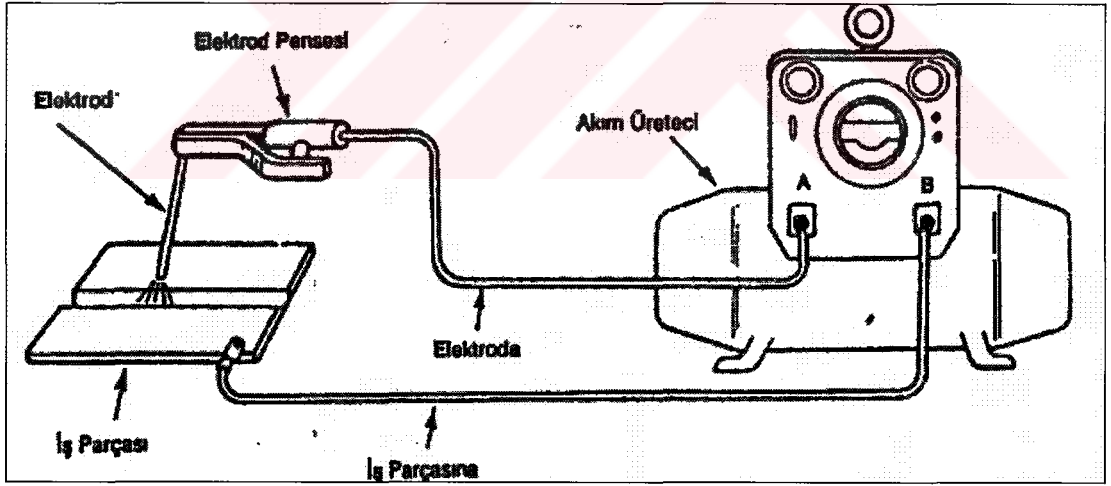
Son elli yıldır kaynak tekniğinde meydana gelen değişimler, kaynakla birleştirmenin imalat sektöründe giderek artan oranda yaygınlaşmasına ve kaynağa uygun yeni çelik türlerinin imalat sektörünün kullanımına sunulmasına neden olmuştur. Böylece imalat sektöründe çalışan teknik elemanlar giderek artan oranda kaynağın tasarım, imalat ve kontrol problemleriyle yüz yüze kalmışlardır. Özellikle örtülü elektrodlarla ark kaynağında, kaynak makinelerinin göreceli olarak ucuz ve basit olması, kaynakçının önemli ölçüde hareket serbestisine sahip olması (kaynak makinelerinden metrelerce uzak noktalarda kaynak yapılabilir) ve aynı kaynak makinesiyle sadece elektrod tipini değiştirerek farklı metallerin kaynağının yapılabilmesi bu yöntemin imalatta yaygın biçimde kullanılmasına neden olmuştur.(Eryürek,2004)

Elektrod seçimi, kaynaklı bağlantının tasarımı sırasında yapılır ve "her işe uygun" mükemmel elektrod mevcut değildir. Belirli bir işe en uygun elektrod, kaynak edilecek çeliğin cinsi ve mekanik özellikleri başta olmak üzere birtakım faktörler göz önüne alınarak seçilir, elektrod imalatçıları, kaynaklı sektöründe kullanılan çeşitli türden çelikleri ve yukarıda değinilen faktörleri göz önüne alarak çeşitli türden çok sayıda örtülü elektrodu piyasaya arz etmişlerdir. Elektrod üreticilerinin kataloglarında, bunların hangi standarda göre üretildikleri, hangi tip çelikler için kullanılacakları, yığılan kaynak metalinin kimyasal ve mekanik özellikleri, gibi çeşitli bilgiler verilmektedir, bu verilerden uygun olan elektrodu seçebilmektir.

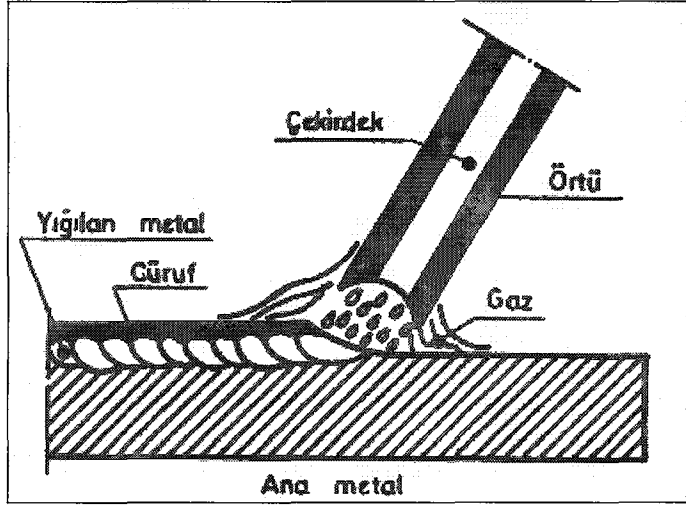
2.1.1. Kaynak yöntemi

Modern fiziğe göre ark, kızgın bir katoddan yayılan elektronların, yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu bombardıman, nötr moleküllerin, iyonize olmasına neden olduğundan, kuvvetli bir sıcaklık yükselmesi ortaya çıkar ve böylece elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Son yapılan araştırmalara göre arktaki toplam enerjinin % 85'i ısı, % 15'i de ışık enerjisine dönüşmektedir.

Uygulamada kullanılan kaynak arkının gücü 0.3 ile 160 kW; ısı eşdeğeri ise 70 ile 40.000 cal/s arasında değişmektedir. Arkın oluşturduğu ark hüzmelerinin ısı enerjisi, katodik leke (negatif elektrodun ucundaki kızgın noktaya katodik leke denir) ve anodik krater (pozitif elektrodun ucundaki krater şeklindeki oyuk) arasında dağılır. Şekil 2.1 de örtülü elektrotla ark kaynağı prensip şeması, Şekil 2.2. de örtülü elektrotla ark kaynağı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı Prensip Şeması (Kaluç,2004)



Şekil 2.2. Örtülü elektrotla ark kaynağı (Oğuz,1989)

Çelikler için elektrod seçiminde çeliğin kimyasal ve mekanik özellikleri birinci derecede rol oynar. İlerideki bölümlerde görüleceği gibi elektrod seçiminde kaynak metalinin esas metalle kimyasal bileşim uygunluğunun mu yoksa mekanik özellik uygunluğunun mu önemli olduğu çelik cinsine bağlı olarak değişir. Örneğin alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kaynak metalinin mekanik özelliklerinin eşit olması istenir. Kimyasal bileşimde uyuşmanın önemi yoktur. Aksine, örneğin kaynak metalinin karbon oranı esas metalden özellikle düşük tutulur. Bu nedenle, TS 563/89 numaralı, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrotlarla ilgili Türk standardında "kaynak metalinin istenen (mekanik) özelliklerde olmasını sağlamak şartıyla, elektrotların kimyasal bileşiminin seçiminde imalatçı serbest bırakılmıştır" cümlesi mevcuttur. Buna karşılık paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak metalinden de paslanmazlık özelliği beklendiğinden kaynak metalinin kimyasal bileşimi de önem kazanır.

2.1.2. Alaşımsız çelikler için elektrod seçimi

Bu çelikler içerdikleri karbon yüzdesine göre şu şekilde sınıflandırılırlar:

2.1.2.1. Düşük karbonlu çelikler

Bunların karbon içeriği % 30'dan azdır. Kaynak edilecek kesitlerin 25 mm'den ince

olması ve şiddetli bir bağlantı zorlanması altında olmaması şartıyla bu çelikler ön tavlamasız ve son tavlamasız ve özel bir tedbir almadan kaynak edilebilirler. Düşük karbonlu çeliklerin elektrod seçimi nadiren kritik bir olaydır ve seçim genelde arzu edilen çekme dayanımına göre yapılır. Bu çeliklerin kaynağında düşük karbonlu çelik çekirdek teline sahip olan ve daha önce belirtilen herhangi bir tür elektrod kullanılabilir. Doğal olarak hangi türün tercih edilmesi gerektiğini daha önce sıralanan listedeki diğer faktörler tayin eder. Bu çeliklerin kaynağında minimum 430 MPa'lık çekme dayanımı ve minimum 330 MPa'lık akma dayanımına sahip kaynak metali oluşturan elektrodlar kullanılabilir. Daha yüksek mukavemette kaynak metali gerekirse minimum 510 MPa'lık çekme dayanımı ve minimum 360 MPa'lık akma dayanımına sahip kaynak metali oluşturan elektrodları kullanılabilir. Çentik tokluğunun da önemli olduğu hallerde arzu edilen seviyede çentik tokluğuna sahip kaynak metali veren elektrod seçilmelidir.(Eryürek,2003)

2.1.2.2. Orta karbonlu çelikler

Bunların karbon yüzdesi % 0.30-0.50 arasında değişir. Bu çelikler de ark kaynağı ile başarılı bir biçimde kaynak edilebilirler. Kaynak bölgesinde fazla miktarda martenzit oluşması ve martenzit sertliğinin yüksek oluşu (karbonun fazla olmasından) ön tavlamanın, son tavlamanın veya her ikisinin birden uygulanmasını gerektirir. Yüksek kaynak soğuma hızları oluşturan bağlantı tasarımlarında ve kaynak işlemlerinde, martenzit oluşumunu engellemek için ön tavlama uygulamak gerekir. Martenziti menevişlemek ve IEB' deki tokluğu iyileştirmek amacıyla da kaynak sonrası ısıtma işlemi uygulanır. Kaynak işleminde bazı modifikasyonlar, örneğin, büyük "V" ağız kullanmak veya çok pasolu kaynak, soğuma hızını ve dolayısıyla da çatlama olasılığını azaltır.

Çeliğin karbon içeriği arttıkça ark kaynağı için ilave metal seçimi kritik hale geldiğinden düşük hidrojenli bazik elektrodlar kullanmak gerekir. Karbon içeriği % 0.5' e ulaştığında düşük hidrojenli bazik elektrod kullanma şartı kesin hale gelir.

2.1.2.3. Yüksek karbonlu çelikler

% 0.5'den fazla karbon içerirler. Bunların kaynağı çatlama eğilimleri nedeniyle zordur. Kaynakta genellikle aşırı sertlik ve gevreklik oluşur. Ark kaynağında en iyi sonucu almak için düşük hidrojenli bazik elektrodlar kullanmak gerekir.

2.1.3. Paslanmaz çelikler için elektrod seçimi

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilecek örtülü elektrodlar Tablo 2.1'de verilmiştir. Bu tablodaki notlar dikkatle etüd edilmelidir. Çünkü paslanmaz çeliklerin kaynağı için ilave metal seçimi yığılmış kaynak metalinin mikroyapısal fazlarının gözönüne alınmasını gerektirir. Sonuç olarak, bu mikroyapısal fazlar kaynağın mekanik özelliklerini, çatlak hassasiyetini ve korozyon direncini belirler. Üzerinde durulması gereken fazlar, ostenit, delta ferrit ve çökelmiş karbürlerdir. 310, 310 Cb, 310 Mo ve 330 gibi bazı ilave metaller daima % 100 ostenitik kaynak metali oluşturur. Bu alaşımlarda, ferrit oluşturucularla ostenit oluşturucular arasındaki oran ostenit içinde herhangi bir delta ferrit oluşmasına imkan vermeyecek kadar düşük tutulmuştur. Sonuç olarak bu ilave metaller zorlanmış bağlantılarda veya fosfor, kükürt, selen ve silisyum içeren esas metallerde kullanılacaksa, sadece tecrübeyle uygun olduğu ispat edilmiş yöntemler uygulanmalıdır. Birçok ilave malzemenin bileşimi imalatçılar tarafından kaynak metalinde delta ferrit oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece, krom ve molibden gibi ferrit yapıcı elementler müsaade edilir sınırlar aralığının en üstünde tutulurken, nikel gibi ostenit yapıcı elementler en alt sınırdaki tutulmuştur. Kaynak metalinin yapısında oluşacak olan ferrit miktarı bu elementlerin oranına veya dengesine bağlıdır. Sıcak çatlamayı etkin bir biçimde önlemek için yığılmış kaynak metalinde en az 3 veya 4 FN delta ferrit bulunmalıdır. Ancak, uygun tekniklerle, 316 ve 316 L tipleri 0.5 FN kadar azalan delta ferritle kaynak edilebilirler.(Kaluç,1995)

Kaynaklı ostenitik çeliklerde ferrit içeren kaynak metalinin belirli mahzurları da vardır. Ferrit ferro-manyetiktir ve non-manyetik özellikler isteyen bazı uygulamalarda kaynak metalinin artmış manyetik geçirgenliği, istenmeyen bir özellik olabilir. Bazı kaynak metallerindeki ferrit yüksek servis sıcaklıklarında sigma fazına

dönüşerek mekanik özellikleri ve korozyon direncini zıt yönde etkileyebilir. Bu tip problemlere güç santrallerindeki uygulamalarda rastlanmıştır. Tablo 2.1' de paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrodların kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Örtülü Elektrodlar

ÇELİK CİNSİ	Kaynak Bağlantısının Durumu (a)	ELEKTROD (b)	ÇELİK CİNSİ	Kaynak Bağlantısının Durumu (a)	ELEKTROD (b)
Östenitik Çelikler			Martenzitik Çelikler		
301, 302, 304			403, 410, 416		
305, 308 (c)	1 veya 2	308	416 Se (k)	2 veya 3	410
302 B (d)	1	309	403, 410 (m)	1	308, 309, 310
304 L	1 veya 4	347, 308 L	416, 416 Se (m)	1	308, 309, 312
303, 303 Se (e)	1 veya 2	312	420 (n)	2 veya 3	420
309, 309 S	1	309	431 (n)	2 veya 3	410
310, 310 S	1	310	431 (p)	1	308, 309, 310
316 (f)	1 veya 2	316	Ferritik Çelikler		
316 L (f)	1 veya 4	318, 316 L	405 (q)	2	405 Cb, 430
317 (f)	1 veya 2	317	405, 430 (m)	1	308, 309, 310
317 L (f)	1 veya 4	317 Cb	430 F, 430 FSe (m)	1	308, 309, 312
318, 316 Cb (f)	1 veya 5	318	430, 430 F, 430 FSe (r)	2	430
321 (g)	1 veya 5	347	446	2	446
347 (h)	1 veya 5	347	446 (s)	1	308, 309, 310
348 (i)	1 veya 5	347			

Elektrodlar 1.5 mm'den 6 mm'ye kadar değişen çaplarda üretilmektedir. çalışma akımları genellikle imalatçı firmalar tarafından verilmiştir.

Tablo 2.1' de verildiği gibi, ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında hem ferritik hem de ostenitik paslanmaz çelik ilave metal kullanılabilir. Ferritik paslanmaz çelik ilave metallerin üstünlüğü bunların esas metalle aynı renk, görüntü, ısıl genişleme katsayısı ve korozyon direncine sahip kaynak metali sağlamalarıdır. Ostenitik paslanmaz çelik kaynak metali IEB' da tane büyümesi ve martenzit oluşumunu engelleyememekle birlikte kaynak metalinin sünekliği nedeniyle kaynak bağlantısının sünekliğini artırır. Ancak ostenitik paslanmaz çelik ilave metal seçerken kaynak metalindeki renk ve korozyon özelliklerindeki farkın ve esas metalle metal arasındaki mukavemet farkının göz önüne alınması uygulama için kabul edilir olup olmadığına dikkat etmek gerekir. Tablo 2.2 de paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrodların kimyasal bileşimleri (% ağırlık) olarak görülmektedir. (As Kaynak, 2004)

Tablo 2.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Örtülü Elektrodların Kimyasal Bileşimleri (% Ağırlık)(As Kaynak,2004)

ELEKTROD	C	Cr	Ni	Mo	Nb+Ta	Mn	Si	P	S	Cu
E307	0.04-0.14	18.0-21.5	9.0-10.7	0.5-1.5	-	3.30-4.75	0.90	0.04	0.03	0.75
E308	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.75	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E308H	0.04-0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.75	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E308L	0.01	18.0-21.0	9.0-11.0	0.75	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E308Ma	0.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E308MoL	0.04	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E309	0.15	22.0-25.0	12.0-14.0	0.75	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E309L	0.04	22.0-25.0	12.0-14.0	0.75	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E309Cb	0.12	22.0-25.0	12.0-14.0	0.75	0.70-1.00	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E309Ma	0.12	22.0-25.0	12.0-14.0	2.0-3.0	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E310	0.08-0.20	25.0-28.0	20.0-22.5	0.75	-	1.00-2.50	0.75	0.03	0.03	0.75
E310H	0.35-0.45	25.0-28.0	20.0-22.5	0.75	-	1.00-2.50	0.75	0.03	0.03	0.75
E310Cb	0.12	25.0-28.0	20.0-22.0	0.75	0.70-1.00	1.00-2.50	0.75	0.03	0.03	0.75
E310Mo	0.12	25.0-28.0	20.0-22.0	2.0-3.0	-	1.00-2.50	0.75	0.03	0.03	0.75
E312	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.75	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E316	0.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E316H	0.04-0.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E316L	0.04	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E317	0.08	18.0-21.0	12.0-14.0	3.0-4.0	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E317L	0.04	18.0-21.0	12.0-14.0	3.0-4.0	-	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E318	0.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-2.5	min. 6xC max. 1.00	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E320	0.07	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	min. 8xC maks. 1.00	0.50-2.50	0.60	0.04	0.03	3.0-4.0
E320LR	0.035	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	min. 8xC maks. 0.40	1.50-2.50	0.30	0.02	0.015	3.0-4.0
E330	0.18-0.25	14.0-17.0	33.0-37.0	0.75	-	1.00-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E330H	0.35-0.45	14.0-17.0	33.0-37.0	0.75	-	1.00-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E347	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.75	min. 8xC maks. 1.00	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E349	0.13	18.0-21.0	8.0-10.0	0.35-0.65	0.75-1.20	0.50-2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E16-B-2	0.10	14.5-16.5	7.5- 9.5	1.0-2.0	0.5-2.0	0.50-2.50	0.60	0.03	0.03	0.75

Kaynaktan sonra tavlancak bağlantılarda ostenitik ilave metal kullanılması muhtelif problemlere neden olur. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak sonrası tav sıcaklık aralığı ostenitik çeliklerin tam "duyarlılık" sıcaklık aralığına rastlar. Sonuçta ostenitik kaynak metali ekstra düşük karbonlu olmadıkça veya niobyum veya titanyumla stabilize edilmedikçe kaynak metalinin korozyon direnci önemli ölçüde kötülür. Eğer tavlama işlemi yapıdaki kalan gerilmeleri gidermek amacıyla yapıyorsa, kaynak metalinin ve esas metalin farklı ısıl genleşme katsayıları nedeniyle gerilme giderme etkin bir biçimde gerçekleşmez.

2.1.4. Kaynak işlemi

Paslanmaz çeliklerin kaynağında adi karbonlu çeliklerin aksine daha az kaynak ısısı

gerekir. İş parçası dikkatle hazırlanmalı ve yerleştirilmelidir. 6 mm' den daha kalın elektrodlar ve aşırı ark uzunluğu kaynak dikişinden krom kaybına katkıda bulunur. Tüm çaplar için aşırı elektrod salınımından kaçınmak gerekir. Maksimum salınım elektrod çekirdek çapının dört katından büyük olmamalıdır. Kaynak metalinin yığılması için genellikle salımsız dikiş tavsiye edilmektedir. Pasolar arasında cüruf kaldırma sırasında dikkatli davranılmalıdır. Bu amaç için sadece paslanmaz çelik takımlar ve fırçalar kullanılmalıdır. Eğer taşlama taşı kullanılacaksa bu taşların diğer malzemelerde kullanılması nedeniyle kirlenmemiş olmasına dikkat edilmelidir.

Elektrodların depolanması çok önemlidir. Elektrod örtüsü rutubet kaparak kaynaktaki gözeneğe neden olur. Elektrod imalatçıları elektrodları rutubet geçirmez paketlerde piyasaya sunmaktadır. Atmosfere ve rutubete maruz kalmış elektrodlar kurutma ile başlangıçtaki şartlarına döndürülebilir. Ancak bu elektrodlar kritik kaynak uygulamaları için kullanılmamalıdır. Islak olan elektrodu kurutmak için teşebbüse geçilmemeli, bu elektrod atılmalıdır.

Ön tavlama ihtiyacı esas olarak kaynak edilecek çeliğin, kimyasal bileşimi, mekanik özellikleri ve kesit kalınlığı belirler. 6 mm' den ince çeliklerin kaynak sırasında çatlama ihtimali 6 mm' den kalın çeliklere nazaran daha azdır. Bağlantının tipi, bağlantının yeri, kaynak hazırlığı sırasında kullanılan tertibatlar nedeniyle oluşan zorlanmaların seviyesi, kaynak yöntemi ve kaynak sıcaklığından itibaren ki soğuma hızı çatlamayı etkileyen diğer faktörlerdir.

2.2. Gaz altı Kaynak Yöntemleri

Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağında, elektrod örtüsünün görevlerinden en önemlisi ve vazgeçilemez olanı, bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak, kaynak banyosunu havanın oksijen ve azotunun olumsuz etkilerinden korumasıdır. Kaynak bölgesinin bir gaz atmosferi tarafından korunduğu ergitme kaynağı yöntemleri, genel olarak gaz altı kaynak yöntemleri olarak adlandırılır.

Kaynak bölgesinin bir gaz atmosferi ile korunması konusunda geliştirilmiş ilk yöntem, 1926 yılında uygulamaya konmuş olan ve koruyucu gaz olarak metanolün

kullanıldığı Alexander yöntemidir. Bu yöntemi takiben hidrojenin kullanıldığı Ark Atom ya da Atomik Hidrojen kaynak yöntemi, kaynak enerjisinin elektrik arkı, korunmanın ise oksit-asetilen alevi ile sağlandığı Arcogen yöntemleri uygulama alanına girmiştir. Tüm bu yöntemlerin dar bir uygulama alanına sahip olmaları ve özellikle demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında doyurucu sonuçlar vermemeleri araştırmacıları yeni yöntemler geliştirmeye zorlamıştır.(Kaluç,2004)

Gazaltı kaynak yöntemlerinde, arkın oluşturulması için kullanılan elektrodun türü ve koruyucu gazın türüne göre bir sınıflandırma yapılır;

1. Ergimeyen elektrod ile yapılan gazaltı kaynak yöntemleri

- Ergimeyen iki elektrod ile yapılan gazaltı kaynağı (ark atom kaynağı)
- Ergimeyen bir elektrod ile yapılan gazaltı kaynağı (TIG ya da PA-plazma ark)

2. Ergiyen elektrod ile yapılan gazaltı kaynağı

- Ergiyen elektrod ile soygaz altında yapılan gazaltı kaynağı (MIG)
- Ergiyen elektrod ile aktif gaz altında yapılan gazaltı kaynağı (MAG)

Yeni yöntemler geliştirilerek, günümüzde kullanım alanı hemen hemen ortadan kalkan ark atom (atomik hidrojen) kaynak yöntemine ve tez çalışmamızın dışında kalacak olan plazma-ark kaynak yöntemine burada değinilmeyecektir.

2.2.1. Ergimeyen elektrod ile gazaltı (tig) kaynak yöntemi

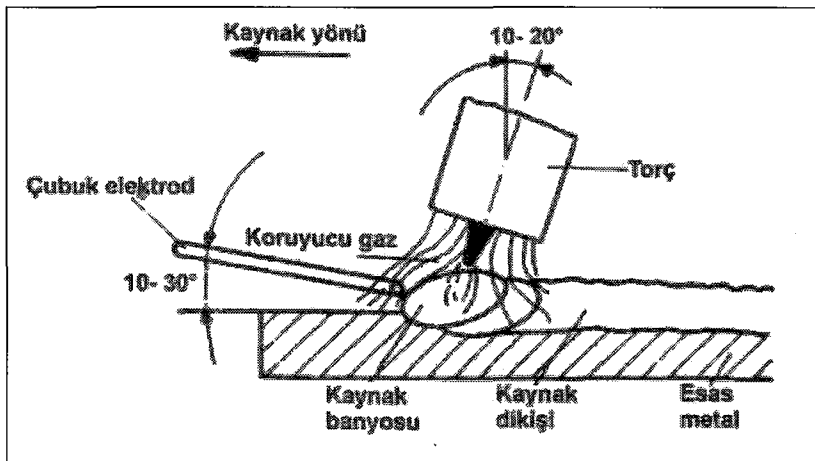
Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuş TIG kelimesi ile anılan yöntem ilk olarak 1930' lu yılların ortalarında denenmiş ve ABD'de II. Dünya Savaşı sırasında özellikle alüminyum alaşımlarının ve paslanmaz çeliklerin kaynağında yoğun bir biçimde uygulanmıştır.

Bu yöntemde, kaynak için gerekli olan ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkilerinden elektrod ile merkezlenmiş konumda bulunan bir

lülerden (nozül) gönderilen bir koruyucu gaz (helyum, argon veya bunların karışımı) ile korunmaktadır (Şekil 2.3). ABD'de doğal gazdan bol miktarda helyum elde edilebildiğinden koruyucu gaz olarak helyum kullanılmış ve bu nedenle yöntem Heliark adı ile anılmıştır. Avrupa'da helyumun bulunmayışı, yöntemin havadan ayrıştırılan argon ile uygulanmasına neden olmuş ve bu bakımdan da yöntem Argonark adı ile tanınmıştır.

TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, kaynakçı tarafından kullanılması kolaydır, prensip olarak gaz ertitme kaynağını andırır, yalnız torç biraz değışiktir, yanıcı ve yakıcı gaz yoktur, ısı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır.

Bu yöntemde, ergimeyen bir elektrod kullanıldığı için kıvrık alın kaynak ağızı hazırlanmış ince parçalar, ek kaynak metaline gereksinim göstermeden birleştirilebilir; gerektiğinde esas metalin ertitilerek, ek kaynak metaline olan gereksinimi ortadan kaldırması da yöntemin göz önüne alınması gereken üstünlüklerinden bir tanesidir. Kaynak bağlantısı için ek metal gerektiğinde, aynen oksii-asetilen yönteminde olduğu gibi, bir tel çubuk biçimindeki kaynak metali kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulmaktadır.



Şekil 2.3. TIG kaynak yönteminde ark bölgesi.(Kaluç,2004)

TIG kaynak yönteminin diğeri bilinen ve endüstride yaygın uygulanan ertitme kaynağı yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü, ısı girdisinin ve ertiyen ek kaynak

metali miktarının birbirlerinden bağımsız oluşudur. Bu önemli özellik, yöntemin çok ince parçalara uygulanabilmesine olanak sağlamakta, kök pasoların çekilmesinde, pozisyon kaynaklarında ve tamir işlerinde de kaynakçıya büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

İlk geliştirme yıllarında, sadece havacılık endüstrisinde uygulama alanı bulmuş olan bu kaynak yöntemi deneysel ölçüde, magnezyum alaşımlı parçaların birleştirilmesinde kullanılmış ve alınan doyurucu sonuçlar, yöntemin endüstrinin diğer alanlarında da uygulanabilirliğini kanıtlamış ve hızla alüminyum, magnezyum ve diğer endüstriyel demir dışı metal ve alaşımlar ve paslanmaz çeliklerin kaynağında çok aranan bir yöntem haline gelmiştir.

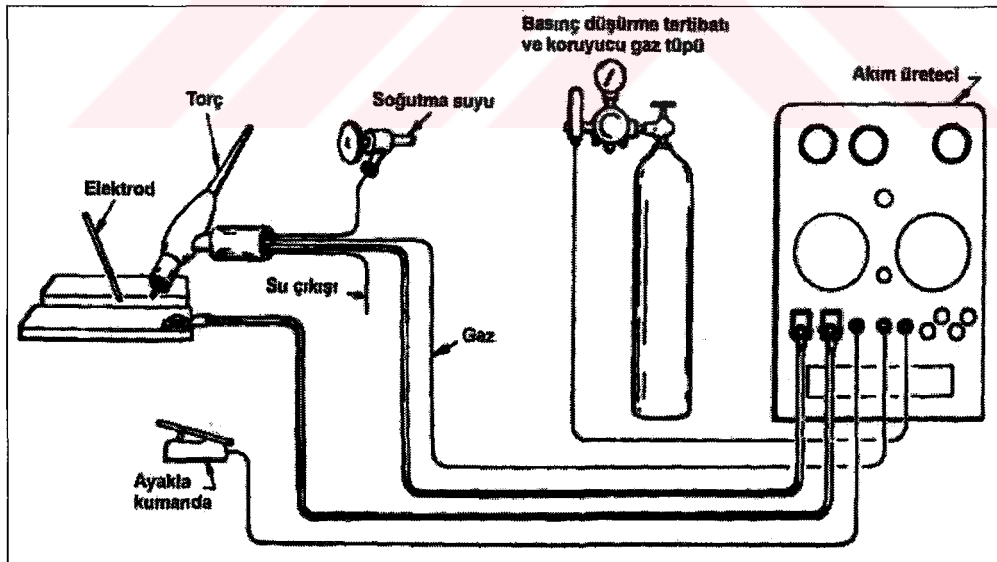
Alışlagelmiş kaynak yöntemlerinde kullanılan korozif örtü ve tozlar, kaynaklı parçaların ancak sınırlı alanlarda kullanılmasına olanak tanıdığından, özellikle hafif metallerin alaşımlarından çarpılmış kaynaklı parçaların endüstriyel kullanımını kısıtlamaktadır. TIG yönteminin geliştirilmesi sonucu, hafif alaşımlar için yeni kullanım alanları açılmış, korozif tozların yarattığı olumsuzlukların ortadan kalkması sonucu uçak ve gemi yapım mühendisleri bu alaşımların sunduğu her tür üstünlükten yararlanabilir duruma gelmişlerdir.

Gaz türbinlerinin hızlı gelişmesinde de TIG kaynak yönteminin katkısı oldukça önemlidir, yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımların güvenli bir biçimde kaynakla birleştirilebilmesi, jet motorlarının özellikle yanma odalarının en optimum biçimde tasarımına olanak sağlamıştır.

TIG kaynak yöntemi, her pozisyonda ve prensip olarak ta her kalınlıktaki parçalara uygulanabilir ise de, çok kalın parçalar için işlem süresinin uzaması yöntemin ekonomikliğini yitirmesine neden olmaktadır, bu bakımdan 7 mm'den kalın parçaların kaynağı için önerilmez; bununla birlikte yüksek kalite ve kaynak güvenliğinin gerekli olduğu uçak ve uzay endüstrisinde çok pasolu kaynak uygulayarak bu olumsuzluğun etkisi azaltılmaya çalışılır. Akım şiddeti azaltılarak diğer ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi olanaksız olan 0.1 mm kalınlığa kadar ince saclar bu yöntem ile çok sağlıklı olarak birleştirilebilmektedir.

TIG kaynak donanımı, uygun bir akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç ve debi ayar tertibatı, tungsten elektrodu taşıyan torç, akım kabloları ve gaz hortumu ile genelde akım üretici üzerine monte edilmiş bir kontrol panelinden oluşur; ayrıca yüksek akım şiddeti ile çalışma durumunda bir de torcu soğutmak için soğutma suyu devresi vardır. El kaynağında ise, torcun hareketi ve kaynak metali beslemesi kaynakçı tarafından yapılır; yarı otomatik yöntemde torç kaynakçı tarafından hareket ettirilir, burada tek fark kaynak ek metalini sağlayan telin ark bölgesine otomatik olarak bir tertibat tarafından sokulması ve sürekli olarak sabit bir hızla beslenmesidir.

Yarı otomatik TIG yönteminin geniş bir uygulama alanı bulamamasına karşın, otomatik TIG yöntemi oldukça yaygındır. Bu yöntemde, sisteme artık kaynakçının etkisi söz konusu değildir, tüm işlem sistem tarafından gerçekleştirilmektedir. Yöntemin başarılı olabilmesi için bağlantının konumunun sistem tarafından erişilebilir olması ve ekonomiklik açısından da çok sayıda aynı parçanın kaynak edilmesi gereklidir. Şekil 2.4 de TIG kaynak donanımı prensip şeması görülmektedir.



Şekil 2.4 TIG kaynak donanımı prensip şeması.(Kaluç,2004)

Bu yöntemin ilk uygulamalarında elektrod pozitif kutba bağlanarak kaynak yapılmış ve aşın ısınan elektrodan tungsten damlacıklarının kaynak dikişine geçtiği görülmüş ve elektrod negatif kutba bağlanarak bu engel ortadan kaldırılmıştır; bu durumda paslanmaz çeliklerin kaynağında başarı sağlanmasına karşın, alüminyum ve

magnezyum gibi refrakter bir oksit tabakası ile kaplı metallerin kaynağı problemi ile karşılaşmıştır. Alternatif akım arkının sürekliliğini sağlayan, yüksek frekans üreten generatör ve devrelerin keşfi sonucu, alternatif akım yardımı ile bu tür metal ve alaşımlarının çok kaliteli bir biçimde kaynağı gerçekleştirilmiştir.

TIG kaynak yöntemi özellikle 1950'den itibaren büyük bir önem kazanarak gerek AWS ve gerekse DIN sınıflandırmasında yerini almıştır.

2.2.1.1. TIG kaynak donanımı

Bir TIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

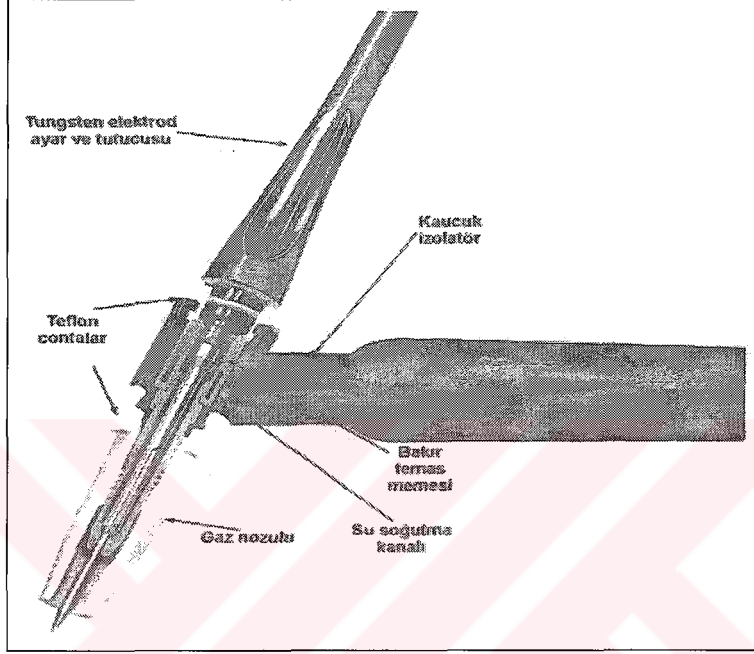
- Kaynak üfleci olarak ta adlandırılan bir kaynak torcu.
- Kaynak akım ve kumanda şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli torç bağlantı paketi.
- Kaynak akımının, gaz akışının ve gerektiğinde soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışını, arkın tutuşmasını ve alternatif akım ile çalışma durumunda arkın sürekliliğini sağlayan devreleri de bünyesinde toplayan kumanda dolabı.
- Kaynak akım üretici.
- Üzerinde basınç düşürme vanası ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.

2.2.1.1.1. Kaynak torçları

TIG kaynak yönteminde torç, iş parçası ile ucundaki tungsten elektrod arasında kaynak için gerekli olan elektrik arkını oluşturabilmek için, akım kablosundan aldığı akımı elektroda iletmek, koruyucu gazı kaynak banyosunun üzerini örtecek biçimde göndermek görevlerini yerine getirmek için geliştirilmiş bir elemandır.

TIG kaynak yönteminde kullanılan torçlar, uygulama koşulları göz önünde bulundurularak çeşitli tür ve büyüklüklerde üretilmektedirler. El ile yapılan TIG kaynağında kullanılan torçlar hafif, küçük ve elektrik akımı kaçaklarına karşı etkin

bir biçimde yalıtımlı olarak tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Torç ile akım üretici, gaz tüpü ve soğutma suyu bağlantıları değişik kalınlıklardaki kablolar ve hortumlarla sağlanır ve bunların tümü torç bağlantı paketi adı verilen çelik spiral takviyeli bir kalın hortum içine yerleştirilmişlerdir.



Şekil 2.5. Bir TIG kaynak torcunun parçaları.(Kaluç, 2004)

Bir TIG torcunun çekirdek kısmını, ergimeyen tungsten elektrodun tutucusu oluşturur. Bu parça genel olarak üzerinde boylamasına yarıklar bulunan ve bir tarafı konik bir kovandır ve elektrod yüksüğü adı ile de anılır. Her büyüklük ve türdeki torçlar için kullanılan çeşitli boyutlardaki tungsten elektrodların boyutlarına uygun farklı iç delik çaplarında, dış boyutları aynı olan elektrod tutucuları üretilmiştir, diğer bir anlatımla her çaptaki elektrod için ayrı bir elektrod tutucusu vardır. Elektrod tutucusu, elektrod tutucusu kovani diye adlandırılan bir parçanın içine girer ve bu parça da özel bir somun ile torç gövdesine bağlanır. Torç gövdesinin uç kısmına takılan koruyucu gaz nozulu çeşitli çaplarda üretilir, aynı torca gaz gereksinimine ve kaynak işlemine göre çeşitli büyüklüklerde gaz nozulu takılabilir. Genel olarak koruyucu gaz debisi arttıkça, gaz nozulu çapı da büyür.

Torçlar uygulamada kullanılabilecekleri en yüksek akım şiddetine göre sınıflandırılırlar. Her büyüklükteki torca belirli sınırlar içinde kalmak koşulu ile

çeşitli çap ve türlerde elektrod ve gaz nozulu takılabilir. Torçları sınıflandırmada en önemli kriter yüklenebilecekleri en yüksek akım şiddeti olduğundan ve bu konu da torcun soğutma sistemini belirlediğinden, genelde torçlar hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak iki ana gruba ayrılırlar.

Ülkemizde TIG kaynağı için gerekli gaz basınçlı tüplerden sağlanır, işletme içi merkezi gaz dağıtım şebekeleri henüz çok yaygın bir uygulama alanı bulamamıştır. Burada kullanılan gaz tüpleri oksijen veya diğer basınçlı gaz tüpleri gibi çelikten üretilmişlerdir. Ülkemizde asal gaz tüpü olarak 40 ya da 50 litrelik tüpler kullanılmaktadır, bunlar EN 585' de tanımlanmışlar ve gri renge boyanmışlardır. Bu tüpler içinde gaz basınç altında bulunduğu için bunlar basınçlı kaplar sınıfına girerler.

Basınç altındaki gazın basıncını ve debisini ayarlayıp kaynak bölgesine gönderebilmek için, aynen oksijen tüplerine takılana benzeyen bir basınç ayar tertibatı tüpün üzerine takılır. Bu tertibatın üzerindeki manometrelerden tüpe yakın olanı tüpteki gaz basıncını ikincisi ise litre dakika olarak gaz debisini gösterir. Bazı durumlarda gaz debisi debimetre denilen bir konik cam tüp içinde hareketli bir bilya bulunan tertibat ile de yapılır.

Gaz tüplerine takılan basınç ayar ventilleri, sadece belirli bir gaz içindir ve bunlar sadece tasarlanmış oldukları gaz için kullanılmalıdır. Kaynak sırasında tüp, başlangıçta bir kez vanasından açılır, gaz debi ayarı yapılır; bundan sonra çalışma sırasında verilen aralarda, ark sönünce gaz akımı da makinada bulunan selenoid vanası tarafından kesilir.

2.2.1.2. Tıg yönteminde kullanılan koruyucu gazlar

TIG kaynak yönteminde koruyucu gaz kullanmanın tek amacı; kaynak sırasında, kaynak banyosunu ve ergimeyen tungsten elektrodu havanın olumsuz etkilerinden korumaktır. TIG kaynak yönteminde en yaygın kullanılan koruyucu gazlar, helyum ve argon veya bunların karışımı gibi asal gazlar olup, kimyasal bakımdan nötr karakterde, kokusuz ve renksiz monoatomik gazlardır. Kaynak sırasında koruyucu

gazlar kaynak bölgesine bir ısı katkısında bulunmasalar da, ısı girdisini bir dereceye kadar etkilerler. TIG kaynak yönteminde koruyucu gaz olarak kullanılan asal gazlar veya bunların karışımı kaynak sırasında kızgın durumda bulunan tungsten elektrod ve ergimiş kaynak banyosu ile bir reaksiyon oluşturmazlar, kaynak metalinin kalitesine olumsuz bir etkide bulunmamalarına karşın, kaynak hızına ve kaynaklı bağlantının kalitesine önemli etkide bulunurlar.

Argon ve helyumun kaynak karakteristiklerinin farklılığı bu gazlar ile yapılan uygulamalarda, bazı metal ve alaşımları için biri diğerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Argon satış fiyatının daha ucuz olması ve kolay bulunabilmesinin de etkisi ile TIG yönteminde en çok kullanılan gazdır. Tablo 2.3'de Argon ve Helyum gazlarının TIG yöntemindeki davranışlarının karşılaştırılması görülmektedir.

Helyum doğada hidrojenden sonra en hafif gaz olup, özgül ağırlığı $0,179 \text{ kg/m}^3$ ' dir ve havadan yaklaşık 7 kat daha hafiftir; argonun özgül ağırlığı ise $1,784 \text{ kg/m}^3$ tür ve havadan 1,4 kere daha ağırdır. Bu farklılık her iki gazın kaynakta kullanımında gaz tüketimini etkilemektedir, tavan kaynak pozisyonu dışında, kaynak işleminde aynı korumayı gerçekleştirebilmek için daha fazla helyuma gerek vardır. Ayrıca kapalı yerlerde yapılan kaynak işlerinde, örneğin bir kazan veya basınçlı kap içinde, havadan ağır olan argonun yere çökmesine karşın, helyum üst kısımlarda biriktiğinden gerekli önlemin alınmadığı durumlarda kaynakçının boğulmasına neden olabilmektedir. Aynı akım şiddetinde helyum atmosferi içinde oluşan ark, argon atmosferinde olduğundan daha yüksek bir ark gerilimine sahiptir, bu da kaynak ısı girdisini ve dolayısı ile de nufuziyeti artırmaktadır. Bu olay, özellikle ince kesitli parçalarda argonun, kalın kesitli ve ısı iletkenliği yüksek olan malzemelerin kaynağı ile otomatik kaynak uygulamalarında helyumun tercih edilmesine neden olmaktadır.

Tablo 2.3. Argon ve Helyum gazlarının TIG yöntemindeki davranışlarının karşılaştırılması.(Kaluç,2004)

Argon	Helyum
<p>Düşük ark gerilimi sonucu ısı girdisinin azalması, 1,5 mm'den ince parçaların el ile kaynağında büyük bir üstünlük sağlar.</p> <p>Alüminyum ve alaşımlar gibi yüzeyleri refrakter bir oksit tabakası ile kaplı malzemelerin kaynağında temizleme etkisi daha şiddetlidir.</p> <p>Arkin tutuşması daha kolaydır.</p> <p>Ark daha sakin ve daha kararlı yanar.</p> <p>Havadan ağır olması nedeni ile daha az koruyucu gaz ile daha etkin bir koruma sağlar.</p> <p>Dik ve tavan kaynaklarında, gaz tüketiminin fazla olmasına karşın, ısı girdisinin azlığı sonucu oluşan, daha ufak kaynak banyosuna kaynakçının kolaylıkla hakim olabilmesine olanak sağlar.</p> <p>Otomatik kaynak işlerinde hızın yükselmesi, gözenek oluşumuna neden olur.</p> <p>Farklı metallerin kaynağında daha iyi sonuçlar alınır.</p>	<p>Yüksek ark gerilimi sonucu oluşan daha sıcak ark, ısı iletkenliği yüksek alaşım malzemeler ile kalın parçaların kaynağında daha üstün sonuçlar verir.</p> <p>Yüksek ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı daha dar bir IEB oluşturur ve bunun sonucu kaynak bağlantısının mekanik özellikleri iyileşir, çarpılması ve kendini çekmeler azalır.</p> <p>Havadan çok daha hafif olması sonucu koruyucu gaz tüketimi yüksektir ve torcun memesinden çıkan gaz akımı hava hareketlerine hassastır.</p> <p>Otomatik kaynak işlemlerinde yüksek kaynak hızlarında karşılaşılan gözenek ve yanma çentikleri oluşumu kontrol altına alınabilir.</p>

Tablo 2.4. Çeşitli metallerin TIG kaynağı için önerilen koruyucu gazlar ve elektrodlar.(Kaluç,2004)

Metalin Türü	Kalınlığı	Alım Türü	Elektrod Türü	Koruyucu Gaz
Alüminyum	Tüm Kalınlıklar	AA	W veya WT	Ar veya Ar-He
	Kalın Parçalar	DAEN.	WT	Ar-He veya Ar
	İnce Parçalar	DAEP	WT veya WZ	Ar
Bakır ve Bakır Alaşımları	Tüm Kalınlıklar	DAEN.	WT	Ar veya Ar-He
	İnce Parçalar	AA	W veya WZ	Ar
Magnezyum Alaşımları	Tüm Kalınlıklar	A.A.	W veya WZ	Ar
	İnce Parçalar	DAEP	WZ veya WT	Ar
Nikel ve Alaşımları	Tüm Kalınlıklar	DAEN.	WT	Ar
Yalın karbonlu ve az alaşımlı çelik	Tüm kalınlıklar	DAEN.	WT	Ar veya Ar-He
	İnce parçalar	AA	W veya WZ	Ar
Paslanmaz Çelik	Tüm Kalınlıklar	DAEN.	WT	Ar veya Ar-He
	İnce Parçalar	AA	W veya WZ	Ar
Titanyum	Tüm Kalınlıklar	DAEN	WT	Ar

Argon atmosferinde oluşturulan kaynak arkı, helyuma nazaran daha yumuşak ve daha sakindir, arkın sakinliği ve ısı girdisinin da kaynakçıyı rahatsız etmeyecek seviyede olmasından ötürü el ile kaynak uygulamalarında argon gazı tercih edilir.

Paslanmaz çelik, Inconel ve Monel'in kaynağında bazı durumlarda gözenek oluşumuna engel olmak için Ar+H₂ karışımları kullanılabilir. Bu gaz karışımı hidrojenin olumsuz metalürjik etkileri bulunan çeliklerde hiç bir zaman kullanılmamalıdır.

Hidrojen, renksiz, kokusuz ve toksik olmayan bir gazdır. Yanabilir ve ateşlenme noktası 560°C' dir. Havadan daha hafiftir, hava ve oksijenle birlikte karışımı çok geniş bir aralıkta patlayabilir. Genellikle, argon ile bazen de helyum ile karışım olarak kullanılabilir. EN 439' a göre redükleyici bir gaz olan hidrojen azot ile karıştırılarak kök koruyucu gazı olarak ta kullanılır. Karışım gazlar da hidrojen oranı %50'ye kadar çıkabilir.

Koruyucu gaz içinde hidrojenin varlığı ark gerilimini yükseltmekte ve kaynak banyosunu daha akıcı yapmakta ve sıvı kaynak metalinin ısıtma kabiliyetini yükseltmektedir. ABD'de özellikle ince paslanmaz çelik boruların kaynaklı üretiminde tercih edilen bu karışım gazın iki ayrı bileşimi % 15H₂+% 85Ar ve %5H₂+%95Ar bu alanda oldukça yaygın bir uygulamaya sahiptir.

Bazı özel durumlarda, bakır ve alaşımlarının TIG kaynağında azot yüksek ark gerilimi ve yüksek akım şiddetinin gerekli olduğu durumlarda koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamada azot asal bir gaz olmadığından elektrod kirlenmesini azaltmak amacı ile yüksek miktarda toryum oksit içeren elektrodlar kullanılmak zorunluluğu doğmaktadır.

2.2.1.3. Tıg kaynak yönteminde kaynak ağızlarının hazırlanması

TIG kaynak yöntemi, bir ergitme kaynak yöntemi olduğundan, kaynak işlemi öncesi, kesinlikle bir kaynak ağızı hazırlamak gereklidir. TIG kaynak yönteminde uygulanan

kaynak ağızları diğer ergitme kaynak yöntemleri için hazırlanan ağızlardan biçim olarak farklılık göstermese de boyut olarak bazı farklılıklar gösterir. TIG kaynağında uygulanan kaynak ağızları TS EN 39692' de açıklanmıştır.

Bu yöntemde, kaynak metali uygulanan akımın şiddetine bağlı olmayıp dışarıdan ark bölgesine sokulduğu için daha çok kıvrık alın, köşe kıvrık alın, üçlü alın ve küt alın birleştirmeler olanaklı olan her yerde tercih edilerek bağlantı ek kaynak metali kullanmadan gerçekleştirilir. I-alın birleştirmede kaynak tek taraftan, olabildiği ölçüde az kök aralığı bırakılarak çelik malzeme halinde 3-4 mm, alüminyum halinde 5 mm kalınlıklara kadar uygulanır. İki taraftan uygulanan I-alın birleştirmede kalınlık 8 mm' ye kadar çıkabilir. Alüminyum, bakır gibi ısı iletim katsayıları yüksek malzemelerde, I- alın kaynak ağzı ile birleştirmeler, dik pozisyonda iki taraftan aynı anda kaynak uygulanarak gerçekleştirilir ve bu şekilde ısı yoğunluğu artırıldığı için daha az çarpılma ile karşılaşılır.

8 mm ve daha kalın parçaların tek taraftan birleştirilmesinde V- alın kaynak ağzı tercih edilir, yalnız burada kök alın yüksekliği diğer ergitme kaynak yöntemlerine göre daha yüksek alınır. Çelik durumunda kök alın yüksekliği parça kalınlığına göre 0- 4 mm, ağız açısı 60°, alüminyumda ise kök alın yüksekliği 0- 3 mm, ağız açısı 70° olarak seçilir.



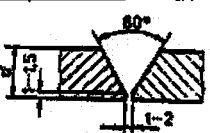

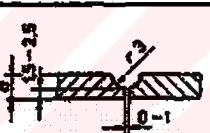

Kalın parçalarda U- kaynak ağzı TIG kaynak yönteminde uygulanır; yalnız TIG yöntemi kalın parçaların kaynağı için ekonomik olmadığından bu tür parçalarda kök paso TIG ile dolgu pasoları diğer uygun bir ark kaynağı yöntemi ile yapılır.

Kaynak ağızlarının hazırlanmasında çelikler durumunda oksijen ile kesme, paslanmaz çelik ve alüminyum durumunda ise plazma arkı ile kesme kullanılabilir. Alın kaynak birleştirmesi durumunda, ince parçalar mekanik olarak giyotin ile de kesilebilir. Doğal olarak gerektiğinde oynak ağızları takım tezgahları veya taşlama yardımı ile hazırlanabilir, TIG kaynak yönteminde kaynak ağızlarının kirlenmemesine ve kaynak öncesi temiz olmasına özel bir dikkat gösterilmelidir.

Tablo 2.5. TIG yönteminde genel olarak uygulanan alın birleştirme türleri ve kaynak ağzları. (Kaluç,2004)

Ağız Biçimi	Çelik					Alüminyum				
	Kalınlık mm	Açı °	Aralık mm	Kök alın Yük. mm	Uygulama	Kalınlık mm	Açı °	Aralık mm	Kök alın yük. mm	Uygulama
	tüm	-	-	-	-	tüm	-	-	-	-
	<4	-	s	-	Tek taraftan	<5	-	0...5	-	Tek taraftan
	<8	-	s/2	-	Çift taraftan	<12	-	0...5	-	Çift taraftan
	>8	60	0...3	0...4	Çift taraftan	>10	70	0...6	0...3	Çift taraftan
	>10	60	0...4	0...6	Genelde kök pası	>12	70	0...6	0...4	Genelde kök pası
	>12	8	0...3	3	Genelde kök pası	>20	>15	0...3	3	Genelde kök pası
	-	-	-	-	-	>10	>20	-	3	Genelde kök pası

Tablo 2.6. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı için önerilen kaynak ağızları.

No	Kalınlık mm	Birleştirme Türü	Birleştirme Biçimi	Açıklamalar
1	≤ 1	Kıvrık Alın		Boru ve ince saclar için tüm pozisyonlarda kök gazı kullanarak ek kaynak metali kullanmadan uygulanır.
2	≤ 2*	Küt alın (I Alın)		Boru ve ince saclar için tüm pozisyonlarda kök gazı kullanarak, ek kaynak metali kullanmadan veya kullanmadan uygulanır.
3	≤ 10	V Alın tek ve çift taraftan		Kök paso, kök gazı kullanarak TIG, dolgu pasolen ise tercihen örtülü elektrotlar ile gerçekleştirilir.
4	≤ 3**	Küt Alın çift taraftan		Gerektiğinde kök taşlanarak ters taraftan kaynak edilir.
5	≤ 5	U Alın tek taraftan		Kök gazı kullanarak, kök paso el veya otomatik TIG yöntemi ile gerçekleştirilir.
6	≥ 13	Derin U alın tek taraftan		Kök paso, kök gazı ve ek kaynak metali kullanarak gerçekleştirilir, 3° ölçüsül U biçiminin radiusuna bağlıdır. Dolgu pasolen tercihen örtülü elektrod veya MIG uygulanarak tamamlanır.

* Malzeme kalınlığına bağlı olarak ek kaynak metali kullanarak veya kullanmadan otomatik TIG kaynağı için,
**6 mm'ye kadar olan sac kalınlıklarında çift taraftan aynı anda dik ve korniş pozisyonlarında uygulanabilir. Burada yöntem gereği ısı girdisi yüksek olduğundan korozyon problemi göz önüne alınmalıdır.

2.2.1.4. Tig kaynak yöntemi için kaynak dolgu metali (tel ve çubuk elektrotlar)

TIG kaynak yönteminde gerekli olan kaynak dolgu metali, el ile yapılan kaynakta tel çubuk olarak kaynakçı tarafından otomatik tel besleyici sistemlerde ise tel olarak sistemin tel sürme tertibatı tarafından kaynak bölgesine sokulur. Burada, kaynak metalinin ark tarafından taşınımı söz konusu değildir ve ark asal bir gaz atmosferi altında oluşturulmuştur. Bu bakımdan, özellikle alaşım ve dezoksidasyon elementlerinin büyük çapta yanması diye bir olay söz konusu değildir, kayıplar gözönüne alınamayacak derecede azdır. Her tür metal ve alaşımın kaynağına uygulanabilen TIG yöntemi için her tür metal ve alaşım için çok geniş bir spektrumu kapsayan kaynak telleri üretilmiştir. Bunlar bileşim olarak, MIG kaynak yönteminin

de uygulanabildiği metal ve alaşımlar ile aynı bileşimdedirler; sert dolgu telleri ile MIG yönteminin uygulanamadığı alaşımlarda farklılık gösterirler. Bu yöntemde kullanılan koruyucu gazın pahalılığı ve işlemin büyük çapta el ile yapılması kolay kaynak edilebilen yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağı için bir engel oluşturur; buna karşın 50 mm' den ince çaplı tesisat ve doğalgaz borularının kaynağında ve birçok durumda daha kalın çaplı boruların ve ulusal ya da uluslararası boru hatlarının kök pasolarında vazgeçilemez yöntemlerden bir tanesidir.

TIG yönteminde kullanılan kaynak alaşımlarından döküm ile elde edilmiş sert dolgu metalleri dışındakiler, çekilerek üretilmiş 1 metre boyunda çeşitli çaplarda tellerdir. Bunların çapları EN 440' a göre 1.0, 1.2, 1.6, 2, 2.4, 3, 3.2, 4.0 ve 5.0 mm'dir, çap toleransları ise 4.0 mm' ye kadar ± 0.10 mm, 5 mm için ise ± 0.15 mm'dir. Otomatik ve tel sürme tertibatlı sistemlerde kaynak telleri aynen MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılanlar gibi kangal halinde pazara sunulurlar.

Tel çubuk olan ek kaynak metallerinin kalın çaplı olanlarının üzerine damgalama yöntemi ile, ince çaplılara ise özel bir etiket yapıştırılarak, telin Standard işareti belirtilmek zorunludur, aksi takdirde ambalajından çıkartılan telleri birbirlerinden ayırt etmek olanağı yoktur.

Kaynak metali seçiminde bu yöntemde en önemli, kriter; esas metal ile kimyasal bileşim bakımından uygunluktur, kaynak dikişinin kalitesine ve bileşimine dolgu metalinin etkisi daha şiddetli olduğundan endüstride kullanılan standard bileşimdeki metal ve alaşımlar için bile kimyasal bileşimin daha dar aralıklarda değişmesine izin verilir. Bunun yanı sıra, çekme ve darbe zorlamalarına mukavemet, elektrik iletkenliği, korozyon direnci ve kaynak dikişinin görünüşü de önemli etkenlerdir.

Kaynak teli üreticileri bunları yüzeyleri oldukça temiz olarak kutu veya özel ambalajlarda pazara sunarlar, bunların işletmelerde uygun olmayan koşullarda depolanması özelliklerinin bozulmasına neden olur. Nemli yerlerde depolanan bazı tür tellerin yüzeylerinde oksit tabakası oluşabilir, yağlı el ile tutulan veya yağlı gresli maddeler ile temas eden teller ile açıkta paketi açılmış olarak depolanan tellerin yüzeyinde gerek nemin gerekse ortamdaki tozların çökmesi sonucu kir tabakası

oluşur, tüm bunlar kaynak sırasında banyoya geçerek bağlantının beklenen kalitede olmamasına neden olurlar

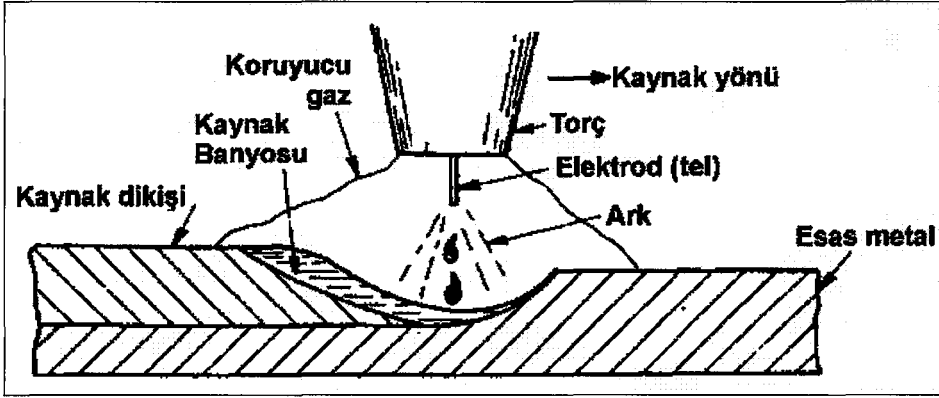
Tablo 2.7. TIG Kaynak yönteminde çeşitli metal ve alaşımlar için kullanılan kaynak tellerine ait AWS standartları.

ALAŞIMIN TÜRÜ	AWS
Yalın C'lu Ve Az Alaşımli Çelikler	A5.18-A5.28
Sıcağa Dayanımlı Çelikler	A5.28
Paslanmaz Çelikler	A5.9
Aluminyum Ve Alaşımları	A5.10
Bakır Ve Alaşımları	A5.7
Nikel Ve Alaşımları	A5.14
Titanyum Ve Alaşımları	A5.16
Magnezyum Alaşımları	A5.19
Zirkonyum Ve Alaşımları	A5.24
Sert Dolgu Alaşımları	A5.21

2.3. Ergiyen elektrod ile (mig-mag) gazaltı kaynak yöntemi

Yapılan araştırmalar sonucu geliştirilmiş ve ilk kez 1948 yılında ABD'de alüminyum ve alaşımlarının, sonra da sırası ile yüksek alaşımli çeliklerin, bakır ve alaşımlarının, karbonlu çeliklerin kaynağında uygulanmış olan MIG (Metal Inert Gas) kaynak yönteminde de ark, helyum ve argon gibi soy bir gazın koruması altında yanar; bu yöntemin TIG yönteminden farkı, arkın iş parçası ile kaynak metali gereksinimini de karşılayan sürekli beslenen ergiyen bir elektrod arasında oluşturulmasıdır.

Ergiyen elektrod ile gaz altı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, çok ince levhalar hariç, her kalınlıktaki demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımların kaynağında uygulanabilmektedir. Yatay karakteristikli, diğer bir deyim ile sabit gerilimli kaynak makinalarının gelişmesi sonucu ince çaplı kaynak teli ile yüksek akım şiddeti uygulama olanağı, ısıdan etkilenen bölgesi (IEB) daha dar ve daha derin nüfuziyetli kaynak bağlantılarının elde edilebilmesine olanak sağlamıştır.

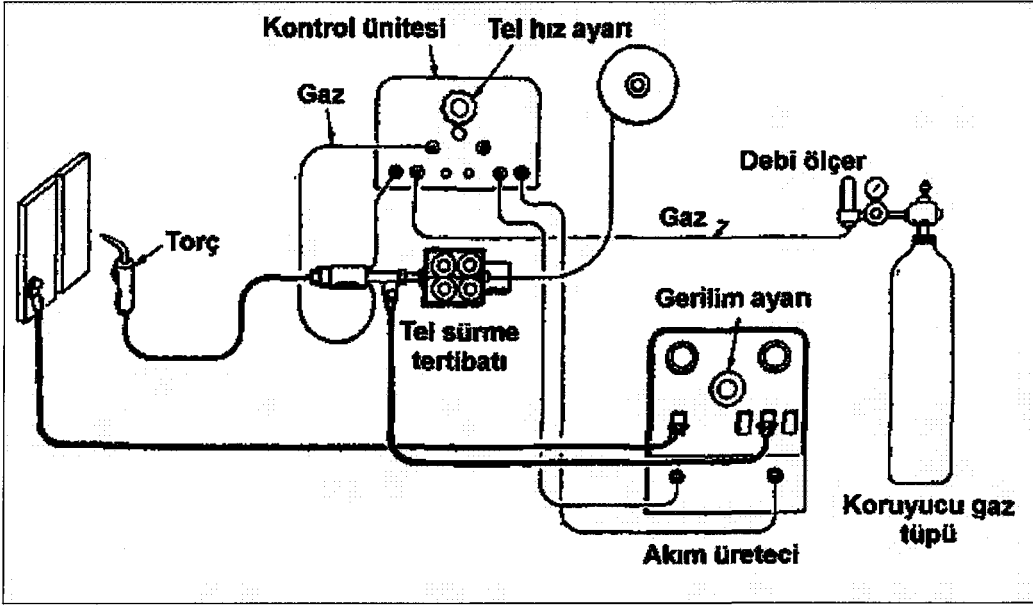


Şekil 2.6. MIG kaynak yönteminde ark bölgesi.

Bu yöntemin uygulanması çok basittir, operatör hiçbir zorlukla karşılaşmaz; toprak kablosunu iş parçasına bağlayıp, torcun ucundaki tel elektrodu kaynak ağzına değdirmek yeterli gelmektedir, torç önceden belirlenmiş bir debide koruyucu gazı ve eriyen elektrod miktarını karşılamak üzere, sabit hızda tel elektrodu bölgeye göndermekte, sistem uygun ark boyunu, kendisi otomatik olarak ayarlamakta ve sabit tutmaktadır.

Uygulama kolaylığı nedeni ile tüm demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında çok popüler ve aranan bir yöntem haline gelen MIG yönteminin başlangıçta yalnız karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde uygulama alanı bulamamasının nedeni soygazın pahalılığı olmuştur.

Bilindiği gibi, yalnız karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin örtülü elektrod ile kaynağında ark bölgesi, örtünün yanması veya ayrışması sonucu ortaya çıkan CO_2 tarafından havanın olumsuz etkilerinden korunmaktadır; bu olaydan hareket edilerek CO_2 'nin koruyucu gaz olarak kullanıldığı ilk denemeler iyi sonuç vermemiş, çok fazla sıçrıntı ve dikişte aşırı gözeneklilik ile karşılaşılıyordu, araştırmalar bunun nedeninin CO_2 'nin safiyetsizliği ve içerdiği rutubet olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 2.7. MIG-MAG kaynağı donanım blok şeması.

1950'li yılların sonlarına doğru özellikle otomobil endüstrisinde, tam otomatik olarak çalışan, yüksek ergime güçlü, çok hızlı ve sadece yatay pozisyonda çalışabilen, CO₂ koruyucu gazlı kaynak makineleri kullanılmaya başlanmıştır; bu yöntemde görülen sadece yatay pozisyonda çalışabilme olanağı ve fazla miktarda sıçrama oluşması araştırmacıları bu doğrultuda çalışmalara yöneltmiştir

CO₂ gibi aktif bir koruyucu gaz altında yapılan bu kaynak yöntemine de Metal Active Gas kelimelerinin baş harflerinden yararlanılarak MAG yöntemi adı verilmiştir. Kısa devre halinde, akımı sınırlayan frekanslı akım üreteçleri geliştirilerek, kısa ark boyu ile çalışılarak sıçrantılar minimuma indirgenmiştir; diğer önemli bir gelişme sonucunda da ince çaplı elektrod kullanabilme olanağı sağlanmış ve bu şekilde, her ne kadar elektrodun akım yoğunluğu artırılmış ise de, arkın oluşturduğu ısı girdisi azalmıştır. Akım yoğunluğunun artması, arkı yoğun ve istenilen yöne kontrollü olarak doğrultulabilir duruma getirmiş ve dolayısı ile de her pozisyonda kaynak yapılabilen bu yöntemde önceleri sadece CO₂ kullanılmıştır.

Günümüzde gereken durumlarda, arkı yumuşatmak, sıçrantıları azaltmak için CO₂'ye argon karıştırılıp kullanılmaktadır; karışım oranı %85 ve hatta daha yukarı miktarlarda argona kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde bir üçüncü gelişme de çeşitli bileşimlerdeki koruyucu gazlar ile sprey ark geçişi yönteminin bulunmasıdır.

Argon içine çok az miktarda oksijen eklenerek çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, daha kalın çaplı elektrodlar ile her pozisyonda çalışabilme olanağı sağlanmış ve çok daha düzgün görünüşlü kaynak dikişleri elde edilebilmiştir.

Son yıllarda geliştirilen, darbeli akım yönteminde, kaynak akımı, ayarlanan frekansta bir alt ve üst değer arasında değiştirilerek iş parçasına aktarılan ısı girdisi minimumda tutularak, özellikle ince parçalarda çarpılma azaltılmıştır. Yine son yılların önemli gelişmelerinden bir tanesi de inverter tür kaynak makinelerinin uygulama alanına girmesidir; bu tür akım üreteçleri ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde saf CO₂ kullanılması durumunda dahi sıçrantılar tamamen ortadan kalkmıştır.

Bu yöntemin yaygınlaşmasını, her tür metal ve alaşımına uygulanmasını sınırlayan önemli engellerden bir tanesi de esas metalin bileşimine uygun kaynak teli üretimi olmuştur; zira bazı tür alaşımları kaynak teli haline getirip makaralara sarmak teknolojik olarak olanaklı olamamış ve de diğer bazı türlerinde tüketiminin sınırlı oluşu tel üretimini ekonomik olmaktan çıkarmıştır. Bu önemli engeli aşabilmek amacı ile, günümüzde özlü tel elektrodlar geliştirilmiş ve bunlar yaygın bir uygulama alanına sahip olmuşlardır. İnce tel kalınlığında fakat boru biçiminde üretilmiş olan bu sürekli tel elektrodlarda, borunun içine alaşımlanmayı sağlayan metal tozları ile gerek arkın kararlılığını ve gerekse kaynak metalinin dezoksidasyonu sağlayan ve de sıçramaları azaltan ve hatta gerektiğinde yanarak koruyucu gazı da kendi oluşturan cüruf yapıcı maddeler konmuştur. Bu yeni buluş, bu kaynak yöntemini endüstrinin en önemli yöntemlerinden biri konumuna getirmiş ve yaygınlaşmasına olanak sağlamıştır.

MIG-MAG yönteminin diğer ark kaynak yöntemlerine göre çok önemli üstünlükleri vardır ve bu üstünlükler sayesinde endüstride bugünkü yaygın uygulama alanlarına sahip olmuştur. Bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir:

- Ergiyen elektrod ile ark kaynağı yöntemleri arasında, MIG-MAG yöntemi endüstriyel öneme sahip, demir esaslı ve demir dışı tüm metal ve alaşımlara aynı etkinlik ile uygulanabilen tek kaynak yöntemidir.

- Yarı otomatik çalışma sırasında kaynak operatörü, sadece torç açılına dikkat etmek ve ilerleme hızını ayarlamakla sorumludur. Kaynak donanımının ayarı basittir ve tüm kontroller bizzat donanım tarafından gerçekleştirilmektedir. Operatörün özel ve uzun süren bir eğitimden geçmesi gerekmemektedir; diğer ark kaynak yöntemlerinden herhangi birisi için yetiştirilmiş kaynakçılar birkaç saatlik bir eğitim sonucu bu yöntemi kolaylıkla uygulayabilirler.
- Kaynak işlemi her pozisyonda rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir; bu konuda yöntem en önemli rakibi olan toz altı kaynak yöntemine göre büyük bir üstünlüğe sahiptir; ayrıca kaynak işleminde sadece az miktarda sıçrıntı oluşumu ve cüruf oluşmaması kaynak sonrası temizleme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.
- Kaynak telinin kaynak bölgesine sürekli olarak sürülmesi, elektrod değişimi için duraklamaları ortadan kaldırmakta ve çok uzun kaynak dikişleri ara vermeden yapılabilir. Bu konu, hem elektrod değiştirmek için harcanan ölü zamanı ortadan kaldırmakta hem de her dikişin başlangıç ve sonunda oldukça sık karşılaşılan gözenek, cüruf kalıntısı, soğuk kaynak ve krater çatlağı gibi kaynak hatalarının oluşmasına olanak vermemektedir.
- Elektrod telinin otomatik olarak sistem tarafından kaynak bölgesine sürülmesi ve daha yüksek akım yoğunluklarında çalışılması gerek kaynak hızının yükselmesine ve gerekse birim zamanda yığılan kaynak metali miktarının örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemlerinden çok daha fazla olmasına olanak sağlamaktadır.
- Sprey ark ile metal taşınımı durumunda daha derin dikiş nüfuziyeti elde edilmekte ve daha az kaynak metali harcanması esas metal ile eş mukavemetli iç köşe kaynak bağlantıları elde edilmektedir. Kullanılan tel elektrod çapının diğer yöntemlere göre daha ince oluşu daha dar bir kök aralığı bırakılmasına ve daha dar bir kaynak ağzı içinde kaynak yapılmasına olanak vermektedir ve bu olayda aynı kalınlıkta bir parçanın kaynak edilmesinde daha az tel elektrod tüketimine neden olduğundan bağlantının maliyetinde önemli bir düşüş sağlanmaktadır.
- Elektrod fiyatları karşılaştırıldığında, örtülü elektrod ve tel elektrod arasındaki fiyat farkı piyasanın koşullarına göre değişmekte ise de çok büyük farklar göstermemektedir, ama buna karşın örtülü elektrodlarda kaçan kaybı ortalama %17 ve örtünün yanma ve sıçrıntı kaybı da %27'ye kadar yükselmektedir. Bu hesaba göre 1 kg örtülü elektrod 0.560 kg kaynak metali vermekte; buna karşın 1 kg tel elektrod ile 0.950 kg kaynak metali elde edilebilmektedir.

Tüm bu üstünlüklerinin yanısıra MIG-MAG yönteminin uygulama alanlarını sınırlayan birtakım özellikleri de vardır, bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynak donanımı daha karışık bir yapıdadır, dolayısı ile daha pahalıdır ve daha etkin bir bakım gerektirir. Kaynak donanımı örtülü elektrod ile ark kaynağı donanımına göre daha zor taşınabilir bir yapıdadır; torç hortum paketinin uzunluğu esas donanım ile kaynak yapılan nokta arasındaki uzaklığı sınırlamaktadır. Son yıllarda bir takım özel tertibatlar ile bu uzaklık artırılmaya çalışılmaktadır.
- Kaynak bölgesi torcun ucundaki gaz nozulundan çıkan koruyucu gaz tarafından korunmaktadır, bu gaz akımı ortamın rüzgarlı olması durumunda gerekli korumayı yapamamakta ve bu da yöntemin şantiyelerde ve açık havada yapılan işlerde uygulanmasını kısıtlamaktadır.
- MIG-MAG yönteminde torç, örtülü elektrod ile ark kaynağında kullanılan elektrod pensesine göre daha büyük, kullanım açısından daha az esnektir; dar ve zor erişilen yerlerin kaynağında zorluk göstermektedir. Kaynak edilen metalin türü, elektrodun kimyasal bileşimini ve kullanılacak koruyucu gazın türünün seçimini belirler. Koruyucu gazın türü, tel elektrodun bileşimi ve çapı, kaynak akımının şiddetini, gerilimini ve kaynak işlemi sırasında ark içinde ergimiş metalin elektrodan kaynak banyosuna taşınım türünü belirler. Endüstride kullanılan başlıca metal ve alaşımları, her pozisyonda uygun elektrod ve koruyucu gaz seçimi ve kaynak parametrelerinin iyi ayarlanması koşulu ile MIG-MAG yöntemi ile kolaylıkla kaynak edilebilmektedir.

Endüstrileşmiş ülkelerde günümüzün en popüler yarı otomatik kaynak yöntemi olan MIG-MAG yöntemi, son yıllarda ülkemizde de hızla yayılmıştır; gerek MIG-MAG kaynak makinası ve gerekse de tel elektrod üretimindeki hızlı artış bunun en önemli göstergesidir.

2.3.1. MIG-MAG kaynak donanımı

Her kaynak yönteminde olduğu gibi bu kaynak yöntemini de uygulayabilmek için özel bir kaynak donanımına gereksinim vardır. MIG-MAG kaynak donanımı, örtülü elektrod ile yapılan kaynak donanımı ile karşılaştırıldığında bir parça daha karmaşık

görünmesine karşın sistem olarak bir tozaltı kaynak donanımından daha basittir. Bir MIG-MAG kaynak donanımı aşağıda sıralanan kısımlardan oluşur:

- Kaynak tabancası olarak da adlandırılan bir kaynak torcu.
- Tel biçiminde elektrod ve kılavuzunu, kaynak akım ve şalter kablolarını, gaz hortumunu, gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum; torç bağlantı paketi.
- Tel biçimindeki elektrodun ilerlemesini sağlayan tel sürme tertibatı.
- Kumanda ve kontrol donanımı.
- Kaynak akım üretici.
- Koruyucu gaz donanımı.
- Sulu soğutma sistemi
- Mekanize ve otomatik kaynak için yardımcı donanımlar.

2.3.1.1. Kaynak torçları

MIG-MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi ve kaynak bölgesine iletilmesi, ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir. Kaynak işleminde kullanılan akımın şiddetine ve kaynak yönteminin otomatik veya yarı-otomatik uygulanmasına göre çeşitli tür ve büyüklüklerde torçlar geliştirilmiştir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gereklidir; düşük akım şiddetlerinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı, gerekli soğutmayı yapabilmektedir. Büyük çaplı elektrodlar, yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması durumunda ise ($I > 250A$) su ile soğutma sistemi gerekmektedir. Su ile soğutma, doğal olarak düşük akım şiddetlerinde de daha iyi bir soğutma sağlarsa da, uygulamada torçta sızdırmazlığın sağlanması için kullanılan contaların bakımı külfetli olduğundan ve torç ağırlaştığından tercih edilmez.

Arkın çok yakınında bulunması nedeni ile özellikle, yarı otomatik yöntemlerde operatörün sıcaklıktan olabildiği kadar az etkilenmesi için çeşitli biçimlerde torçlar geliştirilmiş ise de, günümüzde en yaygın olarak kullanılanı, oksii-asetilen üflemini andıran biçimde bükülmüş olan kuğu boynu diye adlandırılan türüdür; bu tür torçlar erişilmesi zor bölgelerdeki kaynak dikişleri ile zor pozisyonlardaki kaynak

dikişlerinin yapımında kaynakçıya büyük kolaylık sağlar ve son derecede ergonomiktirler. Buna karşın, otomatik veya mekanize kaynak işlemleri ile alüminyum ve alaşımlarının kaynağında düz torçlar tel elektrodun spiral içinde itilerek kolayca sürülebilmesi için düz boyunlu torçlar tercih edilirler. Spiral kılavuz içinde ilerlemesi çok zor alaşımlardan yapılmış tel elektrodlar için tabanca biçiminde, üzerinde tel iletme tertibatı ve ufak bir tel kangalı bulunan torçlar da üretilmektedir.

MIG-MAG yönteminde tel elektrod sürekli olarak ilerlediği için, elektroda elektrik iletimi kayar bir temas elemanı ile sağlanır. Tel torcu terketmeden biraz önce bakır esaslı bir temas memesi içinden geçerek kaynak akımı ile yüklenir; bu temas memesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozül) bulunur ve bu nozul sayesinde, koruyucu gaz akımı laminer olarak (girdapsız olarak) kaynak bölgesine gönderilir.

Torcun ark sıcaklığından en fazla etkilenen parçaları gaz nozulu ve temas memesidir; temas memesi, sıcaklığın yanısıra hareket halindeki tele, kısa bir bölgede akımı ilettiğinden, yüksek bir akım şiddetinin ve kaynak banyosunun sıçrayan metal damlacıklarının etkisinde de kalmaktadır.

Yüksek sıcaklık aşınmayı artırarak telin geçtiği deliğin büyümesine ve dolayısı ile tele elektrik iletiminin zorlanmasına neden olur. Uygulamada, akım şiddetinin üst sınırlarında çalışılması durumunda, kısa bir süre sonunda tel ilerleme hızında düzensizlikler görülmeye başlar. Bu, telin aşırı ısınmış temas memesi içinde sürtünmesinin artmasından ortaya çıkmaktadır; bu olay temas düzensizliğine yol açtığından, arkın kararlılığını kaybetmesine, kaynaklı bağlantının da kalitesini yitirmesine neden olur. Uygun akım şiddetlerinde de eğer ısınma ortaya çıkıyorsa temas memesinin montajına dikkat etmek gereklidir; memedeki sıcaklığın geriye iletilmesi, bağlantı soketinin tam yerine oturmaması veya temas yüzeylerinde yabancı madde (pislik v.b.) bulunması nedeniyle önlenmiş olabilir. Temas memesinin aşırı ısınması, bu olayın dışında başka birçok neden sonucu da ortaya çıkabilir; örneğin memenin banyodan olan mesafesi, temas kalitesi, malzemesi, koruyucu gaz türü, ark boyu, ağız türü, iş parçası sıcaklığı ve parçanın ısıyı yansıtma özelliği gibi.

2.3.1.2. Karışım gazlar

Koruyucu gazın seçiminde, kaynak ile birleştirilecek metalin özelliklerinin yanısıra, koruyucu gazın ekonomikliğı ve kaynak sırasındaki özellikleri de göz önüne alınmaktadır.

Gazların ayrışma enerjileri, iyonizasyon potansiyelleri, yoğunlukları ısı ve elektrik iletim özellikleri, maliyetleri büyük farklılıklar göstermekte ve bunun sonucu olarak da arkın oluşumu ve kaynak sırasındaki davranışı, ark içinde malzemenin taşınımı ve elde edilen kaynak bağlantısının profili farklılıklar göstermektedir. Sadece tek bir tür gazın kullanımında gazların herbiri bir takım üstünlükler ve sınırlamalar gösterdiklerinden, günümüzde gazların iyi özelliklerini optimize edebilmek, sınırlamalarını en aza indirebilmek için MIG-MAG kaynak yönteminde çeşitli karışım gazlar kullanılır.

Ark atmosferinin karakteri, çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağılı olarak değışir. He ve Ar karışımları, koruyucu gaz olarak yukarıda belirtilmiş olan özellikleri karışım oranına göre gösterirler. Argon gazına az miktarda oksijen, çeşitli oranlarda CO₂ eklenerek karışım gazlar elde edilir.

Argon, helyum gibi soygazların oluşturdukları ark atmosferinin nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karıştırılması sonucu oksiteyici bir karakter kazandırılabilir; hidrojen gazının karıştırılması halinde ise redükleyici bir gaz atmosferi oluşturulur.

- Argon-Helyum Karışımları

Argon ve helyum karışımları hem argonun hem de helyumun en üstün özelliklerini bir arada elde edebilmek amacı ile geliştirilmiş ve bu sayede nufuziyet ve ark kararlılığı optimize edilmiştir; helyuma %25 argon eklenmesi ile saf argon haline göre daha derin nufuziyet ve saf argon halinden daha üstün ark kararlılığı bir arada elde edilebilmektedir.

Uygulamada, bu iki gazın %80 He ve %20 Ar'dan, % 75Ar+% 25He'a kadar çok değişik karışımları ile karşılaşılmaktadır. Ar+He karışımı gazlar alüminyum, magnezyum ve bakır, nikel alaşımlarının kaynağında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu karışımlar saf argon haline nazaran daha yüksek bir sıcaklığa sahip, saf helyum haline nazaran da daha kontrol edilebilir bir ark oluşturmakta ve daha az miktarda gözenek oluşumuna neden olmaktadır.

- Argon-Karbondiyoksit Karışımları

Koruyucu gazların farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, düzgün ve sakin yanışlı bir ark ile kaynak yapabilmek için, her bir gaza belirli bir ark gerilimi ve akım şiddeti uygulamak gerekmektedir. Örneğin; karbondiyoksit molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek vardır. Bunun sonucu olarak iri taneli, sıçrıntılı bir damla geçişi oluşur ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir.

Yalın karbonlu çeliklerin CO₂ gazı altında kaynağı ekonomik açıdan çok uygun olmasına karşın, düzgün olmayan kaynak dikiş yüzeyleri, bazı durumlarda olumsuz etki yaratan derin nüfuziyet ve arkta metal taşınım türünün etkisi nedeni ile ortaya çıkan aşırı sıçrıntı gibi olumsuzluklar da zaman zaman kendini etkin bir biçimde hissettirmektedir. Yüksek miktarda sıçrıntı kaynak kalitesini düşürmesinin yanı sıra kaynak metali verimi ve sıçrıntılarının temizlenmesi işlemi nedeni ile de maliyeti etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Argon'a oksijen veya karbondiyoksit gazların karıştırılması ile oluşan ekzotermik oksitlenme reaksiyonu sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar, böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur.

Karbondiyoksit gazına %30' u aşan oranda argon katılması sıçrıntı kaybını azaltmaktadır. Argona %20'yi aşan miktarda karbondiyoksit katılması ise arkta metal taşınımının kısa devreli veya iri damlalı olarak gerçekleşmesine neden olur. Karbondiyoksit miktarı %20'nin altına inmeye başlayınca belirli bir akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında sprey metal taşınım gerçekleşir.

Ar/CO₂ oranını değiştirerek arkta metal taşınım türünü ve kaynak nufuziyet profilini kontrol altında tutma olanağı vardır. Oksijenin oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük bir ilgisi olan mangan, silisyum, alüminyum titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir.

Argon gazına az miktarda oksijen eklenmesi (%1 ila 5) arkın kararlılığının iyileştirilmesi sıçrantıyı en aza indirmesi ve buna karşın spre y metal taşınım karakteristiğinin korunması argon kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Koruyucu gaza oksijen katılması, karbondioksitten daha şiddetli olarak kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, ergiyen elektrod telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatarak ince damlalı bir metal taşınım sağlamakta ve kısa devresiz damla taşınımının (spre y ark) oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Oksijen katkısı, daha derin bir nufuziyetin ve daha dzgn bir dikiş profilinin oluşmasına olanak verdiği gibi saf argon ile çeliklerin kaynağında karşılaşılan yanma oluklarının oluşumunu ortadan kaldırmaktadır.

Argona %1-2 oksijen katılması, paslanmaz çeliklerin kaynağında çok iyi sonuç verir, sakin ve sıçrantısız bir ark ile kaynak olanağı sağlar; %5 civarında oksijen içeren gazlar ise az alaşımlı çeliklerin ve dezokside edilmiş bakırın kaynağında iyi sonuçlar verir. Argon oksijen karışımları doğru kutuplama (elektrod negatif) ile de kullanılabilir, fakat bu durumda metal taşınımı az ve nufuziyet derin değildir, bu bakımdan bu tür bir çalışma yüzey kaplama işlemleri için önerilir.

Tablo 2.8. Çağımız endüstrisinde MIG-MAG kaynak yönteminde sık kullanılan koruyucu gaz ve gaz karışımları (Kaluç,2004))

Koruyucu Gaz	Kimyasal Davranış	Uygulama Alanı
Argon	Soy	Çelik hariç tüm endüstriyel metal ve alaşımların kaynağında
Helyum	Soy	Daha yüksek sıcaklık ve gözenek miktarını azaltmak için Al ve Cu alaşımlarının kaynağında
Argon+Helyum % 20-80 / 50-50	Soy	Yüksek sıcaklık ve gözenek miktarını azaltmak ve daha sakın ve kontrollü bir ark ile çalışmak için Al ve Cu alaşımlarının kaynağında
Argon+Klor (Klor eser miktarda)	Soy	Gözenek miktarını azaltmak için alüminyum ve alaşımlarının kaynağında
Azot	Redükleyici	Çok güçlü bir ark için bakırın kaynağında
Ar+ %25-30 N	Redükleyici	Güçlü fakat daha yumuşak ve kontrollü bir ark için bakırın kaynağında
Ar + %1-2 O ₂	Oksitleyici	Bazı dezoksidede bakır alaşımlarının kaynağında
Ar + %3-5 O ₂	Oksitleyici	Yüksek oranda dezoksidede edilmiş tel elektrod ile paslanmaz ve karbonlu çeliklerin kaynağında
Ar + %5-10 O ₂	Oksitleyici	Yüksek oranda dezoksidede edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
Ar + %20-30 CO ₂	Oksitleyici	Kısa ark ile çeşitli çeliklerin kaynağında
Ar + % 50 ₂ + % 15 CO ₂	Oksitleyici	Özellikle Avrupada, dezoksidede edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
CO ₂	Oksitleyici	Dezoksidede edilmiş tel elektrod ile yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında
CO ₂ + %3-5 O ₂	Oksitleyici	Özellikle Avrupada, dezoksidede edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
CO ₂ + %20 O ₂	Oksitleyici	Özellikle Japonyada, dezoksidede edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında

- Helyum-Argon-Karbondioksit veya Oksijen Karışımları

Helyum- Argon- Karbondioksit karışımı gazlar kısa ark boyu ile kaynakta, kaynak banyosunun ıslatma özeliğini geliştirmek için kullanılmaktadır. %90He, % 7,5Ar ve %2,5 CO₂ karışımı koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa ark boyu ile çalışma ve daha az aktif bir atmosfer oluşturarak paslanmazlık özeliğini koruma için kullanılmaktadır; bu karışım az alaşımlı çeliklerin kaynağında da kaynak metalinin tokluğunu geliştirmek için uygun sonuçlar vermektedir.

%69 Ar, %30 He ve %1 O₂ ‘den oluşan yeni bir koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında özellikle kaynak banyosunun viskozitesi, esas metali ıslatma özeliği, arkın kararlılığı ve sıçrantının azalması bakımından çok uygun sonuçlar vermektedir. Ayrıca, bu gaz ile çalışmada kaynak metalinde karbon kapma tehlikesi ve hidrojen gevrekliği olayı da ortadan kalkmaktadır. Bu gazın diğer önemli bir özeliği de kısa ark, sprey ark ve darbeli arkta da çok iyi bir şekilde kullanılabilmesidir.

2.3.2. MIG-MAG yönteminde kullanılan tel elektrodlar

Bu yöntemde kullanılan tüm elektrodlar tel halindedir ve bir kangala sarılmış olarak makinaya takılır. Kangal büyüklükleri ve tel çapları standartlarla saptanmıştır. Dolu tel elektrodlar, sıcak çekilmiş filmaşın tel çekme tezgahlarında soğuk olarak çekilerek istenen çapta tel haline getirilmesiyle üretilir. Çelik elektrodlar durumunda, paslanmaz çelik elektrod dışındakiler gerek temas memesinden geçerken temas kolaylığı sağlamak ve gerekse korozyondan korumak amacı ile ince bir bakır tabakası ile kaplanırlar; bu tabakanın kalınlığı ilgili standartlarda belirtilmiştir.

Son yıllarda, kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek için çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere özlü veya kenetli elektrod diye isimlendirilen bir tür daha geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak çelikten ince bir şeritin, ferro alaşım tozları ve dekanlar ile beraberce kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilmişlerdir. Bu şekilde tel halinde üretilmesi güç veya olanaksız bileşimdeki alaşımlar bile kolaylıkla elektrod haline getirilebilmekte ve daha geniş bir spektrumda tel elektrod üretimi olanağı doğmaktadır.

Özlü tel elektrodların sunduğu üstünlükler son yıllarda pazar paylarını artırmış ve tüketimin artması ile fiyatları da kabul edilebilir düzeye inmiştir. Özellikle sert dolgu veya korozyona dirençli tabaka ile kaplama işlemlerinde bu elektrodlar bugün rakipsizdir ve birleştirme kaynaklarında sıfırlı sıcaklıklarda dahi tok kaynak metalinin gerekli olduğu hallerde ön plana geçmişlerdir; zira bazik örtülü elektrodlar ile sürekli tel elektrodların üstün özelliklerini birlikte sunmaktadırlar.

2.3.2.1. MIG-MAG kaynak yönteminde elektrod seçimi

Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynak yönteminde en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrodun seçimidir. Bu kaynak yönteminde tel ve koruyucu gaz birlikteliği sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi, gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır, bu bakımdan elektrod seçiminde aşağıda belirtilmiş olan konular göz önüne alınmak zorundadır.

Elektrod seçimini etkileyen en önemli etken esas metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimidir. Esas metalin bu özellikleri bilinmediği zaman görünüşü, ağırlığı, manyetik özeliği ile kama testi, kırma ve kıvılcım testi gibi basit atölye testleri ile fikir edinilebilirse de, özellik gerektiren işlerde, kimyasal bileşimin kesinlikle bir analiz ile saptanması gereklidir. Elektrod seçimi aşağıda belirtilmiş olan kriterler göz önünde bulundurularak yapılır;

- Esas metalin mekanik özellikleri

Bu kritere göre elektrod seçimi, genellikle esas metalin çekme ve akma mukavemeti göz önüne alınarak yapılır; bazı durumlarda, özellikle ferritik iç yapılı çelikler halinde malzemenin tokluğunun da (çentik- darbe mukavemeti) göz önüne alınması gereklidir.

- Esas metalin kimyasal bileşimi

Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi, özellikle renk uyumunun, korozyon direncinin, sürünme direncinin, elektriksel ve ısı iletkenliğinin söz konusu olduğu durumlarda gereklidir. Bunun yanı sıra çeliklerde, ısıdan etkilenen bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağına önceden belirlenmesi bakımından da esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir. Genel olarak, yalın karbonlu ve az alaşımlı çelikler durumunda elektrod seçiminde, en önemli faktör olarak esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir.

- Koruyucu gazın türü

Koruyucu gaz olarak soygaz veya karışımlarının kullanılması durumunda bir yanma kaybı söz konusu değildir; buna karşın bir aktif gaz, örneğin karbondioksit veya soygaz+aktif gaz karışımı kullanılması durumunda birtakım yanma kayıpları ile karşılaşılır.

Daha önceden belirtilmiş olduğu gibi aktif gaz kullanılarak çeliklerin kaynatılması halinde az bir miktar demir, oksijen tarafından oksitlenir ve ortaya çıkan demir oksit bileşimindeki mangan ve silisyum tarafından redüklenir; buradaki silisyum ve

mangan kaybı elektrod tarafından karşılanmak zorundadır, bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için geliştirilmiş bir elektrod MAG yönteminde kullanılmaz.

- Esas metalin kalınlığı ve geometrisi

Kaynakla birleştirecek olan parçaların, kalın kesitli veya karışık şekilli olmaları halinde, çatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gereklidir; bu durumlarda en iyi sünekliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde bir elektrod seçilmelidir.

- Çalışma ortamının koşulları

Kaynaklı yapının aşırı düşük veya aşırı yüksek sıcaklıklarda, korozif ortamlarda çalışmasının gerekli olduğu durumlarda, kaynak metalinin her bakımdan esas metalin özelliklerini aksettirmesi gereklidir. Ayrıca, yönergelerde kaynak metalinin bazı ek özelliklere sahip olması istenebilir ve bu konu da elektrod seçiminde çok önemli bir rol oynar. Günümüz endüstrisinde, elektrod seçimini kolaylaştırmak amacı ile çeşitli standartlar hazırlanmış ve özellikler sınıflandırılmıştır, gereksinimleri karşılayacak ve esas metal ile en iyi uyumu sağlayarak en iyi sonuçları verecek türde çok çeşitli tel ve özlü tel elektrodlar üretilmektedir.

Yukarıda açıklanmış olan konular göz önüne alınarak yapılan elektrod seçimi sonucunda başarıya ulaşabilmek için, elektrodun fiziksel özellikleri diye adlandırabileceğimiz yüzey düzgünlüğü ve temizliği ile telin beslenebilirliğinin de yeterli olması gerekmektedir. Aksi takdirde kaynak işlemi sırasında birtakım kaynak problemleri ile karşılaşılır ve bu da kaynak dikişinde süreksizliklere ve buna bağlı çeşitli hataların ortaya çıkmasına neden olur.

2.3.2.1.1. Çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodlar

Çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodlar şu şekilde gruplanabilir:

- Alaşimsız Dolu Tel Elektrodlar

Alaşimsız dolu tel elektrodlar yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılır, bunların bileşimlerini alaşimsız çeliklerden ayıran sadece mangan ve silisyum içeriklerinin bir miktar daha fazla olmasıdır.

- Alaşımli Dolu Tel Elektrodlar

Alaşımli çelik tel elektrodlar özel bileşimde olup, alaşımli çeliklerin kaynağında kullanılır. Her tür alaşımli çelik için dolu tel elektrod üretilememektedir; zira bazı çelikleri tel halinde çekip kangala sarmak özelliklerinden dolayı olanaklı değildir, diğer bazıları ise tüketimleri çok sınırlı olduğu için bunlara uygun tel üretmek ekonomik olamamaktadır.

- Özlü Tel Elektrodlar

Bu tür elektrodlar, alaşimsız ince bir sac şeridin boru haline getirilmesi veya bir matrizen geçirilerek tel şeklinde çekilmesi sonucu elde edilmişlerdir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında bir dekapan ve ferro alaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin dezoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilir.

Çeliklerin kaynağında kullanılan tel ve özlü elektrodların AWS A5.18 ve A5.28'e göre sınıflandırılması tablo halinde verilmiştir.

Tablo 2.9. MIG-MAG kaynak yönteminin sık uygulandığı çelikler

Çeliğin Kısa Gösterimi				Çeliğin Özellikleri				Çeliğin Kimyasal Bileşimi %									
Malzeme No.	DIN 17100	EU 25	EN 10027-1	Gaz Giderme	Teslimat Durumu	Üretim Durumu	C s<16mm	C 16<s<40	C s>40mm	Mn	Si	P	S	N			
1.0035	St33	Fe310-0	S185	-	-	BS	-	-	-	-	-	-	-	-			
1.0037	St37-2	Fe360B	S235JR	-	-	BS	0.17	0.20	-	-	-	0.045	0.045	0.009			
1.0036	US37-2	Fe360B	S235JRG1	FU	G1	BS	0.17	0.20	-	-	-	0.045	0.045	0.007			
1.0038	RS37-2	Fe360B	S235JRG2	FN	G2	BS	0.17	0.17	0.20	-	-	0.045	0.045	0.009			
1.0114	St37-3U	Fe360C	S235JO	FN	G2	QS	0.17	0.17	0.17	-	-	0.040	0.040	0.009			
1.0116	St37-3N	Fe360D1	S235J2G3	FF	G3	QS	0.17	0.17	0.17	-	-	0.035	0.035	-			
1.0117	-	Fe360D2	S235J2G4	FF	G4	QS	0.17	0.17	0.17	-	-	0.035	0.035	-			
1.0044	St44-2	Fe430B	S275JR	FN	G2	BS	0.21	0.21	0.22	-	-	0.045	0.045	0.009			
1.0143	St44-3U	Fe430C	S275JO	FN	G2	QS	0.18	0.18	0.18	-	-	0.040	0.040	0.009			
1.0144	St44-3N	Fe430D1	S275J2G3	FF	G3	QS	0.18	0.18	0.18	-	-	0.035	0.035	-			
1.0145	-	Fe430D2	S275J2G4	FF	G4	QS	0.18	0.18	0.18	-	-	0.035	0.035	-			
1.0045	-	Fe510B	S355JR	FN	G2	BS	0.24	0.24	0.24	1.60	0.55	0.045	0.045	0.009			
1.0553	St52-3U	Fe510C	S355JO	FN	G2	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.040	0.040	0.009			
1.0570	St52-3N	Fe510D1	S355J2G3	FF	G3	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	-			
1.0577	-	Fe510D2	S355J2G4	FF	G4	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	-			
1.0595	-	Fe510D1D1	S355K2G3	FF	G3	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	-			
1.0596	-	Fe510D1D2	S355K2G4	FF	G4	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	-			
1.0050	St50-2	Fe490-2	E295	FN	G2	BS	-	-	-	-	-	0.045	0.045	0.009			
1.0060	St60-2	Fe590-2	E355	FN	G2	BS	-	-	-	-	-	0.045	0.045	0.009			
1.0070	St70-2	Fe690-2	E360	FN	G2	BS	-	-	-	-	-	0.045	0.045	0.009			

Tablo 2.10. MIG-MAG kaynağında çeşitli metal ve alaşımlar için kullanılan AWS standartlarının numaraları.

AWS Standart No	METAL
A5.7	Bakır Ve Alaşımları
A5.9	Paslanmaz Çelikler
A5.10	Aluminyum Ve Alaşımları
A5.14	Nikel Ve Alaşımları
A5.16	Titanyum Ve Alaşımları
A5.19	Magnezyum Alaşımları
A5.24	Zirkonyum Ve Alaşımları
A5.21	Sert Dolgu Alaşımları
A5.28	Az alaşımlı Çelikler

Tablo 2.11. DIN 8559 ve TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodların kimyasal bileşimi.

Simge	Malzeme No	Kimyasal Bileşim %						Müsaade edilen safsızlık
		C	Si	Mn	P	S	Cu	
SG1	1.5112	0,07-0,12	0,5-0,7	1,0-1,3	0,025	0,025	0,30	Cr 0,15 V 0,03
SG2	1.5125	0,07-0,14	0,7-1,0	1,3-1,6	0,025	0,025	0,30	Zr+Ti 0,15 Al 0,02
SG3	1.5130	0,07-0,14	0,8-1,20	0,8-1,20	0,025	0,025	0,30	Ni 0,15 Mo 0,15

- Paslanmaz Çelik Teller

Paslanmaz çelik teller, TS 11197, EN EN 12072 ve AWS A5.22'de sınıflandırılmışlardır. Kaynak telinin seçimi, genel olarak kaynak metali bileşiminin esas metal ile uyum göstermesi esasına göre yapılır; doğal olarak kullanılacak ark türü, koruyucu gaz seçimi ile arktaki element kayıpları dikkate alınmalıdır. Ayrıca, tel seçiminde dezoksidan elementlerin miktarı bir etken olarak düşünülmez ve kaynak metalinin delta ferrit (δ -ferrit) içeriği ilgili diyagramlar ile daha önceden saptanmalıdır.

2.3.3. MIG/MAG kaynağında kullanılan kaynak ağızları ve ön hazırlığı

Genel olarak bu kaynak yönteminin kullanılması durumunda, kaynak ağızını biçimlendirmede kaynaklı parçanın biçimi, çeliğin türü ile ilgili metalurjik konular ve bu konular ile ilgili gerekli standartlar dikkate alınır. Yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin MIG/MAG kaynağında TS EN 39692 standardı geçerlidir ve bu standarda göre ağız hazırlığı esas alınır. Kaynak ağızı hazırlamada en önemli nokta gereken mukavemette en iyi kalitede kaynak dikişinin gerçekleştirilebilmesini en ekonomik yoldan yapabilmektir.








Kaynaklı bağlantıda, kaynaklanan kesitin tümünün veya bir kısmının kaynak edilmesi, ağız biçimini, kök aralığını ve kök alını yüksekliğini etkiler. Kesitin sadece bir kısmının kaynak edilmesinin gerekli olduğu durumlarda, kök açıklığına gerek yoktur ve yüksek bir kök alını bırakılabilir. MIG/MAG kaynağında diğer açık ark kaynak yöntemlerine göre daha ince çaplı elektrod kullanıldığından ark daha yoğundur ve aynı akım şiddeti için nüfuziyet daha derindir. Bu bakımdan daha yüksek bir kök alını veya daha dar bir kök aralığı kullanılabilir. Bu kullanım doğal olarak kısa ark türü için geçerli değildir.

Tel çapının diğer yöntemlere göre daha küçük olması kaynak ağız açılarının daha dar tutulmasına olanak sağlar. Kaynak ağız biçimini etkileyen faktörlerden bir tanesi de, kaynak pozisyonudur. Örneğin, oluk pozisyonunda ağız açısının dar tutulabilmesine karşın; dik pozisyonda daha geniş ağız açısına gerek vardır. Dik ve tavan pozisyonlarında akım şiddetinin alt sınırları kullanıldığından kök aralığı daha fazla ve kök alını yüksekliği de daha az olmak zorundadır. Ayrıca, korniş kaynaklarında asimetrik V ağızı banyonun akmasına engel olduğundan simetrik V ağızına tercih edilir. Burada malzeme kalınlığı ve yapılacak paso sayıları da gözden uzak tutulmamalıdır.

Paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletme katsayıları ve yüksek genleşme katsayıları da ağız hazırlamada kaynaklanacak malzemenin kalınlığına göre ağız biçimini ve paso sayısını etkiler. Örneğin, V- alını kaynak ağızı açılmış kök yüksekliği bırakılmış 5 mm.'lik AISI 304 paslanmaz çeliği 1.6 mm. çaplı bir tel ile bir pasoda rahatlıkla

kaynak edilebilmektedir.(Kaluç,92) Tek taraftan yapılan kaynak dikişlerinde kökten akmayı önlemek ve nufuziyeti kontrol etmek için altlık ve kök koruma gazı kullanılabilir. Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında Tablo 2.12 'deki ağız biçimleri kullanılır.

Tablo 2.12. Paslanmaz çelik MIG kaynağında kullanılan kaynak ağızları.

No.	Malzeme Kalınlığı	Ağız Türü	Ağız Formu	Açıklamalar
1	$\leq 2,5$	I-Aln (Bir taraftan)		Bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir.
2	≤ 4	I - Alın (Çift taraftan)		Ters taraftan taşlanarak yeniden kaynak edilebilir. Bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir.
3	≤ 16	V - Alın (Bir veya iki taraftan)		Genellikle ön işlem için bir taraftan kaynak edilmesi arzu edilir ve konstrüksiyonda kök pasu taşlanarak yeniden doldurulabilir.
4	≥ 13	U - Alın (Bir taraftan)		Kök pasusu TIG ile tercihen ek kaynak metali kullanılarak yapılır. 3° ölçüsü ağızın radiusuna bağlıdır.
5	≥ 13	U - Alın (Bir veya iki taraftan)		Gerekli olduğu durumlarda kök pasu taşlanarak temizlenir ve yeniden doldurulur.
6	≥ 10	Asimetrik X - Alın (*)		A kenar tarafından kaynağa başlama kuralı vardır. En az çarpılma için A'dan sonra B, B' den sonra A doldurma sırası izlenir.
7	≥ 25	Çift U - Alın		X-alın kaynağında ek kaynak işlemleri aynen uygulanır. Gerekliyse kök taşlanarak yeniden kaynak edilir.

(*) Çarpılmaları önlemek için simetrik X - alın kaynak ağızı yerine asimetrik X - alın kaynak ağızı seçilir.

2.4 Farklı Metalsel Malzemelerin Kaynağında Dikkat Edilmesi Gereken Konular

Günümüzde, endüstriyel uygulamada kullanılan malzemelerin çok çeşitli olması dolayısıyla, birbirinden farklı özelliklere sahip bu malzemeleri birbirleri ile birleştirmek zorunluluğu doğmaktadır. Bunun içinde, birbiri ile kaynak yapılarak birleştirilecek bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve metalürjik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Mühendis belirli bir uygulama alanında çalışırken, bu özellikleri göz önünde tutarak malzeme seçimine karar verir. Çok kere değişken zorlanma ve ortam şartları söz konusu olduğundan, birbirinden oldukça farklı iki malzeme kullanılır. Buhar boruları örneği gibi; buhar taşıyıcı sisteminin yüksek sıcaklıktaki sıcak ucunda östenitik paslanmaz çelik gerekirken, nispeten düşük sıcaklıktaki soğuk uçta daha ucuz, düşük alaşımlı ferritik bir çelik yeterli olmaktadır.

Herhangi bir farklı metal kombinasyonunda kaynak bağlantısından istenen özellikler, farklı malzeme seçimini belirleyen en önemli faktörlerdir. Uygulamanın gerektirdiği bir zorunluluk olarak, iki ayrı cins metalin kullanılması her ne kadar arzu edilmese bile, eğer bu iki metalin birbiri ile kaynağı mümkün değilse, bu proje yalnız tasarım aşamasında kalır.

Bazı durumlarda, başarılı bir birleştirme sağlamanın tek yolu, farklı iki metalin arasına başka bir birleştirme malzemesi yerleştirmek, yani ilave malzeme kullanmaktır. Farklı iki metalin kaynak prosesi ile birleştirilmesi ve bunun için uygun bir ilave malzemenin seçilmesi, oldukça zor bir problemdir. Buna bir örnek vermek gerekirse; bakırın- çelikle kaynağını örnek olarak verebiliriz. Bu iki metalin karşılıklı olarak birbirlerinde çözünürlük özelliği yoktur. Fakat nikel bu malzemelerin ikisiyle de çözünürlük özelliğine sahiptir. Nikelin bu özelliğinden yararlanır ve nikel ilave malzeme kullanılarak birleştirme işlemi gerçekleştirilir. İşlem; çelik malzeme yüzeyinde bir nikel kaplama tabakası oluşturulması ve daha sonra bu yüzeyin yine nikel ilave malzemesi kullanılarak bakır malzemeyle kaynak edilmesi şeklinde gerçekleştirilir (Schwartz, 1979; ASM Committee, 1983).

İki farklı metalsel malzemenin birleştirilmesi ile elde edilen kaynak dikişi yalnız ilave malzemedan meydana gelmez. Bağlantı bir geçiş bölgesini içerdiği gibi, iki esas metalden de önemli miktarda alaşım elemanı bulundurur. Farklı metalsel malzemelerin birleştirildiği her kaynak işleminde, ilave malzeme ile farklı esas metallerin karışımında oluşan bir kaynak banyosu meydana gelecektir.

Farklı metalsel malzemelerin kaynağında karşılaşılan problemler, metaller arasındaki geçiş bölgesinde ve bu geçiş bölgesinde meydana gelen intermetalik bileşenlere bağlı olmaktadır.

Ergitme esaslı kaynak yöntemlerinde, esas metallerin içermiş olduğu faz diyagramını incelemek çok önemlidir. İki metalin karşılıklı olarak birbirlerinde çözünürlük özelliği mevcut ise birleştirme işlemi başarı ile gerçekleştirilebilir. Fakat iki metalsel malzeme arasında çok az çözünürlük varsa veya iki metalsel malzemenin birbirlerine karşı çözünürlük özelliği yoksa kaynak işleminden istenilen verim elde edilemez. Farklı metaller arasında oluşan intermetalik bileşenlerin çatlama eğilimi, genişleme özelliği ve korozyon dayanıklılığı kaynak bağlantısının güvenilirliği için gözden geçirilmelidir. Bu intermetalik bölgenin yapısı çok önemlidir. Bazı durumlarda, başarılı bir bağlantı gerçekleştirilebilmek için her iki metalde de çözülebilen üçüncü bir metalin kullanılması zorunlu olur. Farklı metalsel malzemelerin kaynağında dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise, metalsel malzemelerin ısıl genişleme katsayılarıdır. Metalsel malzemelerin ısıl genişleme katsayıları arasındaki büyük farklılıklar kaynak işleminde sıcaklık değişimleri esnasında, intermetalik bölgede iç gerilmelerin oluşmasına sebebiyet verecektir.

Birleştirilecek olan metalsel malzemelerin ergime sıcaklıkları arasındaki farklarda gözden geçirilmelidir. Bu esas önemli noktadır; çünkü malzemelerin ergime sıcaklıkları arasındaki büyük farklılıklar, aynı sıcaklık etkisi altında metallerden birinin çok daha önce ergimesine sebep olacaktır. Farklı ergime sıcaklığı ve farklı ısıl genişleme oranlarına sahip iki metalsel malzeme birleştirildiği zaman, yüksek ısı girişli kaynak prosesi bu bağlantı için bir dezavantaj olacaktır. Bu sebepten dolayı uygun kaynak proselinin de seçilmesi bu aşamada önem kazanacaktır.

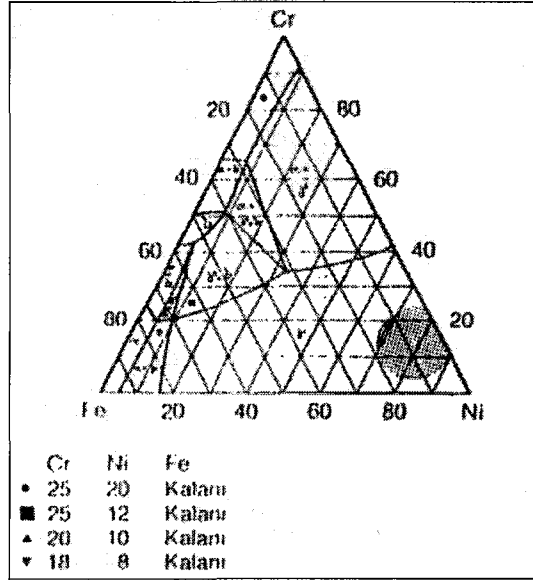
Farklı metallerin birbirleri ile kaynak yoluyla birleştirilmesi sırasında dikkate alınması gereken faktörleri başlıca 7 maddede incelemek mümkündür. Bunlar:

- 1 - Kaynak bağlantısının yapısal kararlılığı
- 2- Fiziksel özellikler
- 3- Mekanik özellikler
- 4- İşletme koşullarında Fiziksel ve mekanik özellikler
- 5- Korozyon direnci
- 5-Kaynak metali,Erime oranı ve seyrelmenin miktarı
- 6-Ön ısıtma ve son tavlama
- 7-İlave malzeme seçimi

2.4.1. Kaynak bağlantısının yapısal kararlılığı

Kaynak işleminin yüksek sıcaklıkta yapılması nedeniyle, erimiş kaynak metalinin, iki ana metali birleştirecek olan kaynak bağlantısının ömrünü sınırlayacak herhangi bir yapısal değişime uğramaması çok önemlidir. Hafif alaşımlı çeliklerde yapıya yüksek derecede mukavemet kazandıran martenzitik veya ara yapılar, dönüşüm sıcaklığının üzerinde östenite dönüşür. Östenitin dayanıklılığı büyük ölçüde içerdiği krom ve nikel miktarına bağlıdır. Dolayısıyla, kaynak işlemi sırasında yüksek sıcaklıklar söz konusu olduğundan, tamamen östenitik yapıdaki çelikler kullanılmamalıdır.

Östenitik çeliklerde, yüksek sıcaklıklarda çalışılırken amaç, kırılma "sigma" fazının oluşmayacağı bir çelik seçmektir. Oluşması istenmeyen sigma fazı, kaynak dikişinin kimyasal bileşiminin bir neticesi olarak ortaya çıkmaktadır ve Şekil 2.8'de de görüldüğü üzere, paslanmaz çelik esaslı ilave metallerin pek çoğu, sigma fazının oluştuğu bölgelerin oldukça yakınında yer almaktadır. Diğer taraftan Ni-Cr-Fe esaslı ilave metallerin (ASME-SFA. 5.11-Class ENiCrFe-3 veya DIN 1736-S-NiCr15FeMn veya AWS-A5.11-Class ENiCrFe-3) sigma fazına geçebilmesi için kaynak banyosunda fazla miktarda demirin erimesi gerekir ki, bu kadar fazla demirin erimesi kaynak metali çatlamadan meydana gelmez.



Şekil 2.8 Ni-Fe-Cr sisteminde (650 °C'de) Ni-Cr-Fe esaslı ilave metalin yeri koyu olarak gösterilmiştir (Anık, 1988).

Kaynak dikişinin problem yaratmaması için östenit içinde bir miktar ferritin bulunması gerekmektedir. Fakat östenit içinde çok fazla ferrit olursa, kaynak dikişi 650-950 °C arasında bulunurken ferritin bir miktarı sigma fazına dönüşür ve bu dönüşümün en etkin olduğu sıcaklık aralığı da 750-800 °C'dir. Bu şekilde sigma fazına dönüşmeyi ve dolayısıyla da kaynak dikişinin gevrekleşmesini önlemek üzere ferrit miktarı %10'un altında olmalıdır. Çeliğin toplam alaşım içeriği gevrekleşmeyi etkileyen en önemli faktördür ve bu nedenle 25Cr/12Ni ve 25Cr/20Ni'li çelik tipleri; 18Cr/8Ni'li çeliklere göre çok daha uygundur, farklı metallerin birbirleriyle kaynak edilmesinde, genellikle yüksek alaşımlı çeliklerden mamul ilave metaller kullanılmaktadır. %18-20 krom içeren çelikte önce nikel miktarı %30 civarına kadar artırılmalıdır, ancak bundan sonra sigma fazı tehlikesine karşı önlem alınmalıdır.

Çeliğin kaynağında diğer bir önemli problemde karbonun yer değiştirmesidir. Hafif alaşımli çeliklerin çoğunda martenzitik (ara) yapılara belirli bir mukavemet kazandıran kontrollü bir karbon seviyesi mevcuttur. Diğer taraftan östenitik paslanmaz çeliklerde, uygun korozyon mukavemeti sağlamak üzere karbon içeriği düşüktür. Eğer bu iki çelik birleştirilirse karbon hafif alaşımli çelikten ayrılarak geriye zayıflamış bir bölge kalır. Aynı zamanda östenitik çelikte lokal karbon artışı, östenitik çeliğin korozyon mukavemetini düşürür. Karbonun yer değiştirme miktarı ve oranı: bileşime, zamana ve sıcaklığa bağlıdır. Nikel miktarı arttıkça karbonun yer

değiştirmesi gecikmektedir. Diğer taraftan belirli bir bileşim söz konusu iken, karbonun yer değiştirme süresinin ve sıcaklığın artması, bu yer değiştirmenin sebep olacağı etkiyi arttırmaktadır. Bu sebeplerden ötürü yüksek sıcaklıklarda östenitik/ferritik çeliklerden oluşan birleştirmelerde örneğin:

ASME-SFA. 5.14-ClassERNiCrMo-3

AVVS-A5.14-Class ERNiCr-3; ERNiCrMo-3

DİN 1736-S-NiCr20Nb; NiCr21Mo9Nb kaynak telleri ile,

ASME-SFA. 5.11-Class ENiCrMo-3; ENiCrFe-3

AWS-A5.11-Class ENiCrMo-3; ENiCrFe-3

DIN 1736-S-NiCr15FeMn elektrodları gibi Ni-Cr-Fe' den mamul ilave metaller geniş bir uygulama alanına sahiptir.

2.4.2. Fiziksel özellikler

Kaynak işlemiyle birleştirilen malzemelerde kaynak dikişini ve işletme sırasında bu kaynak dikişinin ömrünü pek çok değişik fiziksel özellikler etkiler. Kaynak edilen iki aynı cins malzemenin erime noktalan birbirinden çok farklı ise, kaynak işlemi sırasında bazı problemler ortaya çıkar. Erime noktası yüksek olan metal eriyinceye kadar, erime noktası düşük olan çok fazla ısıtılmış (tavlanmış) olur. Bakır-nikel alaşımları düşük erime noktasına sahip alaşımlardır. Diğer alaşımların da erime noktalan aşağı yukarı aynı olup bazılarının ki ise 200-400 °C daha yüksektir. Diğer taraftan bakır- nikel alaşımlarının ısil iletkenliği yüksektir, dolayısıyla da erimesi için gerekli ısı girdisi daha fazladır. Bu da kaynak işlemi açasından iyidir. Böylece kaynak işlemi esnasında sıcaklık bakımından bir denge sağlanabilmekte ve bakır-nikel alaşımları, daha yüksek erime derecelerine sahip malzemelerle, büyük sorunlar çıkmadan birleştirilebilmektedir.

Metalsel malzemelerin ve alaşımlarının çoğu ısıyı iyi bir şekilde iletirler. Elbette ki bazı metaller diğer metallere kıyasla ısıyı daha iyi iletirler. Isının ergimiş kaynak havuzundan komşu esas metal yardımıyla hızlı bir şekilde iletilmesi, bu metalin bölgesel olarak eritilmesi için ihtiyaç duyulan enerjiyi etkileyecektir. Önemli ölçüde farklı ısısal iletkenliğe sahip farklı metallerin birleştirilmesinde, kaynak prosesi bu

farkı dengelemelidir. Genelde kaynak işlemi esnasında ısı kaynağı, uygun ısısal dengeyi sağlamak amacıyla yüksek ısısal iletkenliğe sahip metal üzerinde yoğunlaştırılmalıdır.

Isıl iletkenliğin farklı oluşu bir avantaj sağlamasına rağmen, iki farklı ısısal iletkenliğine sahip malzeme kaynakla birleştirildiğinde, kaynak işlemi sırasında ısı kaybını dengelemek ve iyi bir kaynak bağlantısı sağlamak için ısısal iletkenliği yüksek olan malzemenin önceden tavllanması gerekmektedir. Aksi takdirde ısısal iletkenliği düşük olan malzeme, ısısal iletkenliği yüksek olan malzemeyi eritebilmek için işlem yavaşlatıldığında, aşırı derecede tavllanmış olacaktır.

Bir metalin ısısal iletkenliği, o metalin sıcaklığının bir fonksiyonudur. Farklı metalsel malzemelerin kaynağında, esas metallerde ki ısı kaybı, yüksek ısısal iletkenliğe sahip metalin ön ısıtmaya tabi tutulması ile dengelenebilir.

Benzer şekilde, ısısal genişleme durumu da kaynak işlemi sırasında büyük bir önem taşır. Eğer iki malzemenin ısısal genişleme katsayıları birbirinden oldukça farklı ise, kaynak işlemi sırasında, iki malzeme ayrı ayrı oranlarda genişleyecek ve kaynaktan sonra da soğuma sırasında farklı oranlarda büzülecektir. Bu da, imalat aşamasında istenmeyen distorsiyon problemleri ortaya çıkaracaktır, ayrıca kaynak esnasında sıcak kırılma ve işletme koşullarında ise soğuk kırılma eğiliminde olacaktır.

Lineer ısısal genişleme katsayısı, α , gerinimdeki $\Delta\varepsilon$, değişiklik ve dolayısıyla sıcaklıktaki ΔT , değişiklik olarak açıklanabilir (Weisman, 1984a).

$$\alpha = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta T}$$

Isısal genişleme ifadesi her alaşımın karakteristik özelliğidir ve daha açıklayıcı bir ifadeyle tanımlamak gerekirse;

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta T}$$

Öyle ki; malzemenin uzunluğundaki değişiminin, orijinal uzunluğa oranı, $\Delta l/l$, gerinimdeki, $\Delta \epsilon$, değişime işaret eder (Weisman, 1984a).

Farklı metalsel malzemeler arasında ki, ısısız genişleme farklılıkları ve yanlış eşleşmeler, kaynak bağlantısında gerilmelerin oluşmasına sebebiyet verecektir. Bu durum, özellikle işletme koşullarında, değişken sıcaklıklarda çalışan ve yükseltilmiş sıcaklıklara maruz kalan bağlantılarda çok önemlidir ki, bağlantı her an çatlak oluşturma eğilimindedir.

İdeal olarak, kaynak metalinin lineer ısısız genişleme katsayısı, iki esas metalin lineer ısısız genişleme katsayısı arasındaki fark büyük ise, bu iki değerin arasında (ortasında) bir değer olmalıdır. Eğer ki, metallerin ısısız genişleme katsayıları arasındaki fark önemli bir büyüklükte değil ise, kaynak metalinin ısısız genişleme katsayısı bu metallerden birinin ısısız genişleme katsayısına eşit olabilir.

Aynı zamanda kaynak dikişinin ara yüzeyinde bir gerilme yoğunlaşması meydana gelecektir. İşletme sırasında sıcaklığın düzensiz değişmesi de bu gerilme yoğunluğunu arttıracaktır.

Ergitme kaynağı yöntemleri ile farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesi, birleştirilecek olan esas metallerin ve kullanılmışsa ilave malzemenin ergimesini gerektirir. Eğer ki metalsel malzemelerin ergime sıcaklıkları arasındaki farklar çok büyük değilse, birleştirme işlemi normal kaynak teknikleri ve prosedürleri kullanılarak başarı ile gerçekleştirilebilir. Fakat metallerin ergime sıcaklıkları arasında büyük farklılıklar varsa, kaynak işleminde kompleks problemler ortaya çıkacaktır. Bu durumda, birleşmenin gerçekleştirilebilmesi için lehimleme veya katı hal kaynağı tekniklerinden birinin tercih edilmesi kaçınılmaz olacaktır.

Tablo 2.13' de bazı metalsel malzemelerin ergime sıcaklıkları ve diğer önemli fiziksel özellikleri, karbon çeliğinin özellikleri baz alınarak karşılaştırılmıştır. Tablodaki verilerden çıkanları sonuç, alüminyum alaşımlı malzemelerin, çelik ve nikel alaşımlarına ergitme kaynağı yöntemi ile birleştirilmesinin çok zor olduğudur.

Tablo 2.13. Metallerin fiziksel özelliklerinin, yalnız karbonlu çeliğin fiziksel özellikleri baz alınarak karşılaştırılması (Weisman, 1984a)

Özellik	Özelliklerin Oranları					
	Yalnız Clu çelik	Bakır	Aluminyum	Östenitik paslanmaz çelik	70-30Cu	76-16Cr-8Fe
Isıl genleşme katsayısı	1,0	1,5	2,1	1,4	1,2	1,0
Isısal iletkenlik	1,0	5,9	3,1	0,7	0,4	0,2
Isıl Kapasite	1,0	0,8	1,9	1,0	1,1	0,9
Yoğunluk	1,0	1,1	0,3	1,0	1,1	1,1
Ergime Sıcaklığı	1,0	0,7	0,4	0,9	0,9	0,9

İki esas metal arasındaki veya kaynak metali ile esas metaller arasındaki ergime sıcaklığı farkının önemli büyüklükte olması, düşük ergime sıcaklığına sahip metalin kaynak sonu kopma eğiliminde olmasına neden olacaktır. Yüksek ergime sıcaklığına sahip metalin büzülmesi ve katılaşması, diğer metalin güçsüz olduğu ve kısmen katı durumda olduğu durum için metalde gerilmelere sebebiyet verecektir. Bu sorun yüzey kaplama uygulaması ile ortadan kaldırılabilir. Kaplama işlemi; yüksek ergime sıcaklığına sahip metalin kaynak yüzeyinin, diğer metal ile olan yüksek ergime sıcaklığı farkını ortalayacak özellik de olan, uygun bir ilave malzeme ile bir veya daha fazla tabaka oluşturacak biçimde kaplanması şeklinde gerçekleştirilir. Bu işlem, metalsel malzemelerin ergime sıcaklıkları arasındaki büyük farklılıkların uygun bir değere düşürülmesini sağlamaktadır ki başarılı bir kaynak bağlantısı gerçekleştirilebilsin (Hosking vd., 1999).

Kaynakla birleştirilen farklı metallerden birini ön plana alarak ilave metal seçimi yapmak, yüksek ve düşük ısıl genleşmelere sahip malzemeler için yetersizdir. Isıl genleşmeleri farklı olan metallerin ısıl genleşme katsayılarının ortasına rastlayan bir ilave metal seçerek, gerilme yoğunluğunu oldukça azaltmak mümkündür. Böyle genleşme etkisi en fazla ferritik ve östenitik malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesinde görülmektedir.

2.4.3 Mekanik özellikler

Kaynak işleminde ilk aranan şart birleştirmenin mukavemetinin, esas malzemeyle aynı veya ona yakın olmasıdır. Farklı malzemelerin kaynağında da aynı görüş hakimdir. Kaynak metali mukavemetinin, en az mukavemeti düşük olan malzemeninki kadar olması istenir. Örnek olarak hafif alaşımlı bir çelik ile bir östenitik çeliği birleştirdiğimizi düşünelim. Nikel-krom-demir veya nikelden ibaret ilave metaller kullanılırsa daha önce üzerinde durulan alaşımlanma, yapısal kararlılık ve ortalama ısıl genleşme ile ilgili konuların hepsi karşılanır. Fakat saf nikel ilave metaller, hafif alaşımlı çelikten de östenitik çelikten de daha zayıftır. Dolayısıyla mukavemet değeri çok daha yüksek olan nikel-krom-demir esaslı ilave metaller tercih edilir.

2.4.4 İşletme koşullarında mekanik ve fiziksel özellikler

Farklı metalsel malzeme bağlantılarının, kaynak bölgesi (metali) bileşimi, genellikle esas metallerin bileşimiyle farklılık gösterir. Kaynak bölgesinin (metalinin) bileşimi ve özellikleri kullanılan ilave malzemenin bileşimine, kullanılan kaynak prosesine, esas metal bileşimlerine ve de en önemlisi ilave malzeme ile esas metallerin ergime oranlarına bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Her iki esas metalin kaynak metaline komşu olduğu alanlar olmak üzere iki farklı IEB mevcuttur. İşletme koşullarında bir sorunla karşılaşılmasını için bu iki IEB'nin dikkatli bir şekilde gözden geçirilmesi gereklidir.

İşletme koşulları altında düzensiz sıcaklık değişimlerinden kaçınılamıyorsa, metalsel malzemelerin ısıl genleşme katsayıları arasındaki büyük farklılıklar azaltılmalıdır. Bu problemden de esas metalleri benzer ısıl genleşme karakteristiklerine sahip metaller arasından seçmekle kaçınılabilmektedir. Eğer bu durum mümkün değil ise diğer bir alternatif çözüm iki esas metal arasına üçüncü bir metal yerleştirmektir. Seçilen bu üçüncü metal, malzemelerin ısıl genleşme karakteristiklerini ortalayabilecek özellikte olmalıdır. İlave malzeme seçiminde de aynı noktaya dikkat edilmelidir (ASM Committee, 1983).

Bir kaynak bağlantısında, değişik metalürjik özelliklere sahip bölgelerin bulunması, bağlantının değişken sıcaklıktaki işletmelerde yer almasıyla önem kazanmaktadır. Bu özellikler; ısısasal genleşme katsayısı, elastiklik modülü, akma dayanımı, kırılma direnci v.b. Değişken sıcaklıktaki işletme şartlarına bağlı olarak, esas metallerin ve kaynak metalinin özellikleri arasındaki farklılıklar, IEB' lar da ve kaynak metaline komşu bölgelerde gerilmelerin oluşmasına sebep olacak ve metalsel malzemelerin yorulma dayanımlarına bağlı olarak da istenmeyen çatlamalar gerçekleşebilecektir. Değişken sıcaklık altında işletme ömrü metalin kırılmaya olan direncine bağlıdır. Kısaca, işletme şartları altında farklı metalsel malzeme bağlantılarının davranışlarını matematiksel olarak tahmin etmek çok zor olarak görünse de biz tasarımcıların görevi en uzun işletme ömrünü sağlayacak bağlantıyı gerçekleştirmek ve bunu sağlamak amacıyla da tasarım için uygun metalsel malzeme çiftlerini uygun yöntemi seçerek birleştirmektir.

2.4.5. Korozyon ve oksidasyon direnci

Kaynak prosesi ile birleştirilecek olan esas metaller ve bileşim sonrası oluşacak olan kaynak metali farklı korozyon davranışlarına sahip olabileceklerdir. Bu durum tasarımın kullanılacağı yere bağlı olarak, tasarımcı tarafından ilk dikkat edilmesi gereken nokta olacaktır.

Farklı metalsel malzemelerin birleştirildiği kaynak bağlantılarında, galvanik cell (yapı) oluşumu, bağlantıda ki en anodik metalin veya fazın korozyona uğramasına sebebiyet verecektir. Kaynak metalinin de birkaç mikro yapılı fazın oluşumundan meydana geldiği düşünülecek olunursa, bu fazlar arasında ki lokalize hücreler, mikro yapısal denge de galvanik korozyona sebebiyet vereceklerdir. Galvanik korozyonu minimuma indirmek için, galvanik korozyona hassas esas metalde katodik koruma sağlamak gerekecektir. Fakat bu arada diğer tasarım gereksinimlerinin buna olanak verip vermediğine dikkat etmek gerekecektir. Bu durum olanaksızsa diğer koruma yollarına başvurulmalıdır (Weisman, 1984a).

Kaynak dikişinde ortaya çıkması mümkün olan korozyon probleminin ortadan kaldırılabilmesi için, ilave kaynak metali, birleştirilen farklı malzemelerin izafi

korozyon direnci göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Çoğu zaman birleştirilen farklı metallere daha asal karakterde bir ilave metal kullanılarak istenen şartlar sağlanabilmektedir, yani kullanılacak ilave metallerde nikel, krom oranı yüksek olmalıdır.

Farklı metalsel malzemelerin kaynağında, metalsel malzemelerin kimyasal bileşiminde ki farklılıklar yüksek sıcaklık korozyonuna sebebiyet verebilmektedir. Malzemelerin ara yüzeyinde ki kimyasal bileşimde ki değişim, yüksek sıcaklıkta seçici oksitlenme olayına sebebiyet verebilmekte ve bu bölgelerde, çentik, yarık gibi oluşumlar meydana gelebilmektedir. Bu olumsuz oluşumlar, bağlantıdaki potansiyel gerilimi artırıcı oluşumlardır ve değişken ısıl şartlar altında kaynak ara yüzeyi boyunca gerilmelere ve oksidasyon bozukluklarına sebep olurlar (Weisman, 1984a).

Yüksek işletme sıcaklıklarında, malzemelerde ortaya çıkması beklenen diğer bir konuda oksidasyondur. Çeliklerde krom ve nikel içeriği arttıkça, oksidasyona karşı dayanımı da artar. Kaynak metalindeki korozyonun önlenmesi için, kaynak metalinin korozyon direnci, esas ketalardan birinin korozyon direncinden daha iyi olmalıdır. Bu husus hem ortam şartlarında hem de yüksek sıcaklıktaki korozyon durumları için söz konusudur (Anık vd., 1993).

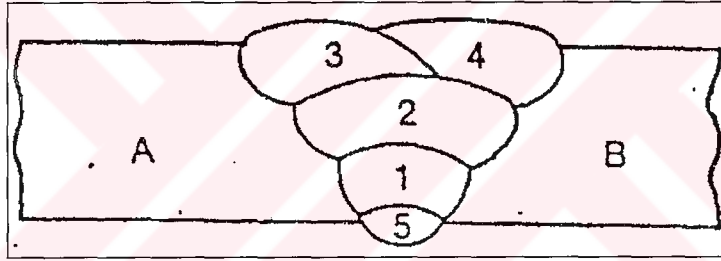
2.4.6. Kaynak metali, erime oranı ve ilave metal seçimi

2.4.6.1. Kaynak metali (kaynak banyosu)

Farklı metalsel malzemelerin, eritme kaynağı yöntemi ile birleştirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta, kaynak metalinin (banyosunun) bileşimi ve özellikleridir. Kaynak metalinin bileşimi, esas metallerin bileşimine ve kullanılmışsa ilave malzemenin özelliklerine bağlıdır. Bir başka ifadeyle, farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesi ile elde edilen kaynak dikişi yalnız ilave malzemenin meydana gelmez.

Bağlantı bir geçiş bölgesini içerdiği gibi, iki esas malzemedenden de önemli miktarda akışım elemanı bulundurur. Yani kaynak sonu, ilave malzeme ile esas metallerin karışımından oluşan bir kaynak banyosu meydana gelir (Weisman, 1984a).

Şekil 2.9' de verilen örnek, farklı iki metalsel malzemenin kaynağında ki durumu daha basit tarzda açıklamaya yardım edecektir. Şekil 3.1' de ki A ve B esas metallerinin beş pasoyla birleştirilmesi uygun görülmüştür. Birinci paso A metali, B metali ve ilave malzemedenden oluşmaktadır. İkinci paso; A metali, B metali, ilave malzeme ve birinci pasodan ibaret bir karışım meydana getirmektedir. Üçüncü paso; ilave malzeme, A metali ve ikinci pasodan ibaret olup, burada B metali yoktur. Dördüncü paso; ilave malzeme, B metali, ikinci ve üçüncü pasodan oluşmaktadır. Beşinci pasoda, diğer bütün pasolardan farklı olup; A metali, B metali ve birinci pasodan ibaret karışımdır.



Şekil 2.9. Farklı iki metalin beş paso ile kaynağı (Anık vd., 1993)

Burada meydana gelen karışımın metalürjik bakımdan zararlı bir etki vermemesi istenir. 1990'lı yıllara kadar ki uygulamalarda ilave metal, kaynak yapılan ana malzemedenden daha yüksek miktarda alaşım elemanı ihtiva ederdi Bu kural çeşitli malzeme kombinasyonları bakımından oldukça iyi sonuçlar vermesine rağmen, birçok kereler kaynak yerinin istenmeyen özellikler kazanmasına da neden olabilmektedir. Örnek olarak, 18Cr/8Ni'li östenitik paslanmaz çelik ile karbonlu ferritik yapı çeliği bağlantısı ele alınabilir. Böyle bir birleştirmede, eğer 18Cr/8Ni'li bir ilave metal kullanılırsa, dikişin havada soğuması ile bağlantı sertleşmekte yani dikiş gevreklik kazanmaktadır. Burada, sözkonusu sertliği önlemek için yüksek alaşımlı 25Cr/20Ni'li bir ilave metal tavsiye edilir. Bu ilave metal, genelde östenitik

yapılı sünek bir dikiş verirken diğer taraftan kılcal çatlakların oluşumuna doğru bir eğilim de ortaya çıkmaktadır.

Tüm bunlardan anlaşılacağı gibi çatlama bakımından emniyetli bir birleştirmenin elde edilebilmesi için, bağlantının bütün istenen şartları aynı anda yerine getirmesi mümkün olmamakta, elden geldiğince ideale yakın bir çözümün bulunması gerekmektedir.

2.4.6.2. Ergime oranları

Ergitme kaynağı işlemi esnasında, birleştirilecek olan metelsel malzemeler ve eğer kullanılırsa ilave malzeme kaynak havuzunda beraber ergitilirler. Katılma esnasında kaynak metali ya tek bir fazdan oluşacaktır ya da iki veya daha fazla fazın karışımından meydana gelecektir. Oluşan bu faz katı bir çözelti (Cu-Ni), intermetalik bileşim (CuAl_2) veya ara yer bileşiği (Fe_3C , TiC) olabilir. Oluşan fazın tipi, sayısı, miktarı ve metalürjik özellikleri kaynak metalinin özelliklerine karar verilmesine yardımcı olur. Katılma ve soğuma oranları fazların oluşumunda ve kaynak metalinin metalürjik yapısında önemli bir etkiye sahiptir.

Farklı metelsel malzemelerin kaynağında, kullanılan ilave malzeme, esas metallerle alaşım yapabilme özelliğine sahip olabilmelidir ki, oluşan kaynak metali yeterli genleşme özelliğine sahip olabilsin. Özellikle, kullanılan ilave malzeme esas metallerle çatlak hassasiyetli bir mikro yapı meydana getirmeden ergiyebilmelidir. Kaynak metalinin mikro yapısı uygun işletme şartları altında stabil olmalıdır (Weisman, 1984a; 1984b; Stinchcomb, 1999) kaynak metalinin dayanım, zayıf dayanımlı esas metalin dayanımına eşit olmalı veya daha iyi olmalıdır.

Çoğu ergitme kaynağı prosesinde ergimiş kaynak havuzunda önemli bir karışım meydana gelir. Bu karışım, kaynak metalinin önemli ölçüde üniform kompozisyonda yayılmasını sağlamaktadır.

Kaynak metalinin yaklaşık kimyasal bileşimi, iki önemli noktanın bilinmesi durumunda hesaplanabilmektedir:

1-) Ergimiş esas metallerin hacminin, tüm kaynak metali hacmine oranı,

2-) Esas metallerin ve ilave malzemenin kimyasal bileşimleri.

Ergimiş kaynak metalinde spesifik alaşımlama elemanının ortalama yüzdesi, aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilmektedir (Weisman, 1984a);

$$X_w = (D_A)(X_A) + (D_B)(X_B) + (1 - D_T)(X_F)$$

X_w = X elementinin kaynak metalindeki ortalama yüzdesi

X_A = X elementinin A metalindeki yüzdesi

X_B = X elementinin B metalindeki yüzdesi

X_F = X elementinin ilave malzemedeki yüzdesi

D_A = A metalindeki yüzde ergime

D_B = B metalindeki yüzde ergime

D_T = A ve B metalindeki toplam ergime yüzdesi

Kaynak metali bileşiminin hesaplanmasına bir örnek vermek gerekirse; 316 tip paslanmaz çeliğin, Cr-Mo alaşımlı çelik ile kaynak edildiğini ve bir nikel-krom alaşımlı ilave malzeme kullanıldığını düşünelim. Üç alaşımın kimyasal bileşimleri Tablo 2.14' de verilmiştir. Toplam ergimenin % 35 olduğunu kabul edelim (% 15 CrMo alaşım çeliği, % 20 316 tip paslanmaz çelik). Cr, Mo ve Ni alaşımlarının kaynak metalindeki ortalama yüzdeleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

Tablo 2.14.Üç alaşımın kimyasal bileşimleri

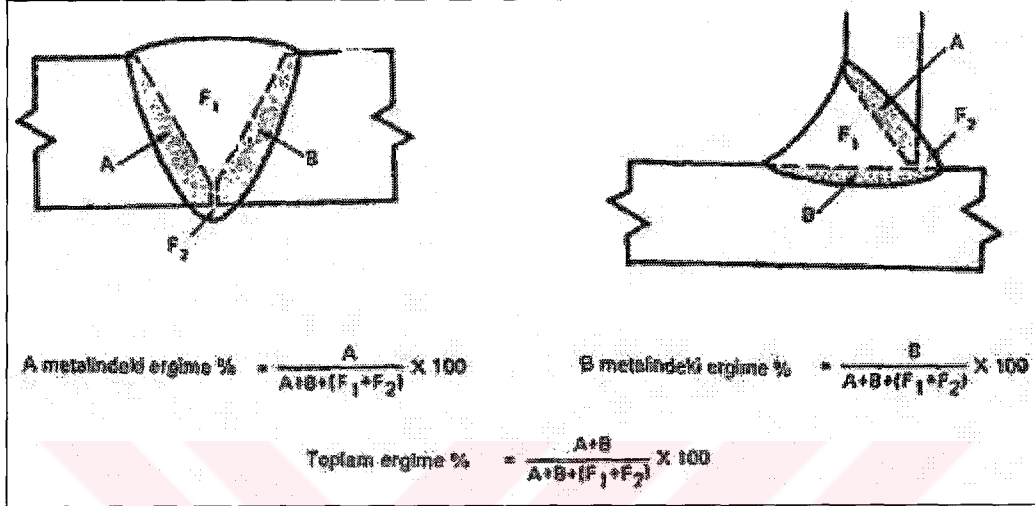
Yüzde Bileşimler (%)			
Element	Cr-Mo çeliği	316 Tip paslanmaz çelik	İlave Malzeme
Cr	2,5	17	20
Ni	-	12	72
Mo	1	2,5	-
Fe	95,5	63	3

$$\% Cr = 0.15 (2.5) + 0.20 (17) + 0.65 (20) = 16.8$$

$$\% Ni = 0.20 (12) + 0.65 (72) = 49.2$$

$$\% Mo = 0.15 (1) + 0.20 (2.5) = 0.65$$

Şekil 2.10' da ise A, B esas metallerinin F ilave malzemesi kullanılarak gerçekleştirilen kaynağında, ergime oranlarının hesaplanması şematik olarak gösterilmiştir.



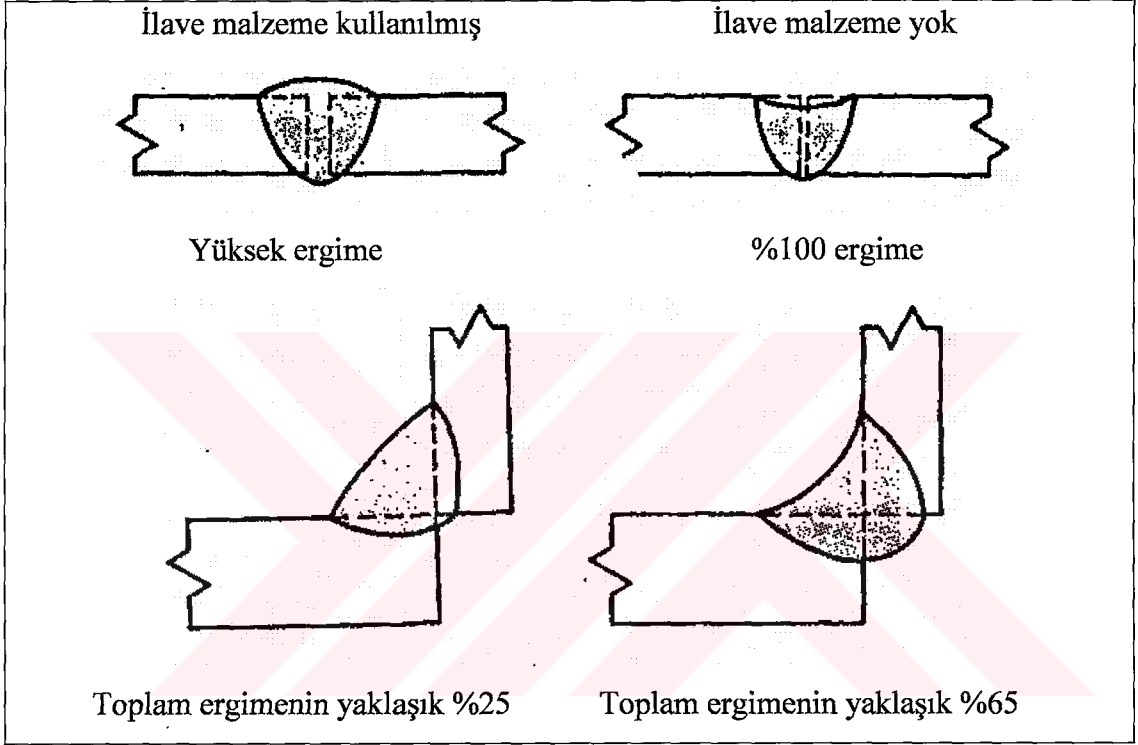
Şekil 2.10. Farklı metallerin kaynağında ergime oranlarının hesaplanması (Weisman 1984a)

Bir kaynak bağlantısında ergime miktarı; kaynak ağzının şekline, malzeme kalınlığına, kaynak akımına, kaynak gerilimine, kaynak hızına, kullanılan kaynak tozuna veya kaynak gazına, kaynak pozisyonuna ve kaynak tekniğine bağlıdır. Yukarıdaki faktörlerin uygun ve yerinde seçilmesi halinde, çeşitli kaynak usullerinde, esas metalin ergime oranları aşağıdaki sınırlar arasında bulunur; (Anık vd.,1993; Jeffus, 1993)

- TIG- MIG kaynağı % 25- 30
- MIG kaynağı % 25- 40
- Elektrik ark kaynağı% 25- 40
- Toz altı kaynağı..... % 25- 60

Tek pasolu kaynaklarda ise kalın kesitli parçaların kök pasolarında esas metalin ergimesi daha fazladır. Kalın kesitli malzemelerde yan yana pasoların bulunduğu kaynak dikişinin orta bölgelerinde ise, esas metalin ergime oranı daha azdır.

Mümkün merteye esas metalin ergimesi az olacak şekilde, kaynak tekniği kontrol edilmelidir; fakat seçilen ilave malzeme kök pasolarında fazla erimeye müsait olmalıdır. Erime oranı hakkında yaklaşık olarak karar verdikten sonra, kaynak dikişinin kimyasal bileşimini hesaplamak mümkün olur. Şekil 2.11’de ise yine farklı metelsel malzeme kaynak tasarımları için esas metallerde ki ergime durumları gösterilmiştir (Weisman, 1984a).



Şekil 2.11. Farklı metelsel malzeme kaynak tasarımları için esas metal ergime durumları

2.4.6.3. İlave metal seçimi

İşletme koşulları altında iyi bir performans sağlaması istenen farklı metelsel malzeme bağlantıları için, uygun ilave malzeme seçimi önemli bir noktadır. Farklı metallerin kaynağının bir amacı; metallere arasındaki istenmeyen metalürjik etkileşimleri minimuma indirmektir. Bu sebepten seçilen ilave malzeme her iki metalle de uyumlu olmalıdır.

İdeal anlamda, ilave malzeme aşağıdaki karakteristiklere sahip kaynak bağlantısını sağlamalıdır

Sağlamlık; ilave malzeme, kaynak havuzunda çatlak riski meydana getirmeyecek şekilde, esas metallerle ergiyebilme özelliğine sahip olmalıdır. Kaynak metalinde gözenekli yapı ve kalıntılar oluşturmamalıdır. Şekilsel stabilite; işletme koşulları altında kaynak metali, şekilsel stabilizesini korumalıdır.

Fiziksel özellikler; kaynak metalinin fiziksel özellikleri, esas metallerle uyumlu olmalıdır. Isısal genleşme katsayısı, değişken sıcaklık esnasında iç gerilmeler yönünden önemlidir. Kaynak metalinin ısısal genleşme katsayısı, esas metallerin ısısal genleşme katsayılarının arasında, (genellikle ortasında olması istenir) olmalıdır. Eğer tasarım gereksiniminde önemli ise, ısısal ve elektriksel iletkenlikler içinde aynı kural geçerlidir.

Mekanik özellikler; kaynak metali, işletme koşulları altında, en azından zayıf metal kadar dayanıklı olmalı ve zayıf metalin sahip olduğu genleşme özelliğine sahip olmalıdır.

Korozyon özellikleri; kaynak metalinin korozyon direnci esas metallerin korozyona olan dirençlerine eşit olmalıdır veya daha yüksek olmalıdır ki, kaynak bağlantısı işletme şartları altında darbelere veya ısısal etkilere karşı özelliklerini koruyabilsin (Weisman, 1984a).

Bu özelliklere ilave olarak aşağıdaki önerilerde ilave malzeme seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır;

➤ Esas metallerin ergime sıcaklıkları arasındaki fark çok büyük ise; ilave malzeme normal olarak düşük ergime sıcaklığına sahip metale bağlı olarak seçilmelidir. Kaynak işlemi için seçilmiş olan uygun ilave malzeme bu esas metalle beraber ergitilecektir. Ergimiş olan ilave malzeme, diğer bağlantı elemanında yüzeyini ıslatıp bağlantıyı kolaylaştıracaktır. Eğer yüksek ergime sıcaklığına sahip bir ilave malzeme

elde olmayan sebeplerden dolayı kullanılmış olsaydı; düşük ergime sıcaklığına sahip esas metaldeki ergime çok fazla olacaktı.

➤ İlave malzemenin, farklı metallerin ısısal genişleme karakteristiklerindeki farklılıklar dolayısıyla sıcaklık değişikliklerinin sebep olduğu gerilmeleri tolere edebilmesi için, yeterli genişleme özelliğine sahip olması gerekmektedir, (çatlak oluşturmadan ve mekanik özelliklerde önemli bir düşüş meydana getirilmeden)

Bazı ilave malzemelerinin kaynak metallerinde ki ergime durumları aşağıdaki gibidir;

2.4.6.3.1. Karbonlu ve hafif alaşımlı çelikten üretilmiş ilave metallerde erime durumu

Demir her oranda eriyebilir ve bunun fazla bir sakıncası yoktur. Nikel, krom, karbon, silisyum ve manganez gibi elementlerin kaynak metaline etkileri Schaeffler diyagramında gösterilmiştir. Genel amaç, çok sert ve kırılgan olan tamamen martenzitik bir yapının oluşmasını önlemektir. Dolayısıyla karbonlu ve hafif alaşımlı çelikten imal edilen ilave metaller, nikel esaslı alaşımların, paslanmaz çeliklerin ve yüksek sıcaklık dökme taşımalarının kaynağında kullanılmamalıdır.

Bu tip ilave metallerde bakır miktarı az olmalıdır. Bu da nikelin gösterdiği etkiyi gösterir. Bakır miktarı artarsa, sıcak kırılganlık tehlikesi ortaya çıkar. Bu nedenle karbonlu ve hafif alaşımlı çelikten imal edilen ilave metaller, bakır ve bakır esaslı alaşımların kaynağında da kullanılmamalıdır.

2.4.6.3.2 Östenitik çelik ilave metallerde erime durumu

Demir, nikel, krom, silisyum, manganez ve karbonun etkisi, yine Schaeffler diyagramından hesaplanabilir. Tamamen östenitik yapılar, sıcak çatlama duyarlı olduklarından, böyle durumlardan kaçınılmalıdır. Benzer tarzda martenzit oluşumu da istenmeyen bir durumdur. Çatlama karşı dayanıklı ve gevrek olmayan bir yapı, östenit ve %4-10 ferritten meydana gelir. Dolayısıyla da uygulamada dikkatli bir

seçimle, östenitik ilave metaller, karbonlu ve hafif alaşımlı kromlu çeliklerin, paslanmaz çeliklerin ve benzer bileşimlerdeki yüksek sıcaklık dökme alaşımlarının kaynağında kullanılabilir. Nikel esaslı alaşımlarda ve fazla miktarda nikel içeren yüksek sıcaklık dökme alaşımlarında östenitik ilave metaller kullanılmamalıdır.

Karbonlu ve hafif alaşımlı ilave metallerde olduğu gibi östenitik ilave metallerde de bakır kötü bir etkiye sahiptir. Bunun için bakır ve bakır esaslı alaşımların kaynağından sakınılmalıdır.

2.4.6.3.3. Kromlu çelikten üretilmiş ilave metallerde erime durumu

%3-30 oranında krom içeren krom-demir veya krom-çelik malzemeler mevcuttur ve bunlara uygun bazı ilave metaller kullanılabilir. Bununla beraber yüksek kromlu kaynak metallerinde tane büyümesi ve porozite tehlikesi baş gösterir. Bunu önlemek içinde genellikle östenitik veya nikel esaslı ilave metaller kullanılmaktadır. Erimenin etkisi Schaeffler diyagramından önceden tespit edilebilirse de pratik olarak, farklı malzemelerin kaynağında krom-demir veya krom-çelikten mamul ilave metaller kullanılmamalıdır.

Kromlu çelikten mamul ilave metaller kullanıldığında, bakırın varlığı istenmez, dolayısıyla da bakır ve bakır esaslı alaşımların kaynağında bu cins ilave metaller kullanılmamalıdır.

2.4.6.3.4 Saf nikelli ilave metallerde erime durumu

Nikel ve bakır, bütün bileşim seviyeleri için uygundur ve basit bir katı eriyik serisi meydana getirirler. Dolayısıyla da her seviyede nikel ve bakırın erimesine müsaade edilir. Nikel esaslı ilave metallerde, kabul edilebilen maksimum krom erime oranı %30-35 civarındadır. Bu oranın üzerine çıkıldığında istenilen özellikler kaybolur ve yapı kararsız hale gelir.

Nikel kaynak elektrodu (ASME-SFA. 5.11-Class ENi-1 veya DIN 1736-S-NiTi3) kullanıldığında, eriyik içerisinde %40 oranında demir bulunmalıdır. Nikel kaynak teli (ASME-SFA. 5.14-Class ERNi-1 veya DIN 1736-S-NiTi4) kullanıldığı zaman ise, demirin oranı %25-30' u geçerse, sıcak çatlama problemi ortaya çıkmaktadır.

2.4.6.3.5. Nikel-bakırdan imal edilen ilave metallerde erime durumu

Nikelden imal edilen ilave metallerde olduğu gibi, nikel ve bakırın her oranda erimesine izin verilir. Dolayısıyla her oranda erime, çatlama tehlikesi olmaksızın uygun görülebilir. Nikel-bakırdan (monel) imal edilen ilave metallerde kromun etkisi kötüdür ve krom miktarı %6' dan fazla olursa, ciddi çatlaklar oluşur.

Demirin erime etkisi, ilave metal ve kaynak yöntemine göre değişir. Monel kaynak elektrodu (ASME-SFA. 5.11-Class ENiCu-7 veya AWS-A5.11-Class ENiCu-7) ile %30 oranında erimeye müsaade edilir ve bu oran aşıldığında sıcak çatlama meydana gelebilir. TIG ve MIG kaynak yöntemlerinde kullanılan monel kaynak teli (ASME-SFA. 5.14-Class ERNiCu-7 veya DIN 1736-S-NiCu30MnTi) kullanıldığında, çatlama karşı %10-15 oranında demirin erimesine müsaade edilir. Gerilme giderme tavlama gerekiyorsa TIG ve MIG kaynağında %5 kadar düşük orandaki demir miktarı bile problem yaratabilir (süneklik azalır).

Nikel-bakır içeren kaynak metallerde %0.4' den fazla karbon miktarı, grafit çökelmesine neden olur ve dolayısıyla süneklik azalır. Bununla birlikte %1.5' den fazla silisyum, kaynak metalinin sünekliğini ciddi derecede azaltır. Diğer taraftan manganezin faydalı etkisi vardır ve sünekliği artırır.

2.4.6.3.6. Nikel-demir-kromdan imal edilen ilave metallerde erime durumu

Çatlama problemi söz konusu olmadan nikelin her seviyede erimesine müsaade edilir. Tamamlanmış kaynak metalinde müsaade edilebilen maksimum krom erime miktarı %30-35 civarındadır. İlave metallere %20-30 civarında krom içerdiğinden, kromun erimesinden dolayı çıkabilecek problemler, ancak kaynak edilen malzeme

%30' dan fazla miktarda krom ihtiva ettiği zaman söz konusu olmaktadır. Bunun için ASME-SFA. 4.14-Class ERNiFeCr-1 tercih edilmelidir (%19.5-23.5 Cr içerir).

Müsaade edilen maksimum demir erime oranı %10-15 civarındadır. Bu miktarın üzerine çıkılırsa, tamamlanmış kaynak metali tamamen östenitik paslanmaz çeliğe benzer ve sıcak çatlama tehlikesi ortaya çıkar. Bu da nikel-demir-krom esaslı ilave metallerin yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabileceğini, fakat karbonlu çeliklerde kullanılamayacağını göstermektedir.

Çatlama problemlerinin ortaya çıkmaması için müsaade edilebilen maksimum bakır erime oranı %15 civarındadır. Bu tip ilave metallerde karbon, silisyum ve manganezin erime seviyelerinin herhangi bir çatlama tehlikesi doğurmayacağı beklenmektedir. Fakat silisyum %1 oranından fazla olduğu zaman, çatlama karşı direnci azalttığından, bir istisna olarak kabul edilmektedir (Anık, 1993a; Anık, 1988).

Çoğu zaman bu faktörlerin hepsi birden yerine getirilmeyebilir. Dolayısıyla da bazı faktörlerden fedakarlık yapılmak zorunda kalınır. Bütün bu sıralanan özelliklerle beraber, birleştirilen metalsel malzeme çiftlerinin özelliklerine bağlı olarak uygun kaynak prosesinin seçimi önemlidir.

Patlamalı kaynak yöntemi; çok farklı, uyumsuz metaller olarak da adlandırılan, metallerin birleştirilmesinde kullanılabilen bir kaynak yöntemidir. Patlamalı kaynak yönteminde bileşim; noktasının özellikleri, iki esas metalden zayıf olanına eşittir. Bu yöntemde minimum düzeyde ısı açığa çıktığı için, çok düşük ergime vardır ve hiç bir termokimyasal bileşen oluşmaz. Patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirilebilecek malzeme çiftleri: alüminyum-çelik, alüminyum-paslanmaz çelik, alüminyum-bakır v.b.

Soğuk kaynak yöntemi de farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bir başka yöntemdir. Bu proseste de ısı kullanılmaması dolayısıyla ısı birikimi ile ilgili problemlerle karşılaşmaz. Soğuk kaynak yöntemi genellikle alüminyumun ve bakırın birleştirilmesinde kullanılmaktadır.

Ultrasonik kaynak yöntemi de farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır ve bağlantı bölgesinde çok az ısı oluşur. Ultrasonik kaynak yöntemi sadece çok ince malzemelerin birleştirilmesinde kullanılabilir.

Sürtünme kaynağı yöntemi de farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Sürtünme kaynağı yöntemi ile çok farklı metalsel malzeme kombinasyonları birleştirilebilmektedir; çelik-bakır alaşımları, çelik- alüminyum, paslanmaz çelik- nikel alaşımları v.b. Sürtünme kaynağında, sadece esas metalin çok küçük bir kısmı ısınır ve ergiyen bu kısım bağlantıdan dışarı atılır. Böylece ısı etki seviyesi minimum seviyededir.

Yüksek frekanslı direnç kaynağı da yaygın bir biçimde farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır. Bu proses de, ısı birleştirilecek bölümlerin bir çok yüzeyine etki ettirilir ve yeteri derecede de basınç uygulanarak farklı metalsel malzemelerin kaynağı gerçekleştirilir. Bu yöntem bakırın çelikle birleştirilmesinde çok yüksek hızlarda uygulanabilmektedir.

Difüzyon kaynağı, havacılık alanında farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır, difüzyon kaynağı özellikle endüstrideki soğuk hava depolarında, dondurucularda, gaz dolmuş tesislerinde Al-Cu boruların birbirleriyle kaynağında kullanılmaktadır. Bu yöntem ilave olarak lazer ışın kaynağından da havacılık sektöründe sıkça yararlanılmaktadır.

Elektron ışın kaynağı da farklı metallerin birleştirilmesinde çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Elektron ışın kaynağında yüksek yoğunluk enerjisi ve yüksek kaynak hızı kullanılır. Genel olarak kaynak bölgesi küçüktür ve ilave malzeme kullanılmamaktadır.

Yakma alın kaynağı prosesi ile de bakır ve alüminyum malzemelerinin, farklı takım çeliklerinin arasındaki kaynak bağlantılarında daha yüksek kalite sağlanır. Gerçekleştirilen kontroller sonucunda ergimiş metalin büyük bir kısmının bağlantı noktasından fırladığı görülmüştür ve kaynak katı hal prosesi olarak tamamlanır.

2.4. Farklı Ferritik Çeliklerin Kaynağı

Farklı ferritik çeliklerin birbirleriyle birleştirilmesi sırasında ortaya çıkan problemler çözülemez ağırlıkta değildir. Ancak yine de çatlama riskini ve gereksiz yere özel dolgu malzemeleri kullanımını önlemek amacıyla aşağıda belirtilen esaslara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- 1) Yöntem seçimi
- 2) Dolgu malzemesinin belirlenmesi
- 3) Kaynak işlemi
- 4) Isıl işlem

2.5.1. Yöntem seçimi

Birleştirilecek çeliklerden birinin kimyasal bileşimi çatlama riskini arttıracak ya da kaynak metalinin özelliklerini kötü yönde etkileyecek durumda ise göreceli küçük metalsel banyolu bir kaynak yönteminin seçilmesi gerekmektedir. En çok incelenen iki çelik türü orta ve yüksek karbonlu çelikler olup örneğin mühendislik çelikleri ve yüksek kükürt içeren otomat çelikleri bu gruba girmektedir.

Yüksek karbonlu çeliklerde; tozaltı kaynağı, elektrocuruf ve MIG (sprey ark) kaynak yöntemleri yüksek seyrelme seviyelerine neden oldukları için kaynak metalindeki karbon miktarının yükselmesine yol açar. Bunun sonucunda sıcak kırılma riski artmakta ve kaynak metalindeki hidrojen çatlağı olasılığı ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde otomat çeliklerindeki kükürt eğer kaynak metalinde yüksek seviyelerde seyreliyorsa sıcak kırılma riski yine artar. Bu tür çeliklerin kaynağı için önerilen kaynak yöntemi düşük akım seviyelerinde kullanılan bazik elektrodla MMA (örtülü elektrodla ark) kaynağıdır. Düşük akım seviyesi zararlı seyrelmeyi azaltmakta, bazik örtü ise kaynak dikişindeki kükürt içeriğini görmektedir.

Her iki çeliğin kaynağında da kaynağı daha zor olan çeliğe ön kaplama yönteminin uygulanması problemi büyük ölçüde azaltabilmektedir. Kaynak kabiliyeti az olan çeliklerin ön kaplama adı verilen bir teknik kullanılarak kaynak edilmesiyle oldukça

başarılı uygulamalar elde edilmiştir. Bu işlemin temelinde kaynak ağzının, dönüşüme uğrayan bölgesinden (ki bu bölge genelde IEB' dir) daha kalın ve yumuşak çelikten bir tabaka ile örtülmesidir. Bu yöntem genellikle serbest saclara uygulandığı için istenmeyen gerilmeler oluşmamakta ve prensipte çatlaklarla karşılaşılmamaktadır. Birleştirme işlemi ise yumuşak çelik tampon üzerine yüksek mukavemete sahip bir elektrod ile gerçekleştirilir. Bu yöntem sayesinde kaynağı zor olan çeliğe ön kaplama işlemi uygulandıktan sonra diğer pasolar daha yüksek akım seviyelerinde gerçekleştirilebilmektedir.

2.5.2. Dolgu malzemesinin seçimi

Bazı özel durumların dışında, dolgu malzemesinin mukavemeti çeliklerden düşük mukavemetlisine uygun olacak şekilde seçilmelidir. Bağlantıda bundan daha yüksek bir mukavemete gerek duyulmaz ve mukavemeti daha yüksek bir kaynak metalinin kullanılması çatlama riskini, özellikle kaynak metalinde hidrojen çatlağı riskini kaçınılmaz şekilde arttırır. Çatlama riskini en aza indirmek ve daha yüksek bir tokluk sağlamak için düşük hidrojenli bazik elektrodlar kullanılarak MMA kaynağı uygulanmalıdır. Yumuşak çelikler ya da çekme dayanımı 500 N/mm²'ye kadar olan C-Mn çeliklerinin MMA kaynağı için E7016 veya E7018 elektrodları uygun olup bunlar mukavemet değeri daha yüksek çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan ve daha yüksek dayanımlı kaynak metali veren elektrod tiplerinden daha düşük maliyetlidir. Bu duruma uymayan tek uygulama, ferritik elektrodların kullanıldığı ve normalleştirme ya da sertleştirme gerektiren bağlantılarda bu işlemler sonucunda kaynak metalinde mukavemet kaybı olan uygulamalardır. Bu tür uygulamalarda eğer bazı ısıl işlemler yapılmışsa ısıl işlem sonrası bağlantının mukavemetinin uygun olup olmadığı veya özel dolgu malzemelerine ihtiyaç duyulup duyulmadığının belirlenmesi amacıyla testler yapılmalıdır.(N.Bailey 1986)

Orta ya da yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında ön ısıtma işlemini ve elektrodun kurutma gereksinimlerini azaltmak amacıyla yaklaşık 750 daN/mm² çekme mukavemetine sahip Ostenitik tip elektrodlar sık olarak kullanılır.

Normal şartlarda, dolgu malzemesi mukavemetinin kaynak edilecek iki çelikten daha zayıf olmasına uyacak şekilde seçilmesine rağmen kaynak yöntemi bu iki çelikten daha çok çatlak ihtimali yaratabilecek olanına yani daha mukavemetli olanına göre seçilmelidir. Aynı zamanda her iki çeliğinde IEB' indeki tokluklarını koruyacak şekilde bir ön ısıtma, pasolar arası sıcaklık ve ısı girdisinde bazı sınırlamaları dikkate almak gerekmektedir.

Maksimum karbon eşdeğeri 0.49 olan bir C-Mn çeliği ile düşük alaşımlı yüksek mukavemetli (800 N/mm^2) çeliğin kaynağında bazı problemler ortaya çıkabilir. Hidrojen çatlağını önlemek için C-Mn çeliği yüksek mukavemetli çeliğin gerektirdikleri de dikkate alınarak kaynak edilmiştir. Bu işlem sırasında ön tav sıcaklığı $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ı geçmemiş, pasolar arası sıcaklık $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ile sınırlanmış ve ısı girdisinin 2.2 kJ/mm' yi aşmaması sağlanmıştır. Orta seviyede hidrojen içeren dolgu malzemeleri ile örneğin nispeten kötü koşullarda ve kurutulmamış bazik karakterli MMA elektrodları ile yaklaşık 80 mm' yi geçen bağlantı kalınlıklarında güvenli bir kaynak işlemi seçmek mümkün değildir. Bu durum özellikle C-Mn çeliğinin gerektirdiği $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ı aşan ön ısıtma ya da 2.2 kJ/mm' den daha yüksek ısı girdisi ile yapılan kaynak koşullarının sağlanamaması nedeninden kaynaklanmaktadır.

2.5.4. Isıl işlemin seçimi

Farklı kimyasal bileşimde olan ferritik çelikler arasındaki bağlantıların, kaynak sonrası ısıl işlemleri sırasında uygun bir gerilim giderme işlemi gerçekleştirmek ya da Çeliklerden birinin sürünme direnci ve tokluğunu olumsuz yönde etkileyebilecek sert bir IEB' i temperlemek amaçlanır. İki çeliğin maksimum kaynak sonrası ısıl işlem sıcaklıkları arasındaki farklılık 20°C ' den fazla değilse bir uyum söz konusudur.

BS 1501-224 kalite bir C-Mn çeliği ile BS 1504-245 kalite bir C/0.5 Mo çeliği basındaki bağlantının ısıl işleminde, bağlantının C/0.5 Mo tarafı daha büyük önem taşır. C/5 Mo çeliğinin kaynak sonrası ısıl işlem alt limit sıcaklığı C-Mn çeliğinininkinin üst limitinden sadece $10 \text{ }^\circ\text{C}$ yüksektir. Bu nedenle amaçlanan ısıl işlem sıcaklığı C/0.5Mo' nun alt limit sınırına doğru $640 \text{ }^\circ\text{C}$ olacak şekilde seçilecektir.

Eğer C/0.5 Mo ile 1 Cr/0.5Mo çelikleri edilecekse ısıtılma sıcaklığı her iki çeliğinde ısıtılma sıcaklık aralığının dışına çıkmadan 660 °C olarak seçilebilir (kaynak sonrası ısıtılma sıcaklıkları C-Mn için 580–620°C, C/0.5 Mo ve Cr/0.5 Mo için 630–670 °C) dir.

Cr-Mo'li basınçlı kap çeliklerinin yumuşak çeliğe veya yüksek mukavemetli su verilmiş ve temperlenmiş çeliklere kaynağında düşük temperleme sıcaklıkları kullanılır. Bu tür çeliklerin kaynak sonrası ısıtılma sıcaklıkları arasında büyük farklılıklar vardır (Odabaş,1992).

2.6. Dökme Demirlerin Çeliklere Kaynağı

Nikel esaslı örtülü elektrodlarla gerçekleştirilen ark kaynağı yöntemi (MMA), dökme demirlerin kaynağında oldukça sık kullanılmaktadır. Bu elektrodların verdiği kaynak dikişleri, parçaya ön tav vermeden gerçekleştirilen uygulamalarda bile kolayca işlenebilmektedir.

Örtülü elektrodlarla ark kaynağı yöntemi (MMA), oksii-asetilen kaynağı ile karşılaştırıldığında oldukça hızlıdır.

2.6.1. Dökme demirlerin kaynağında kullanılan ilave malzemeler

ENİ-C1 (Nikel) grubu:

Bu gruba giren elektrodlar kır dökme demirlerin birbirleri ile ve diğer demir esaslı olan yada olmayan metallerle birleştirilmesinde ve dökme demirlerin onarılması işlemlerinde kullanılır. Sağlıklı kaynak dikişleri, fosfor içeriği çok yüksek olmayan küçük ve orta büyüklükteki parçalarda gerçekleştirilen düşük gerilme değerine sahip bağlantılarda elde edilmektedir.

Saf nikelli elektrodların mukavemet değerleri ENiFe-C1 grubuna oranla daha düşük olduğu için bunlar sadece yüksek seyrelme oranlarında bile maksimum işleme

kabiliyeti istenen uygulamalarda kullanılmalı aksi halde ENiFe-CI grubu ürünler tercih edilmelidir. ENi-CI türü elektrodlar temper dökme demirlerde de kullanılırlar.

ENİ-C1-A (Nikel) grubu:

Bu gruba giren ürünler ENi-CI grubu elektrodların kullanıldığı tüm uygulamalar için elverişlidir. ENi-CI-A grubu elektrodların örtüleri ENi-CI'e oranla daha fazla alüminyum içermekte olup bu sayede, oluşan cüruf tabakası ve akışkanlık gibi konularda çeşitli avantajlar sağlamaktadırlar. Bunların başında alüminyumun kaynak metali için alaşım elementi görevi görerek sünekliği arttırması gelmektedir.

ENiFe-CI (Nikel-Demir) grubu:

Bu gruptaki elektrodlar çeşitli türdeki dökme demir parçaların birbirleri ile, çeliklerle ya da demir dışı metallere birleştirilmesinde ve dökme demirlerin onarılması işlemlerinde kullanılmaktadır, % 0.20' den daha fazla fosfor içeren dökümlerin kaynağında ENi-CI grubundaki elektrodlara oranla daha çok tercih edilirler. Bu gruba giren ürünlerle yapılan deneylerde kalın, yüksek gerilimli ve yüksek mukavemetli dökme demirlerin kaynağında çok iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür.

ENiFe-CI-A (Nikel-Demir) grubu:

Bu gruba giren ürünler ENiFe-CI grubu elektrodların kullanıldığı tüm uygulamalar için elverişlidir. ENiFe-CI-A grubu elektrodların örtüleri ENiFe-CI'e oranla daha fazla alüminyum içermekte olup bu sayede, oluşan cüruf tabakası ve akışkanlık gibi konularda Çeşitli avantajlar sağlanmaktadır. Bunların başında alüminyumun kaynak metali için alaşım elementi görevi görerek sünekliği arttırması gelmektedir.

ENiFeMn-CI (Nikel-Demir-Manganez) grubu:

Bu elektrodlar nikel-demir sistemine yaklaşık %12 mangan ilavesi ile elde edilmiş olup sayede kaynak metalinin çatlama direnci ve erimiş metalin akışkanlığı arttırılmıştır. Manganez aynı zamanda çekme dayanımı ve sünekliği de

yükseltmektedir. Elde edilen bu çekme dayanımı değeri küresel grafitli dökme demir üzerine ENiFe-CI grubundaki ürünlerle yapılan kaynak dikişinin verdiği mukavemete yakındır. ENiFeMn-CI grubu elektrodlar aşınma dayanımını arttırmak amacıyla dökme demir parçaların yüzeylerinin kaplanması işlemlerinde de kullanılmaktadır.

ENiCu-A ve ENiCu-B (Nikel-Bakır) grubu:

Bu gruba giren elektrodlar ENiFe-CI, ENiFe-CI-A ve ENiFeMn-CI grubu elektrodların kullanıldığı uygulamaların çoğunda kullanılmaktadır. Buna karşın bu elektrodlar, ana metalle yüksek oranda seyrelme yapmaları durumunda çatlamalara neden olduğu için özellikle düşük nüfuziyet ile gerçekleştirilen uygulamalarda tercih edilmelidir.

2.6.2. Isının etkisi altında kalan bölgede ortaya çıkan problemler

Dökme demir yapısında %1.7-4.5 karbon, %3.5 silisyum, mangan, kükürt ve fosfor içeren bir FeC alaşımıdır. Dökme demirin özelliklerini arttırmak amacıyla nikel, molibden, krom, bakır ve titan gibi alaşım elementleri de yapıya katılmaktadır. Bu elementler içerisinde gerek dökme demirin mekanik ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde belirleyen, gerekse kaynak kabiliyetini doğrudan etkileyen ana element karbondur. Karbon miktarının yüksek olması, sıvı haldeki akışkanlığı artırarak döküm yoluyla kolay şekil verme olanağı sağlarken gerekli önlemlerin alınmaması halinde kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir.

Dökme demirlerin kaynağı sırasında kaynak bölgesindeki soğuma hızı oldukça önemlidir. Yüksek miktarda karbon içeren bir demir alaşımı olan kır dökme demir sıvı halden katı hale geçerken, soğuma hızının kontrol altında tutulmaması sonucu, yapıdaki karbon grafit halinde ayrılmadan sementit halinde kalır. Bilindiği gibi sementit (Fe_3C) %6.67 karbon içeren ve yaklaşık 1130 °C' da oluşmaya başlayan en sert (=800 HB) Fe-C alaşımı fazı olup denemeyecek kadar serttir ve kırılma eğilimi de oldukça yüksektir.

Yukarıda belirtilen oluşum mekanizmasından şu sonucu çıkarmak mümkündür. Eğer dökme demirin kaynağında kaynak banyosu ve kaynak dikişine komşu olan bölge kaynak işleminden sonra normal şartlarda soğumaya bırakılırsa tüm kaynak bölgesinde sert ve kırılğan bir yapı meydana gelir ve oluşan bu yapı genellikle ısınmayı izleyen soğuma sırasında ortaya çıkan kendini çekme gerilimlerine dayanamayarak çatlar.

2.6.3. Isının etkisi altında kalan bölgede ortaya çıkan problemler için çözüm önerileri

1- Dökme demirin endüstriyel alandaki kaynağının %90'ından fazlası ark kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Arktaki yoğun ısı miktarı kaynak için gereken erimeye neden olurken bağlantının sadece küçük bir bölgesi ısınmakta, bu bölge ile parçanın soğuk kısımları arasındaki yüksek sıcaklık farkı hem yüksek soğuma hızlarına hem de büyük genleşme ve çekme gerilmelerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Parçaya 600 °C ön tav işlemi uygulanması halinde kaynak bölgesi ile parçanın diğer kısımları arasındaki sıcaklık farkı azalacağından kaynak bölgesindeki ısı çevre metale hızlı bir şekilde yayılmayacak ve böylece IEB'de sementit oluşma riski azalacaktır. Bu yöntem teknikte sıcak kaynak yöntemi olarak ta adlandırılmaktadır.

2- Kaynak dikişine bitişik bölgede fazla miktarda sementit oluşmasına imkan vermemek için kullanılan bir diğer yöntem de kaynak bölgesine mümkün olduğu kadar az ısı uygulamak ve sementit meydana getirmeyen bir dolgu metali kullanmaktır. Soğuk kaynak yöntemi olarak adlandırılan bu yöntemde kaynak işlemi sırasında dikişler elektroda salınım verilmeden kısa çekilir ve her dikişten sonra çekiçlenerek kaynak bölgesi kontrollü olarak soğumaya terk edilir.

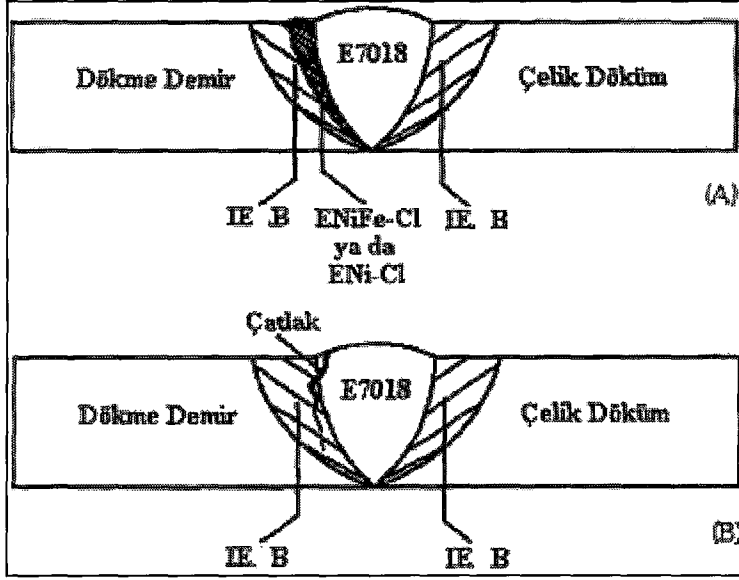
Yukarıda belirtilen iki maddede de esas olan, soğuma hızlarının düşürülerek yapıda sementit oluşma riskinin azaltılması ve çatlama hassas bir bölgenin meydana gelmesinin önlenmesidir.

Dökme demirlerin kaynağında kullanılan elektrodlar yüksek miktarda nikel içerdiği için bu sayede kaynak dikişinin soğuma hızı etkisiyle sert bir yapıya bürünmesi engellenmektedir. Bunun nedeni nikelin, demirin aksine karbonu katı halde çözme yeteneğinin çok düşük olması ve bunun sonucunda kaynak banyosu katılaştıkça karbonun Çözüldükten atılarak grafit halinde çökmesidir. Karbon, kaynak metalinde bu şekilde bir davranış gösterirken durum dikişe komşu olan bölgelerde daha farklıdır. Bu bölgeler, yani ısının etkisi altında kalan 0.75-2.5 mm genişliğindeki bölgeler, dökme demirin yapısı gereği yüksek oranda karbon içermekte olup, nikelin sementit oluşumunu engelleme konusunda sağladığı avantajlardan yararlanamamaktadır.

Sonuç olarak kaynak işlemi sırasında nikel içeriği yüksek elektrodların kullanılması ile sağlıklı bir dikiş elde edilmesine karşın bunun IEB'de gerçekleşebilmesi ancak soğuma hızının kontrol altına alınması ile mümkün olabilmektedir.

2.6.4. Tampon tabaka ile sıvama

Dökme demirlerin alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklere birleştirilmesi işlemlerinde AWS A5.1 e göre E7015, E7016, E7018, E7028 gibi hidrojen seviyesi düşük olan elektrodlar gerek kullanım kolaylıkları gerekse kolayca bulunabilmeleri ve ucuz olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Bu tür elektrodlar ana metalle renk uyumu açısından problem yaratmazken dökme demir üzerine doğrudan bir paso çekildiklerinde, ilk pasoda yığılan kaynak metali %0.8-1.5 arasında değişen yüksek oranlarda karbon içerir. Elde edilen dikiş, iç yapı bakımından yüksek karbonlu çelik olup bu nedenle çok gevrek ve çatlama karşı oldukça hassastır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. A= Ön kaplama yapıldıktan sonra gerçekleştirilen bağlantı ve Ni esaslı bölgeye rastlayan IEB B= Ön kaplama yapılmadan gerçekleştirilen bağlantı ve dökme demir üzerindeki IEB (Odabaş, 1992).

Bu problemin ortadan kaldırılabilmesi için C-Mn türü bir ürün kullanılmadan önce dökme demirin ENi-Cl ya da ENiFe-Cl grubundaki bir ürünle ön kaplama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Ön kaplama işleminde ENi halinde üst üste en fazla 2 paso atılmalıdır. Zira saf nikelli elektrodların çekme dayanımları düşük olduğu için mekanik açıdan oldukça zayıf kaynak bağlantıları verirler. Bunun yanında saf nikelli kaynak dikişlerinin ısıl genleşme katsayısı dökme demirin ısıl genleşme seviyesinden farklı olduğu için özellikle kalın kesitlerin doldurulmasında dikişin çatlama olasılığı artmaktadır.

Ön kaplama ile kaynak ağzını oluşturan yüzeylerin birleştirilmesi yöntemi özellikle farklı metallerin kaynağında ideale yakın bir bağlantının elde edilebilmesi açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntem genellikle düz yüzeylere uygulanmakta olup ön tav gerekliyse mutlaka gerçekleştirilmeli ve düşük ısı girdisi ile çalışmaya özen gösterilmelidir. Ön kaplama işleminde kullanılan ENi-Cl ya da ENiFe-Cl grubuna giren ürünler sıcaklık etkisi altında dönüşüme uğramamaktadırlar. Bu özellik sayesinde ısı etkisi altında kalan bölgenin genişliği kadar bir alana ön kaplama işleminin uygulanması sonucu IEB'de ortaya çıkan sorunlar büyük ölçüde giderilebilmekte ve birleştirme işlemi sırasında oluşan ısı sadece daha önceden

oluşturulan tampon dikiş etkisi altına alacağından özellikle IEB'deki sertlik artışlarının kontrol altına alınması mümkün olmaktadır.

2.7. Paslanmaz Çeliklerin Karbon Çelikleri ya da Düşük Alaşımli Çeliklere Kaynağı

Kimya fabrikalarının çeşitli proseslerinde düşük alaşımli karbon çelikleri kullanılmasına karşın birçok bölümde yüksek niteliklere sahip paslanmaz çeliklerin kullanılmasını zorunlu kılan nedenler bulunmaktadır.

Bu fabrikalardaki birçok farklı malzeme birbirleri ile flanşlı bağlantılarla birleştirilirken çeşitli zorlayıcı nedenlerden dolayı kaynaklı bağlantılarda sık olarak kullanılmaktadır. Sürtünme kaynağı, patlamalı kaynak, difüzyon kaynağı gibi yöntemlerin yanında sökülemeyen kaynak bağlantılarının büyük bir çoğunluğunu eritme kaynağı oluşturmaktadır. Eritme kaynağı özellikle östenitik çeliklerin karbon çelikleri ve düşük alaşımli ferritik çeliklerle olan kaynak işlemlerinde çok sık başvurulan bir yöntemdir. Bu kaynak yöntemine, özellikle östenitik paslanmaz çeliklerin karbon ve ferritik tip düşük alaşımli çeliklere birleştirilmesinde sık olarak rastlanmaktadır (Odabaş, 1992).

Ferritik çeliklerin, östenitik çeliklerle olan birleştirme kaynaklarında, östenitik çelikteki yüksek ısı genişemesinin kaynak esnasında neden olduğu gerilmeler ve çarpılmalar kaynak dikişindeki sıcak çatlama tehlikesini arttırır. Ark boyunun kısa tutulması (yaklaşık elektrod çapının yarısı) havadaki azotun kaynak dikişine geçerek östenit oluşumunun yükselmesini ve ferrit azalmasını önler. Dikişte yaklaşık %5-12 ferrit miktarının korunması gerekir. Ferritin fazla miktarda bulunması halinde çekme ve akma dayanımları yükselir fakat, büzülme, genişleme ve çentik darbe dayanımları düşer (Ergenç).

Bu tür birleştirme işlemlerinde kaynak dikişinin korozyon direncine ender olarak önem verilir. Çünkü dikişin sadece düşük alaşımli çeliğin dayanımına sahip bulunması çoğu zaman yeterlidir. Yine de kaynak metali bileşiminin geniş bir

aralıkta değişmesinin yanında, katılaşma çatlamları ve soğuk çatlamlar en belirgin ve önemli sorunları oluşturmaktadır (Odabaş, 1992).

2.7.1. Karşılaşılan problemler

Bu tür bağlantı uygulamaları incelendiğinde, dikkat edilmesi gereken dört temel hata türünün incelenmesi gerekir.

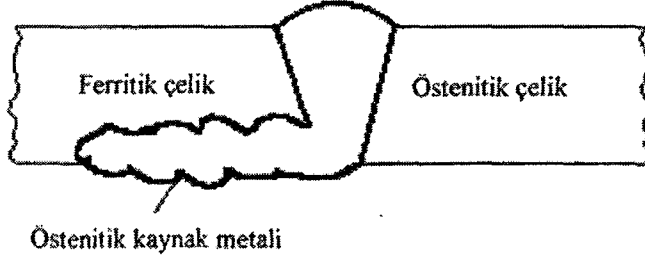
- 1- Gerilmeli korozyon çatlaması
- 2- Gevreklik kırılması
- 3- Karbon difüzyonu
- 4- Isıl yorulma

2.7.1.1 Gerilmeli korozyon çatlaması

Her türlü ergitme kaynak yönteminde kaynak dikişinde bir çekme gerilmesinin ortaya çıkacağı kaçınılmazdır. Çünkü erimiş halde bulunan sıvı metal katılaştığında doğal olarak kendini çekecek ve oda sıcaklığına ulaşılana kadar geçen süre içerisinde plastik deformasyona uğrayacaktır. Isıl genleşme katsayıları aynı ya da birbirlerine yakın olan malzemelerde oluşan bu gerilme değerleri uygun ısıl işlemler uygulanarak düşürülebilir. Ancak bu yöntem östenitik paslanmaz çeliklerin ferritik çeliklerle olan birleştirmelerinde pek olumlu bir sonuç vermez. Çünkü yüksek sıcaklık değerlerinde her ne kadar gerilme değerinde bir düşme görülse de sıcaklık azaldığında östenitik paslanmaz çelikler ferritik çeliğe oranla daha fazla çekme yapacağından sonuçta yapıda mutlaka kalıcı gerilmeler bulunacak ve uygun bir ortam bulunduğunda parçaların birinde ya da her ikisinde birden gerilmeli korozyon çatlakları oluşumu riski artacaktır.

Östenitik kaynak metali ve ferritik çelik arasındaki gerilmeli korozyon olayı erime sınırlarına çok yakın ve ona paralel olarak ortaya çıkmakta ve herhangi bir yöne doğru dallanma hareketi göstermemektedir. Bu durum gerilmeli korozyonu belirleyen tipik özelliklerden birini oluşturmaktadır.

Olumsuz koşulların neden olduğu gerilmeli korozyon çatlama her ne kadar hızlı bir şekilde ilerlese ilerlesin sözkonusu çatlama erime hattı boyunca kendini göstereceğinden bu hattın uzatılması çatlamanın ciddi sonuçlar vereceği zaman sürecini de uzatmaktadır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Gerilmeli korozyon direncinin artırılması amacıyla yığıma işlemi (Kaluç,1995).

2.7.1.2. Gevreklik kırılması

Ferritik çelikler geçiş sıcaklıklarında gevreklik kırılmasına uğrama eğilimindedirler. Ferritik çeliklerle ferritik çeliklerin birleştirilmesi işlemlerinde kaynaktan sonra uygulanacak bir ısıl işlem gevreklik kırılmasından uzak bir yapıya sahip sıcaklık aralığını arttırmaktadır. Oysa östenitik çeliklerle ferritik çeliklerin birleştirilmesi işlemleri için kesin bir test programı birlenmemiş olup bu gibi birleştirmelerdeki durum kesin olarak bilinmemektedir. Bu tür birleştirmelerde kaynak sonrası ısıl işlem bir oranda gevrekliği azaltacak buna karşın bağlantıda kalıcı gerilmeler artış gösterecektir.

Bir dizi % 3.5 Ni' li çeliğin östenitik çeliğe kaynağında bir 19Cr/10Ni/3Mo'li elektrod kullanılmış ve kaynak işleminden sonra gerilme giderme ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu tür kaynak bağlantıları -100 °C sıcaklığa kadar olan çalışma ortamında uygun bir bağlantı elde edilmesini sağlamıştır.

Bazı uygulamalarda orta derecede ısıl genişleme katsayısına sahip bir Inconel ara parçanın kullanılması ile östenitik çelikler ferritik çeliklerle birleştirilmektedir. Bu yöntemde ferritik inconel kaynağına kaynak sonrası ısıl işlem uygulanırken östenitik/inconel bölümü kaynak edildiği gibi bırakılmıştır. Bu bağlantılar mutlak sıfırın altındaki ısıl şoklara karşı dayanmıştır.

2.7.1.3. Karbon difüzyonu

Çelik malzemedeki kromun, demire oranla karbona karşı daha fazla afinitesi vardır. Yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çeliğin, önemli miktarda krom içeren bir çelik ilave malzeme ile kaynağında, karbon 430°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda esas metalden ergiyerek, kaynak metalinin içinde yayılacaktır. Yayılma hızı sıcaklığın bir fonksiyonudur ve 600°C ve üzerindeki sıcaklıklarda yayılma hızı daha hızlı bir şekilde artış gösterecektir. Karbon yayılımı olayı, kaynak sonrası gerçekleştirilen tavlama işlemleri esnasında ve yükseltilmiş sıcaklıktaki işletme koşullarında da ortaya çıkabilmektedir (Weisman, 1984a; Hosking vd., 1999).

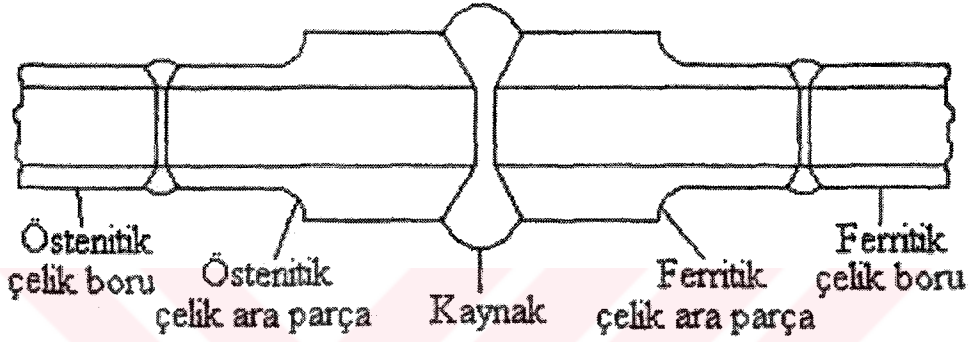
Karbon için östenitik çelik malzeme, ferritik çelik malzemeye oranla daha fazla çözünürlüğe sahiptir. Bundan dolayı, kaynak işlemi esnasında yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelikteki karbon tüketimi, ferritik ilave malzemeye tercihen östenitik paslanmaz çelik ilave malzeme kullanıldığı takdirde daha fazla olacaktır. Bir başka açıdan bir nikel-krom-demir ilave malzemesi kullanılması durumunda (ENiCrFe-2) karbon yayılması bir problem yaratmayacaktır. Karbon migrasyonunun yaygın olduğu durumlar, hafif bir dağlama işlemi ile kolayca anlaşılabilir (Yalın karbonlu çelik IEB'de düşük karbon bandı ve paslanmaz çelik kaynak metalinde koyu, yüksek karbon bölgesi oluşacaktır.(Weisman, 1984a).

Değişken sıcaklıktaki işletme şartlarında, esas metal ve kaynak metalleri arasındaki ısısal genleşme katsayılarının farklılıklarından dolayı IEB' lerde değişken makaslama gerilmeleri oluşacaktır. Bu gerilmeler, kaynak ara yüzeyinin yanındaki karbonsuzlaşmış band' da yorulma zorlamalarına sebep olacaktır.

Çeliğin yapısındaki C atomları hareket etme özelliğine sahiptir. Bu durum, 400 °C dolayındaki sıcaklıklarda ferritik çelikten östenitik çeliğe karbon toplanmasına neden olurken bu toplanma erime hattı bölgesinde gerçekleşir. Bu olay sonucunda ferritik çelikte karbonca fakir bir bölge ortaya çıkar. Bu bölgenin sürünme dayanımı düşüktür ve birçok sorun bu durum daha ortaya çıkmadan önce gerçekleşir.

Paslanmaz çelikteki karbür oluşan bölgenin ise sünekliği düşüktür ancak bu bölgenin her iki yanında akma mukavemeti düşük ve sünek bir yapı bulunduğundan herhangi bir hataya neden olmaz.

Düşük sürünme dayanımı, birleştirme işleminin gerçekleştirileceği yere borunun çapından daha büyük çapa sahip bir ara parça konulması ile önlenir (Şekil 2.14) (Odabaş, 1992).



Şekil 2.14. Sürünme dayanımının iyileştirilmesi (Odabaş, 1992).

Ferritik çeliklerde karbon difüzyon derecesi östenitik çeliklere göre yüksek olduğundan genellikle, ferritik yüzeye stabilize edilmiş yüksek nikel ihtiva eden bir elektrodla pasolar halinde tampon çekildikten sonra tamponlu yüzeye ve diğer malzemeye uyacak şekilde bir elektrodla birleştirme yapılır. İnce ve orta kalınlıktaki malzemelerin kaynağında tampon çekmeye gerek yoktur (Ergenç).

2.7.1.4. Isıl yorulma

Kimya fabrikalarındaki proseslerin çoğu bir çalışma süreci içerisinde 10000 saat gibi uzun bir süre devamlı çalışırlar. Proseslerin durması ve tekrardan çalışması gibi dalgalanmalar bu tür işletmelerde ömürleri boyunca 40 kez gerçekleşmektedir. Bu nedenden dolayı ısıl yorulma sorunu ile pek karşılaşılmaz.

Isıl yorulma çok sayıda çevrim yapan kısa aralıklarla durdurulup tekrar servise alınan ekipmanlarda ortaya çıkmaktadır. Bunu önceden formüle etmenin yolu ne yazık ki yoktur.

Paslanmaz çelik bir kolun ferritik çelik kazan gövdesine teğetsel olarak kaynak edilmesi gibi karmaşık geometriye sahip uygulamalarda hata ile daha sık olarak karşılaşılır. Örneğin küçük çaplı ve et kalınlığı fazla olan bağlantılar 180 °C'de birkaç çevrimden sonra hata göstermesine karşın, büyük çaplı ve et kalınlığı ince bir bağlantı 300 °C'de 1000 çevrime izin verebilmektedir.

Kimya fabrikalarındaki proseslerin çoğu bir çalışma süreci içerisinde 10000 saat gibi uzun bir süre devamlı çalışırlar. Proseslerin durması ve tekrardan çalışması gibi dalgalanmalar bu tür işletmelerde ömürleri boyunca 40 kez gerçekleşmektedir. Bu nedenden dolayı ısıl yorulma sorunu ile pek karşılaşılmaz.(F.P.Hahn,1986)

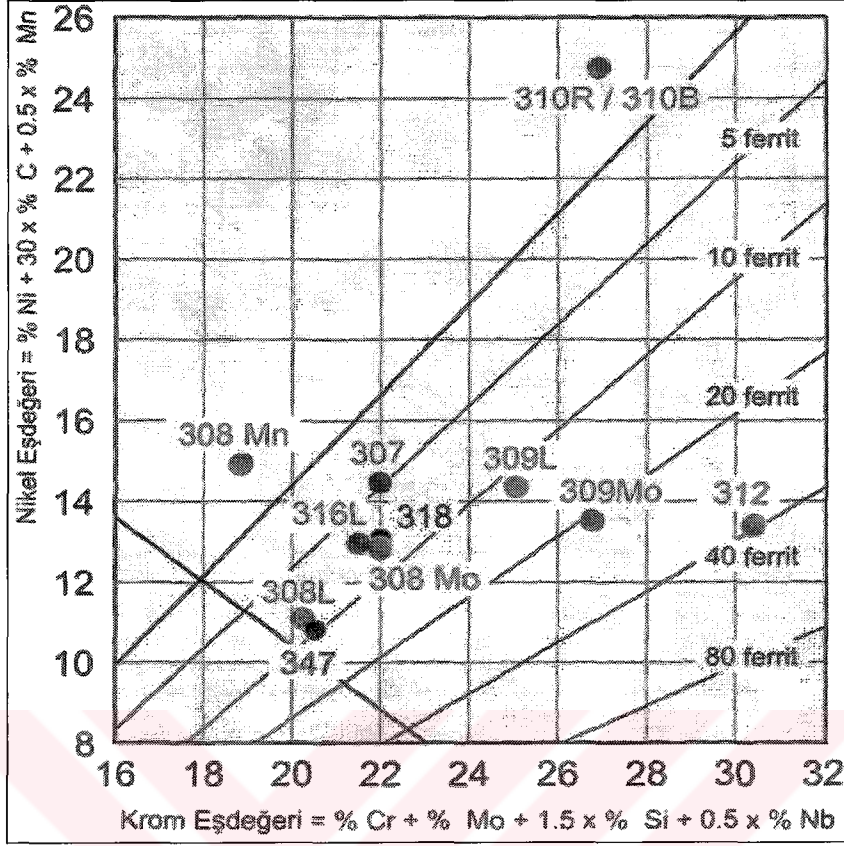
Isıl yorulma çok sayıda çevrim yapan kısa aralıklarla durdurulup tekrar servise alınan ekipmanlarda ortaya çıkmaktadır. Bunu önceden formüle etmenin yolu ne yazık ki yoktur.

Paslanmaz çelik bir kolun ferritik çelik kazan gövdesine teğetsel olarak kaynak edilmesi gibi karmaşık geometriye sahip uygulamalarda hata ile daha sık olarak karşılaşılır, örneğin küçük çaplı ve et kalınlığı fazla olan bağlantılar 180 °C'de birkaç çevrimden sonra hata göstermesine karşın, büyük çaplı ve et kalınlığı ince bir bağlantı 300 °C'de 1000 çevrime izin verebilmektedir.

2.7.2. İlave malzeme seçimi ve işletme koşulları

2.7.2.1.Östenitik paslanmaz çelik tür ilave malzeme

Olaya ticari açıdan bakmak gerekirse piyasada çok sayıda östenitik paslanmaz çelik ilave malzeme bulunmaktadır. En çok kullanılan Östenitik paslanmaz çelik ilave malzemelerin mikro yapısal faz değişimleri Şekil 2.15' de ki Schaeffler diyagramında görülmektedir.Bazı durumlarda mikroyapı tamamen östenitiktir. Alaşım bileşiminin miktarına bağlı olarak mikro yapı bazı durumlarda ise bir miktar delta ferrit içermektedir (Weisman, 1984a; Barnhouse ve Lippold, 1998).



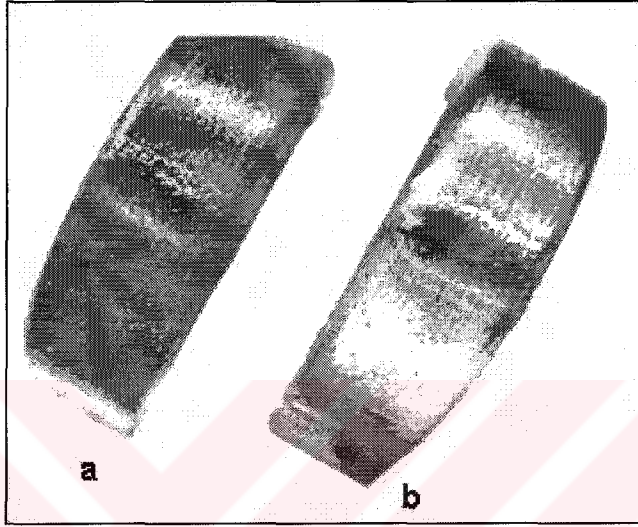
Şekil 2.15. Ostenitik Paslanmaz çelik ilave malzemelerin Schaeffler diyagramındaki konumları (As kaynak, 2004)

Yüksek sıcaklıktaki işletme şartlarında çalışan paslanmaz çelik boru sistemlerinin kaynağında ER 16-8-2 tip ilave malzemenin kullanılması tavsiye edilmektedir, fakat bu ilave malzemenin korozyon direnci 316 tip paslanmaz çeliğin korozyon direnci kadar iyi değildir. Eğer kaynak bağlantısı güçlü aşınma etkilerine maruz kalacaksa, bu bölgelerin kaynağında daha yüksek korozyon direncine sahip ilave malzemeler kullanılması uygun olacaktır.

2.7.2.2. Nikel alaşımlı ilave malzeme

Paslanmaz çeliğin, yalın karbonlu çeliğe veya düşük alaşımlı çeliğe kaynağında nikel alaşımlı ilave malzemeler de kullanılabilir. Bu uygulamalar için kullanılması tavsiye edilen ilave malzemeler; ENiCrFe-2 veya 4 tip örtülü elektrodlar veya ERNiCr-3 tip çıplak elektrodlardır. Fakat diğer nikel alaşımlı ilave malzemelerde bu uygulamalar için uygun olabileceklerdir. Şekil 2.16 da 304 tip paslanmaz çelik ve düşük alaşımlı çelik farklı metelsel malzemelerinin birleştirilmesi ile elde edilen iki

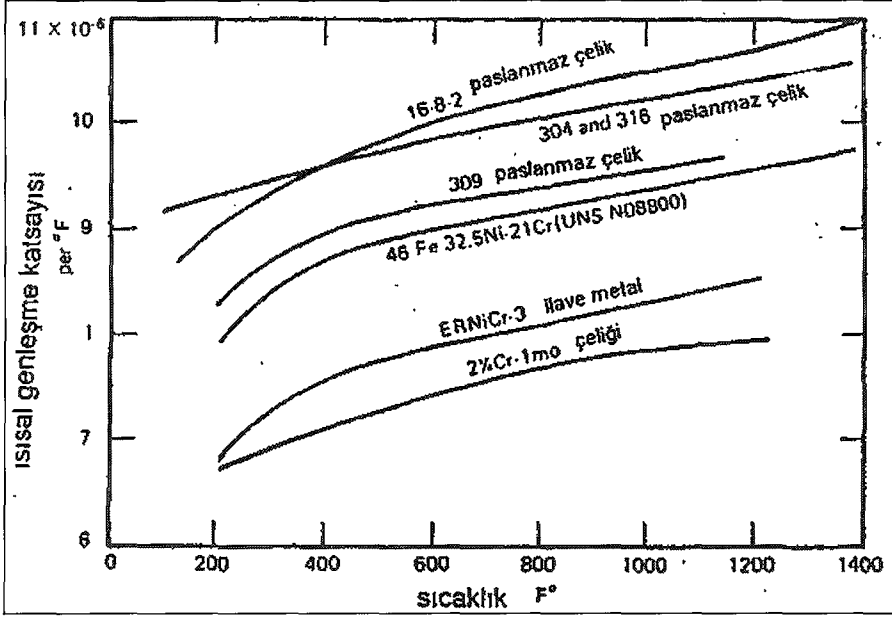
adet enine bükme numunesi görülmektedir (Weisman, 1984a). Bu birleştirmelerin birinde ERNiMo-3 tip ilave malzemesi diğesinde ise 67Ni-16Cr-15Mo-2Co ilave malzemesi kullanılmıştır. Bu birleştirmeler, nikel alaşımlı ilave malzemelerin iyi genleşebilirlik özelliklerine işaretir (ASM Committe, 1983; Barnhouse ve Lippold, 1998; Weisman, 1984a).



Şekil 2.16. 304 tip paslanmaz çeliğin ve düşük alaşımlı çeliğin 67Ni-16Cr-15Mo-2Co (a) ve ERNiMo-3 tip (b) tip ilave malzemeleri kullanılarak birleştirildiği enine bükme numuneleri(Weisman, 1984a)

2.7.2.3. İşletme koşulları

Şekil 2.17' de sıcaklığın fonksiyonu olarak bazı alaşımların ısısal genleşme katsayıları değişimleri görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere 2-1/4Cr-1 Mo çeliğinin ısısal genleşme katsayısı 304 ve 306 tip östenitik paslanmaz çelik malzemelerin ısısal genleşme katsayılarından % 25 daha azdır. Bazı uygulamalarda, östenitik paslanmaz çelik ve düşük alaşımlı çelik arasındaki bağlantı tasarımı işletme koşullarında çok farklı sıcaklık değişimlerinin etkisi altında kalacaktır. Kaynak bağlantısını rahatsız eden gerilimin malzemelerin ısısal genleşme katsayıları arasındaki farkla orantılı olduğu düşünülürse, işletme koşullarındaki bu sıcaklık değişimi, çok farklı ısısal genleşme katsayılarına sahip malzemeler için büyük tehlikeler oluşturacaktır (Weisman, 1984a; Barnhouse ve Lippold, 1998).



Şekil 2.17. Sıcaklığın fonksiyonu olarak ısısal genleşme katsayısı değişimi (Weisman, 1984a)

Farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesindeki tecrübeler, işletme koşullarında bazı bozuklukların ortaya çıkabileceğini göstermiştir. Östenitik, ferritik çelik bağlantılarında bağlantı bozukluklarının çoğu, kaynak ara yüzeyine komşu ferritik çelik IEB' inde meydana gelmektedir. Bu ve benzeri bozukluklar aşağıda sıralanmış olan etkenlerin birinin veya bir kaçının bir araya gelmesi ile oluşabilmektedir (Mills vd., 1999);

- 1-) Kaynak metali ve esas metaller arasındaki ısısal genleşme katsayılarının farklılıklarının sebep olduğu, yüksek gerilmeler ve ara yüzeydeki büzülmeleler.
- 2-) Ferritik çelikten, paslanmaz çeliğe karbon yayınması ve bunun sonucu olarak ferritik çelik IEB' nin zayıflaması.

2.7.3. Östenitik paslanmaz çelik-yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik

Östenitik paslanmaz çelikler, yalın karbonlu çeliklere, düşük alaşımlı çeliklere ve krom çeliklerine uygun yöntemin seçilmesiyle başarılı bir şekilde kaynak edilebilirler. Malzemenin seçiminde; ilave malzemenin ergimesinin esas metallere

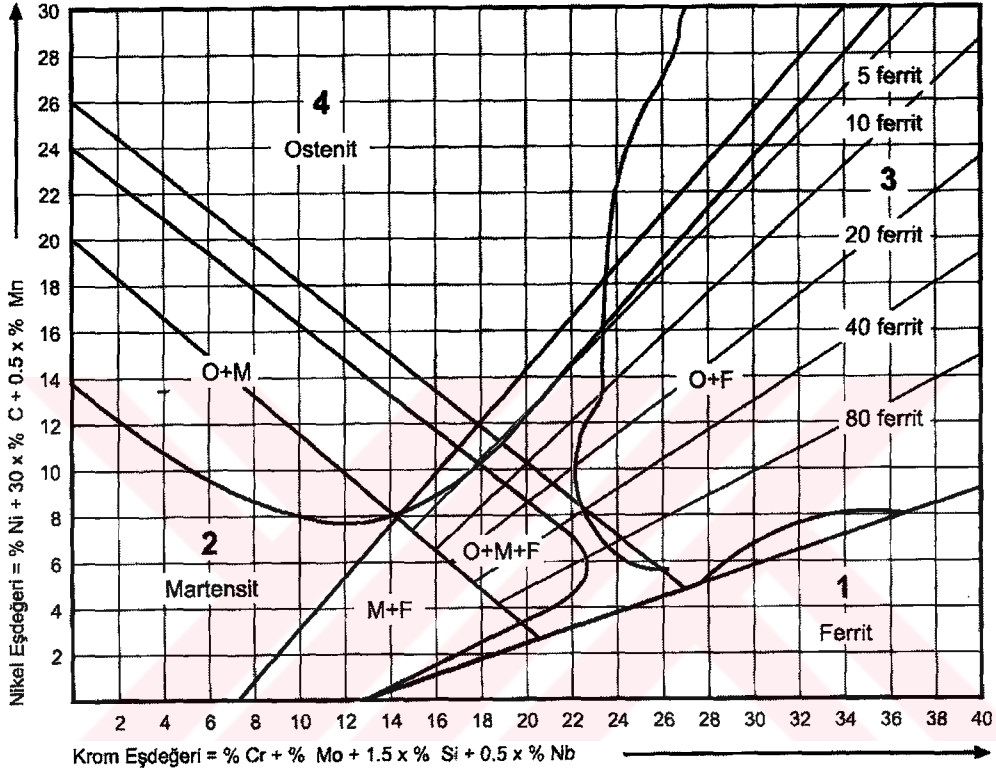
etkisi ve gerçekleştirilen bağlantının kullanılacağı işletme şartları göz önünde bulundurulmalıdır.

Kısacası yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzeme ile, östenitik paslanmaz çelik malzeme arasında bir ergitme kaynağı tasarımı gerçekleştirirken uygun işletme ömrünün sağlanabilmesi için ilave malzeme seçimi önemli bir adımdır. Uygun seçim, işletme koşullarından beklenen özellikleri taşıması ve malzemelerin kaynak metali bileşimindeki ergime oranlarına bağlı olarak yapılmalıdır. 430°C nin altındaki işletme sıcaklıklarında normal olarak östenitik paslanmaz çelik ilave malzemesi kullanılmaktadır. Ayrıca Ni-Cr-Fe ilave malzemesinin de kullanılması uygun olacaktır. Fakat Ni-Cr-Fe ilave malzemesinin yüksek maliyeti bir sorun olarak ortaya çıkabilmektedir.

Farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılacak olan östenitik paslanmaz çelik ilave malzeme seçimi, esas metallerdeki ergime sonucu oluşan kaynak metalinin bileşiminin ve mikro yapısının tahmin edilmesi ihtiyacını gösterir. Esas metallerdeki ergime miktarı, kırılma hassasiyetine sahip veya diğer istenmeyen özellikleri taşıyan kaynak metalinin oluşumuna neden olabilir. Bu gibi durumlarda malzemelerdeki ergime oranları önceden hesaplanmalı kaynak banyosunun yapısı grafikler yardımıyla tespit edilmeli ve duruma göre uygun özellikleri taşıyan ilave malzeme kaynak prosesinde kullanılmalıdır. Ergimenin etkisinin nasıl kontrol edilebileceğini örneklemek gerekirse; kaynak edilen malzemelerden birinin östenitik yapıda olduğunu göz önünde bulunduralım. Kaynak işlemini yüzde ferritik özelliğe sahip bir elektrodla gerçekleştirmek en uygun olanıdır. Böylece kaynak metalinde kırılmayı önleyecek yeterli ferritik yapı temin edilmiş olacaktır. Ferritik esaslı esas metal için ise kaynak işleminde östenitik yapıda ilave malzeme kullanılması, sertleşebilir kaynak metali oluşumunu önleyecektir (Mills vd., 1999; ASM Committee, 1983).

Şekil 2.18 deki Schaeffler diyagramında Cr ve Ni eşdeğerliklerine bağlı olarak, istenmeyen gevrek yapıların ve kırılmaların meydana gelebileceği kaynak metali kompozisyonları görülmektedir. Schaeffler diyagramının orta kısmında Cr ve Ni eşdeğerliği açısından ortalama değerlere sahip bulunan bölge, kaynak kabiliyeti açısından en emniyetli bölge olarak görülür. Östenitik-ferritik yapıya sahip olan bu

bölge de ferritik yapı, korozyon dayanımı açısından bir sorun gibi görünmekte ise de % 10' a kadar ferritik yapı korozyon dayanımını fazlaca düşürmemektedir. Özellikle % 20' nin üzerindeki ferritik yapıdan kaçınılması gerekmektedir. Kısaca ifade etmek gerekirse, uygun ilave malzeme ve kaynak yöntemi seçimi ile kaynak metali bileşiminin bu bölgeye denk gelmesi istenmektedir (Beres, 1998; Weisman, 1984a).



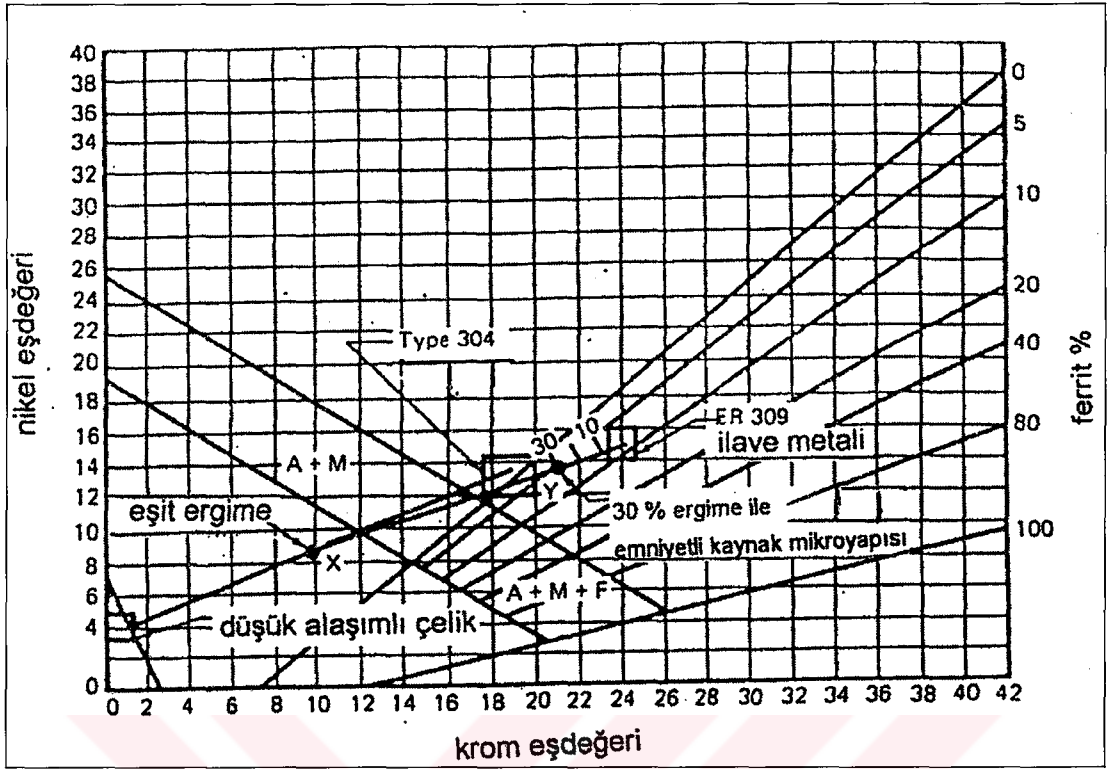
Şekil 2.18. Paslanmaz çelik kaynak metali bileşimlerinin Schaeffler diyagramında incelenmesi (AS Kaynak,2004).

Schaeffler diyagramında ki alanlar ve özellikleri;

- *Alan 1* - Cr miktarı yüksek, C miktarı düşük paslanmaz çelikleri içine alır. Kaynak dikişine komşu bölgede 1150°C nin üzerindeki sıcaklıklarda tane büyümesi meydana gelmekte bununla birlikte gevrekleşme sorunu görünür.(As Kaynak, 2004)
- *Alan 2* - Cr ve Ni eşdeğerleri düşük çelikleri içine alır, C miktarı % 0.3-0.5 arası olan çeliklerde(ki bunlar paslanmaz çelik kavramının dışında kalmaktadır) 400°C nin altında martenzitik-ostenitik ve martenzitik-ferritik çeliklerde olduğu

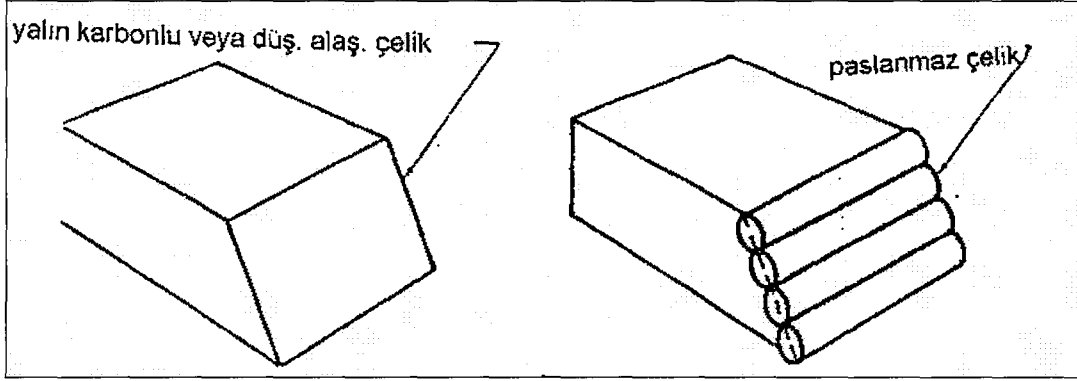
gibi martenzit meydana gelir ve bunun sonucunda sertleşme çatlama eğilimi artar. Bu olay aynı zamanda sertleşme çatlama içinde uygun ortam sağlamaktadır.

- *Alan 3* - Cr' ca zengin ve belirli bir sınırdan üzerinde Ni içeren paslanmaz çelikleri içine alan bu bölgede ferrit yüzdesinin % 10' un üzerinde bulunması halinde 500-900°C sıcaklık aralığında sigma gevreklenmesi görülür. Sigma fazı yüksek kromlu paslanmaz çeliklerde, oluşan yüksek sertlik, gevreklik özelliği olan çentik dayanımı düşük bir fazdır ve kaynak bölgesinin 550 - 925°C de bekletilmesi ile ortaya çıkar.
- *Alan 4* - Ni eşdeğeri yüksek, üst kısmı östenitik, Ni oranı düşüktüğü östenitik martenzitik yapıya sahip bölge. Bu bölgede 1250° C nin üstünde sıcak çatlama eğilimi, Ni oranı azaldıkça yükselir (As Kaynak, 2004). Schaffler diyagramı, paslanmaz çelik ile yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzemelerin birleştirilmesinde, kaynak metalinin mikro yapısının tahmin edilmesi amaçlı olarak da kullanılabilir. Şekil 2.19' da prosedürün bir uygulama ile örneklendirilmesi görülmektedir. Bu uygulamada düşük alaşımlı çelik ve 304 tip paslanmaz çelik malzemeleri ER309 tip paslanmaz çelik ilave malzemesi kullanılarak kaynak edilmiştir.



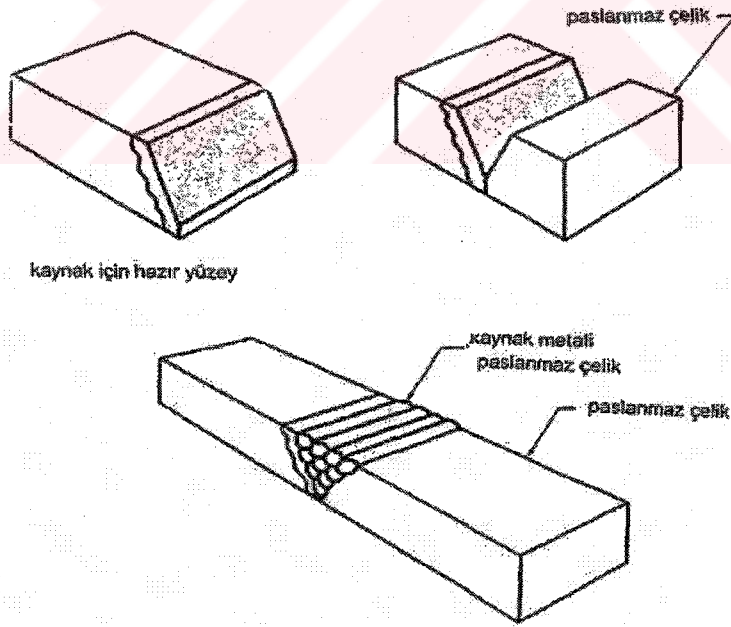
Şekil 2.19. Düşük alaşımlı çelik ve 304 tip paslanmaz çelik malzemelerinin Er 309 tip ilave malzemeler kullanılarak birleştirilmesinin Schaeffler diyagramında incelenmesi (Weisman, 1984a).

İlk olarak, krom ve nikel eşdeğerliklerine bağlı olarak esas metal bileşimlerinin Schaeffler diyagramı üzerinde denk geldiği noktalar işaretleniyor ve elde edilen bu iki nokta arasında bir birleştirme çizgisi çiziliyor. X noktası her iki esas metaldeki ergime oranına bağlı olarak bağıl ergimeyi gösterir. Eğer ki birleştirilen metalsel malzemelerin ergime oranları eşit ise X noktası ilk etapta çizilmiş olan çizginin orta noktası olacaktır. İkinci bir çizgi bu X noktası ile ER309 ilave malzemesinin bileşimini gösteren nokta arasında çiziliyor. Kaynak metalinin bileşimi, çizilen bu çizgi üzerindeki bir noktadır. % 30' luk ergime ile bileşimin Y noktasında olduğu bulunuyor. Y noktasının bulunduğu bölge, kaynak kabiliyeti açısından emniyetli bölgededir. Eğer başarılı bir kaynak bağlantısı gerçekleştirilmek isteniyorsa, düşük alaşımlı çelik malzemedeki ergime, kaynak metalindeki martenzit oluşumunu engellemek için minimum seviyede tutulmalıdır. Eğer östenitik paslanmaz çelik ilave malzemenin ergimesi kaynak işleminde bir problem yaratıyorsa, yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzemenin kaynak yüzeyini 309 veya 310 tip paslanmaz çelik malzemesi ile kaplayabiliriz (Şekil 2.20)(Weisman, 1984a).



Şekil 2.20. Yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımli çelik malzeme yüzeyinin paslanmaz çelik ilave malzemesi ile kaplanması(Weisman, 1984).

Hazırlanan yüzey kontrol edildikten ve kaynak işlemi için hazır hale getirildikten sonra, kaynak işlemi paslanmaz çelik malzeme ile yeni oluşturulan çelik malzeme yüzeyi arasında uygun kaynak yöntemi ve ilave malzemenin seçilmesi ile gerçekleştirilir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 Yalın karbonlu veya düşük alaşımli çelik malzemenin paslanmaz çelik ile kaynağı (Weisman, 1984a)

Farklı metelsel malzemelerin meydana getirdiği kaynak bağlantıları yükseltilmiş sıcaklıklarda çalışıyorsa malzemeler arasında karbon yayınımlı olayı gerçekleştirebilir. Ergime çizgisi boyunca etkin karbon gradyanı mevcutsa, farklı malzemelerin kaynak

bağlantısının ergime çizgisi boyunca karbon yayılımı olayı gerçekleşecektir. Etkin gradyen genellikle, krom, molibden veya kolombium gibi karbür oluşum elementlerinin ergime çizgisi boyunca farklılıklarından dolayı meydana gelmektedir. Belli zaman aralıklarında yükseltilmiş sıcaklıklarla karşı karşıya gelindiğinde, karbon, ergime çizgisi boyunca düşük alaşımlı malzemeden yüksek alaşımlı malzemeye doğru yayılacaktır. Karbon yayılımı ergime çizgisinin düşük alaşımlı bölümünde karbonsuzlaşmış bir band oluşumuna neden olacaktır. Oluşan bu bandın genişliği; alaşım gradyenine, sıcaklığa ve yayılma zamanına bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Ayrıca oluşan bu karbonsuzlaşmış band da dayanımı azalmış bir bölge oluşmaktadır. Bu sebepten işletme şartlarının, karbon yayılımına sebep olacağı farklı metalsel malzeme tasarımları için gerekli tedbirler önceden gözden geçirilmelidir (Omar, 1998).

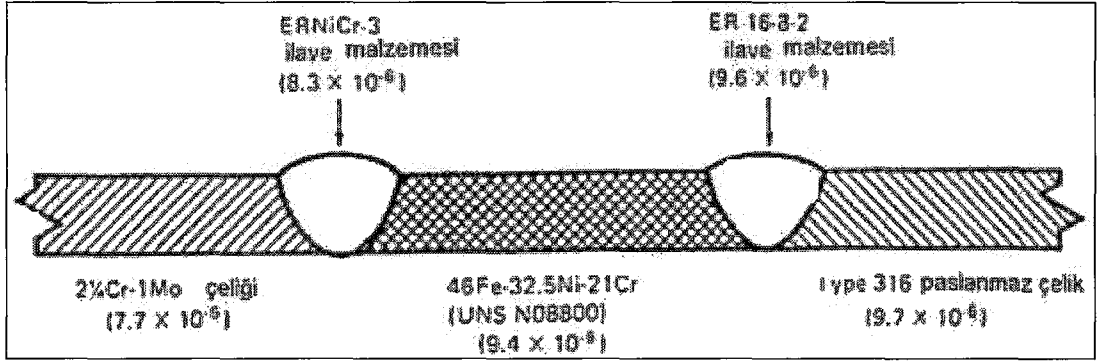
Bu sebepten 375°C nin üzerinde ki sıcaklıklar da nikel alaşımlı ilave malzemelerden birinin kullanılması uygun olacaktır. Nikel alaşımlı ilave malzemeler değişken sıcaklıkta ki işletme koşullarına maruz kalan bağlantılar için bazı avantajlar sağlamaktadır, (kaynak işlemi esnasında kırılma hassasiyeti yaratmadan esas metallerdeki ergimeleri tolere edebilmekte ve düşük alaşımlı çelik malzemeden, kaynak metaline olan karbon yayılmasını minimum seviyeye indirebilmektedir.) Nikel alaşımlı ilave malzemelerin ısıl genişleme katsayıları düşük alaşımlı çeliğin ısıl genişleme katsayısına yakınlık göstermektedir (Şekil 2.23). Isıl değişim esnasında, kaynak ara yüzeyindeki, nikel alaşımlı ilave malzeme ile düşük alaşımlı çelik malzeme arasında oluşan gerilmeler, östenitik paslanmaz çelik ilave malzeme kullanıldığı zamana göre çok daha düşüktür. Isıl genişleme katsayılarındaki farklılıklardan dolayı, paslanmaz çelik malzeme ile nikel alaşımlı ilave malzeme arasındaki ara yüzey de iç gerilmelerle karşılaşılacaktır. Buna rağmen, bu ara yüzeydeki metallerin uygun oksitlenme direnci ve yüksek büzülme-kırılma dayanımı, işletme şartlarındaki uygun mekanik bütünlüğü koruyacaktır (Hosking, 1999).

Östenitik paslanmaz çelik ve ferritik malzemelerin birleştirilmesiyle oluşturulan bir farklı metalsel malzeme bağlantısı yükseltilmiş bir sıcaklığa ısıtılırsa, iki malzemenin ısıl genişleme katsayıları arasındaki farklılıklardan dolayı, kaynak bağlantısında gerilmeler meydana gelecektir. Farklı metal kaynak bağlantısının değişken sıcaklığa

maruz kaldığı her durumda, kaynak bağlantısında bozukluk meydana getirebilecek, gerilmeler meydana gelebilmektedir. Eğer, düşük alaşımlı çelik malzeme bir östenitik ilave malzeme kullanılarak östenitik paslanmaz çelik malzeme ile birleştirilirse, ergimiş kaynak çizgisinin diğer tarafında düşük alaşımlı çelik IEB' de çatlaklar oluşacaktır. Eğer ki aynı malzemeler bir düşük alaşımlı çelik ilave malzeme kullanılarak kaynak edilirse yine bozulma meydana gelecektir, fakat bozulma bu kez ergime çizgisinin yakınındaki düşük alaşımlı çelik kaynak metalinde meydana gelecektir. Bu tipteki bozulmalar, değişken sıcaklık şartlarında oluşan hatalara benzerlik göstermektedir. Bundan dolayı, bir gerilme kopması şeklinde ileri gelen bu olayda ki çatlama sıcaklığa dayandırılacaktır (Kou, 1987; Mills vd., 1999).

Bu durum için alternatif bir bağlantı tasarımı ise; östenitik paslanmaz çelik ve yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzeme arasına üçüncü bir esas metal yerleştirmektir. Bu üçüncü esas metalin ısıl genişleme katsayısı, iki esas metalin ısıl genişleme katsayısını ortalayacak şekilde olmalı ve bu üçüncü metalse malzeme uygulama için uygun mekanik özelliklere sahip olmalıdır. (Demir-Nikel-Krom alaşımları; 46Fe-32.5Ni-21Cr veya 43Fe-36Ni-19Cr gibi)

Bu tasarım görüşünün bir örneği Şekil 2.22' de görülmektedir. Gerçekleştirilen bu tasarımın bir dezavantajı ise, bir kaynak bağlantısı yerine iki kaynak bağlantısına ihtiyaç duyulmasıdır. Şekil 2.22' de de görüldüğü üzere üçüncü metal olarak kullanılmış olan Fe-Ni-Cr alaşımının, Cr-Mo alaşım çeliğine birleştirilmesi için ERNiCr-3 tip ilave malzemesi ve de östenitik paslanmaz çeliğe birleştirilmesinde, ER 16-8-2 östenitik paslanmaz çelik ilave malzemesi kullanılmıştır.



Şekil 2.22 Düşük alaşımlı çelik ve paslanmaz çelik malzemelerinin değişken işletme sıcaklıklarını karşılayabilecek kaynak tasarımı (ASM Committee,1983)

2.7.4 Krom paslanmaz çeliği - yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik

Krom paslanmaz çeliğinin, yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çeliğe kaynağında ilave malzeme seçiminde aşağıdaki kurallardan yararlanılmaktadır:

1. Sertleşebilir krom çeliğinin, krom içeriği fazla bir başka sertleşebilir krom çeliği ile kaynağında, kullanılan ilave malzemenin krom içeriğinin de, krom içeriği fazla olan çeliğe eşit olması istenir.
2. Genel bir kural olarak, herhangi bir krom çeliğinin, yine herhangi bir düşük alaşımlı çelik malzeme ile kaynağında, uygulamanın işletme şartlarını karşılayabilmesi için, düşük alaşımlı çelik malzeme ile aynı bileşime sahip bir ilave malzeme kullanılması gerekmektedir. Krom çeliğinin ergime oranına bağlı olarak kaynak metalinde toplanacak krom miktarının, düşük alaşımlı ilave malzeme seçiminde göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
3. Herhangi bir krom çeliği ile yalın karbonlu çeliğin kaynak işlemi ile birleştirilmesinde, ilave malzeme olarak yalın karbonlu çelik kullanılabilir. Ayrıca, krom-çelik ilave malzemesi de alternatif ilave malzeme olarak tercih edilebilir, fakat daha düşük sertleşebilir özelliğe sahip ilave malzeme kullanılması tercih edilmelidir.

Genel bir görüş olarak; doğru prosedür ve ilave malzeme seçimi ile, krom paslanmaz çeliğinin diğer alaşımlı çeliklere kaynağının mümkün olduğu fikrine varılmıştır.

2.7.5. Östenitik mangan çeliği - yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik

Östenitik mangan çeliğinin, yalın karbonlu çeliğe veya düşük alaşımlı çeliğe kaynağında uygun proses ile birlikte mangan alaşımlı ilave malzeme kullanılmalıdır. En iyi sonuçlar ilave malzemenin % 14' den fazla mangan ve % 0,03' den az fosfor içerdiği durumlarda ve yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzeme de ki ergime oranının % 25' in altında olduğu durumlarda elde edilmiştir. Aksi durumlarda kırılma tehlikesiyle karşılaşılabilir. Kaynak işlemi esnasında yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik ilave malzemesi kullanılmamalıdır (Rossi, 1954).

Östenitik Mn-Cr ilave malzemeler, kaynak bağlantısı aşınma etkisi altında ise ve yüksek akma dayanımına ihtiyaç varsa tercih edilir. 308, 309, 310 veya 312 tip paslanmaz çelik ilave malzemeleri, kaynak bağlantısı işletme koşullarında çok az aşınma gerilmesine maruz kalıyorsa kullanılabilir. Östenitik mangan çeliğindeki yüksek karbon oranı dolayısıyla ergime aşırı olursa kaynak ara yüzeyi sert ve kırılma yapıya sahip olacaktır.

2.7.6. Nikel ve kobalt alaşımları -yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik

2.7.6.1 Nikel alaşımları

Nikel alaşımları ve farklı metalsel malzemeler arasındaki bağlantılar kaynak ve sert lehimleme prosesleri ile gerçekleştirilebilir. İşletme koşullarına uygun proses tercih edilmektedir. Nikel alaşımlarının ve çelik malzemelerin ark kaynağında, penetrasyon minimum seviyede tutulmalıdır. Bundan dolayı aşırı kaynak akımından kaçınılmalıdır.

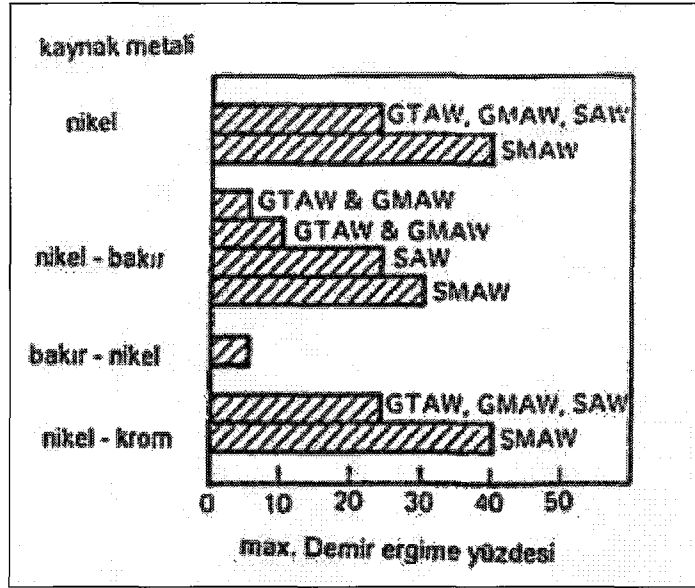
Nikel alaşımları, uygun ilave malzeme kullanılarak ve uygun ergime kontrolü ile, çeliklerle kolaylıkla kaynak edilebilirler. İlave malzeme seçiminde ise, nikel esaslı ilave malzemeler iyi genleşebilirlik ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı genellikle tercih edilirler.

Monel ve Inconel gibi temel nikel alaşımları, düşük alaşımlı çelikler ile, ilave malzeme olarak Monel analizli ilave malzeme kullanılmasıyla, ark kaynak yöntemlerinden uygun olanı ile başarılı bir şekilde birleştirilebilmektedir. Inconelin düşük alaşımlı çeliklerle kaynağında ise Inconel tür ilave malzeme kullanılmalıdır. Aynı koşullar, Inconel ve Monel malzemelerinin paslanmaz elik ile kaynağında da geçerlidir.

Nikel ve nikel alaşımlarındaki sülfür ve fosfor sıcak kırılma meyline sebebiyet verirler. Bu sebepten uygun tasarım gerçekleştirilerek ve uygun proses kullanılarak sülfür ve fosforun kaynak metalinde minimum seviyede olmasına dikkat edilir. Buna karşılık, bazı çeliklerde sülfür ve fosfor içeriği yüksektir. Dolayısıyla bir elik malzeme ile bir nikel alaşımlı malzeme yine bir nikel alaşımlı ilave malzeme kullanılarak birleştirilirken, sıcak çatlama tehlikesinden kaçınmak için ergime kontrol altında tutulmalıdır.

Demir ergimesi; çoğu nikel alaşımlı kaynak metali önemli miktarda demir ergimesi içerir, fakat ergime sınırları genel olarak kaynak prosesi ve ısıl işlemlerle değişiklik gösterir. Şekil 2.23' de dört değişik kaynak metali için özellikle ark kaynağı yöntemlerinde ki demir ergime limitleri verilmiştir. Nikel veya nikel-krom örtülü elektrodu ile oluşturulmuş kaynak metali, % 40' ın üzerinde demir ergimesini tolere edebilmektedir. Bir başka açıdan, nikel veya nikel-krom çıplak ilave malzemesi kullanıldığı zaman ergime % 25 değerinde sınırlandırılmalıdır.

Nikel-bakır alaşımlı kaynak metali için kabul edilebilir demir ergime limitleri, seçilen kaynak proseslerine bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir. Örtülü metal ark kaynağı yöntemi ile normal olarak yaklaşık % 30' un üzerinde ki demir ergimesi tolere edilebilmektedir. Toz altı kaynağında ise bu değer maksimum % 25 ile sınırlıdır.

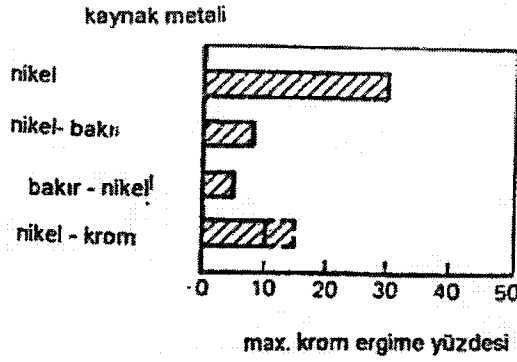


Şekil 2.23. Nikel ve nikel alaşım, kaynak metalleri için demir ergime limitleri(Weisman, 1984a)

Örtülü gaz kaynak prosesi ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde nikel-bakır kaynak metal, eğer gerilim yüklü ise, demir ergimesine karşı daha az toleranslıdır. Maksimum sınırlamalar kesin olarak tanımlanamamakla beraber, bağlantı kaynak edildiği şekilde kullanılacak ise demir ergimesi % 10 veya kaynak sonrası gerilme giderme tavlaması uygulanmış ise bu değer % 5 değeri ile sınırlandırılmalıdır. Bu sınır değerlerini aşmaktan kaçınmak amacıyla; çelik malzeme kaynak yüzeyinde bir nikel veya nikel-bakır kaplama tabakası oluşturulabilmektedir.

Krom ergimesi; Şekil 2.24' de görüldüğü gibi krom ergimesi de nikel ve nikel alaşımli kaynak metallerinde kontrol altında tutulmalıdır. Nikel-krom ilave malzemeleri genellikle krom ergimesi içeren bağlantılarda kullanılmaktadır. Nikel - krom kaynak metalinde ki krom içeriği % 30 değerini aşmamalıdır. Çoğu nikel-krom alaşımları, ilave malzemelerde dahil olmak üzere % 30' dan daha az krom içerirler ve bu durum ergime esnasında bir problem yaratmaz. Nikel-bakır kaynak metalinin krom için maksimum ergime toleransı % 8' dir. Dolayısıyla, nikel-bakır ilave malzemesi, nikel-bakır alaşımının paslanmaz çeliğe birleştirilmesinde kullanılmamalıdır.

Silikon ergimesi; Nikel-krom kaynak metalindeki silikon ergimesi de, özellikle malzemelerden biri döküm alaşımı ise, göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır. Kaynak metalindeki toplam silikon ergimesi de % 0.75 değerini aşmamalıdır.



Şekil 2.24. Nikel ve nikel alaşımlı kaynak metalleri için krom ergime limitleri(Weisman,1984a)

Tablo 2.15. Nikel alaşımlarının çelik malzemelerle kaynağında kullanılabilir ilave malzemeler (Weisman, 1984a)

Nikel Alaşımı			Kullanılabilir ilave Matzemeler	
UNS No.	Genel İsim	İlave Metal Formu	Yalnız Karbonlu veya Düşük Alaşımlı Çelik ile kaynağında	Paslanmaz Çelik ile kaynağında
N02200	Saf Nikel	Örtülü Elektrod	ENi-1 ENiCrFe-2	ENi-1 , ENiCrFe-2, ENiCrFe-3
		Çıplak Elektrod	ERNi-1 ERNiCr-3,	ERNi-1 , ERNiCr-3, ERNiCrFe-6
N04400	Monel 400	Örtülü Elektrod	ENiCu-7	ENiCrFe-2
N05500	Monel K-500		ENi-1	ENiCrFe-3
N05502	Monel 502			
		Çıplak Elektrod	ERNi-1	ENiCr-3 ERNiCrFe-6
No6600	Inconel 600	Örtülü Elektrod	ENiCrFe-2	ENiCrFe-2
N08800	Incoloy 800		ENiCrFe-3	ENiCrFe-3
		Çıplak Elektrod	ERNiCr-3 ERNiCrFe-6	ERNiCr-3 ERNiCrFe-6
N8825	Incoloy 825	Örtülü Elektrod	ENiCrMo-3	ENiCrMo-3
		Çıplak Elektrod	ERNiCrMo-3	ERNiCrMo-3
N10665	Hastelloy B-2	Örtülü Elektrod	ENiMo-7	ENiMo-7
		Çıplak Elektrod	ERNiMo-7	ERNiMo-7
N10276	Hastelloy C-276	Örtülü Elektrod	ENiCrMo-4	ENiCrMo-4
		Çıplak Elektrod	ERNiCrMo-4	ERNiCrMo-4
N06455	Hastelloy C-4	Örtülü Elektrod	ENiCrMo-4	ENiCrMo-4
		Çıplak Elektrod	ERNiCrMo-7	ERNiCrMo-7
N06007	Hastelloy G	Örtülü Elektrod	ENiCrMo-9	ENiCrMo-9
		Çıplak Elektrod	ERNiCrMo-1	ERNiCrMo-1

Tablo 2.16. Nikel alaşımları ve elik malzemeler arasında gerçekleştirilen bağlantıların mekanik zellikleri

Nikel Alaşımı				
Genel İsim	elik	İlave Malz.	ekme Mukavemeti Ksi	Hata oluşumu
Monel 400	410 pas.çel.	ENiCrFe-2	81,8	Monel
Monel 400	304 pas.çel.	ENiCrFe-2	82,4	Monel
Inconel 600	347 pas.çel.	ENiCrFe-2	95,1	Inconel
Inconel 600	405 pas.çel.	ERNiCrFe-6	90	Pas. Çel.
Inconel 625	304 pas.çel.	ENiCrMo-3	91,2	Pas. Çel.
Inconel 625	410 pas.çel.	ERNiCrMo-3	67,6	Pas. Çel.
Incoloy 800	347 pas.çel.	ERNiCrFe-6	90,6	Incoloy
Hastelloy B	Duş. al elik	ENiMo-1	60	Duşuk al. elik
Hastelloy C	316 pas.el.	ENiCrFe-2	90,5	Pas. el.
Hastelloy C	Duş. al elik	ENiCrMo-5	61	Duşuk al. elik

2.7.6.2. Kobalt alaşımları

Kobalt alaşımları genellikle, % 10-20 nikel, % 20-30 krom ve %2-15 tungsten veya molibden içerir. Metalurjik olarak, kobalt alaşımları kaynak kabiliyeti yönünden, yüksek sıcaklık nikel-krom alaşımları ile benzerlik göstermektedir. Bir kobalt alaşımını paslanmaz elik malzeme ile kaynak ederken, kobalt alaşımının bileşimine benzerlik gösteren bir ilave malzeme kullanılması tercih edilir. Nikel alaşımlı ilave malzemede uygulama için uygun olabilir. Bazı durumlar için, ilave malzeme seçimi, kaynak prosesi ve prosedürüne bağlı olarak uygun testlerle saptanır. Şekil 5.11' de kobalt alaşımı ile demir malzeme arasındaki iki adet bükme kaynağı görülmektedir. Her iki bağlantı için farklı nikel alaşımlı ilave malzemeler kullanılmıştır. Her iki uygulamada da, kaynak metali ve IEB iyi genleşme özelliği göstermektedir (Larry, 1993).

2.7.6.3. Bakır alaşımları-elik

Bakır ve demir sıvı durumda birbirlerinde tamamen karışırlar fakat bu iki elementin katı durumda birbirlerine karşı znrlkleri sınırlıdır. Çoğu bakır-demir alaşımları iki fazlı katı zeltile meydana getirirler. Gevrek intermetalik bileşenlerin yokluğu kaynak kabiliyeti bakımından başarılı bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, iki faz

alaşımli kaynak metali bazı uygulamalarda korozyon problemlerine sebep olabilir. Demir ergimesi uygun kaynak prosedürü kullanılarak veya çelik malzeme üzerine bir nikel kaplama tabakası oluşturularak, minimum seviyeye indirgenebilir. Gaz tungsten ark kaynağı ve örtülü metal ark kaynağı yöntemleri daha iyi penetrasyon kontrolleri ve ergime derinliği kontrolleri özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir.

Bakır-demir alaşım sisteminde, çok sayıda bileşenler geniş donma oranlarına sahiptirler. Bundan dolayı, bakır-demir kaynak metalinde sıcak kırılma ihtimali olasıdır. Bakırın demir üzerindeki yüzey aktivitesi yüksektir. Ergimiş bakır, demir malzemeyi tane sınırı boyunca tesiri altında alacak (aşındıracak) ve çelik malzemenin IEB' de çatlaklar oluşturacak veya sıcak çatlama meydana getirecektir.

2.7.6.3.1. Bakır

Bakır malzeme nikel malzeme ile bütün oranlarda tek fazlı alaşım meydana getirebilmektedir. Kaynak işlemi için bakır bileşen, bir nikel ilave malzeme ile kaplanarak, yüksek nikel bağlantı yüzeyi sağlanabilir. Elde edilen bu yeni nikel yüzeyli bileşen, yalın karbonlu çelik veya paslanmaz çelik malzemeye uygun teknik ve ilave malzemelerin kullanılması durumunda başarılı bir şekilde kaynak edilebilir. Bakır bileşen, kaynak işlemi esnasında ısı dengenin sağlanması amacıyla kalınlığına bağlı olarak 205°- 540°C sıcaklık aralıklarında ön tavlama işlemine tabi tutulmalıdır (Jeffus, 1993).

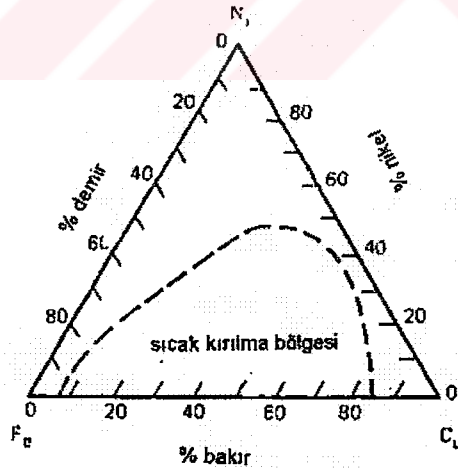
Bakır malzeme-çelik malzemeye, silikon bronz (CuSi-A) veya alüminyum bronz (CuAl-Ax) ilave malzemeleri kullanılarak, uygun bir ark kaynak prosesi ile kaynak edilebilir. Bakır malzemenin ön tavlama tabi tutulduğu durumlar için, çelik bileşiminin ergime kontrolü çok önemlidir.

Bakır alaşımli metelsel malzemelerin, birbirleri arasında veya çelik malzemelerle aralarında ki bağlantıları ark kaynağı yöntemleri ile de gerçekleştirilebilmektedir. Bakır-silikon kaynak ilave malzemesi bu kaynak bağlantısında en iyi ve en üniform sonuçları vermesinden dolayı tercih edilmelidir.

2.7.6.3.2. Bakır-Nikel Alaşımları

Şekil 2.25' de bakır-nikel alaşımlı kaynak metali bileşiminin sıcak kırılma tehlikesine karşı hassasiyeti görülmektedir. Bakır-nikel ilave malzemesindeki, demir ve krom ergimesinin toplamı % 5 değerinin altında sınırlandırılmalıdır. Bu sınırlama diğer bakır ilave malzemeleri içinde geçerlidir (ASM Committe, 1983).

Bakır-nikel alaşımları, yalın karbonlu çelik veya paslanmaz çelik malzemeler ile denizcilik uygulamalarında kullanılmak amacıyla birleştirilmektedir. Birleştirme işlemi için kullanılabilecek bir metod; yalın karbonlu çelik malzeme yüzeyinin, nikel ilave malzemesi veya nikel-bakır ilave malzemesi ile kaplanması [buradaki amaç; kaynak metalindeki demir ergimesinin sınırlandırılmasıdır (paslanmaz çelik malzeme kullanılması durumunda krom ergimesi açısından)] daha sonra, işletme koşullarına bağlı olarak yapılan seçim ile, birleştirmenin bakır-nikel veya nikel-bakır alaşımlı ilave malzeme kullanılarak tamamlanmasıdır. Bir başka metod ise; bakır-nikel alaşımını bir nikel ilave malzeme ile kaplamak ve yine aynı nikel alaşımlı ilave malzemeyi kullanarak kaynak işlemim gerçekleştirmektir.



Şekil 2.25. Nikel-bakır kaynak metalinde, demir ergimesine bağlı olarak oluşan sıcak kırılma bölgesi (Anık,1993)

2.7.6.3.3 Alüminyum bronz

Alüminyum bronz malzeme, yalın karbonlu çelik veya paslanmaz çelik malzemeye alüminyum bronz ilave malzemesi kullanılarak kaynak edilebilir. Ön ısıtma sıcaklığı,

kaynak edilecek çelik malzemenin tipine bağı olarak değişiklik göstermektedir. Yalın karbonlu çelik ve düşük alaşımlı çelik malzemeler için, çelik malzemenin sertliğine de bağı olarak ön ısıtma sıcaklığı 150°-260°C arasında olmalıdır. Paslanmaz çelik malzemeler için ise ön ısıtma sıcaklığı 70°C ' yi aşmamalıdır (Stout, 1987).

Kaynak işlemi için çelik malzeme yüzeyi temiz olmalı ve oksit tabakasından arındırılmış olmalıdır. Gaz tungsten ark kaynağı yönteminde alternatif akım iyi bir yüzey temizliği sağlamaktadır.

2.7.6.3.4. Pirinç

Düşük alaşımlı zink-pirinç malzemesi, çelik malzemeye en iyi biçimde gaz tungsten ark kaynak yöntemi kullanılarak kaynak edilebilir. Kaynak metalindeki porositeyi azaltmak amacıyla, pirinç malzemedeki zink içeriği % 20 değeri ile sınırlandırılmalıdır. Alüminyum bronz malzeme için kullanılan kaynak prosedürleri prinç malzeme içinde geçerlidir.

Kaynak işlemine ön hazırlık olarak, çelik malzeme yüzeyi doğru akım ve negatif elektrot kullanılarak bakır ilave malzemesi ile kaplanır. Daha sonra kaynak işlemi yine aynı ilave malzeme kullanılarak ve alternatif akım uygulanarak (yüzey temizliği için) gerçekleştirilir Pirinç malzeme ön ısıtma ihtiyacı gerektirmez. Kaynak işlemi esnasında ark, kaplanmış çelik malzeme yüzeyindeki ergime derinliğini kontrol altında tutmak bir başka ifade ile sınırlandırmak amacıyla, ilave malzeme üzerine yoğunlaştırılmalıdır.

2.7.6.3.5. Bakır Alaşımları - Nikel Alaşımları

Bakır ve bakır-nikel alaşımlarının nikel ve alaşımlarına kaynağı için çeşitli uygulamalar mevcuttur fakat pirinç ve bronz malzemeleri için bu uygulamalar sınırlıdır. Bakır ve nikel malzemeleri karşılıklı olarak birbirlerinde çözünürlük özelliğine sahiptirler. Bu özellikten dolayı, bu iki metelsel malzemenin ve alaşımlarının kaynağında çok fazla problemle karşılaşmaz. ve kaynak işlemi

esnasında ilave malzeme olarak bakır-nikel, bakır veya nikel alaşımlı ilave malzemeleri kullanılabilir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, bakır ve bakır-nikel alaşımları, nikel ve nikel-bakır alaşımlarına bakır-nikel veya nikel-bakır ilave alaşımlı malzemeleri kullanılarak birleştirilebildiği gibi uygun uygulamalar için ilave malzeme kullanılmadan da başarılı kaynak bağlantıları sağlanabilmektedir.

Nikel ve bakır malzemeler arasında gerçekleştirilen kaynak bağlantıları; nikel malzeme kaynak yüzeyinin bir nikel-bakır ilave malzeme ile kaplanması ve daha sonra bakır-nikel alaşımlı ilave malzemesi kullanılarak kaynak işleminin tamamlanması şeklindedir. Eğer işletme şartlarına bağlı olarak daha güçlü bir kaynak bağlantısına ihtiyaç varsa bu kez bakır malzeme kaynak yüzeyi bir bakır-nikel alaşımlı ilave malzeme ile kaplanır ve oluşturulan yeni yüzeyle nikel malzeme arasındaki kaynak bağlantısı nikel-bakır alaşımlı ilave metal kullanılarak tamamlanır.

Krom, demir veya her iki elementi de bünyesinde bulunduran nikel alaşımlarının, bakır veya bakır-nikel alaşımları ile kaynağında nikel ilave malzeme kullanılması tavsiye edilir. Bakır veya bakır-nikel bağlantı yüzeyi de, bakır ergimesinin kontrolü için, kaynak işleminden önce nikel ilave malzemesi ile kaplanır.

2.7.6.4. Alüminyum alaşımlarının farklı metallerle kaynağı

Alüminyum alaşımlı malzemelerin farklı metalsel malzemelerle birleştirilmesinde sık sık özel tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Alüminyum alaşımlı malzemelerle doğrudan birleştirilmesinde zorluklarla karşılaşılacak metalsel malzemeler kaplama (daldırma kaplama, elektroliz kaplama) uygulamaları yardımıyla alüminyum malzeme ile kaynak edilebilmektedir. Kullanılabilecek bir diğer teknik ise; alüminyum ve birleştirilecek diğer metalsel malzeme ile uyumlu bir bağlantı elemanının kullanılması suretiyle kaynak işleminin gerçekleştirilmesi şeklindedir. Tablo 2.17 de alüminyum malzemenin diğer metalsel malzemelerle birleştirilmesinde kullanılabilecek kaynak yöntemlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 2.17 Alüminyumun diğer metallerle birleştirilmesinde kullanılabilir kaynak yöntemlerinin incelenmesi (Aslan,2001)

Kaynak Prosesi	Fe Al.	Cu Al.	Ni Al.	Mg Al.	Ti Al.	Ag Al.	Pb Al.	Sn Al.	Ateşe Day. Metaller
Gaz Kaynağı	C	C	C	X	*	*	X	X	*
Ark Kaynağı	B	B	C	X	*	*	X	X	C
Nokta Direnç Kaynağı	B	X	*	X	*	*	*	*	*
Yakma Alın Kaynağı	X	A	B	X	*	*	*	*	*
Difüzyon Kaynağı	B	B	C	*	*	A		*	*
Basınç Kaynağı	A	A	C	A	A	C	C	C	C
Ultrasonik Kaynak	A	A	A	A	A	A	A	A	*

A - Kolaylıkla birleştirilebilir. (Al veya diğer malzemenin yüzeyinin kaplanması gibi ihtiyaçları gerektirmez)
 B - Birleştirilebilir , fakat özel tekniklere ihtiyaç duyulabilir.
 C - Mümkün fakat sınırlı deneme yapılmıştır
 X - Pek tavsiye edilmez
 * Uygun değil

2.7.6.4.1. Alüminyum alaşımları -çelik

Farklı metalsel malzeme bağlantılarından olan Al-Çelik bağlantıların da alüminyumun yüksek elektriksel iletkenliği, yüksek ısıl iletkenliği ve düşük yoğunluğu çelik malzemenin ise yüksek mukavemeti ve aşınma direnci bu bağlantıları cazip kılmaktadır.

Al-Çelik bağlantılarında seçilen malzemelere bağlı olarak kaynak bağlantısının ara yüzey oluşumları da fiziksel ve kimyasal açıdan farklılıklar içermektedir. Yapılan çalışmalarda alüminyum olarak saf alüminyum, Al-Mg-Si alaşımları sıkça seçilen malzemeler olurken, çelik olarak da yalın karbonlu çelik ve östenitik paslanmaz çelik malzemeler en sık seçilen çelik alaşımlarını oluşturmaktadır (Yılmaz ve Çöl., 2000). Ergitme kaynağı yöntemi ile birleştirilebilmeleri açısından, demir ve alüminyum uyumlu metaller değildir. Bu iki malzemenin ergime sıcaklıkları arasında büyük farklılıklar vardır. (Al 660°C ve Fe 1540°C) Her iki metalde katı fazda diğerinde hemen hemen çözünürlük özelliğine sahip değildir ve sonuç olarak gevrek kırılğan intermetalik fazlar meydana gelmektedir. (FeAl₂, Fe₂Al₅ veya FeAl₃) Dolayısıyla ergitme kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilen alüminyum ve çelik bağlantıları kırılğan bir yapıya sahip olacaktır. Ayrıca, ısıl genişleme katsayıları, ısıl iletkenlikleri ve

özgül ısıları arasındaki önemli farklılıklardan dolayı, bağlantıda yüksek kaynak gerilmeleri oluşmaktadır.

Çelik malzeme kaynak yüzeyinin, kullanılacak ilave malzeme ile uyumlu bir metalle kaplanması durumunda, alüminyum malzeme, yalın karbonlu çelik veya paslanmaz çelik malzeme ile uygun kaynak yöntemi kullanılarak kaynak edilebilir. Kaplama olarak alüminyum, gümüş ve çinko kaplamaları uygulanabilmektedir. Fakat en yaygın olarak kullanılan alüminyum kaplamadır. Kaplama işlemi; yüzeyi temizlenmiş çelik malzemenin 690°C-705°C sıcaklığındaki ergimiş alüminyum banyosu içerisine daldırılması şeklinde gerçekleştirilir. Çelik malzeme ayrıca, elektrolitik kaplama ve biriktirme yöntemleriyle de alüminyum malzemeyle kaplanabilmektedir (Weisman, 1984).

Temizleme işleminden sonra yüzeyi kaplanmış olan çelik malzeme, alüminyum malzemeye, alüminyum alaşımli ilave malzeme kullanılarak gaz tungsten ark kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilebilir. Kaynak işlemi esnasında ark, alüminyum malzeme üzerinde yoğunlaştırılmalıdır. Böylece ergimiş kaynak metali, çelik-alüminyum bileşiminin sınır tabaka kalınlığını arttırmadan alüminyum kaplama üzerine akar. Böyle bir bağlantının dayanımı;

- 1-) Çelik malzemeyi kaplamak için kullanılan metal,
- 2-) Kaplama kalınlığı,
- 3-) Çelik yüzeyi ile kaplanan yüzey arasındaki bağ dayanımı ile bağlantılıdır.

Bağlantı tasarımı, yükleme durumunu ve gerilme yoğunluklarını belirlemesinden dolayı direkt olarak kaynak dayanımını da etkiler.

İntermetalik bileşimlerin oluşumunu minimum seviyeye indirerek, Al malzemenin basınç kaynağı ve ultrasonik kaynak yöntemleriyle çelik malzemeye birleştirilmesi mümkündür. Kaynak çevrimi esnasında, ergime bölgesinin dışına atılmayan gevrek demir-alüminyum bileşenlerinin oluşumu sebebiyle alüminyum malzemenin direkt olarak çelik malzemeye birleştirilmesinde, yakma alın kaynağı yönteminden yararlanılamamaktadır.

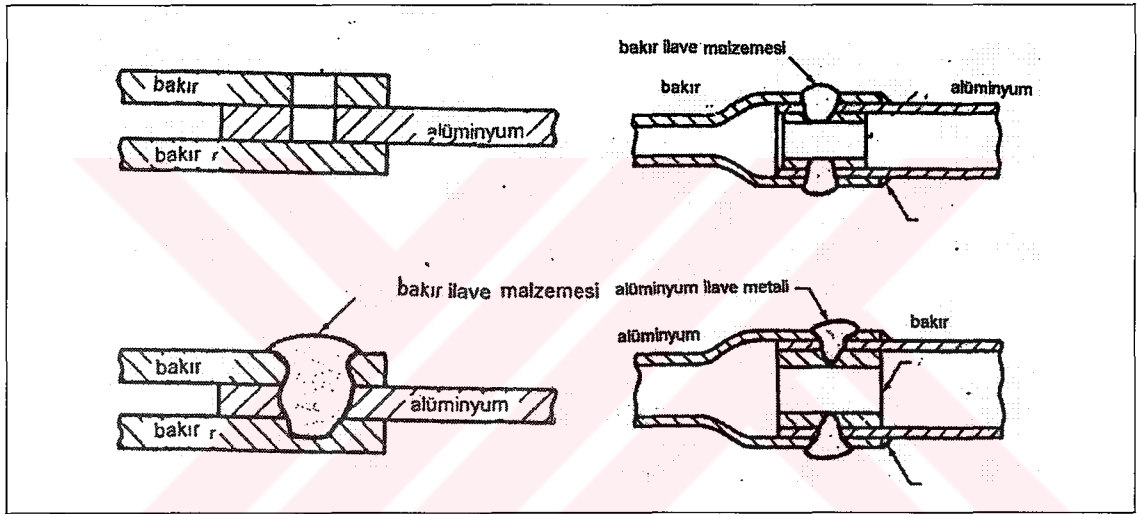
Alüminyumun çelik malzemeye birleştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemi sürtünme kaynağıdır. Sürtünme kaynaklı Al-çelik bağlantılarında en önemli problem kaynağını oluşturan ve kalınlığının mutlaka sınırlandırılması gereken intermetalik fazın oluşumunu engellemek için son yıllarda kullanılan bir diğer yöntemde ara malzeme kullanımıdır. Bu amaçla ara malzeme olarak Sn, Zn ve Ag düşünülmüştür. Ancak Zn' nin yüksek buhar basıncı ve Sn' nin ise düşük ergime sıcaklığı bu malzemelerin kullanımını zorlaştırmıştır. Bu nedenle kullanılabilecek en elverişli malzeme gümüş olmaktadır. Gümüş kaynaklanacak alın yüzeylere galvanoteknik ile kaplanabilir. Kaplama çelik tarafına uygulanmaktadır. Ancak bağlantının sağlığı açısından kaplama çok dikkatli yapılmalı ve kaplama çelik arası adhezyon çok iyi olmalıdır. Bu teknikten başka, ara yüzeye önce nikel takiben gümüş kaplama uygulanabilir. Genelde gümüş katman 10- 50mm kalınlıklarda ve mat renkte olmalıdır. Ayrıca kaynak öncesi alüminyum tarafı asit ile temizlenerek toz ve yağdan arındırılmalıdır (Yılmaz ve Çöl 2000).

2.7.6.4.2. Alüminyum alaşımları - bakır alaşımları

Alüminyum sıvı fazda, hemen hemen bütün nonferrous metallere çözünürlük özelliğine sahiptir, fakat katı fazda gevrek intermetalik bileşenler meydana gelmektedir. Bu gevrek bileşenler, alüminyum elementinin ergitme kaynağı yöntemi ile diğer metallere kaynağını büyük ölçüde sınırlar. Bu durum özellikle sıkça kullanılan ticari elementlerde, özellikle alaşım sistemlerinde; alüminyum-bakır, alüminyum-nikel, alüminyum-magnezyum v.b. geçerlidir. Oluşan bu gevrek intermetalik fazların oluşumundan kaçınılarak alüminyum ve bakır malzemeleri birbirleriyle yakma alın kaynağı, basınç kaynağı, ultrasonik kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilebilmektedir.

Alüminyum malzemenin, alüminyum veya alüminyum-silikon ilave malzemesi kullanılarak, bakır malzemeye gerçekleştirilen kaynak bağlantılarında, kaynak işleminden önce bakır malzeme yüzeyi gümüş veya alüminyum alaşımı ile kaplanmalıdır.

Alüminyum ve bakır malzemelerinin, elektriksel amaçlı birleştirilmelerinde gaz metal ark nokta kaynağı yöntemi kullanılabilir. Şekil 2.26' da de görüldüğü gibi metalsel malzemelerden biri, diğer metalsel malzemenin iki tabakası arasına yerleştirilir. Bağlantı işleminin gerçekleştirileceği üç elemandan ikisi matkapla delinir. Oluşturulan bu deliklerden, üçüncü malzemeye de nüfus edecek şekilde ve deliği tamamen dolduracak şekilde nokta ark kaynağı uygulanır. Bu kaynak uygulamasında da alüminyum malzeme iki adet bakır malzeme arasına yerleştirilmiştir. Alüminyum malzemenin bakır malzemelere başarılı bir şekilde birleştirilebilmesi için alüminyum veya bakır ilave malzemesi kullanılmalıdır.



Şekil 2.26. Alüminyum ve bakır metalsel malzemelerinin metal ark nokta kaynağı kullanılarak birleştirilmesi

2.7.6.5. Titanyum alaşımları - farklı metaller

Titanyumun alüminyum, bakır, demir, nikel ve krom malzemeleri ile katı fazdaki çözünübilirliği sınırlıdır. Ergitme kaynağı yöntemlerinde, çözünübilirlik sınırı aşıldığı zaman, gevrek intermetalik bileşenler meydana gelir. Bu ve benzeri bileşenleri bünyesinde bulunduran kaynak metali de şekilsel uygulamalar için yetersiz genişleme özelliğine sahiptir.

Vanadyum, titanyum ve demir ile uyumlu bir metal olduğu kadar, titanyumun çeliğe kaynağında ilave malzeme olarak veya bir ara tabaka olarak da görev alabilir.

Titanyumun, yalın karbonlu çelik veya 302 tip paslanmaz çelik ile nokta direnç kaynağıyla birleştirilmesinde, vanadyum ara tabaka kullanılması, bazı uygulamalar için uygun kesme dayanımına sahip olunmasını sağlar (Jeffus, 1993).

Metalürjik olarak titanyum, kolombiyumla uyumlu bir elementtir ve bu metallerin bir çok alaşımlarının ergitme kaynağı teknikleriyle birleştirilmesiyle, güçlü ve genleşebilirlik özelliğine sahip bağlantılar elde edilebilir. Bu sebepten ötürü kolombiyum, titanyumun diğer nonferrous metallerle kaynağında ara tabaka olarak kullanılabilir. Örneğin; bir bağlantı elemanı olarak kolombiyum ve bakır alaşımlı malzeme kullanılarak, titanyum ve nikel alaşımlarının kaynak işlemi ile birleştirilmesi mümkündür. Bu kaynak işleminde, titanyum kolombiyum malzemeye ve nikel alaşımlı malzemede, bakır alaşımlı malzemeye kaynak edilir. Benzer bağlantılar, elektron ışın kaynağı yöntemiyle de gerçekleştirilmiş ve 2 mm' ye kadarki saç kalınlıklarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bakır ve titanyum malzemelerinin beraber kaynak edilmesi çok zordur. Bu bakımdan iki genel yaklaşımın gerçekleştirilmesine çalışılır. Bu iki metalsel malzemenin, ara tabaka olarak kolombiyum kullanılması ile, gaz tungsten ark kaynağı prosesiyle birleştirilmesinde elverişli özellikler bulunabilir. Diğer bir yaklaşım ise, beta titanyumun bakır malzemedeki çözünebilirlik avantajından yararlanmaktır.

Titanyum malzemenin, alüminyum malzemeye ergitme kaynağı yöntemiyle birleştirilmesinde, malzemelerin ergime sıcaklıkları arasındaki büyük farklılıklardan dolayı ve meydana gelen gevrek intermetalik bileşenler sebebiyle bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Fakat alüminyum ve titanyum malzemelerinin, alüminyum ilave malzeme kullanılarak, lehim kaynağı ile birleştirilmesinde alüminyum-titanyum ara yüzeyinde minimum düzeyde bir gevrek intermetalik bileşim tabakası meydana getirilebilmektedir.

3. ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

3.1. Giriş

Metallerin elde edilmesinde ve işlenerek biçimlendirilmesinde kazanılan deneyim, beceri ve bilginin artması, bunların uygulama alanlarını da genişletmiştir. Bunlardan yapılan yapılar ve ürünler sürekli olarak iyi bir davranış göstermiş, ancak beklenmeyen ani kırılmalar birçok can ve mal kaybına yol açmıştır.

Endüstri devriminin başlarında metal kullanma alanlarının genişlemesi bu ani kırılma olayları dolayısı ile ortaya çıkan kazalarında artmasına yol açmıştır. Özellikle, bu yıllarda demiryolları kazaları sonucundaki can ve mal kayıpları kayda değer rakamlara erişmiştir.

Bu kazaların birçoğu tasarım hataları sonucunda ortaya çıkmış ise de, deneyimler ve gözlemler bu kazalardan bir bölümüne malzemede var olan mikro ölçüdeki çatlakların zamanla büyüyerek kırılmaya yol açmasının neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Malzeme kalitesinin iyileştirilmesi ve özelliklerinin daha uygun ve hassas şekilde saptanması, tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi ve çatlak varlığı olasılığının azaltılması bu ani kırılmalar sonucu ortaya çıkan kazaların kabul edilebilir bir düzeye inmesini sağlamıştır.

Tasarımda en önemli mühendislik kriteri, daha doğrusu mühendisliğin amacı, ürünlerin gerek üretim ve gerekse de kullanma sırasında sağlam, emniyetli ve ekonomik bir biçimde görevlerini yerine getirme koşuludur.

Bu koşulu yerine getirebilmek için mühendis, işletme zorlamalarını, bunların oluşturduğu gerilmeleri ve parçanın ya da yapının görevini yerine getiremeyecek derecede tahrip olacağı zorlanma ve gerilmeleri belirler. Mühendis bu hesapları göz önünde bulundurularak malzeme seçimini ve parça boyutlandırmasını yapar.

Kaynaklı ve zaman içinde tamiri olanaksız hasarlara uğrayan bu yapılar oldukça rijit ve çok az plastik şekil değiştirme kabiliyetine sahip olduklarından; zorlamaların oluşturduğu gerilmelerin var olan mikro çatlaklar veya kaynak hatalarından doğan çatlakların genişlemesine neden olduğu ve kaynak dikişi boyunca özellikle Isıdan Etkilenmiş Bölge'de (IEB), bu çatlakların büyük bir hızla ilerleyerek yapıyı oluşturan kaynaklı elemanın iki parçaya ayırdığı anlaşılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, keskin çentik ve çatlakların ucunda oluşan üç eksenli gerilme halinin düşük sıcaklıklarda gerilmeyi teşvik ettiği görülmüştür (Tülbentçi, 1998).

Kaynaklı yapılarda karşılaşılan kırılma olaylarında; kırılmanın, kaynak bölgesinde sürekli olarak ısıdan etkilenmiş bölgede var olan bir hatadan veya oluşmuş bir çatlaktan başlayarak geliştiği görülmektedir. Kaynaklı yapılarda bu tür kırılmalara neden vermemek için, kaynak sırasında, ısıdan etkilenmiş bölgede oluşan olayların iyi bilinmesi, ortaya çıkan yapının mekanik özelliklerinin hassas bir şekilde saptanması ve bunların bir tasarım kriteri olarak gözönüne alınması gereklidir. Bu konuya daha uygun bir çözüm ise, ısıdan etkilenen bölgenin özellikleri, bu tür olaylara neden olmayacak türde malzemelerin geliştirilmesi yolunda verilecek uğraşlardan geçmektedir (Kaluç, 2000).

3.2.Kaynak Kabiliyeti

Genel olarak kaynak işlemi, gerektirdiği yüksek sıcaklık derecesinden dolayı metalin iç yapısına ve bazı hallerde de kimyasal bileşimine etki etmekte ve sonuçta malzemenin özellikleri değişmektedir (Tülbentçi, 1998).

Kaynak edilen bir malzemede oluşan kaynak bölgesini; ergime bölgesi ve ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) olmak üzere iki bölümde inceleyebiliriz.

- **Ergime Bölgesi**

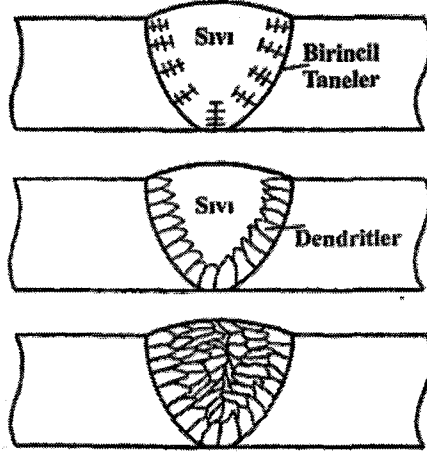
Bir kaynak dikişinin kesiti, metalografik olarak incelendiğinde ergimiş olan bölgeyi sınırlayan ergime çizgisi oldukça belirgin bir şekilde görülür. Metalin solidüsünden daha yüksek bir sıcaklık derecesine kadar ısınmış olan ergime bölgesi kimyasal

bileşim olarak esas metal ve ek kaynak metali karışımından oluşur. Karışım oranı her pasoda farklı olduğundan, her pasonun kimyasal bileşimi de birbirinden farklıdır. Tek pasolu kaynak dikişlerinde, bu bölgede esas metal ve kaynak metali, kaynak banyosundaki şiddetli türbülansınla iyice karışmıştır ve oldukça homojen bir bileşim gösterir. Buna karşın, çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metalle karışma oranı farklıdır. Örneğin, kalın parçaların çok pasolu kaynak dikişlerinde, orta kısımlarda, esas metale rastlanmayabilir. Ergime bölgesinde esas metalin kaynak metaline oranı, uygulanan kaynak yöntemi ve paso sayısına bağlı olarak geniş bir aralıkta değişir.

Ergime bölgesinde, esas metal ve kaynak metali oranı tam olarak bilinse de hesap yolu ile ergime bölgesinin kimyasal bileşiminin belirlenmesine olanak yoktur; çünkü, bir çok alaşım elementi kaynak sırasında ark içinde yanarak kayba uğrar. Bu kayıpları azaltmak için kaynak bölgesi, kaynak süresince atmosferin etkisinden korunur.

İyi bir kaynak bağlantısı, kaynak bölgesinin atmosferin etkisinden korunması ile elde edilebilir; çünkü, oluşan kimyasal ve metalurjik reaksiyonlar ancak bu şekilde kontrol altına alınabilir. Oksijen ile olan reaksiyonları kontrol etmek için ergime bölgesine çeşitli yöntemler ile dezoksidasyon maddeleri (örtüye, toza, tele katılarak) ile alaşım elementleri katılır. Ayrıca bu bölge, bir cüruf örtüsü veya oluşturulan kontrollü bir atmosferle de korunabilir.

Sıvı durumdaki metal içinde atomlar birbirleri arasında hareket serbestliğine sahiptirler. Soğuma sırasında; sıcaklık, metal veya alaşımın katılma noktasına kadar düşünce, atomların kristal kafesleri oluşturmak üzere birleşmeleri ile çekirdek oluşur. Bu sırada, metalden ısı çekilir ve soğumaya devam edilirse, çekirdekler taneleri oluşturmak üzere yeni atomların ve kristal kafeslerin eklenmesi ile büyümeye devam eder. Katılma sırasında ortaya çıkan ergime ısı, doğal soğuma hızını etkileyerek tanelerin daha fazla büyümesini önler (Tülbentçi, 1998).



Şekil 3.1. Kaynak metalinin katılaşma evreleri.

Tanelerin büyüebilmesi için ısının sürekli olarak metalden çekilmesi gereklidir. Kaynak halinde ısının büyük bir kısmı ergime bölgesinden kondüksiyonla esas metale iletilir, dolayısı ile soğuma yönüne paralel, oldukça iri silindirik taneler oluşur. Özellikle kalın parçaların, tek paso ile yapılmış kaynak dikişlerinde, bu iri silindirik tanelerin birleştiği orta kısımlarda katışkılar (gayri safiyetler) ve kalıntıların segregasyonuna rastlanır; bu olay, bu tür dikişlerin zayıflamasına ve kaynaktan hemen sonra dikiş eksenini boyunca oluşan sıcak çatlaklara neden olur (Tülbentçi, 1998).

- Isıdan Etkilenmiş Bölge

Metalsel malzemeler bir kaynak işlemi gördükleri zaman, kaynak dikişine bitişik olan bölge, kaynağa uygulanmış olan sıcaklık derecesinin, daha doğrusu ısıl çevrimin etkisi altında kalır. Özellikle, yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde bu ısıl çevrim, çeliğin eldesi sırasında görmüş olduğu ısıl çevrimlerden farklı olduğundan, ortaya çıkan içyapısı, buna bağlı olarak da mekanik özellikleri farklı bir bölge ortaya çıkar. Ergime çizgisinin esas metal tarafında, kaynak sırasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli çevrimlerden etkilenmiş ve dolayısı ile iç yapı değişimine uğramış bir bölge vardır; bu bölgeye ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) adı verilir. Isıdan etkilenmiş bölge, kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi sırasında sıcaklığın iç yapıyı, dolayısı ile esas metalin özelliklerini

etkilediği bölgedir. Bu bölgedeki metalurjik değişimlerin anlaşılabilmesi özellikle çelikler halinde oldukça kolaydır. Çeliklerin kaynağında bu bölgede sıcaklık 1450°C-700°C arasında değişmektedir; burada erişilen maksimum sıcaklığa bağlı olarak çeşitli içyapılar ve farklı özellikler gösteren bölgeler görülür.

Bu bölgede erişilen maksimum sıcaklık derecesi, kaynak dikişi eksenine olan uzaklığın ve sıcaklığın değişimi de zamanın fonksiyonu olarak bilinirse; kaynak işlemi sonunda oluşabilecek içyapı, esas metalin özellikleri ve bileşimi gözönünde tutularak bir dereceye kadar önceden tahmin edilebilir. Kaynak sırasında ısıdan etkilenmiş bölge hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonra parça kalınlığı, kaynağa uygulanan enerji (ısı) girdisi ve ön tav sıcaklığının fonksiyonu olarak yine hızlı bir biçimde soğumaktadır. Çeliğin bileşimine göre bu soğuma hızı, kritik soğuma hızını aştığında, genellikle 900°C'nin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert, dolayısı ile kırılgan bir yapı oluşur. Bu bölge bağlantının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılma bu bölgede ortaya çıkarak yapının tahrip olması ile sonuçlanır. Çeliklerin kaynağında ısının etkisi altında kalan bölge, içyapıdaki tane büyüklüğü bakımından şu değişik bölgeleri gösterir:

- İri taneli bölge,
 - İnce taneli bölge,
 - Kısmen dönüşmeye uğramış bölge,
 - İçyapı değişikliğine uğramamış bölge.
-
- İri taneli bölge

Ergime bölgesine bitişik olan ve kaynak sırasında 1450°C ile 1150°C arasındaki sıcaklıklarda kalmış bölgedir. Bilindiği gibi, metaller yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında tane büyümesi adı verilen bir olay oluşur. Bazı taneler büyüyerek kısmen veya tamamen küçük tanelerin yerine geçer ve dolayısı ile ortalama tane boyutu büyür. Tane büyümesi hızı sıcaklık arttıkça artar ve metalin solidüsüne yaklaştığında büyüme çok hızlanır. İri taneli yapılar, ince taneli yapılara oranla daha gevrek ve kırılgan olduklarından oluşmaları istenmez.

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

- İnce taneli bölge

Kaynak sırasında 900-1150°C arasında bir sıcaklığın etkisinde kalmış bu bölgede tane büyümesine rastlanmaz. Yeniden kristalleşmiş bölge olarak adlandırılan bu bölgede de ostenit oluştuğundan, soğuma sırasında soğuma hızına ve çeliğin bileşimine bağlı olarak aynen iri taneli bölgedeki yapıya benzer ince taneli bir içyapı görülür.

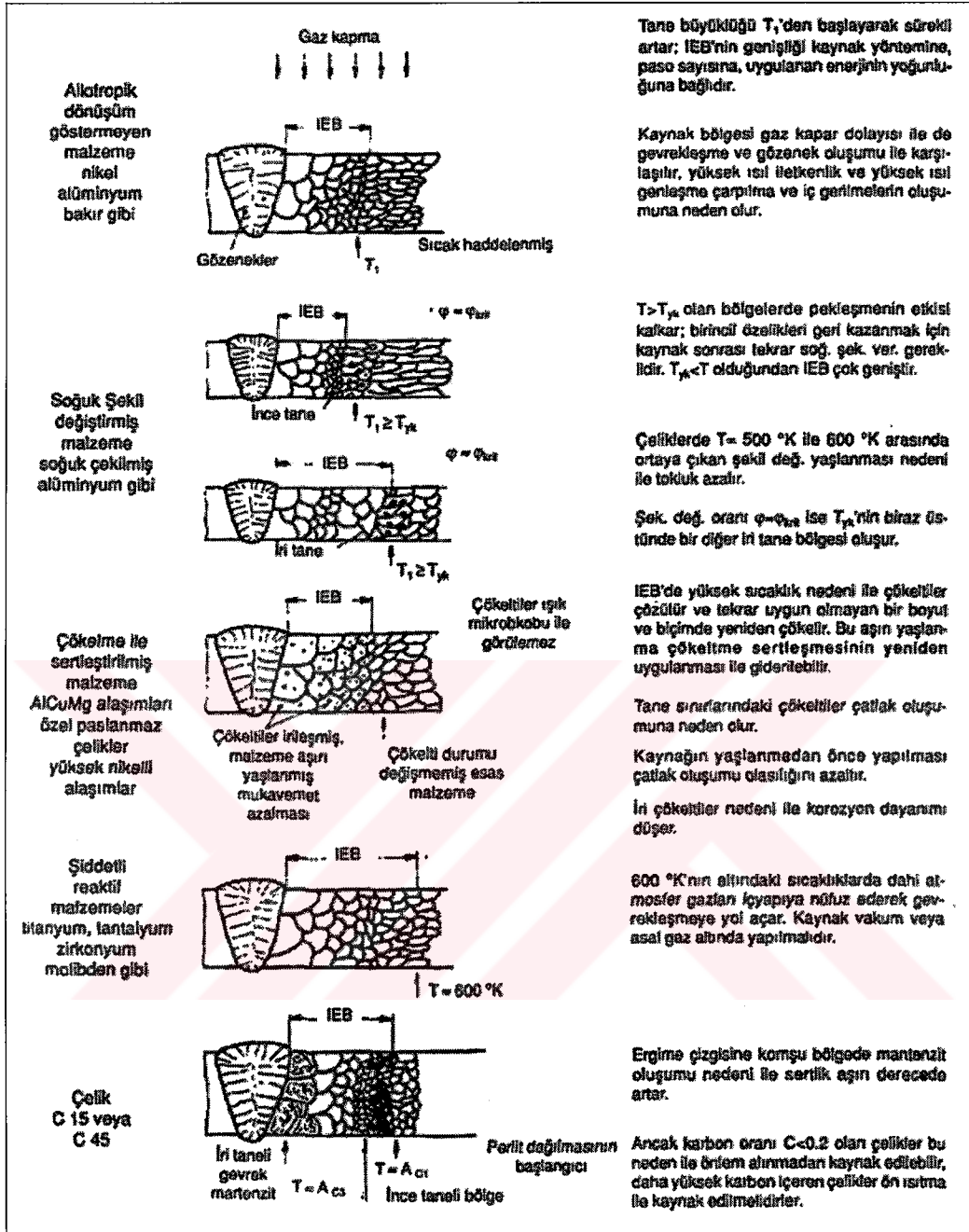
- Kısmen dönüşmüş bölge

İnce taneli bölgenin devamı olan bu bölge, kaynak işlemi sırasında 911°C ve 723°C arası bir sıcaklığa kadar ısınmış olup, bölgesel bir ostenitizasyona uğramıştır. Ostenit, dönüşüme uğradığından yapısındaki ostenit miktarına bağlı olarak, ilk iki bölgeyi andıran bir içyapı ortaya çıkar.

- İçyapı değişikliğine uğramayan bölge

Bu bölge 723°C nin altındaki bir sıcaklık derecesine kadar ısınmış olup, ısınma sürecinde çelikte bir dönüşüm oluşmamıştır. Bu bölgede bazen içyapılarda hafif bir temperleme etkisi görülebilir.

Kaynak işleminde genellikle metal önce liküdüünün üstünde bir sıcaklığa kadar hızla ısıtılmakta ve sonra soğutulmaktadır. Dolayısı ile, çeliklerin kaynağında kaynak bölgesinde, yukarıda belirtilmiş olan tüm bu dönüşümler sırasıyla oluşacaktır. Isıtmayı takibeden soğuma yavaş bir şekilde gerçekleştiğinde veya çeliğin karbon ve alaşım elementi içeriği sertleşme oluşturacak miktarlarda değilse, elde edilen içyapı tane büyüklüğü hariç, ilkel yapının aynı olacaktır. Buna karşın, sertleşme eğilimi



Şekil 3.2. Çeşitli tür metal ve alaşımlarının kaynağında IEB' inde ortaya çıkabilecek iç yapılar.

Kaynak işleminde genellikle metal önce liküdüsünün üstünde bir sıcaklığa kadar hızla ısıtılmakta ve sonra soğutulmaktadır. Dolayısı ile, çeliklerin kaynağında kaynak bölgesinde, yukarıda belirtilmiş olan tüm bu dönüşümler sırasıyla oluşacaktır. Isıtmayı takibeden soğuma yavaş bir şekilde gerçekleştiğinde veya çeliğin karbon ve alaşım elementi içeriği sertleşme oluşturacak miktarlarda değilse, elde edilen içyapı tane büyüklüğü hariç, ilkel yapının aynı olacaktır. Buna karşın, sertleşme eğilimi

olan çeliklerde ise, soğumanın hızlı olduğu durumlarda daha önce anlatılmış olan ve genellikle arzu edilmeyen özelikleri taşıyan içyapılar oluşur ki; işte çeliklerin kaynağını etkileyen en önemli etken budur. Isıdan etkilenmiş bölge ergitme kaynağında devamlı olarak ortaya çıkar ve bundan kaçınılması olanaksızdır. Büyüklüğü ise; kaynak işlemine uygulanan enerji, soğuma hızı, parçanın şekli, boyutları ve sıcaklığı ile malzemenin ısı iletim katsayısının etkisi altındadır. Bu faktörlerden değiştirilmesi olanaklı olanlar yardımı ile ısıdan etkilenmiş bölge bir dereceye kadar kontrol altında tutulabilir.

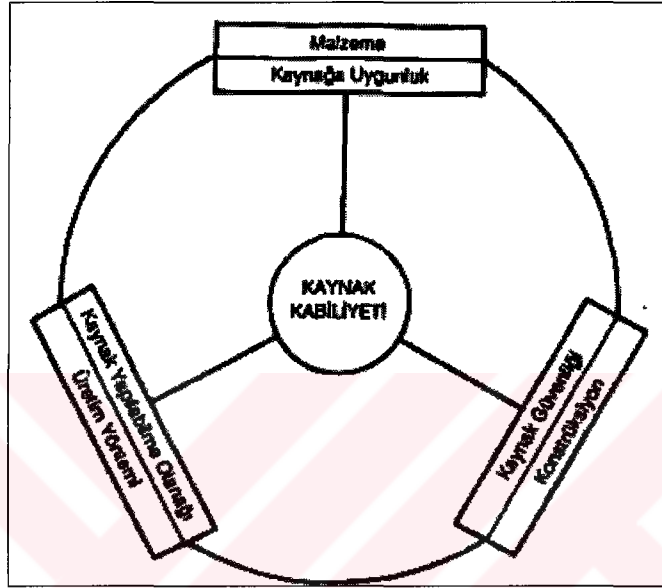
Isıdan etkilenmiş bölgede sert ve kırılgan bir yapının ortaya çıkması, soğuk çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kaynaktan sonra ortaya çıkan iç gerilmelerin, çalışma koşullarındaki zorlanmaların ve kaynak banyosundan yayılan hidrojenin etkilerinin birbiri üzerine çakışması ve sertleşen bölgenin plastik şekil değiştirme özeliğinin olmaması nedeni ile kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Genellikle, yüzeyden görülmeyen bu çatlaklar zamanla kritik büyüklüğe erişince hiç beklenmedik bir anda ve büyük bir hızla (elik içerisindeki ses hızının yaklaşık 1/3'  kadar) parçanın kaynak dikişine paralel olarak boydan boya kırılmasına neden olur.

Bir metalsel malzeme, eğer ısıdan etkilenmiş bölgedeki özelikleri fazla miktarda tahribe uğramamış ise kaynağa uygun olarak kabul edilebilir. Bazı durumlarda, bu bölgenin özeliklerinin korunması bakımından, özel önlem ve yöntemlere gerek duyulabilir; işte bu gibi durumlarda malzemenin kaynak kabiliyeti özeliğinin incelenmesi gerekir.

Kaynak kabiliyeti kompleks anlamı olan bir ifadedir. Milletlerarası Kaynak Enstitüsü IX nolu komisyonu kaynak kabiliyetini şöyle açıklamıştır: “Bir metalsel malzeme, bir yöntem ile bir dereceye kadar kaynak edilebilir; uygun bir yöntem uygulanarak metalik bağlantı elde edildiği zaman, bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona etkisi bakımından, belirlenmiş olan özellikleri sağlamalıdır”. (Kaluç , 1999)

Malzeme, konstrüksiyon ve yöntem kaynak kabiliyetini oluşturan üç etkendir. Malzeme-yöntem arasındaki ilişkide kaynak yatkınlığı incelenir. Böylece

malzemelerin nasıl bir ortamda kaynak edileceği belirlenir. Malzeme-konstrüksiyon arasındaki ilişki ile de kaynak emniyeti (güvenliği) belirlenmektedir. Konstrüksiyon-yöntem arasındaki ilişkide ise, kaynak olanağı belirlenir. Bu üç etkenin birleşimi kaynak kabiliyetidir.(Gültekin, 1991). DIN 8528' e göre kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığı gösterilmiştir.(Şekil 3.3)



Şekil 3.3. DIN 8528'e göre kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığı(Kaluç , 1999)

Kaynak kabiliyeti tanımı, metalin kaynak edilebilirliğinin yanı sıra kaynağın kalitesiyle ilgili hususları da içermektedir. Bu hususlar kaynaklanan bölgenin mekanik özellikleri, korozyon dayanımı, oksidasyon dayanımı, aşınma dayanımı, sızdırmazlığı, vakum sızdırmazlığı ve rijitliğidir. Bu özelliklerin analizi yapılarak kaynaklı bölgenin kalitesine karar verilir. Ayrıca kaynak dikişlerinin sahip olduğu hataların, kaynak kabiliyeti (malzeme-konstrüksiyon-yöntem) açısından sorun oluşturmaması gerekmektedir. Gözeneklilik (küçük boşluklar ve gaz gözenekleri), cüruf veya oksit kalıntıları ve erime azlığı (kaynak metali ve esas metal arasındaki birleşme yerlerinde bağlantının oluşmadığı alanlar) gibi hataların varlığı az da olsa mutlaka vardır.

Açıklamadan da anlaşıldığı gibi kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye ait bir özellik değildir, aynı zamanda kaynak yöntemine ve konstrüksiyona da bağlıdır DIN 8528 'e

göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörlerin şematik gösterilişi (Şekil 3.4).

Başarılı bir kaynak bağlantısının sağlanabilmesi amacıyla, birleştirilecek malzemelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri ile mikro yapılarının çok iyi bir şekilde incelenmiş olması gerekmektedir. Aynı bileşimdeki malzemelerin fiziksel özellikleri her zaman aynı olmayabilir. Aynı durum mekanik özellikler içinde geçerlidir, aynı grupta yer almalarına rağmen farklı metallerin mekanik özellikleri de farklı olabilir. Segregasyon ve metalürjik yapıdaki değişiklikler de malzeme özelliklerini etkileyecektir. Buna karşın, mühendis olarak bizim görevimiz;

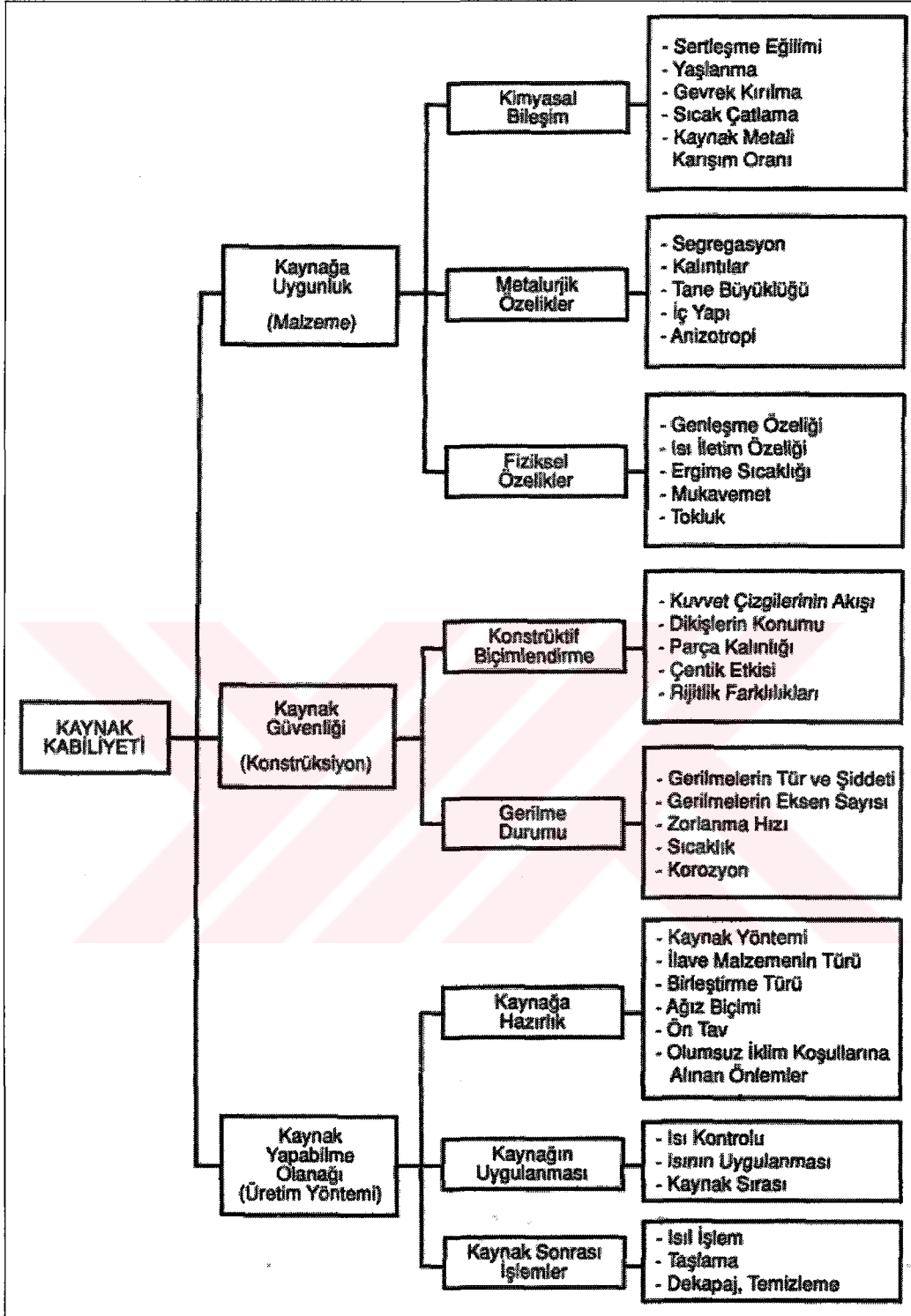
- Seçilen malzemelerin amaçlanan kullanım için uygun olması, bir başka ifadeyle, malzemelerin işletme koşullarını karşılayabilmesi için, uygun ve zorunlu özellikler taşımasıdır, (dayanım, yorulma mukavemeti, korozyon dayanımı, genleşebilirlik gibi)
- Kaynak bağlantısının tasarımı amaçlanan kullanım için uygun olmalıdır.

Rowe ve arkadaşları (1999), farklı metallerin kaynağında, kaynak işlemi esnasında veya kaynak işleminden sonra ergime bölgesinde bağlantıyı olumsuz yönde etkileyen istenmeyen oluşumlardan bahsetmişlerdir. Bu oluşumlar;

- Kaynak metalinde veya IEB' de birleşme esnasında veya kaynak işleminden sonra meydana gelen oluşumlar; sıcak çatlama, IEB çatlama, hidrojen kırılma gibi.
- Kaynak bölgesi ve komşu bölgelerde, işletme koşullarında meydana gelebilecek problemler. Bu problemler ise işletme şartlarında bağlantının verimini düşürecek her türde problemler olabilir.

Bütün bu oluşumlara olanak vermeyecek, problemlerden uzak bir kaynak tasarımı gerçekleştirmek birinci hedefimiz olmalıdır.

Sıcak kırılma olayı; kaynak şekli, artık gerilme, aşırı ısı yüklenmesi ve malzeme bileşimleri gibi faktörlerin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

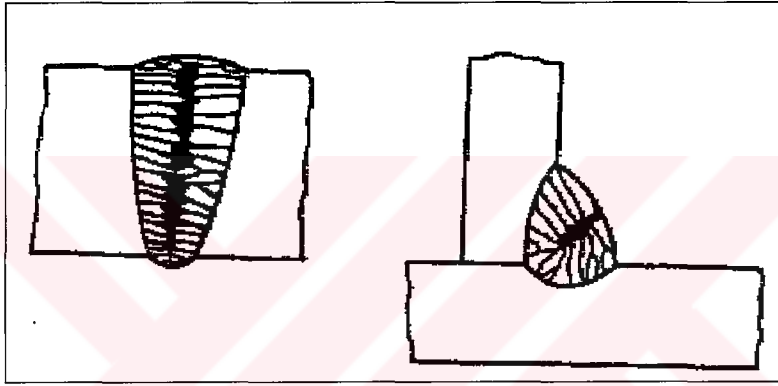


Şekil 3.4. DIN 8528' e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler (Kaluç,1999)

Artık gerilme, ergitme esaslı bütün kaynak proseslerinde karşılaşılan bir olaydır (katılaşma esnasında). Fakat artık gerilme değeri tasarımı olumsuz etkileyecek kritik değerini aşmamalıdır. Artık gerilme oluşumu, kaynak tasarımı ve birleştirilecek

malzemelerin kalınlığı ile direkt olarak bağlantılıdır. Kaynak şeklide, yine kaynak tasarımı ve kaynak prosesinin bir fonksiyonudur.

Bir diğer faktör ise malzeme bileşimidir; Segregasyon olayı önem kazanmaktadır, çünkü bileşimdeki sülfür ve fosfor gibi yabancı maddeler, metalin katılaştan tanecikleri arasında düşük ergime sıcaklığına sahip film oluşturma niteliğindedir. Bu oluşumda kırılma tehlikesini beraberinde getirmektedir. Kaynak bağlantısında artık iç gerilmelerin mevcut olması durumuyla da çatlak oluşumu hız kazanmaktadır (ASM Committe, 1983; Jeffus, 1993).



Şekil 3.5. Bir alın ve köşe kaynağında segregasyon bölgesi (Siyah olarak gösterilen kısımlar)

Hidrojen kırılmalığı ise, kaynak işleminden yaklaşık 4-8 saat sonra gerçekleşmesi dolayısıyla soğuk kırılma olarak bilinmektedir. Genellikle IEB' de meydana gelmektedir. IEB' deki kırılma oluşumlarını etkileyen faktörler ise (Rowe vd., 1999);

- Malzeme kalınlıkları ve kaynak şekli,
- Malzeme bileşimleri,
- Kaynak prosesi,
- Ön ısıtma sıcaklığı,

Bu faktörlerin hepsi birleşerek IEB' deki mikro yapıyı meydana getireceklerdir. Metalsel malzemeler bir kaynak işlemi gördükleri zaman, kaynak dikişine bitişik olan bölge, kaynağa uygulanmış olan sıcaklık derecesinin, daha doğrusu ısı çevrimin

etkisi altında kalır. Erime çizgisinin esas metal tarafında, kaynak sırasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısıl çevrimlerden etkilenmiş ve dolayısı ile iç yapı değişimine uğramış bir bölge vardır; bu bölgeye ısının tesiri altında kalan bölge (IEB) adı verilir. IEB, kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi esnasında sıcaklığın içyapıyı, dolayısıyla metalin özelliklerini etkilediği bölgedir (Anık vd., 1993).

Tez çalışmamız kapsamında yalın karbonlu ve az alaşımlı çelikler ve Ostenitik tip paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti üzerinde durulacaktır.

3.2.1. Yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynak kabiliyeti

Çağımız endüstrisinde en yaygın kullanılan metelsel malzeme demir esaslı alaşımlardır ve bunların içinde çelikler çok önemli bir yere sahiptirler. Çelikleri bu kadar önemli kılan özellik, çok farklı alaşım yapabilme olanağının yanı sıra ısıl işlemler yardımı ile de farklı özellikler kazanabilmeleridir. Bilindiği gibi, bir çelik su verilerek sertleştirildiğinde normal durumdaki aynı bileşimdeki çeliği rahat bir biçimde işleyecek takım malzemesi olarak kullanılabilir.

Endüstri devriminin başlangıcından bugüne kadar özellikleri ve bileşimleri farklı yaklaşık 4000 çelik türü geliştirilmiştir; ısıl işlemler yardımı ile aynı çelikte elde edilen farklı özellikler de hesaba katılırsa ne denli geniş bir spektrumun ortaya çıktığı görülür.

Kaynak kabiliyetinin metalürjisi başlığı altında, kaynak bölgesinde oluşabilecek yapıların metalürjik olarak incelemesi yapılmaktadır. Kaynak havuzu, kaynak dikişi, IEB ve ana malzeme geçişlerinden oluşmaktadır. Kullanılan elektroda göre değişen kaynak dikişinin yapısı, ergitme esaslı kaynak yöntemlerinde katılaşma sonucu oluşur. Katı hal yöntemlerinde ise ergime görülmez, difüzyon ve malzeme kaynaşması görülür. IEB bölgeleri ise ergitme yöntemlerinde daha geniş olur ve kaynak banyosunun yapısına etkisi daha fazladır. Kullanılan yöntem ve malzemenin ergime sıcaklığına bağlı elde edilen kaynak dikişine göre, IEB’ da farklı yapılar oluşabilmektedir.

Bu bölgede erişilen maksimum sıcaklık derecesi, kaynak dikiş eksenine olan uzaklığın ve sıcaklık değişimi de zamanın fonksiyonu olarak bilinirse; kaynak işlemi sonunda oluşabilecek iç yapı, esas metallerin özellikleri ve bileşimleri göz önünde tutularak bir dereceye kadar önceden tahmin edilebilir. Kaynak işlemi sırasında IEB hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonrada parça kalınlığı, kaynağa uygulanan enerji ve ön tav sıcaklığının fonksiyonu olarak yine hızlı bir biçimde soğumaktadır. Bu soğuma hızı, kritik soğuma hızını aştığında, ısınmış bölgelerde sert, dolayısı ile de kırılğan bir yapı elde edilir. Genellikle, IEB diye adlandırılan bu bölge kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve bir çok kırılmalar ve çatlamlar bu bölgede oluşur.

Teorik olarak IEB, ortam sıcaklığının üzerinde kalan tüm bölgeyi kapsar. Pratik olarak, kaynak yönteminin ısısı tarafından etkilenmiş ölçülebilen bölgedir. Örneğin haddelenmiş karbonlu çelik için IEB yaklaşık olarak 700°C' den daha küçük sıcaklıkların altındaki esas metal bölgesini kapsamaz, böylece kaynak ısısı küçük bir bölgeyi etkilemiş kabul edilir.

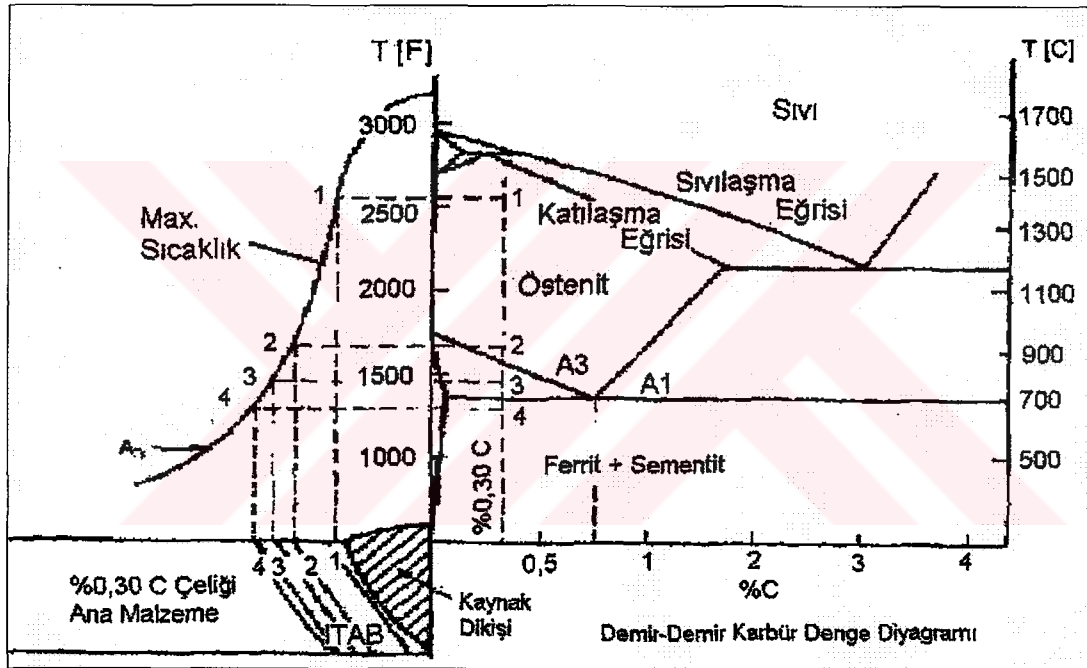
Kaynaklı bağlantının IEB' in tokluk ve mukavemeti esas metalin tipine, kaynak yöntemine ve kaynak parametrelerine bağlıdır. Kaynaktan etkilenen esas metallerde, kaynak ısıl çevriminin yüksek sıcaklıklara ulaşılması nedeniyle ortaya çıkan ısıl etkileşmelerden dolayı tavlama etkisi veya mukavemet artışı görülür. Kaynak IEB' ın sıcaklık değerleri, ortam sıcaklığıyla sıvılaşma sıcaklığının sınırları arasında değişir. Meydana gelen metalürjik etkilenmeler düşük sıcaklıklarda yavaşça, sıvılaşma değerlerine doğru daha hızlı meydana gelir.

Demirin katı haldeki dönüşümleri büyük bir öneme sahiptir. Bu özellik, özel bir şekilde yapılacak basit bir ısıtma ve soğutma işlemi ile kristal yapısının istenilen biçime getirilmesi imkanını vererek, malzeme özelliklerinin belirli sınırlar içerisinde istenildiği gibi ayarlanmasını sağlar.

Kaynak işleminde metelsel malzeme önce likidüsün üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonra soğutulmaktadır. Dolayısı ile çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinde, yukarıda belirtilmiş olan dönüşümler sıra ile gerçekleşecektir. Isıtıldıktan sonra soğuma yavaş bir şekilde gerçekleştiğinde elde edilen yapı tane büyüklüğünün

dışında, ilk yapının aynısıdır. Ancak soğumanın hızlı olması halinde çeliğin kaynağını etkileyen çok önemli durumlar ortaya çıkacaktır. (Stout, 1987).

Dönüşüm yoluyla mukavemet kazandıran alaşımlar kaynak işlemi sebebiyle ortaya çıkacak soğumaya bağlı olarak martenzit dönüşümüne uğrayacak alaşım içeren ve yeterli miktarda C içeren çelikleri kapsamaktadır. Bu çelikler kaynaktan önce temperlenmiş martenzit ısıtılma işlemi görmüşlerdir veya, kaynak ısıtılma çevrim süresince martenzit dönüşümü sebebiyle uygun sertleşmeye sahiptirler. Her iki durumda da yaklaşık olarak IEB aynı şekilde kaynak ısıtılma çevriminden etkilenir.(Şekil 3.6)

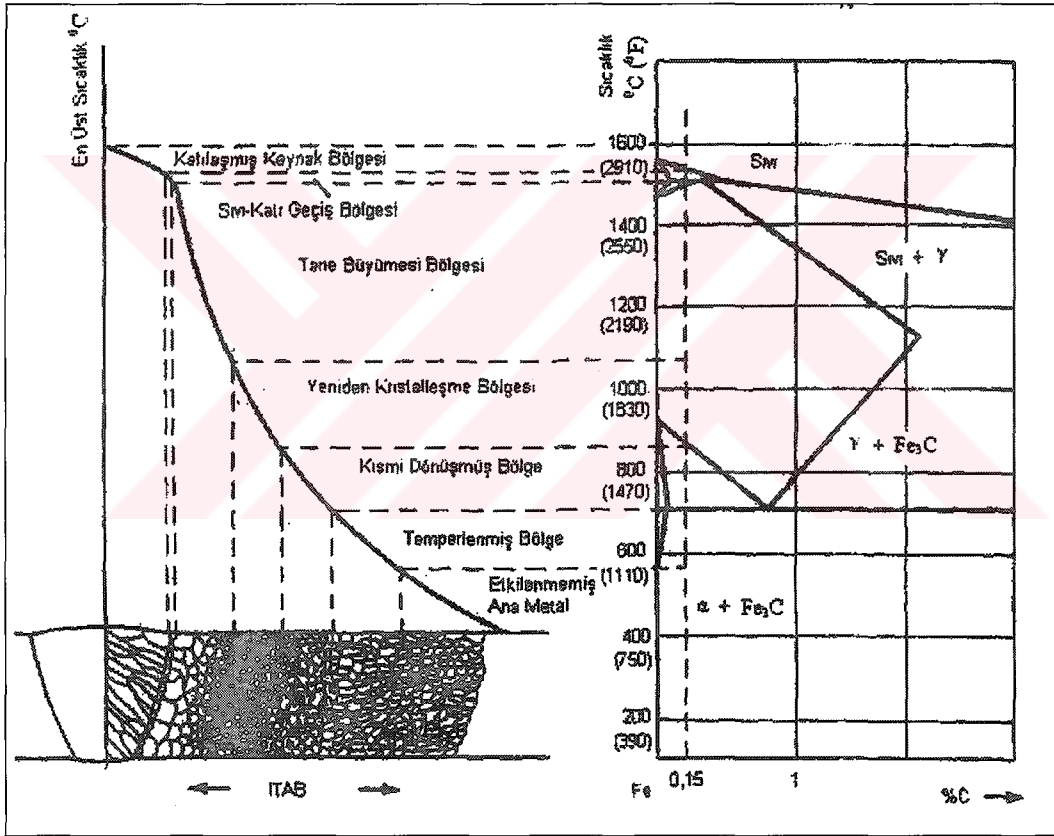


Şekil 3.6. Kaynak bölgesinde oluşan yapıların Fe-Fe₃C faz diyagramında gösterilişi

- ❖ Bölge 1, hemen kaynak dikişinin yanı olup iri taneli bölgedir. Sıcaklığın ergime noktası yakınına ulaştığı bölge olması nedeniyle, östenitik tane büyümesi meydana gelir. Geniş tane boyutu sertleştirme eğilimini artırır ve bu bölge, soğutma ile birlikte kolayca martenzit dönüşümüne uğrar.
- ❖ Bölge 2, östenit fazına ulaşmıştır ancak burada sıcaklığın tane büyümesine etkisi yoktur. Bu bölgenin sertleşebilirlik kabiliyeti tane büyümesine bağlı olarak önemsenmeyecek derecede artar ancak soğuma hızı yeterli derecede fazla ise veya alaşım miktarı yeteri kadar fazla ise, martenzit dönüşümü olabilir.

- ❖ Bölge 3 de. bazı tanecikler östenite dönüşebilse de diğerleri dönüşemez. Östenit tanecikleri oldukça incedir.
- ❖ Bölge 4'de östenite dönüşemeyen tanecikler vardır ancak ferrit tanecikleri kaynak ısısı etkisiyle temperlenebilir.

IEB'in ve IEB' deki her bir bölgenin genişliği kaynak ısı girişi tarafından kontrol edilir. Yüksek ısı girişi yavaş soğuma hızlarına neden olur. Bu nedenle, ısı girişi son içyapıları ortaya çıkarır. Şekil 3.7'de kaynak dikişinin ve IEB' in sıcaklıkla yapı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kaynak dikişinin ve IEB' in sıcaklıkla yapı değişimi (ASM Handbook, 1988)

IEB'in sertliği esas metalin karbon içeriğinin bir fonksiyonudur. Artan C oranıyla, IEB'in tokluğu azalır ve sertliği artarak çatlak eğilimini artırabilir. Yüksek karbonlu martenzit, tek başına çatlak meydana getirme sebebi değildir; hidrojenin çözünmesi ve kalıntı gerilmelerin varlığı da gereklidir. Sertleştirme kabiliyeti yüksek olan çeliklerin kaynak metalinin ve IEB' in sertlik değerinin düşürülmesi için son tavlama

ısıtılma işlemi iletir sürülebilir. Genellikle, IEB boyutunun kontrolü için düşük kaynak ısı girişı ve kaynak bölgesinin soğuma hızı kontrolü için yüksek ön tavlama sıcaklığı arzu edilir.

Kaynak ısısı nedeni ile eriyiğe alma sıcaklığı altına kadar ısınmış IEB, aşırı yaşlanır. Kaynak sonrası yaşlandırma işlemi bu bölgeyi yeniden sertleştirir. Eğer kaynak ısısı Çeliklerde iç yapı ve dönüşüm sıcaklıklarının Fe-Fe₃C denge diyagramına tam olarak uyması ancak yavaş soğuma halinde mümkündür. Yüksek soğuma hızı ve aşırı soğuma sonucu γ - α dönüşümü daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşecektir. Dolayısıyla elde edilen iç yapı büyük ölçüde dönüşüm sıcaklığına yani karbonun, (ve diğer alaşım elementlerinin) yayınma koşullarına bağlı olacaktır. Söz konusu sıcaklık düştükçe karbon atomlarının hareketliliği azalır; önce karbürlerin (Fe₃C) biçim, büyüklük ve dağılımları değişir. Alaşım elementleri de, karbonun yayınması yanında ferrit oluşumu için gerekli olan demirin öz yayınmasını, ayrıca dönüşüm süresi ve dönüşüm iç yapısını etkiler. Çeliğin bileşimine ve soğuma hızına bağlı olarak oluşan bu sert yapıya martenzit adı verilmektedir. Martenzit yapı çok sert ve kırılabilir bir yapıdır. Martenzit sertliği ise içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Uygulamada en yüksek sertlik % 0,7- 0,8' de C içeren çeliklerde görülmektedir. Martenzitik yapının gelişmesinde karbonun yanı sıra en önemli etken soğuma hızıdır (Weisman, 1984a; Stout, 1987).

Çeliklerin kaynak bölgelerindeki dönüşümleri soğuma hızlarına özellikle bağlıdır. Bunlar için geliştirilmiş zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları bulunmaktadır, bu diyagramlardan soğuma hızı seçerek kaynak yapmak pratik açıdan her zaman mümkün olmayabilir

Tüm bu konular göz önünde bulundurularak, uygulamada daha kolay sonuca giden bir çözüm geliştirilmiştir. Karbon eşdeğeri denilen bu çözümde; çeliğin bileşiminde alaşım elementlerinin miktarları bir formülde yerlerine konarak bir değer hesaplanır.

Kaynak işleminde genellikle metal önce erime sıcaklığının üstünde bir sıcaklığa kadar ısınmakta sonra da soğumaktadır. Çelik malzeme iyi bir şekil değiştirme kabiliyetine sahip ise, kaynak işlemi esnasında düzensiz soğuma nedeniyle ortaya

çıkan gerilmeler, malzemenin kendim bırakması sayesinde giderilir. Sünekliği az ve sert çelikler bu gerilmeleri gideremezse (karşı koyamazsa) çatlama tehlikesi artar. Kaynak kabiliyeti en iyi çelikler düşük karbonlu çeliklerdir. % 0,2 C miktarına kadar olan çelikler iyi kaynak edilebilirlik özelliğine sahiptirler. Daha yüksek karbon miktarlarında özel kaynak önlemleri gereklidir; ön ısıtma, ilave malzeme kullanımı veya yakma alın kaynak prosesi uygulanması gibi.

Kaynakta malzemelerin sertleşme meylini belirten bir değer sayısının bulunması ve bununla metalsel malzemenin bileşimine dayanarak, kaynak kabiliyetini belirten bir formülün elde edilebilmesi için bir çok çalışmalar yapılmış ve alaşım elementlerinin verdiği sertleşmeye eş değerde sertliği sağlayan C (karbon) miktarı saptanmıştır. Bu şekilde saptanan ve bileşimdeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliğe eş sertliği veren C miktarına karbon eşdeğeri adı verilmiştir.

Birçok ülkede ve çeşitli yönergelerde, kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılacak çeliklerin içeriğindeki karbon ve mangan miktarlar sınırlandırılmıştır. Bu iki element de çeliğin sertleşme eğilimi dolayısıyla çatlak oluşumu olasılığını arttırmırlar.

Karbon eşdeğeri arttıkça kaynak işleminden sonra soğumanın yavaşlatılması gerekmektedir. Bunun içinde tek çözüm kaynaktan önce bir ön tavlama uygulayarak soğuma hızını yavaşlatmaktır. Karbon eşdeğerine bağlı olarak ön tavlama sıcaklıkları saptanmış olduğundan uygulamada olay oldukça basite indirgenmiştir, yalnız burada kesinlikle bilinmesi gereken nokta malzeme bileşenleridir. Karbon eşdeğerinin hesaplanması konusunda, literatürde değişik formüllere rastlanılmaktadır. Bunlar salt bilimsel açıdan düşünüldüğünde, ne çelikleri sınıflandırmak için kriter olabilmekte ve nede kaynak kabiliyetinin bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Ancak uygulamada kullanılabilen ve doyurucu sonuçlar veren ampirik bağıntılardır. En genel formül olarak ise; Uluslararası Kaynak Enstitüsünün (IIW) IX No' lu Komisyonuna (Kaynak Kabiliyeti Komisyonu) göre karbon eşdeğeri formülü:

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

Görüldüğü gibi karbon eşdeğeri tamamen çeliğin bileşimi ile ilgili olup, kaynağa uygulanan enerji, kaynak ağız formu, parçanın geometrisi ve kalınlığı ile ilgili faktörleri içermemektedir. Karbon eşdeğeri, % 0,4 C u geçmeyen karbonlu çelikler kaynağa uygundur. Bu değer, eğer karbon miktarı < % 0,22, fosfor miktarı < % 0,06 ise ve çelik malzeme kalınlığı < 19,1 mm ise, % 0,45 değerine kadar arttırılabilir. Genelde karbon eşdeğeri > 0,40 olursa özel önlemlere ihtiyaç vardır (Tablo 3.1).

Uluslararası Kaynak Enstitüsü' nün IX nolu Kaynak Kabiliyeti Komisyonu çatlama karşı bir emniyet olarak ısıdan etkilenmiş bölgede sertliğin 350 HV (Vickers)'i aşmamasını önemle önermektedir. Isıdan etkilenmiş bölgenin sertliğini düşürmek için uygulanan en emin yol parçaya kaynaktan önce bir ön tavlama uygulamak ve bu sıcaklık derecesinde kaynağı yapmaktır. Bu şekilde soğuma hızı da, kritik soğuma hızından daha yavaş bir hızla düşürülmektedir. Birçok kitap yazarınca önerilen ikinci bir yöntem de parçaya kaynaktan sonra bir normalizasyon tavlama uygulaması uygulamaktır. Bu şekilde parça normalize edilmiş olduğundan ısıdan etkilenmiş bölgede martenzite rastlanmaz. Bütün bu ifadelerden çıkarılabilecek sonuç; kaynak kabiliyetinin, kompleks bir konu olduğu ve kaynak parametreleriyle olduğu kadar malzeme bileşimleri ve diğer etkenlerle de bire bir bağlantılı olduğudur. Başarılı bir tasarım ve kaynak kabiliyeti içinde, bütün bu faktörlere gereken önemi vermek çok önemlidir.

Tablo 3.1 Karbon eşdeğerine bağlı ön tavlama sıcaklıkları (Anık vd., 1993)

Karbon Eşdeğeri(Ceş)	Ön tavlama sıcaklığı(°C)
<0,40	-
0,45-0,60	100-200
>0,60	200-350

Sertleşmeye eğilimi olan, karbon eşdeğeri %0.45' ten daha büyük olan çeliklerin kaynağı sırasında aşağıdaki konulara özen gösterilmelidir:

- Uygun seçilmiş bir öntavlama sıcaklığı tüm parçaya uygulanmalıdır.
- Tüm kaynak işlemi süresince bu sıcaklığın aynı kalmasına özen gösterilmelidir.

- Kurutulmuş bazik karakteri örtülü elektrod kullanılmalıdır.
- Parçaya bir gerilmeleri azaltma tavlama uygulanacak ise, olabildiğince kaynaktan hemen sonra, parça soğumadan uygulanmalıdır. Parça, tavlandıktan sonra fırında bekletilerek 300°C' ye kadar soğuduktan sonra çıkarılmalı ve sakın havada soğumaya terk edilmelidir.



Tablo 3.2. Karbon eşdeğeri, elektrod çapı, parça kalınlığı, ağız türüne göre uygulanması önerilen öntav sıcaklıkları.

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

• = Öntav tavsiye edilmez
X = Gerekli öntav sıcaklığı çok yüksek olduğu için uygulamada kullanılmaz.

Tablo 3.3. Endüstride Sıkça Karşılaşılan Ve Problemsiz Kaynak Edilebilen Çelikler

Çeliğin Kısa Gösterimi				Çeliğin Özellikleri				Çeliğin Kimyasal Bileşimi %							
Malzeme No.	DIN 17100	EU 25	EN 10027-1	Gaz Giderme	Testimat Durumu	Üretim Durumu	C s<16mm	C 16<s<40	C s>40mm	Mn	Si	P	S	N	
1.0035	St3	Fe310-0	S185	-	-	BS	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.0037	S137-2	Fe360B	S235JR	-	-	BS	0.17	0.20	-	-	-	0.045	0.045	0.009	
1.0036	US137-2	Fe360B	S235JRG1	FU	G1	BS	0.17	0.20	-	-	-	0.045	0.045	0.007	
1.0038	RS137-2	Fe380B	S235JRG2	FN	G2	BS	0.17	0.17	0.20	-	-	0.045	0.045	0.009	
1.0114	S137-3U	Fe380C	S235JO	FN	G2	QS	0.17	0.17	0.17	-	-	0.040	0.040	0.009	
1.0116	S137-3N	Fe360D1	S235J2G3	FF	G3	QS	0.17	0.17	0.17	-	-	0.035	0.035	-	
1.0117	-	Fe360D2	S235J2G4	FF	G4	QS	0.17	0.17	0.17	-	-	0.035	0.035	-	
1.0044	S144-2	Fe430B	S275JR	FN	G2	BS	0.21	0.21	0.22	-	-	0.045	0.045	0.009	
1.0143	S14-3U	Fe430C	S275JO	FN	G2	QS	0.18	0.18	0.18	-	-	0.040	0.040	0.009	
1.0144	S144-3N	Fe430D1	S275J2G3	FF	G3	QS	0.18	0.18	0.18	-	-	0.035	0.035	-	
1.0145	-	Fe430D2	S275J2G4	FF	G4	QS	0.18	0.18	0.18	-	-	0.035	0.035	-	
1.0045	-	Fe510B	S355JR	FN	G2	BS	0.24	0.24	0.24	1.60	0.55	0.045	0.045	0.009	
1.0553	S152-3U	Fe510C	S355JO	FN	G2	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.040	0.040	0.009	
1.0570	S152-3N	Fe510D1	S355J2G3	FF	G3	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	-	
1.0577	-	Fe510D2	S355J2G4	FF	G4	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	-	
1.0595	-	Fe510DD1	S355K2G3	FF	G3	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	-	
1.0596	-	Fe510DD2	S355K2G4	FF	G4	QS	0.20	0.22	0.22	1.60	0.55	0.035	0.035	-	
1.0050	S150-2	Fe490-2	E295	FN	G2	BS	-	-	-	-	-	0.045	0.045	0.009	
1.0060	S160-2	Fe590-2	E355	FN	G2	BS	-	-	-	-	-	0.045	0.045	0.009	
1.0070	S170-2	Fe690-2	E360	FN	G2	BS	-	-	-	-	-	0.045	0.045	0.009	

Karbonlu ve alaşımlı yapı çelikleri ve makina imalat çeliklerinin büyük bir bölümüne, bileşime bağlı olarak karbon eşdeğeri yardımı ile belirlenmiş bir öntavlama uygulayarak kaynak yapmak olasıdır. Bu tür çeliklere şu kaynak yöntemleri uygulanır:

- Oksi asetilen kaynağı,
- Örtülü elektrodla elektrik ark kaynağı,
- Tozaltı kaynağı,
- MAG kaynağı,
- Elektrocuruf kaynağı,

Argon veya helyum kullanan TIG ve MIG kaynak yöntemleri teorik olarak uygulanırlarsa da, koruyucu gazın maliyete büyük etkide bulunması nedeniyle kullanılmazlar. Ancak günümüzde sert dolgular oluşturmaya dönük olarak geliştirilmiş ve son yıllarda kullanımı hızla artan özlü tel elektrodlar vardır. Bu siektrodlar bir koruyucu gaz kullanarak yada kullanmadan uygulanırlar.

Oksi asetilen kaynağı sadece küçük parçaların tamir kaynağında kullanılır. Günümüzde, özellikle parçaların tamir işleri için örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı yöntemi tercih edilmektedir. Doldurma işleri için zaman zaman tozaltı kaynak yöntemi de kullanılmaktadır.

Üretimde ise, örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, MAG kaynağı, tozaltı kaynağı ve elektro-curuf kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. Yöntemin seçiminde, parçanın şekli, boyutları, sayısı ve yatırım maliyeti göz önünde bulundurulur.

3.2.2. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

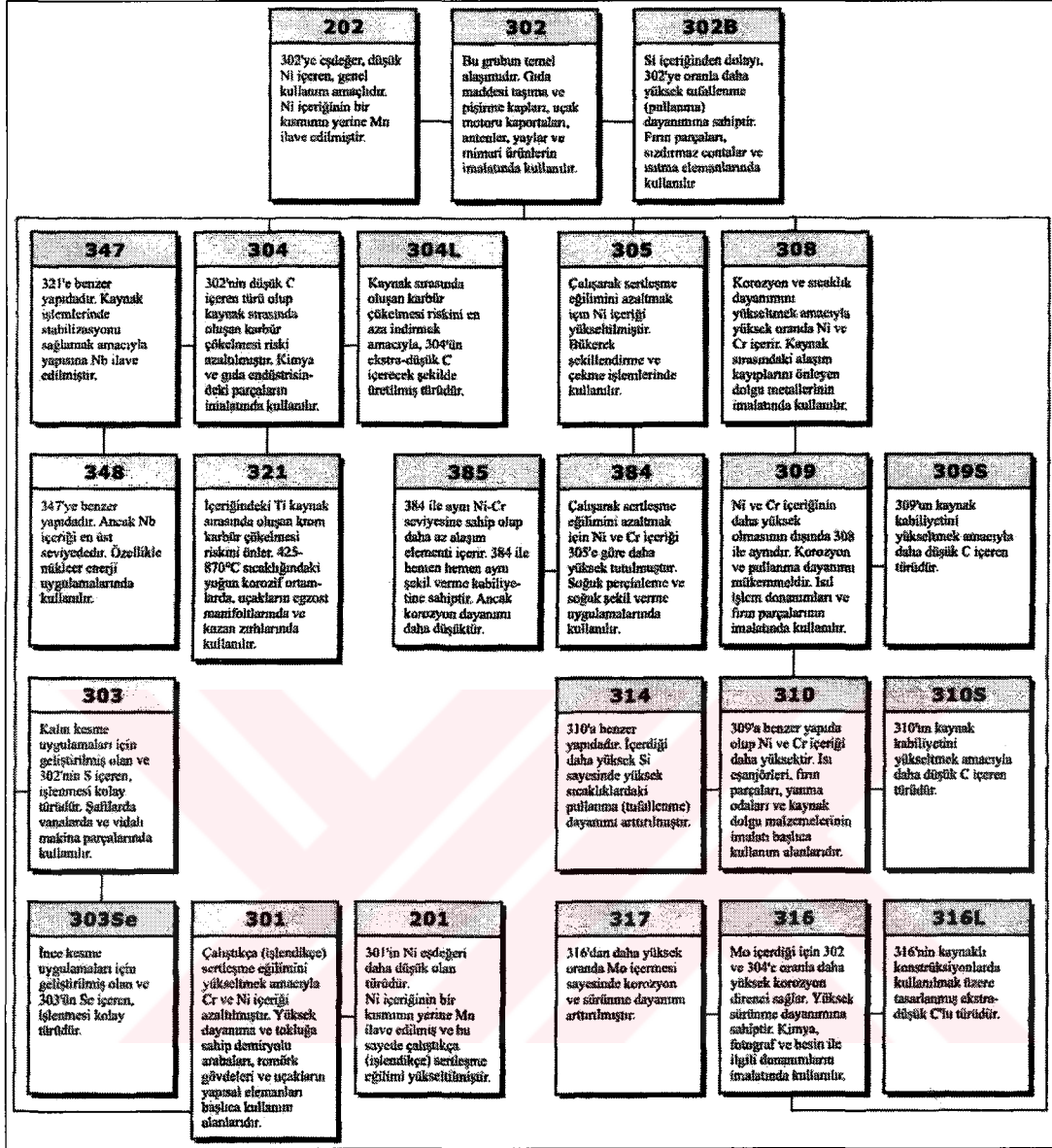
Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri martenzitik kromlu ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Bu bakımdan, paslanmaz çelikler içinde çok yaygın olarak kullanılan bu türün çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilmesi de büyük önem taşımaktadır. Bundan dolayı, burada ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliklerini etkileyen faktörlerin yanı sıra kaynak yöntemlerinin uygulanmaları, kaynak öncesi ve sonrası alınması gereken önlemler ve elektrodların metalürjik faz dönüşümleri açısından seçimi ele alınmaktadır.

Bu tür çeliklerin kaynak metalürjilerini incelemeyen önce fiziksel özelliklerini ve bunların kaynak işlemi sırasında ve sonrasında yaratacağı etkileri yeniden hatırlama da fayda vardır. Zira;

- Isı iletme katsayıları oda sıcaklığında, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin 1/3'ü kadardır.
- Isıl genleşme katsayıları karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin yaklaşık 1,5 katı yani %50 daha fazlasıdır.
- Bu tür çeliklerin elektrik iletme dirençleri, alaşımsız çeliklere nazaran 4-7 kat daha büyüktür.

Bu fiziksel özelliklerinden dolayı, krom-nikelli çeliklerin kaynağında karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağından daha fazla kendini çekme oluşur. Kaynak dikişinin soğuması sırasında bu bölgede oluşan şiddetli iç gerilmeler çatlama tehlikesine yol açar. Bu tür paslanmaz çeliklerin çift taraflı iç köşe dikişlerinde de çatlakların oluşma olanağı çok fazladır.

Şekil 3.8 de Ostenitik tip paslanmaz çeliklerin türleri ve kullanım alanlar ifade edilmiştir.



Şekil 3.8. Ostenitik tip paslanmaz çeliklerin türleri ve kullanım alanları

3.2.2.1. Kaynak metalürjisi

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliklerini etkileyen fiziksel özelliklerinin yanında bir dizi metalürjik etkende bu tür çeliklerin kaynağında önemli rol oynar; bunlar delta ferrit fazının oluşumu, taneler arası korozyona hassasiyet ve sigma fazının oluşmasıdır.

3.2.2.1.1. Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalleri

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin üretimlerinde, sıvı halden itibaren katılaşma başlayınca, yapı içinde ostenit ve delta ferrit taneleri oluşmaya başlar. Delta ferrit (δ -ferrit) doğrudan doğruya katılaşma sırasında meydana gelen ferrittir, bu yapı bu tür çeliklerin metalürjisinin incelendiği bölümde de anlatıldığı gibi ostenitin normal dönüşümü ile oluşan ferrit değildir. Katılaşma, normal olarak ingota dökülen bir sıvı metalin katılaşmasındaki gibi olduğunda bu çeliklerin yapısında, ostenit taneleri arasına serpilmiş delta ferrit tanecikleri oluşur. Bu faz, krom ve ferriti dengeleyen elementler yönünden zengin, nikel ve osteniti dengeleyen elementler yönünden fakirdir. (Bu fazın oluşumu çelik üreticilerinin istemediği bir durumdur. Zira sıcak şekil değiştirmeyi zorlaştırır ve malzemedeki çatlak oluşumunu teşvik eder. Sıcak haddelemenin rahatlıkla gerçekleştirilebilmesi için malzemenin delta ferritten olabildiğince arındırılması gereklidir. Bunun için çelik üreticileri çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Örneğin; ostenit yapıcı elementlerin (Ni, Mn gibi) miktarlarının artırılması uygulanan yöntemlerden bir tanesidir.

Gerçekte, bazı tür ostenitik paslanmaz çeliklerde ostenitik yapıcının oda sıcaklığında ve düşük sıcaklıklarda kararlı olmadığı ve bazı koşullar altında dönüşebildiği bilindiği üzere, soğuk şekil değiştirme kısmen martenzitik bir yapı oluşumuna yol açabilir ve malzeme bu durumda daha sert ve manyetik olur.

δ -ferrit fazının sürekli olarak tanecik sınırlarında bulunması çeliğin korozyon direncini azaltıcı yönde etkir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda uzun süre δ -ferrit taşıyla karşı karşıya kalınması sonucunda da malzemenin mukavemetinde ve biçimlendirilme yeteneğinde kötü yönde etkiyen sert ve gevrek sigma fazının (σ) oluşumu gibi sorunlar ile karşılaşılır. Yüksek krom içeren paslanmaz çeliklerde karşılaşılan σ -fazı, tetragonal bir kafes yapısına sahiptir. Ticari paslanmaz çelik alaşımlarında bileşimde Si ve Mo gibi ferrit yapıcıların varlığı σ -fazının oluşumunu hızlandırdığı gibi var olduğu sıcaklık aralığını da genişletir. Aslında σ -fazının demir-krom ikili alaşımlarındaki oluşum aralığı oldukça dardır. 800-600°C sıcaklık aralığında çok yavaş bir hızla oluşur. Bu fazın bulunması çeliğin uzama, büzülme ve çentik-darbe mukavemetini düşürdüğünden varlığı arzu edilmez. Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde σ -fazının bulunması kaynak

edilebilirliklerini de olumsuz yönde etkiler ve metaller arası bir bileşik olan bu sert (800-1000HV) fazın oluşabilmesi için ostenitik yapı içinde bir miktarda ferrit bulunması gerekir. Ostenitik paslanmaz kaynak metallerinin mikro yapıları esas metalinkinden bir miktar farklılık gösterir. AISI 310 tam Ostenitik kaynak metali olabildiği gibi AISI 308, 309, 312, 316 tür kaynak metallerinde yapı ostenitik-ferritik olarak katılaşmaktadır.

Krom-nikelli paslanmaz çelik kaynak metallerinde ostenitin katılaşması sırasında ortaya çıkan delta ferrit fazı üzerine yapılan uygulamalı araştırma sonuçları, bu fazın varlığının kaynak metalinin sıcak çatlama eğilimini arttırdığını göstermiştir. Bu açıdan delta ferrit kristallerinin oluşumunun katılaşma ile kontrol edilebilmesi ostenitik paslanmaz çelik kaynak metalinin sıcak çatlama direncinin düzeltilmesinde bu fazın ölçülmesinin önemini ortaya çıkarır. Krom-nikel oranı delta ferrit oluşumunda oldukça önemlidir. Diğer alaşım elementlerinin bulunması da esas metal ve kaynak metalinin karışımı ve kullanılan kaynak yönteminin etkisi delta ferrit oluşumu açısından dikkate alınmalıdır. Ostenitik paslanmaz çelik kaynak metallerinde kaynak metalinin kimyasal bileşiminin yardımı ile delta ferritin kontrol altında tutulması üzerine birçok araştırmacı çalışmıştır. Zira, ostenitik kaynak metalinde delta ferritin miktarı bazı ortamlarda büyük problemler doğurmaktadır. 316 ve 317 gibi Mo içeren paslanmaz çelikler ve hatta bunların düşük karbonlu türlerinde dahi sıcak oksidasyon ortamlarında (üre) korozyon direnci önemli ölçüde düşebilir. Sıfırlı sıcaklık uygulamalarında delta ferritin artmasıyla çentik-darbe mukavemeti düşer.

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan farklı elektrodlar kaynak metalinin yapısını değiştirir. Bu amaç ile, kaynak metalinde delta ferritin kontrolü kullanılan kaynak yöntemine göre, kullanılacak kaynak elektroduna ve hatta kaynağın uygulanmasına bağlı olarak yapılabilir. Bu gerçeklerden yola çıkan araştırmacılar kaynak metalinin kimyasal bileşimini saptamak üzere çeşitli diyagramlar geliştirmişlerdir.

Ostenitik paslanmaz çelik kaynak metallerinin kimyasal bileşiminde delta ferritin saptanması ile ilgili ilk çalışmalar 1949 yılında Anton SCHAEFFLER tarafından

gerçekleştirilmiştir. Schaeffler, 4.76 mm (3/16 inç) çapında dolu çekirdekli, örtülü ostenitik elektrodlar kullanarak diyagramın sınır çizgilerini tanımlamak üzere bir seri deney gerçekleştirmiştir. Zira Schaeffler in diyagramında delta ferrit içeriğinin saptanmasında \pm %4 lük bir hata payı vardır. Gerçekte ostenitik kaynak metalindeki ferrit içeriğinin metalografik incelenmesi, parlatma ve dağlama prosedürlerine göre değişmektedir.

Schaeffler diyagramında, ferriti dengeleyici elementler $Cr_{e\delta}$ olarak yatay ekseninde, osteniti dengeleyici elementler ise $Ni_{e\delta}$ olarak düşey ekseninde yerleştirilmiştir. Schaeffler diyagramında yüksek azot içerikleri dikkate alınmamıştır. Bu açıdan diyagram sadece % 0.05-0.1 N içerikleri için uygulanabilir. Ayrıca karbonun %0.03' lük minimum miktarı ve % 0.3' lük Si miktarı da tamamen tahmini olarak ele alınmaktadır. Ayrıca bu diyagramın yüksek Mn içeren paslanmaz çelikler için de kullanılması pek uygun değildir,

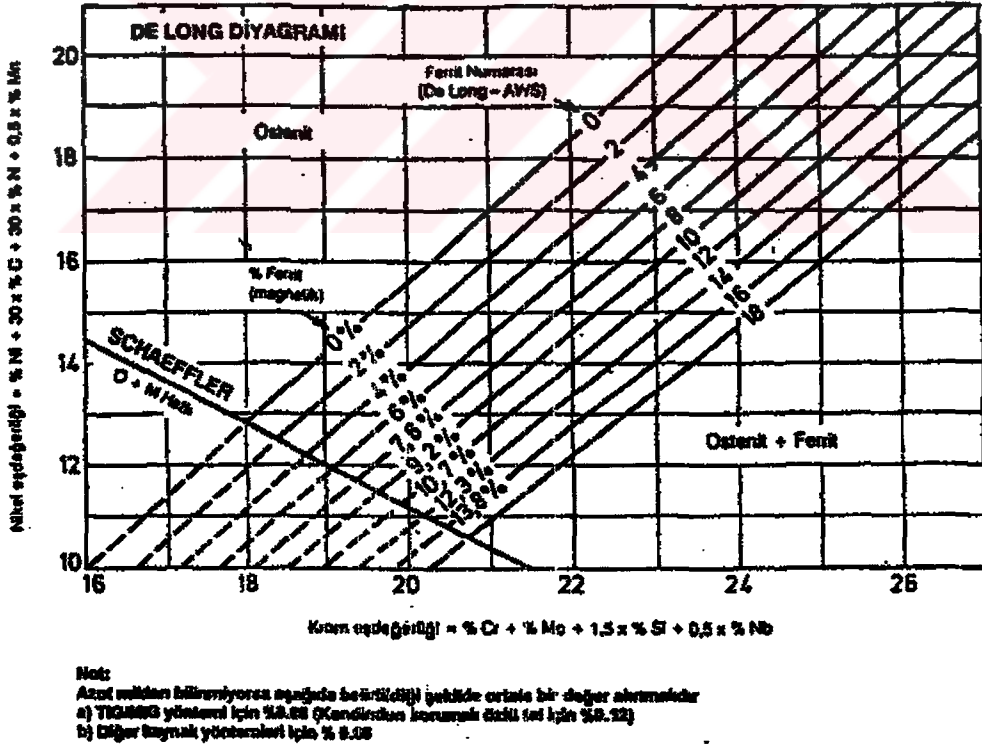
Schaeffler diyagramı bugün hala paslanmaz çeliklerin üretimi, paslanmaz çelik elektrodların geliştirilmesi ve bu tür çeliklerin kaynak edilmeleri konusunda çalışan bir çok mühendis ve teknik eleman tarafından yaygın olarak kullanılan bir diyagramdır. Bu açıdan diyagramı burada detaylı incelemekte fayda vardır. Günümüzde kullanılan Schaeffler diyagramındaki bölgeler bölüm 2 de detaylı olarak incelenmiştir..

Bu deneyimler üzerine De Long, kaynak metallerinin sıcak çatlama direncinin artırılması için delta ferrit miktarını, ölçen yöntemlerin getirdiği problemleri mükemmel bir şekilde çözümlenmiştir De Long un araştırmaları sonucu geliştirdiği De Long diyagram, ilk defa 1956 yılında yayınlanmıştır(Şekil3.9).

De Long diyagramında, Schaeffler diyagramında $Ni_{e\delta}$ bağıntısında yer almayan kuvvetli ostenit dengeleyici etkisi dikkate alınır. Zira, ostenit dengelemede C ve N, Ni' den 30 kat daha etkilidir. Hatta ostenitik paslanmaz kaynak metalinde bulunabilecek az miktardaki bazı elementler dahi mikroyapıyı etkileyebilir, örneğin titanyumun bulunması kaynak metalindeki ferrit miktarını, birkaç ferrit sayısı artırabilir. De Long diyagramında geniş bir skalada birbirine yakın bölüntülerle delta

ferritin saptanmasında hata payı oldukça düşürülmüş ve %0 ila %15 arasında optimum olarak gösterilmiştir. Bu diyagram aslında Schaeffler diyagramının küçük bir alanından başka bir şey değildir.

Paslanmaz çelik kaynak metalllerinde, metalografik ölçme yöntemleri kaynak metalinde tam olarak ne kadar delta ferrit bulunduğunu saptamanın zorluğunun anlaşılması üzerine manyetik ölçme aletlerinin geliştirilmesi sonucunda delta ferrit ölçülümünde standard tekniklerin ve ferrit sayılarının kullanılması yönünde araştırmacılar ve Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) arasında fikir birliği oluşmuş bunun sonucunda da ferrit numarası, (FN) kavram, ortaya çıkmıştır, bunun üzerine 1973 yılında De Long diyagram, ferrit numarasını, gösterir biçimde modifiye edilmiştir. Bu olay ferritin ölçülmesini tanımlayan AWS A4.2-74 ve ISO 8249 standarının adaptasyonundan sonra ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla ferrit yüzdesinin yerine ferrit numarasının kullanımı, ölçmenin standardize edildiğini işaret etmektedir.



Şekil.3.9. Ostenitik kaynak metalllerinde Ferrit sayısının tanımlanması için kullanılan De Long diyagramı

ASME Code Section III, nükleer tesislerde çok yaygın olarak temel alındığından De Long diyagramı da uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Hemen hemen ilk

yayınlandığı tarihten itibaren geçen kırk yıl içinde De Long diyagramında da bazı sınırlamalar göze çarpmıştır. Bu diyagramda da Mn açısından problem vardır. Zira ferrit içeriği sadece % 1 Mn varmış gibi saptanmaktadır. Dolayısı ile AISI 309 türü kaynak metalinde saptanan ferrit, ölçülenden daha yüksektir. Ancak De Long diyagramı da günümüzde oldukça yaygın kullanılan bir diyagram olarak geçerliliğini korumaktadır.

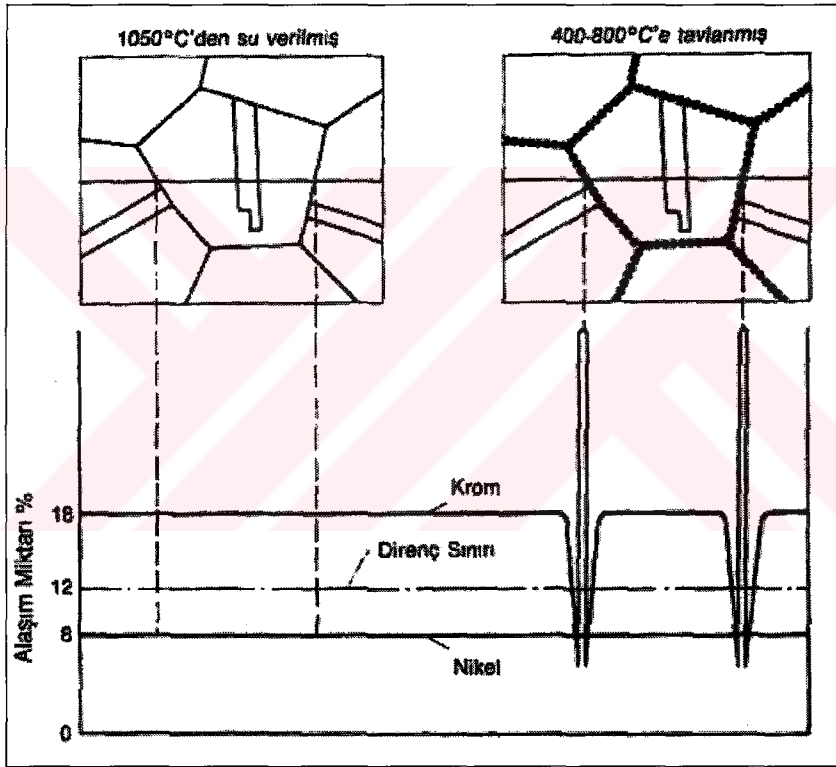
Burada şunu belirtmekte yarar vardır, araştırmacılar ve elektrod üreticileri delta ferrit içeren kaynak metallere, ferrit içermeyen kaynak metallere nazaran sıcak çatlaklara karşı daha dirençli olduklarını bulmuşlardır ve günümüzde üretilen paslanmaz elektrodlar ve teller kaynak metalinde bir miktar ferrit içerecek şekilde üretilirler. Bunun nedeni ostenitik kaynak metali içinde oluşan ferritik yapıdan dolayı sıcak çatlakların oluşumuna neden olacak segregasyonların minimum olmasıdır.

Sıfırlı sıcaklık uygulamalarında ve üre depolama tanklarında delta ferrit miktarı, mikro çatlakları ve gerilmeli korozyon çatlaklarını önlemek amacıyla uygulamada 5-10 FN olabilir. Nükleer endüstride 5 FN, bazı durumlarda 2 FN, çok pasolu kaynaklarda da 3 FN olması önerilir. Örtülü elektrodlar ile yapılan kaynaklarda kaynak pozisyonları da FN' nin artıp azalmasını etkiler. Gazaltı kaynak yöntemlerinde de gaz atmosferine bağlı olarak dikişin N kapması, MIG yönteminde 4 FN, TIG yönteminde de 1 FN' lik düşüslere yol açar. Bu yöntemlerde de kaynak pozisyonları FN' i etkilemektedir.(Kaluç,1995)

3.2.2.1.2. Krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz, çeliklerin kaynağında ortaya çıkan ikinci bir sorunda, özellikle 18/8 çeliği gibi bazı krom-nikelli çeliklerin 450-850°C aralığındaki sıcaklıklarda uzun süre kalmalarında oluşan krom karbür çökmesi eğilimidir. Bu çelikler üretimleri sırasında, krom ve karbürün ostenit içerisinde çözüldüğü 1100°C den itibaren hızla soğutulurlar. Bu şekilde bu elementlerin çökme tehlikesi ortadan kalkmış olur ve oda sıcaklığında karbonun difüzyon hızı çok düşük olduğundan, kullanım sırasında oluşma olanağı yoktur. Sıcaklığın 450° C

nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarıya çıkartacak derecede artar Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı olan yüksek afinitesinden dolayı, bu bölgede krom ile birleşerek krom karbür oluşturur $[(Fe,Cr)_{23}C_6]$. Oluşan krom karbürün ağırlık olarak %90' nımı krom oluşturduğundan, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile ostenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır (Şekil 3.10). Bunun sonucu olarak malzeme korozif bir ortamda bulunduğunda, kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon oluşur. Bu şekilde ortaya çıkan taneler arası korozyon tüm malzemeyi çok kısa bir zamanda kullanılamaz hale getirir. Çeliğin karbon içeriği arttıkça bu olay şiddetlenir.



Şekil 3.10. Ostentik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesine bağlı olarak krom azalması (şematik).

Ostentik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşıp hızla soğuduğundan ve elektrod olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak metali yani kaynak dikişi için karbür çökme tehlikesi yoktur. Buna karşın IEB, kaynak süresi boyunca 500-900°C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğundan, karbon içeriğinin yüksek olması halinde ostenit tane sınırlarında taneler

arası korozyona neden olacak karbür çökmesi olayı ortaya çıkmaktadır. Belli bir karbon içeriği için karbür çökmesi olayının şiddeti, sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çözülme başlamadan önce sıcaklık' ile değişen bir kuluçka periyodu vardır. Sıcaklık ve çeliğin karbon içeriğine göre en kısa sürede çökmenin başladığı bir sıcaklık vardır ki buna kritik sıcaklık adı verilir(Tablo 3.4).

Tek paso ile yapılan ark kaynağında IEB, 650-750°C arasındaki sıcaklıkta bir dakikadan az bir süre kalır. Buna karşın, çok pasolu kaynak halinde, bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısı ile karbür çökme tehlikesi kendini gösterir. Karbür çökmesinin oluşabilmesi için, çeliğin karbon içeriğinin belli bir miktarın üzerinde olması gerekir. Kaynak ile birleştirilmesi gereken ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin, karbon içeriğinin en çok %0,06, optimum %0,03 civarında olması gerekmektedir. Bu amaç ile, ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin özel olarak üretilen bazı türlerinde (X2CrNi1911, X2CrNiMo17132), karbon miktarı düşürülerek korozyon direncinin artırılması amaçlanmıştır. Bu türler ELC (Extra Low Carbon) çelikleri olarak adlandırılır.

Tablo 3.4. Krom karbür çökmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlılığı

Çeliğin C İçeriği (%)	Kuluçka Peryodu (dak.)	Kritik Sıcaklık (°C)
0,03	11,0	650
0,05	7,0	650
0,06	2,5	670
0,08	0,3	750

Tanelerarası korozyonun oluşmasını önlemek amacıyla uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonu olarak adlandırılmaktadır; bu olay da karbonun kroma karşı olan affinitesinden daha yüksek bir affiniteye sahip bir elementin çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir. Bu şekilde çeliğin bileşimindeki karbon ile bu yeni element karbür oluşturur ve dolayısı ile iç yapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması olayı oluşmaz. Stabilizasyon için katılan elementler titanyum, niyobyum ve tantaldır. Bu element karbürler, tane sınırları boyunca değil, ostenit

taneleri içerisinde, ince zerreler halinde dağılmış olduklarından, çeliğin mekanik özelliklerinde de bir değişiklik oluşturmazlar. Stabilizasyonun gerçekleşebilmesi için eklenen titanyumun, karbonun dört kati, niyobyumun karbonun sekiz-on katı, tantalın ise karbonun onaltı katı olması gerekir.

Çeliklerde maliyet açısından titanyum, elektrotlarda titanyumun arktaki fazla kaybından dolayı niyobyum tercih edilir. Stabilize edilmiş çelikler de, taneler arası korozyona karşı tam anlamı ile dayanıklıdır denilemez; zira niyobyum, titanyum ve tantal karbürler 1300°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda çözülür ve karbon serbest kalarak krom karbür oluşturabilir. Bu sıcaklığa kadar erişen bölge çok dar bir alan olduğu için erime çizgisine yakın bir yerde, çok dar bir alan korozyona karşı direncini kaybeder ve bu olaya "bıçak izi etkisi veya korozyonu (knife-line attack)" adı verilir.

IEB veya esas metalde krom karbür çökmesinin olduğu hallerde, eğer parçanın boyutları ve konstrüksiyonu uygun ise parça 1100 °C ye kadar tavlansın su içinde aniden soğutulursa, yüksek sıcaklıkta ostenit içerisinde çözülmüş bulunan karbürler hızlı bir soğumada tekrar oluşamazlar. Ancak, böyle bir ısıl işlemin uygulanması pek kolay olmayabilir. Bundan dolayı, krom karbür çökmesine eğilimli %0.03' den fazla karbon içeren ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynakçının kaynak sırasında alacağı en iyi önlem, dikişi çektikten hemen sonra ıslak bir bez veya üstüğü ile hızla soğutması olacaktır.

3.2.2.1.3. Gerilmeli korozyon

Bu korozyon türü, malzemenin gerilme altında ve de korozif bir ortamda bulunması halinde ortaya çıkar. Bu tür korozyon tanelerarası ve taneleriçi kırılmalar biçiminde kendini gösterir, özellikle, ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynar haldeki klor içeren çözeltiler veya derişik hidroksitler içinde bulunması halinde oluşum tehlikesi yüksektir. Zira, kaynak artık gerilmeleri ve parçanın kullanılacağı kimyasal ortam çatlakların ilerlemesini teşvik eder. Özellikle, deniz suyu içindeki yapılarda, deniz atmosferinde bulunan tesislerde ortaya çıkmakta ve bağlantıların kırılarak tahrip olması ile sonuçlanmaktadır.

3.2.2.1.4. Sigma fazı

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde görülmesinin yanı sıra, %9'dan daha az nikel içeren ostenitik paslanmaz çeliklerde de kaynak bölgesinde sigma fazının oluşması, bu tür çeliklerin de kaynak edilebilirliklerini de olumsuz yönde etkiler. 550-900°C sıcaklık aralığında oluşan sert, gevrek metallar arası bileşik olan bu sigma fazının oluşabilmesi için ostenitik yapı içinde bir miktar da ferrit bulunması gerekir. Soğuk şekil değiştirme, niyobyum, molibden, silisyum gibi elementlerin bulunması sigma fazının oluşumunu teşvik eder. Sigma fazının bulunması çeliğin uzama, büzülme ve çentik-darbe mukavemetini düşürdüğünden varlığı arzu edilmez. Karbür çökmesini yok etmek için uygulanan ısı işlemi sigma fazının da yok olmasını sağlar. Ostenitik paslanmaz çelik daha önceden bir homogenizasyon tavlama işlemine tabi tutulmuş ve içindeki ferrit miktarı %6.5' un altına düşürülmüş ise kaynak bölgesinde oluşacak sigma fazı çentik-darbe mukavemetinin düşmesine neden olmaz. Burada ferrit miktarı az olduğundan sigma fazı, ostenitik yapı içerisinde ağ biçiminde değil, izole edilmiş odacıklar halinde bulunur. Bu şekilde oluşturulabilen sigma fazı, yapıya bir süneklik kazandırmaktadır. Tavlama işlemi durumunda %7-8' den daha az ferrit içeren kaynak bölgesi, sigma dönüşmesi ile az bir gevreklik kazanır, bu da uygulamada önemli bir özelliktir. Eğer yapıda sigma fazı oluşmuş ise, bu faz 950-1050°C sıcaklık aralığında belirli bir süre tavlama ve suda soğutma ile giderilebilir.

4. ÇALIŞMANIN AMACI VE PLANLANMASI

Günümüzde, endüstriyel alanlar için gerçekleştirilen konstrüksiyonlardan beklenen özellikler, farklı malzemelerin bir arada kullanılmaları gereğini ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla bu malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesi bir zorunluluk olarak görülmekte, bu durum ile özellikle değişken zorlanma ve ortam şartlarının söz konusu olduğu uygulamalarda karşılaşılmaktadır.

Buhar borularının kaynaklı bağlantıları bu tür uygulamalara verilebilecek tipik bir örnektir. Çünkü buhar taşıyıcı sistemin yüksek sıcaklıktaki ucuna östenitik paslanmaz çelik bir malzeme gerekirken, buraya oranla daha düşük sıcaklığa sahip uçta daha az özelliklere sahip, düşük alaşımlı bir ferritik çeliğin kullanılması yeterli olmaktadır. Isı değiştiricilerde ve sıcak hava veya gaz soğutma sistemlerinde paslanmaz çeliklerin diğer çeliklerle birleştirilmesi tercih edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında MIG, TIG, MMA kaynak yöntemleri kullanılarak hazırlanan bağlantıların mekanik özelliklerini incelemek üzere çekme ve eğme deneylerine tabi tutulması, kaynak bölgesi kesitinde makroyapı, mikroyapı analizi ve Vickers sertlik taraması yapılması planlanmıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Genel

Bu çalışmada deney malzemeleri olarak AISI 304L ve AISI 316L kalite ostenitik tip paslanmaz çelik saclar S235JR kalite genel yapı çeliğine örtülü elektrot ile ark kaynağı, gaz altı kaynak yöntemlerinden ise MIG ve TIG kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmişlerdir. Örtülü elektrot ile ark kaynağı yönteminde paslanmaz çeliklerin normal çeliğe kaynağı için geliştirilmiş olan sentetik tip örtülü elektrodlar kullanılıp, gaz altı kaynak yöntemleri içinse uygun elektrodlar seçilip uygun parametreler kullanılarak kaynak edilmişlerdir. Kaynaktan sonra tüm bağlantılar, görsel incelemeye tabi tutulmuş ve bağlantıların mukavemet değerlerini saptamak amacıyla standarda uygun çıkarılan numunelere çekme ve eğme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynak bağlantılarının kaynak bölgesinin mikro yapısal ve sertlik özellikleri incelenmiştir.

5.2. Deneyde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Bu çalışmada 5mm kalınlığında, kimyasal bileşimleri Tablo 5.1' de, mekanik özellikleri Tablo 5.2'de ve verilen paslanmaz çelik ve genel yapı çeliği deney malzemesi olarak kullanılmıştır.

Tablo 5.1. Kullanılan Ana Malzeme Özellikleri

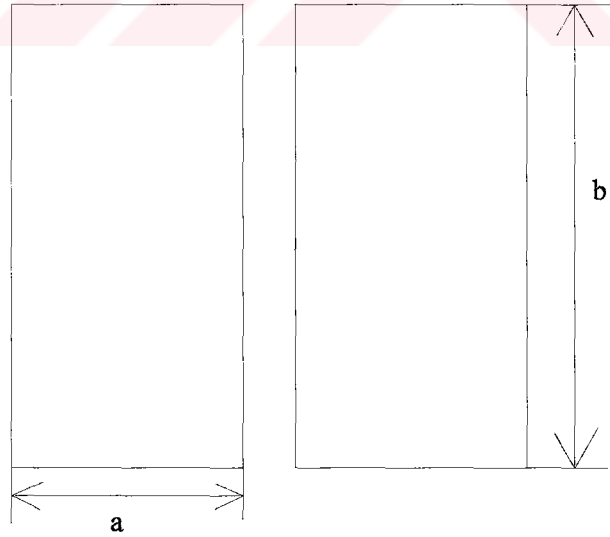
MALZEME	%C	%Cr	%Ni	%Si	%Mn	%Mo	%N	%S	%P	%Fe
AISI 304L	<0,03	18.0-20.0	8-12	<0,1	<2,0	-	-	<0,03	<0,04	kalan
AISI 316L	<0,03	16.0-18.0	10-14	<0,1	<2,0	2-3	-	<0,03	<0,04	kalan
S235JR	0,17	-	-	-	1,40	-	0,012	0,040	0,040	KALAN

Tablo 5.2. Deneysel çalışmada kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri

MALZEME	Akma	Çekme	UZAMA
	Mukavemeti($R_{p0,2}$) MPA(en az)	mukavemeti(R_m) MPA(en az)	(MİNİMUM) (%)
S235JR	235 N/mm ²	340-470 N/mm ²	18
AISI304L	207 N/mm ²	552 N/mm ²	55
AISI316L	207 N/mm ²	538 N/mm ²	55

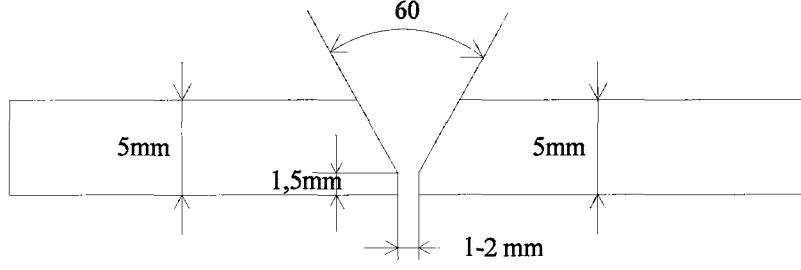
5.3. Deneysel Parçalarının Boyutlandırılması

Kaynak edilecek parçaların boyutları EN 288-4 standardına göre saptanmıştır. 5 mm kalınlığında 150x 350 mm' lik levhalar, giyotin makas ile kesilerek yatay oluk pozisyonunda V- Alın kaynak ağzı biçiminde kaynak edilecek şekilde hazırlanmışlardır. Şekil 4.1' de ve şekil 4.2' de kaynak edilecek parçaların boyutları verilmiştir. Her üç kaynak yönteminde V alın kaynak ağzı seçilmiştir. Kaynak ağzı ölçülendirilirken olarak TS EN 39692 standardı esas alınmıştır. Kaynak ağzları freze tezgahında soğutma sıvısıyla soğutulmuş olarak işlenmiştir



$$a=3t \text{ minimum } 150\text{mm}$$
$$b=3t \text{ minimum } 350\text{mm}$$

Şekil 5.1. Kaynak edilecek levhaların boyutları (EN 288-4).



Şekil 5.2. V-alın kaynaklı deney parçası boyutları

5.4. Kaynak Öncesinde Yapılan İşlemler

Kaynak işlemi öncesinde kaynak bölgesi üzerinde ve yüzeyinde bulunan ve kaynak kalitesini olumsuz etkileyecek tüm kir, yağ, pas, boya vs. kaynak ağız kenarından 20 mm uzaklığa kadar paslanmaz çelik tel fırçalar ile temizlemiştir.

5.5 Kaynak İşlemlerinin Yapılışı

5.5.1. MIG kaynak yönteminin uygulanması

Standarda belirtilen esaslara göre hazırlanan levhalara, öncelikle MIG kaynak yöntemi uygulanmıştır. Bu aşamada, S235JR-AISI304L; S235JR-AISI316L farklı metal çiftleri biçiminde çift taraflı kaynak edilerek oluşturulmuştur.

5.5.1.1. MIG kaynağında kullanılan tel elektrod

Deney parçalarının MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde Tablo 5.3' te kimyasal bileşimi, Tablo 5.4' te mekanik özellikleri verilen 1,0 mm çapında tel kullanılmıştır.

Tablo 5.3. MIG Kaynağında Kullanılan Telin kimyasal bileşimi

Tel	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%P+S
ER 308L Si	<0,02	0,8	1,7	20,4	10,2	-	-

Tablo 5.4. MIG Kaynağında Kullanılan Telin mekanik özellikleri

Tel alaşımı	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	(%)Uzama ($l_0=5d_0$)
ER 308L Si	Min 350	520-660	Min 35

5.5.1.2. MIG kaynağında kullanılan koruyucu gaz

Deneysel çalışmamda koruyucu gaz olarak %97,5Ar+%2,5CO₂ karışım gaz kullanılmıştır. Gaz debisi 15lt/dak olarak alınmıştır.

5.5.1.3. MIG kaynağında kullanılan kaynak parametreleri

Deneysel çalışmamda kullanılan kaynak Akım şiddeti olarak 173A, Gerilim olarak 21,6V, tel hızı olarak 9,4m/dak, alınmıştır.

5.5.2. TIG kaynak yönteminin uygulanması

Standarda belirtilen esaslara göre hazırlanan levhalara, ikinci olarak TIG kaynak yöntemi uygulanmıştır. Bu aşamada, S235JR-AISI304L; S235JR-AISI316L farklı metal çiftleri biçiminde çift taraflı kaynak edilerek birleştirilmişlerdir.

5.5.2.1. TIG kaynak yönteminde kullanılan tel elektrod

Deney parçalarının TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde 2,4 mm çapında, 1 metre boyunda ER 308L çubuk biçiminde TIG teli çubuğu kullanılmıştır. Telin kimyasal bileşimi Tablo 5.5' te, mekanik özellikleri de Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.5. TIG Kaynağında Kullanılan Telin kimyasal bileşimi

İLAVE MALZEME	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%P+S
ER 308L	0,016	0,35	1,8	19,81	10,91	0,03	0,02
ER 316L	0,015	0,55	1,86	18,73	13,71	2,56	0,028

Tablo 5.6.- TIG Kaynağında Kullanılan Telin mekanik özellikleri

Tel alaşımı	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	(%)Uzama ($l_0=5d_0$)
ER 308L	380-390	570-590	40
ER 316L	400-410	620-640	35

5.5.2.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gaz

Deneysel çalışmamda koruyucu gaz olarak %99,99 Ar gazı kullanılarak, Gaz debisi 15 lt/dak olarak alınmıştır.

5.5.2.3. TIG kaynağında kullanılan kaynak parametreleri

Deneysel çalışmamda kullanılan kaynak Akım şiddeti olarak 120A, gerilim olarak 16V kullanılarak yöntem el ile gerçekleştirilmiştir.

5.5.3. MMA (örtülü elektrod ile ark kaynağı) kaynak yönteminin uygulanması

Standarda belirtilen esaslara göre hazırlanan levhalara, üçüncü olarak MMA kaynak yöntemi uygulanmıştır. Bu aşamada, S235JR-AISI304L; S235JR-AISI316L farklı metal çiftleri biçiminde çift taraflı kaynak edilerek birleştirilmişlerdir.

5.5.3.1. MMA kaynak yönteminde kullanılan elektrod

Tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalarda siyah-beyaz kaynağı için sentetik elektrodlar geliştirildiği için çalışma kapsamında sentetik elektrotlar kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda her ne kadar sentetik olarak geçse de bu tip elektrodlar, elektrot üreticileri tarafından örtüden alaşımli elektrotlar olarak

isimlendirilmektedirler. Bu tip elektrotların temel özelliği alaşımın örtüden yapılması ve çekirdek telinin normal çelik olmasıdır.

Deney parçalarının birleştirilmesinde 2,4 mm çapında örtülü elektrod kullanılmıştır. Elektrodun kimyasal bileşimi Tablo 5.7’ te, mekanik özellikleri de Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.7. MMA Kaynağında Kullanılan Elektrodun kimyasal bileşimi

Elektrod ismi	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%P+S
FOX KN 18/8	0,07	1,0	1,0	18	9	-	-
FOX KN 18/8 Mo	0,07	0,9	1,0	18	11	3	-

Tablo 5.8. MMA Kaynağında Kullanılan Elektrodun mekanik özellikleri

Elektrod ismi	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	(%)Uzama ($l_0=5d_0$)
FOX KN 18/8	Min. 410	670-710	Min. 30
FOX KN 18/8 Mo	Min. 410	640-740	Min. 30

5.5.3.2. MMA kaynağında kullanılan kaynak parametreleri

Deneysel çalışmamda $\varnothing 2,5 \times 350$ mm boyutlarında örtülü elektrot, 100A akım şiddeti kullanılmıştır. Tek pasoda kaynak yapılmıştır.

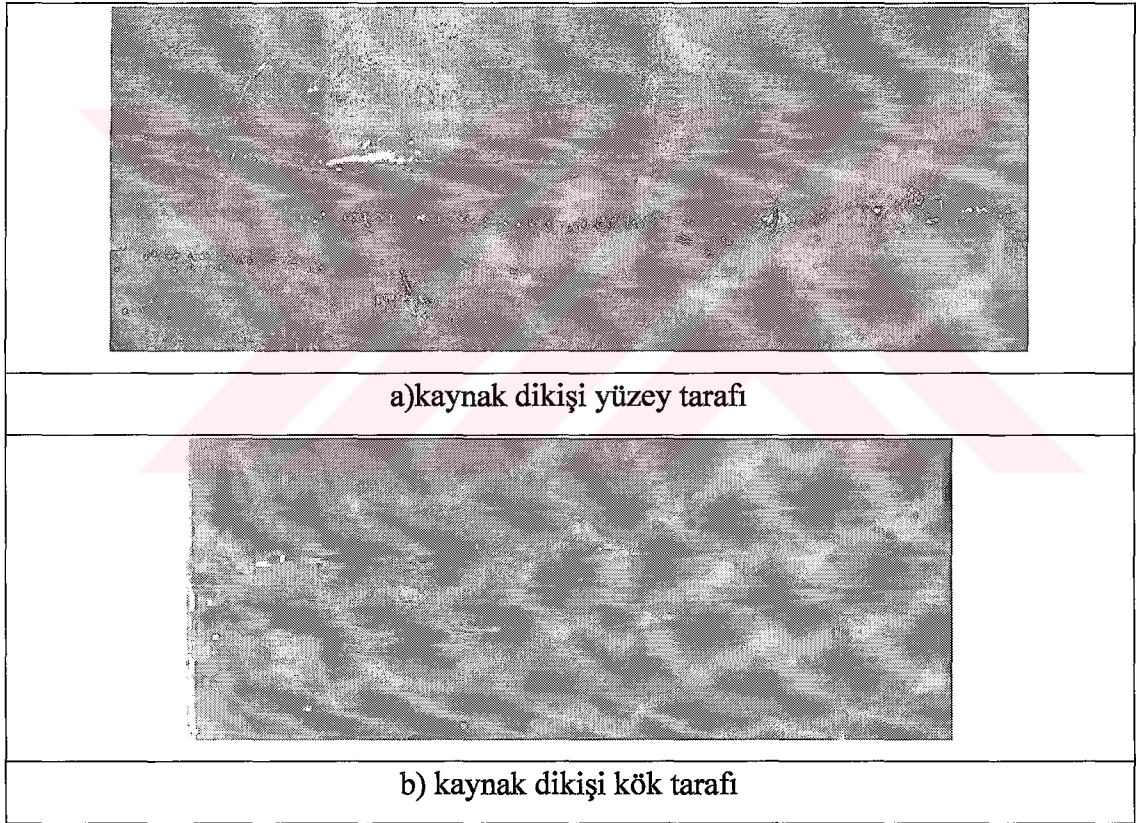
5.6. Kaynaklı Levhaların Görsel Muayenesi

Deney numunelerinin çıkarılacağı alın birleştirme bağlantılarında uygulanan kaynak işlemi sonrası oluşabilecek yüzey hatalarını saptayabilmek için görsel inceleme tüm

kaynak dikişi boyunca yapılmıştır.

5.6.1. MIG kaynağı ile yapılmış numunelerin muayenesi

Bağlantının mukavemeti etkilemeyecek büyüklükte yanma oluğuna rastlanılmıştır. Kaynak dikişinin dzgn olmadığı görülmüştür ancak bir süreksizliğe rastlanılmamıştır. Şekil 5.3 de MIG kaynağı ile yapılmış kaynak dikişleri görülmektedir malzeme ifti AISI 304L-S235JR dir. Şekil 5.4 de ise AISI316L-S235JR ifti görülmektedir



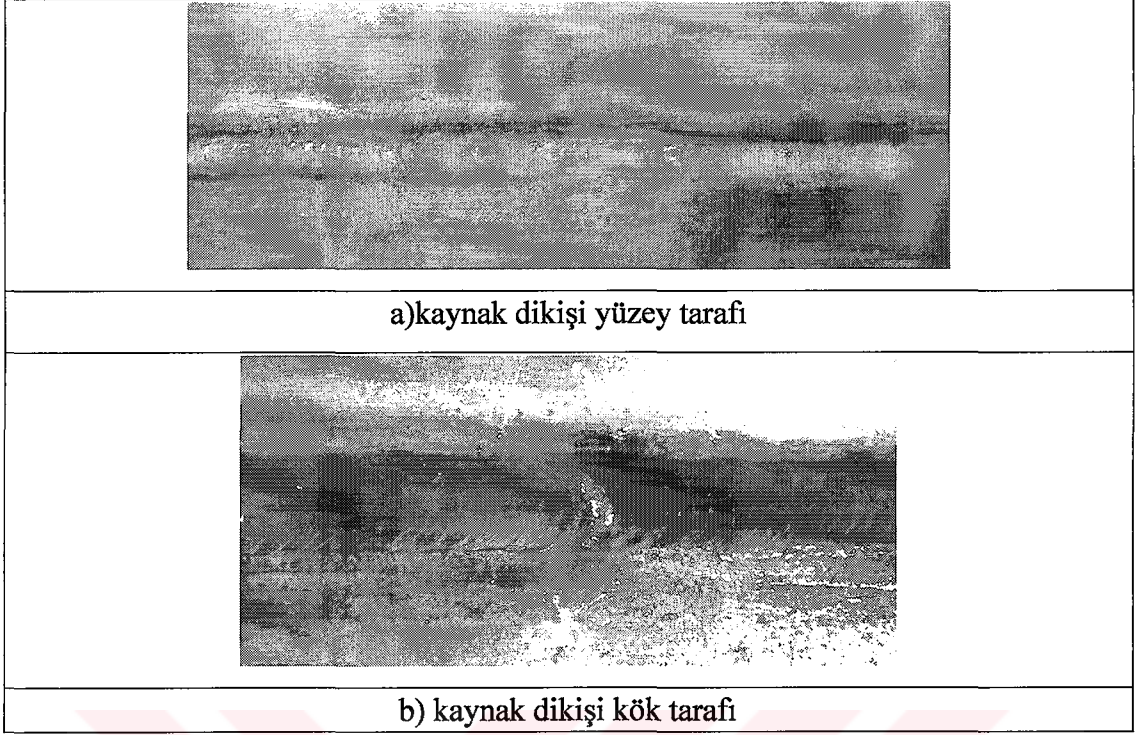
Şekil 5.3. MIG Kaynağı AISI 304L-S235JR malzeme ifti



Œekil 5.4 MIG Kaynağı AISI 316L-S235JR malzeme çifti

5.6.2. TIG Kaynağı İle Yapılmış Numunelerin Muayenesi

Yanma oluğuna rastlanılmıştır. Kaynak dikişinin dözgün olduğu görölmüştür ancak bir süreksizliğe rastlanılmamıştır. Œekil 5.5 de TIG kaynağı ile yapılmış kaynak dikişleri görölmektedir malzeme çifti AISI 304L-S235JR dir. Œekil 5.6 da ise AISI316L-S235JR çifti görölmektedir.



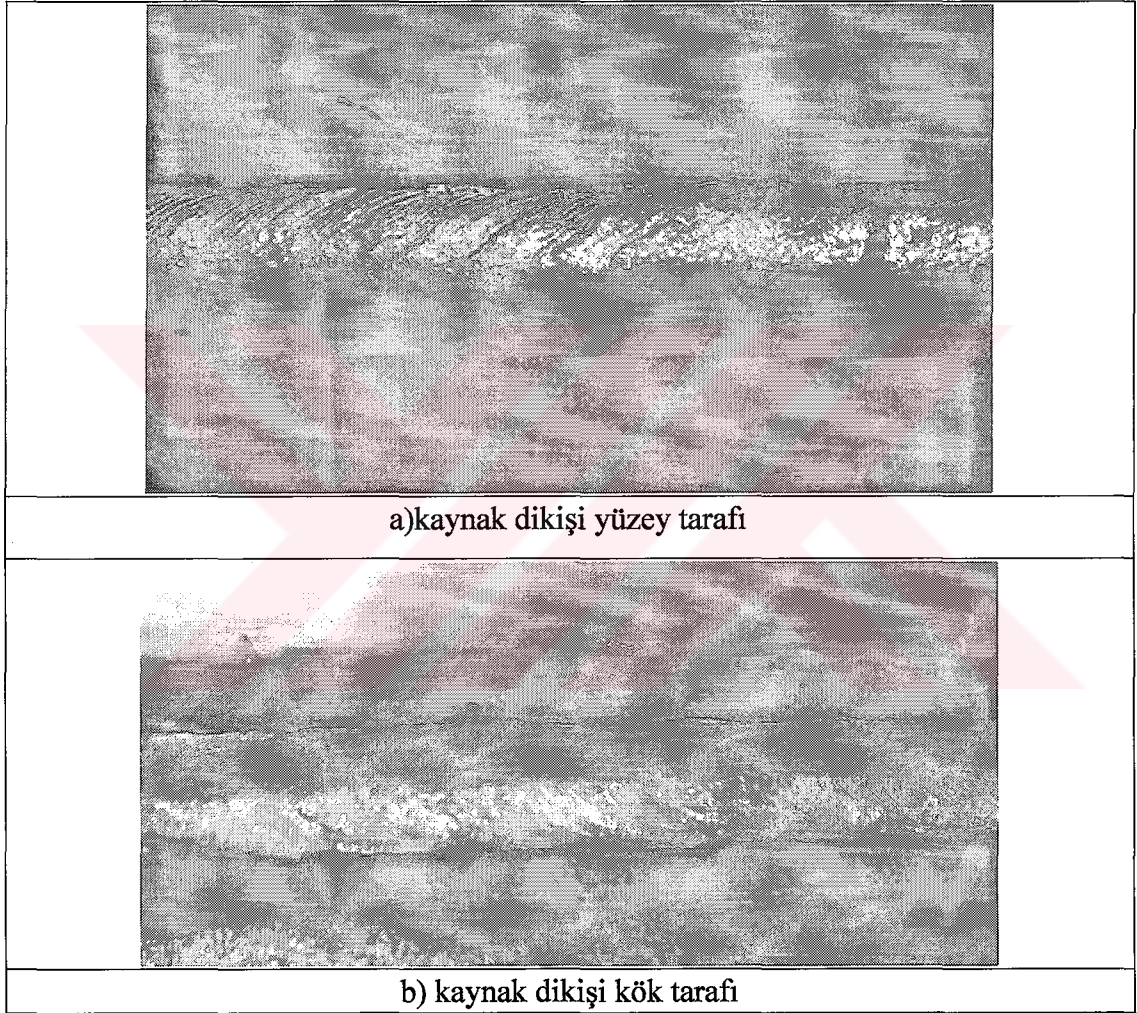
Şekil 5.5. TIG kaynağı AISI 304L-S235JR malzeme çifti



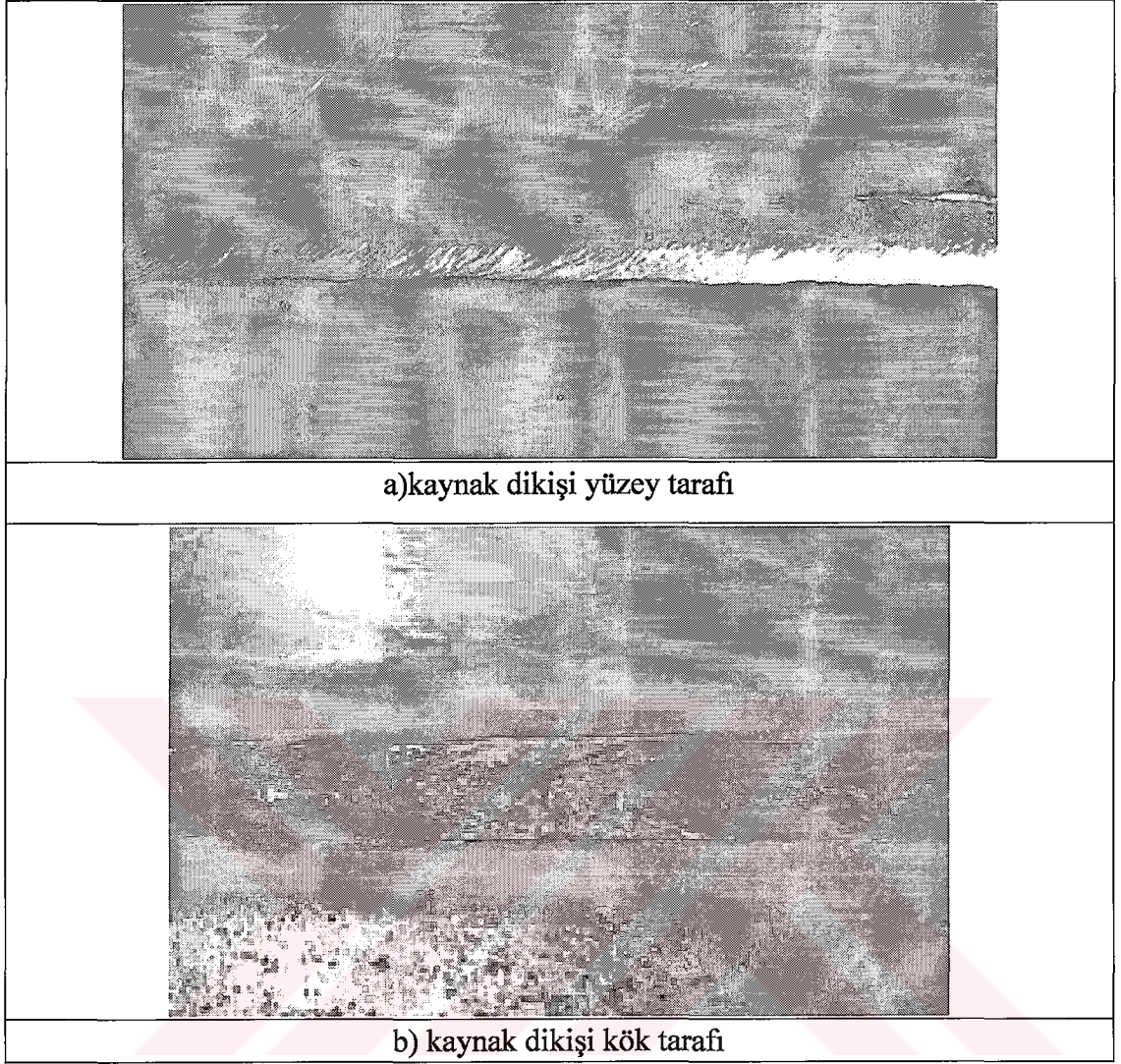
Şekil 5.6. TIG kaynağı AISI 316L-S235JR malzeme çifti

5.6.3. MMA kaynağı ile yapılmış numunelerin muayenesi

Yanma oluđuna rastlanılmıřtır. Kaynak dikiřinin en dűzgűnű olduđu gűrűlműřtűr ve bir sűreksizliđe rastlanılmamıřtır. řekil 5.7 de TIG kaynađı ile yapılmıř kaynak dikiřleri gűrűlmektedir malzeme ifti AISI 304L-S235JR dir. řekil 5.8 de ise AISI316L-S235JR ifti gűrűlmektedir.



şekil 5.7. MMA kaynağı AISI 304L-S235JR malzeme ifti



Şekil 5.8. MMA kaynağı malzeme çifti AISI 316L-S235JR

5.7. Deney Numunelerinin Hazırlanma Esasları

5.7.1. Deney numunelerinin kodlanması

MIG, TIG ve MMA yöntemleri kullanılarak kaynak edilmiş levhalardan çıkarılacak olan çekme, eğme ve metalografik inceleme, sertlik taraması numuneleri, belirli bir sistematik oluşturularak kodlanmışlardır. Bu kodlama sistemi aşağıda belirtildiği gibidir.

5.7.1.1. Kaynak yöntemi kodu

- **MIG:** MIG kaynağı
- **TIG:** TIG kaynağı
- **MMA:** Örtülü elektrotla ark kaynağı

5.7.1.2. Paslanmaz çeliğin türü

1-AISI 304L

2-AISI 316L

Daha önceden belirtildiği gibi;

AISI 304L-S235JR Farklı metal birleşmesi

AISI 316L-S235JR Farklı metal birleşmesi

Malzeme çiftlerinin kodlanması ise S235JR tarafı sabit olduğu için, paslanmaz çelik türüne göre numuneler isimlendirileceklerdir.

5.7.1.3. Deney türü

- **C:** Çekme Deneyi
- **E:** Eğme Deneyi
 - **EK:** Kök Eğme
 - **EY:** Yüz Eğme

Met: Metalografik İnceleme

5.7.1.4. Numune sayısı

Deneylerin sağlıklı yürütülebilmesi ve deney sonuçlarının güvenilirliği ve irdelenmesi açısından, 1 adet kaynaklı levha için;

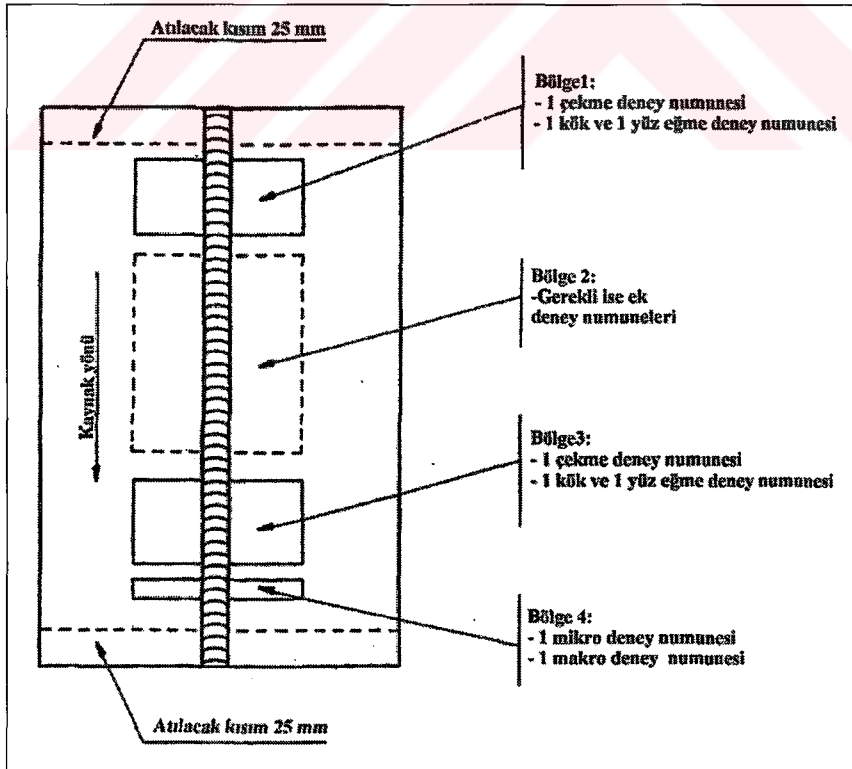
- 3 adet çekme numunesi

- 4 adet eğme numunesi
 - 2 adet kök eğme numunesi
 - 2 adet yüz eğme numunesi
- 1 adet metalografik inceleme numunesi çıkarılmıştır

MIG, TIG ve FSW kaynaklı toplam 3 adet kaynaklı levhadan toplam 18 adet deney numunesi çıkarılarak planlanan deneyler yapılmıştır.

5.7.2. Kaynaklı levhalardan deney numunelerinin çıkarılması

Deney numuneleri, kaynaklı levhalardan EN 288-4 standardı esas alınarak çıkarılmıştır. Numunelerin çıkarılmasında görsel incelemeler ile saptanan dikiş özellikleri de göz önüne alınmıştır. Kaynaklı levhaların başlangıç ve bitişinden 25 mm' lik kısımları kesilerek atılmış, böylece başlangıç ve bitişteki kaynak hataları ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır (Şekil 5.9, 5.10).



Şekil 5.9. EN 288-4' e göre kaynaklı levhalardaki numune dağılım planı.

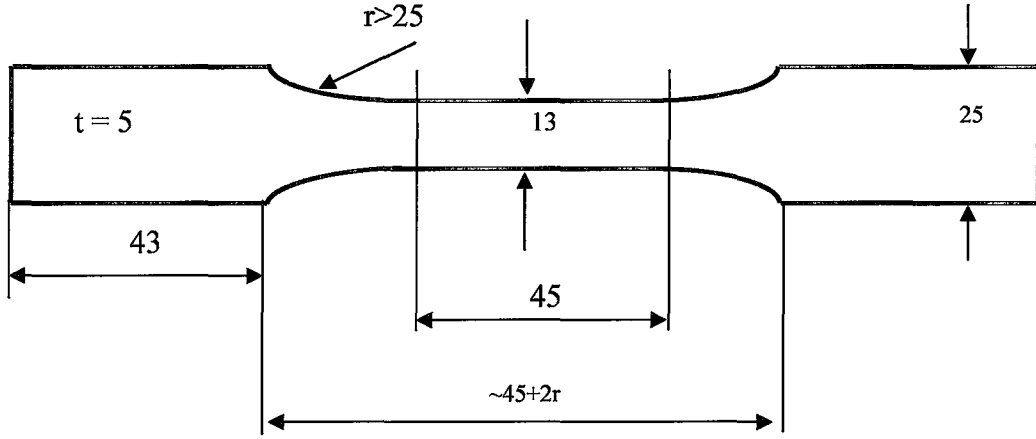
Atılan kısım 25 mm	Atılan kısım 25 mm	350
Çekme deney numunesi 1	Çekme deney numunesi 1	
Eğme deney numunesi (yüz) 1	Eğme deney numunesi (yüz) 1	
Eğme deney numunesi (kök) 1	Eğme deney numunesi (kök) 1	
Metalografi numunesi 1	Metalografi numunesi 1	
Çekme deney numunesi 2	Çekme deney numunesi 2	
Gerektiğinde numune alınacak kısım	Gerektiğinde numune alınacak kısım	
Çekme deney numunesi 3	Çekme deney numunesi 3	
Eğme deney numunesi (yüz) 2	Eğme deney numunesi (yüz) 2	
Eğme deney numunesi (kök) 2	Eğme deney numunesi (kök) 2	
Metalografi numunesi 2	Metalografi numunesi 2	
Atılacak kısım 25 mm	Atılacak kısım 25 mm	
300		

Şekil 5.10. Kaynaklı levhalardan deney numunelerinin kodlanarak çıkarılması

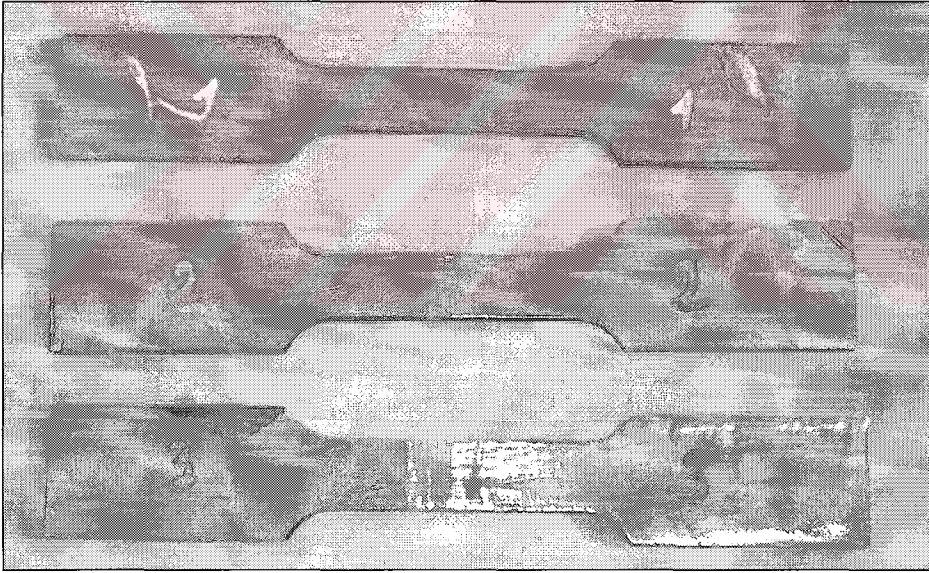
5.7.2.1 Çekme deney numuneleri

MIG, TIG ve MMA kaynaklı bağlantılarından EN 895'e göre çekme deneyi numuneleri tel erozyon yöntemi kullanılarak çıkartılmıştır, daha sonra freze tezgahında işlenerek yüzeyleri düzeltilmiştir. Deney için her bir malzeme çiftinden 3'er adet numune hazırlanmıştır.

Kaynaklı levhalardan, Şekil 5.11’ de görülen ölçülerde freze tezgahı ile hazırlanmıştır. Kaynak dikiş taşkınlıkları taşlanarak parça yüzeyleri düzeltilmiştir.



Şekil 5.11. EN 895’e göre çekme deneyi

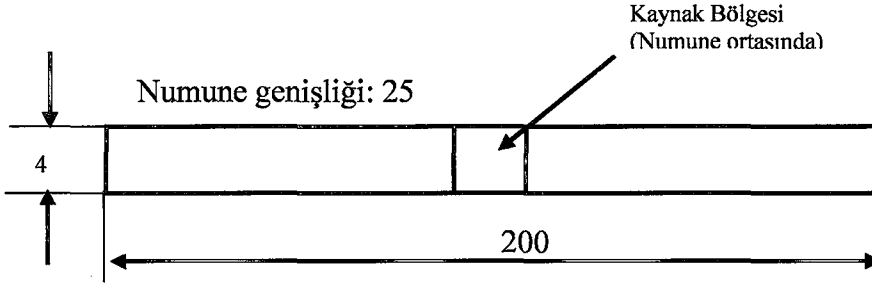


Şekil 5.12. İşlenmiş Çekme Deneyi Numuneleri

5.7.2.2. Kaynaklı levhaların eğme deneyi

MIG, TIG ve MMA yöntemleri ile kaynak edilmiş levhalardan EN 910’a göre eğme numuneleri hazırlanmıştır. Her bir malzeme çifti için iki kök iki yüzey eğme numunesi hazırlanmıştır. Şekil 5.13 de eğme deney numunesi görülmektedir. bütün

numunelere kalınlığının üç katı mandrenle 180° bükülmüşlerdir.



Şekil 5.13. EN 910'a göre eğme deney numunesi

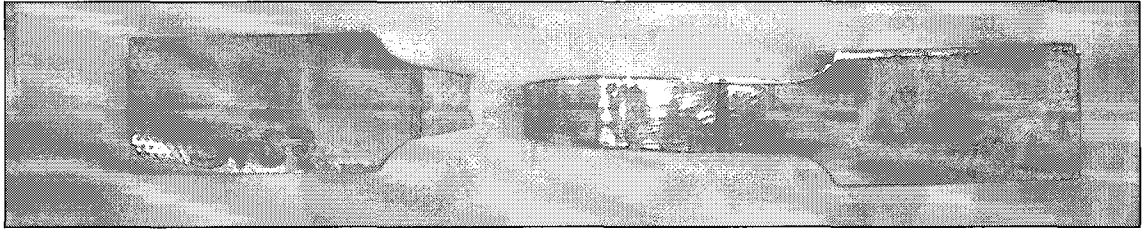
5.7.2.3. Metalografi incelemeleri ve sertlik taraması için numune hazırlanması

Kaynaklı levhalardan, belirlenen plana göre kaynak yönüne dik doğrultuda 40x10x5 mm ebatlarında numuneler soğutmalı testeresi yardımıyla kesilmiştir.

5.8. Deneylerin Yapılışı

5.8.1. Çekme deneyleri

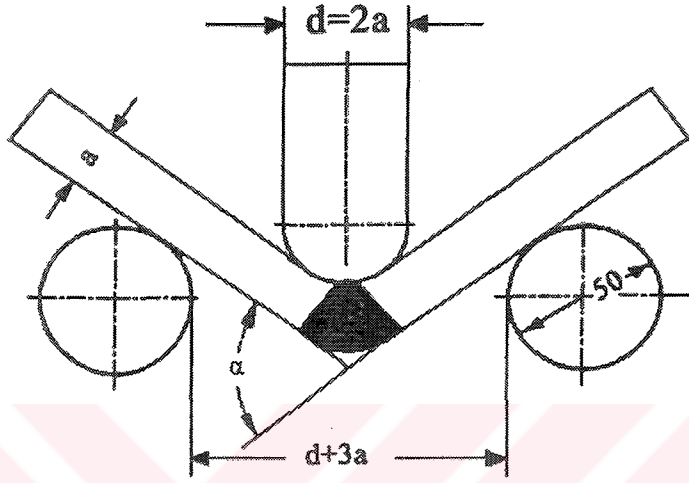
Çekme deneyleri için KOSGEB İmes müdürlüğünde bulunan Testometric micro 500 tipi çekme cihazında deneyi cihazı kullanılmıştır ve tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tüm sonuçlar, bilgisayar ortamında kaydedilmiş ve grafikler elde edilmiştir.



Şekil 5.14. Çekme deneyi uygulanmış bir deney numunesi görüntüsü

5.8.2. Eğme deneyleri

Eğme deneyleri, GEDİK Kaynak Malzeme laboratuvarın da bulunan 40 ton kapasiteli ALSA markalı cihaz kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 5.15. Kaynak dikişlerinin eğme deneyi uygulanma prensibi



Şekil 5.16. Eğme deneyi uygulanmış bir deney numunesi görüntüsü.

5.8.3. Metalografik İnceleme Deneyleri

Tüm kaynaklı bağlantılardan en gerçekçi sonuçları almak amacıyla metalografik deney numuneleri genel yapıyı temsil edebilecek şekilde seçilmiştir. Kesilerek hazırlanan numuneler, genel yapıyı temsil edebilecek şekilde seçilmiştir.

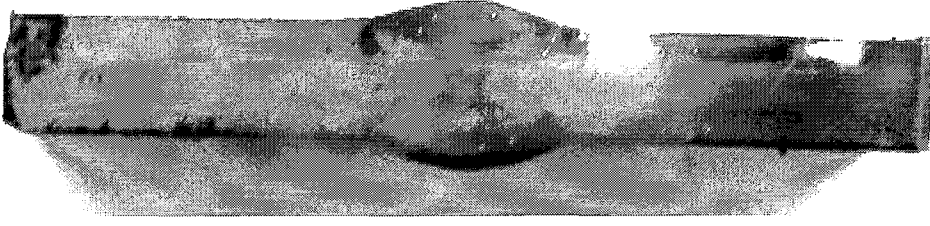
Kaba ölçülerde kesilen mikro yapı numuneleri ince bir talaş kaldırma işleminden sonra sırasıyla 60, 120, 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 numaralı SiC su zımparası ile her seferinde 90° döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalanmıştır. Zımparalanmış numuneler önce kaba parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır bunun için 4/5 oranında sulandırılmış Al₂O₃ kullanılmıştır, bunların tane boyutları 80µm -100 µm arasındadır. Bunu takiben Cr₂O₃ 4/5 oranında sulandırılmış 20 µm tane büyüklüğündeki parlaticı ile zımpara çizikleri gidinceye kadar parlatıldı, en son olarak 3 µm tane boyutunda elmas parlaticıyla hiç çizik kalmayacak şekilde parlatma işlemine devam edildi.

Dağlama işleminde ise S235JR için Nital-2 (%98 etil alkol+%nitrik asit HNO₃) paslanmaz çelik için ise Kral Suyu olarak isimlendirilen 12 birim HCl+8 birim HNO₃ kullanılmıştır.

Mikro yapı fotoğrafları Q500 IW marka metal mikroskobu ile X100 büyütme ile çekilmiştir, Makro yapı ise Nikon Coolpix 5000 marka makine ile X 3 ve X 4 büyütme ile çekilmiştir

5.8.4. Vickers sertlik deneyi

MIG, TIG ve MMA yöntemleri uygulanmış olan levhalardan alına metalografik inceleme numuneleri üzerinde EM1-IEB1-KM-IEB2-EM2 olacak şekilde EN1043 de belirtildiği gibi numune üst yüzeyinden 2mm derinlikte ve aralıkta kaynak ekseninde sağında ve solunda sertlik taraması yapılmıştır deney yükü olarak 10kg lık yük kullanılmıştır.



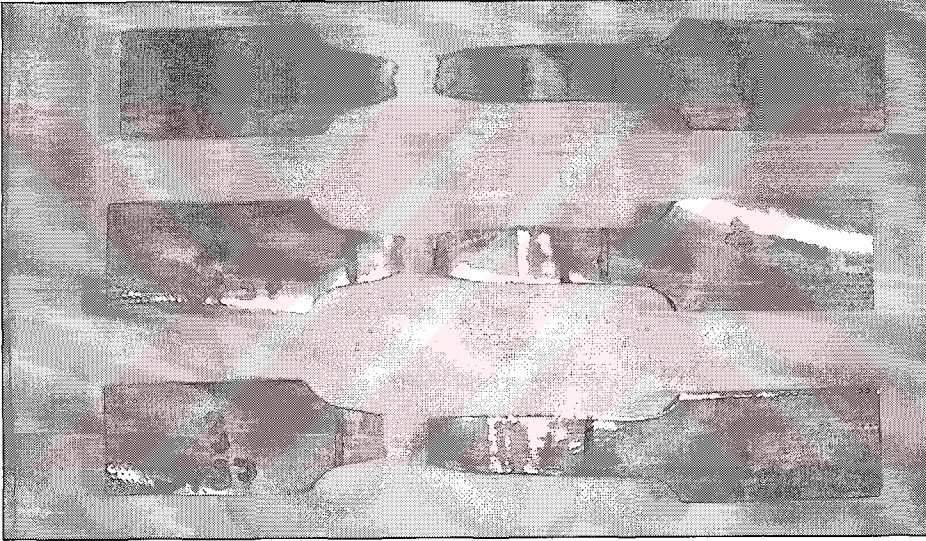
Şekil 5.17. Vickers sertlik taraması yapılmış bir deney numunesinin makro görüntüsü



6. DENEY SONUÇLARI

6.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Üç ayrı kaynak yöntemi ile gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılardan çıkarılan çekme deney numuneleri üzerinde çekme deneyi sonrası oluşan kopma biçimleri birbirleri ile benzer sonuçlar vermiştir şöyle ki çekme deneyi sonucunda mukavemeti paslanmaz çeliğe göre düşük olan normal çelik tarafından kopma olmuştur.



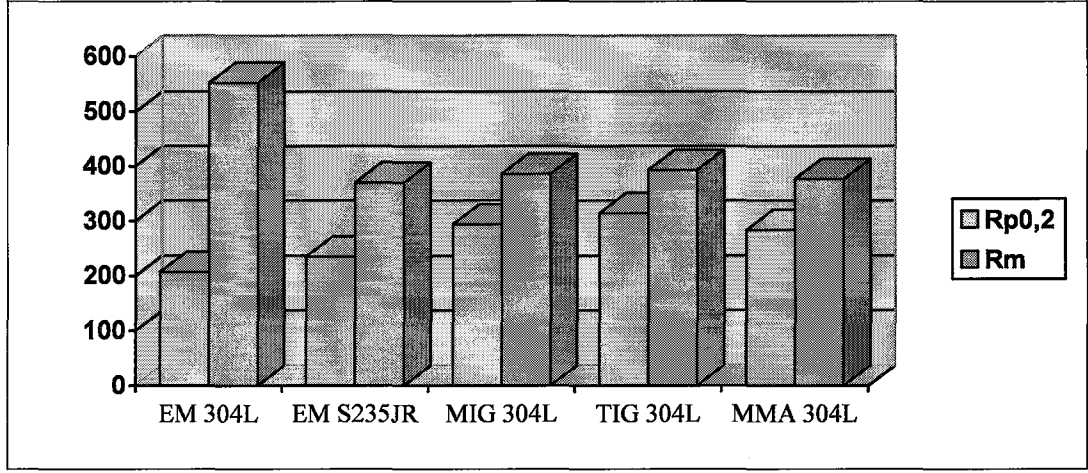
Şekil 6.1. Çekme deneyi uygulanmış numunelerin görünüşü

Tez çalışması kapsamında uygulanan kaynak yöntemleri olan MIG, TIG, MMA kaynak yöntemlerine uygulanan çekme deney sonucu elde edilen akma mukavemeti, % uzama miktarı, ve kopmanın olduğu yeri belirten sonuçlar Tablo 6.1 de özetlenmiştir.

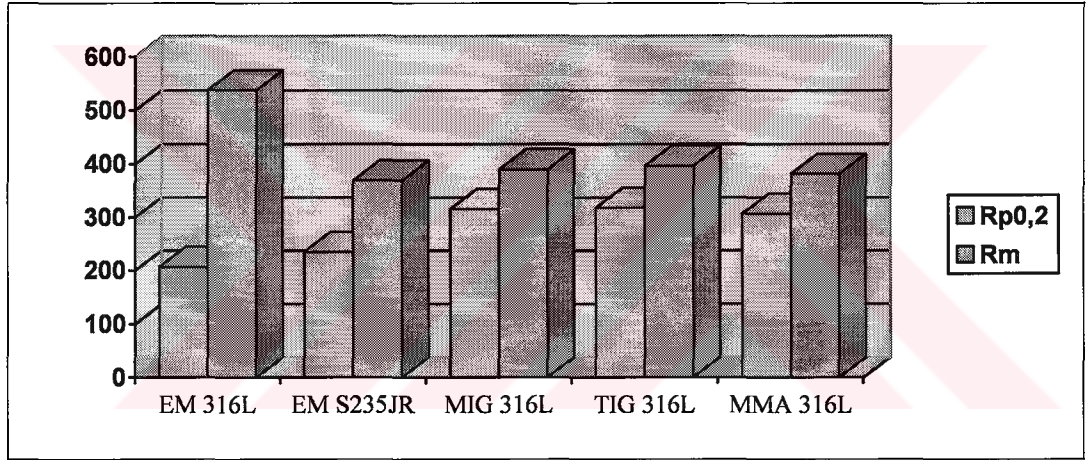
Tablo 6.1. TIG, MIG ve MMA kaynaklı bağlantılarının çekme deneyi sonuçları

Numune Kodu	$R_{p0,2}(N/mm^2)$	$R_m(N/mm^2)$	Uzama(%)	Kopma Yeri
TIG 304L-1	301,2	378,94	19,7	S235JR
TIG 304L-2	321,7	419,94	18	S235JR
TIG 304L-3	320,6	379,63	20,7	S235JR
TIG304L ORT.	314	393	19,46	-
MIG 304L-1	373,53	373,53	21,2	S235JR
MIG 304L-2	369,75	369,75	18	S235JR
MIG 304L-3	417,6	417,6	21	S235JR
MIG 304L ORT.	294	386	20,06	-
MMA 304L-1	263,0	366,91	20,1	S235JR
MMA 304L-2	291,7	375,15	25,1	S235JR
MMA 304L-3	295,8	387,12	20,9	S235JR
MMA304LORT.	283,5	376,39	22,03	-
TIG 316L-1	302,5	394,86	22,6	S235JR
TIG 316L-2	349,2	423,21	23,2	S235JR
TIG 316L-3	303,0	373,07	23,6	S235JR
TIG316L ORT.	318	397,04	23,13	-
MIG 316L-1	316,7	376,96	21,2	S235JR
MIG 316L-2	294,5	368,11	26,7	S235JR
MIG 316L-3	338,3	425,61	23,0	S235JR
MIG 316L ORT.	316,5	390,224	23,63	-
MMA 316L-1	296,7	369,53	25	S235JR
MMA 316L-2	305,3	372,31	20,8	S235JR
MMA 316L-3	320,1	404,45	17,3	S235JR
MMA304LORT.	307,36	382,09	21,03	-

MIG, TIG, MMA, kaynaklı bağlantılarından çıkarılan çekme deney numunelerine uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen akma mukavemeti ve çekme mukavemet değerleri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 de verilmiştir.



Şekil 6.2. 304L-S235JR Çiftinin MIG, TIG, MMA Bağlantılarının Mukavemet Değerlerinin Esas Metaller İle Karşılaştırılması



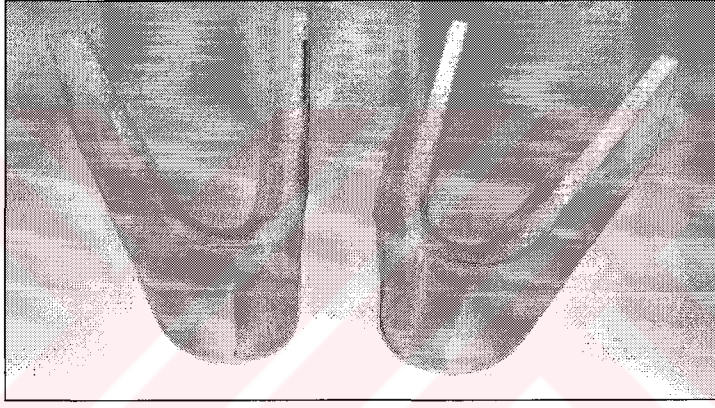
Şekil 6.3. 316L-S235JR çiftinin MIG, TIG, MMA Bağlantılarının Mukavemet Değerlerinin Esas Metaller İle Karşılaştırılması

6.2. Eğme Deneyi Sonuçları

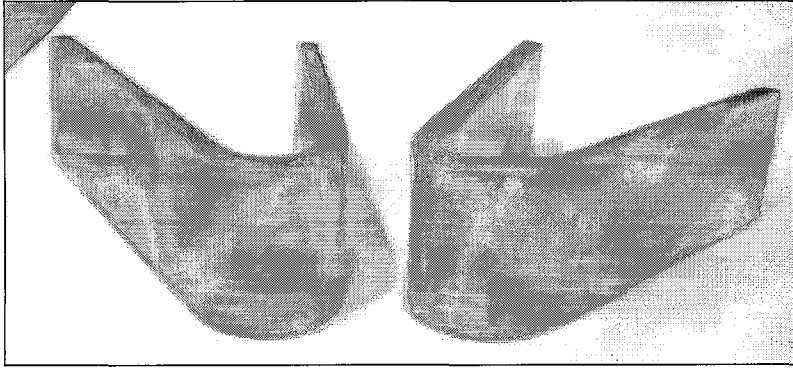
MIG, TIG, MMA ile kaynak edilmiş levhalardan çıkarılan eğme numunelerine uygulanan köke ve yüzey eğme deneylerinde elde edilen sonuçlar sonuçları Şekil 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 da görülmektedir.



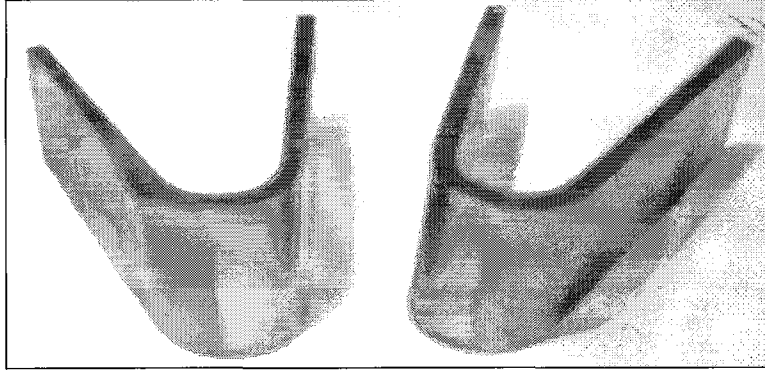
Şekil 6.4. 304L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi



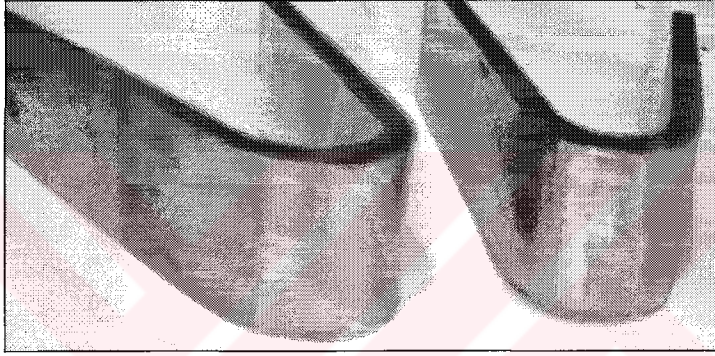
Şekil 6.5. 316L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi



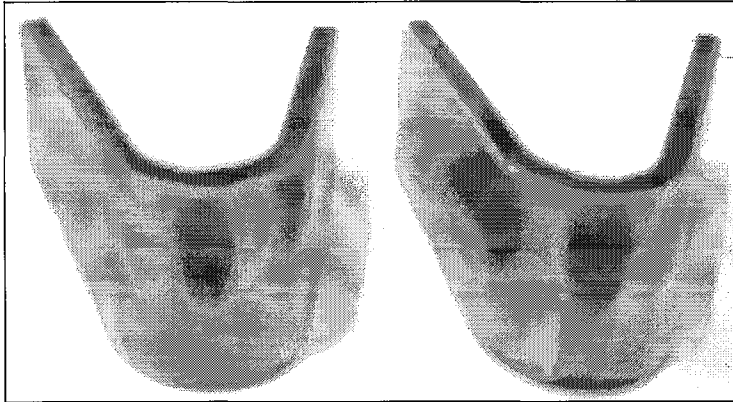
Şekil 6.6. 304L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi



Şekil 6.7. 316L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi



Şekil 6.8. 304L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök(sağ) eğme deneyi



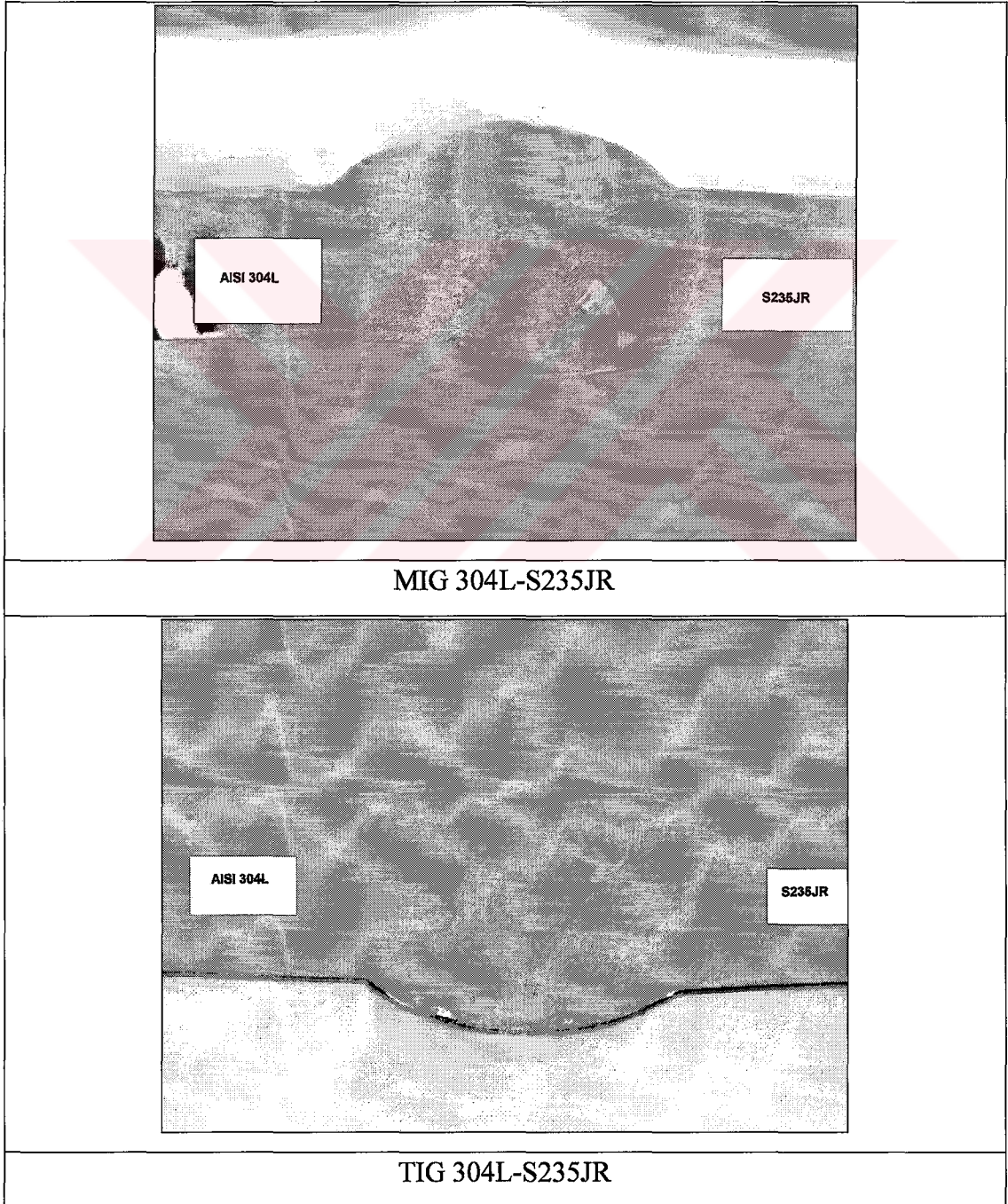
Şekil 6.9. 316L-S235JR çiftinin yüz(sol) ve kök (sağ) eğme deneyi

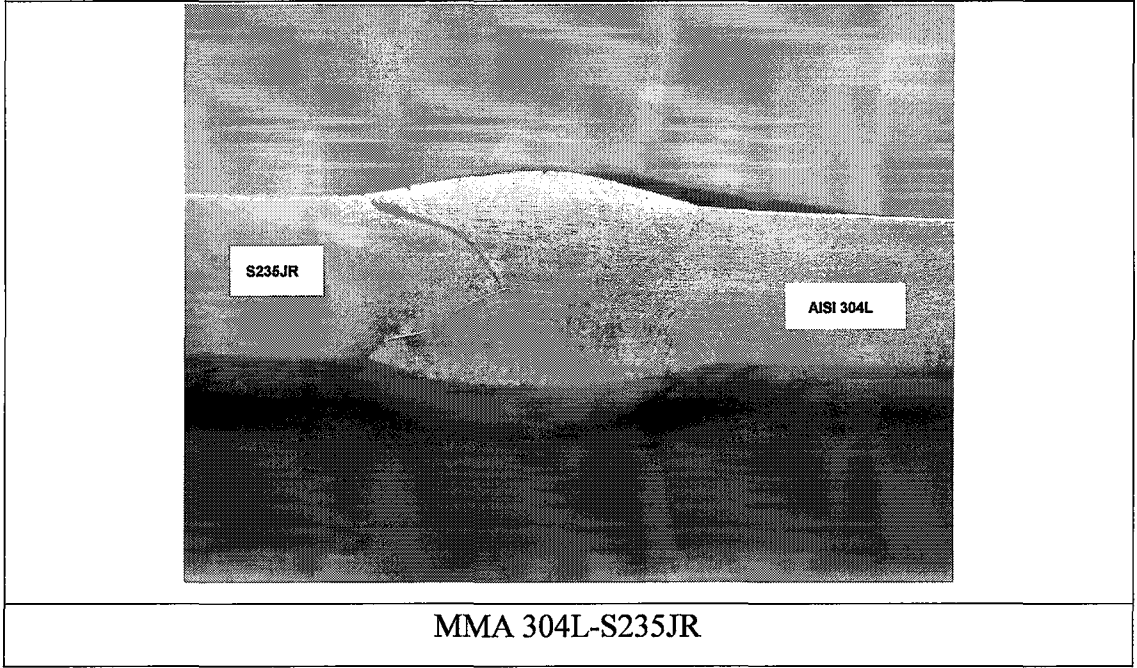
Tablo 6.2. MIG, TIG ve MMA Kaynaklı Bağlantılarının Eğme Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	Sonuç
<u>MIG 304L EY1</u>	Çatlama Görülmedi
MIG 304L EK1	Çatlama Görülmedi
MIG 304L EY2	Çatlama Görülmedi
MIG 304L EK2	Çatlama Görülmedi
<u>TIG 304L EY1</u>	Çatlama Görülmedi
TIG 304L EK1	Çatlama Görülmedi
TIG 304L EY2	Çatlama Görülmedi
TIG 304L EK2	Çatlama Görülmedi
<u>MMA 304L EY1</u>	Çatlama Görülmedi
MMA 304L EK1	Çatlama Görülmedi
MMA 304L EY2	Çatlama Görülmedi
MMA 304L EK2	Çatlama Görülmedi
<u>MIG 316L EK1</u>	Çatlama Görülmedi
MIG 316L EY2	Çatlama Görülmedi
MIG 316L EK2	Çatlama Görülmedi
MIG 316L EY2	Çatlama Görülmedi
<u>TIG 316L EY1</u>	Çatlama Görülmedi
TIG 316L EK1	Çatlama Görülmedi
TIG 316L EY2	Çatlama Görülmedi
TIG 316L EK2	Çatlama Görülmedi
<u>MMA 316L EY1</u>	Çatlama Görülmedi
MMA 316L EK1	Çatlama Görülmedi
MMA 316L EY2	Çatlama Görülmedi
MMA 316L EK2	Çatlama Görülmedi

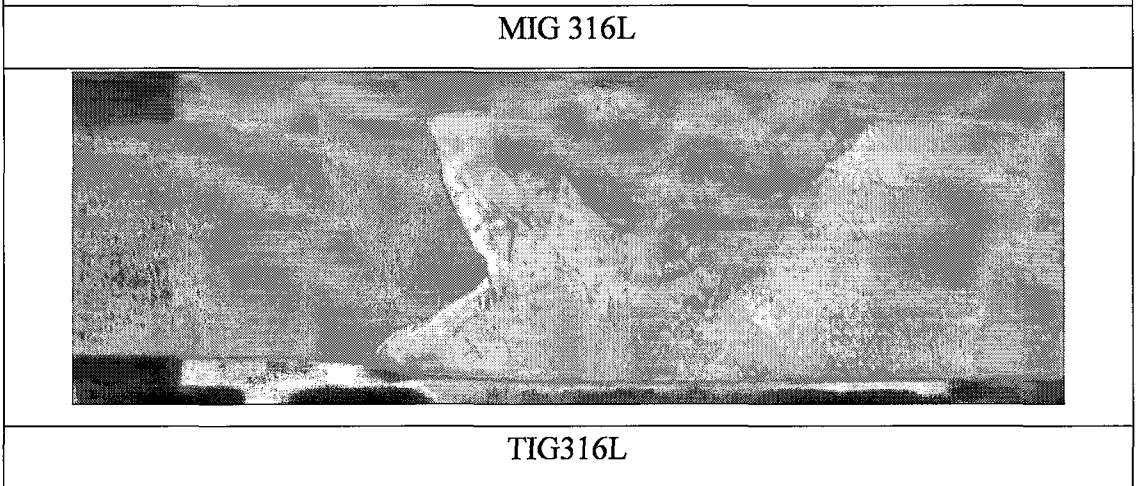
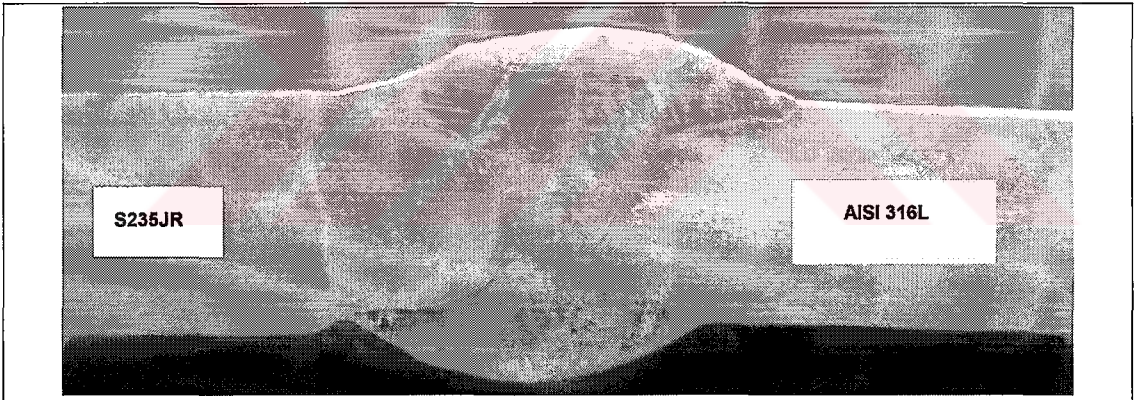
6.3. Metalografik İnceleme Sonuçları

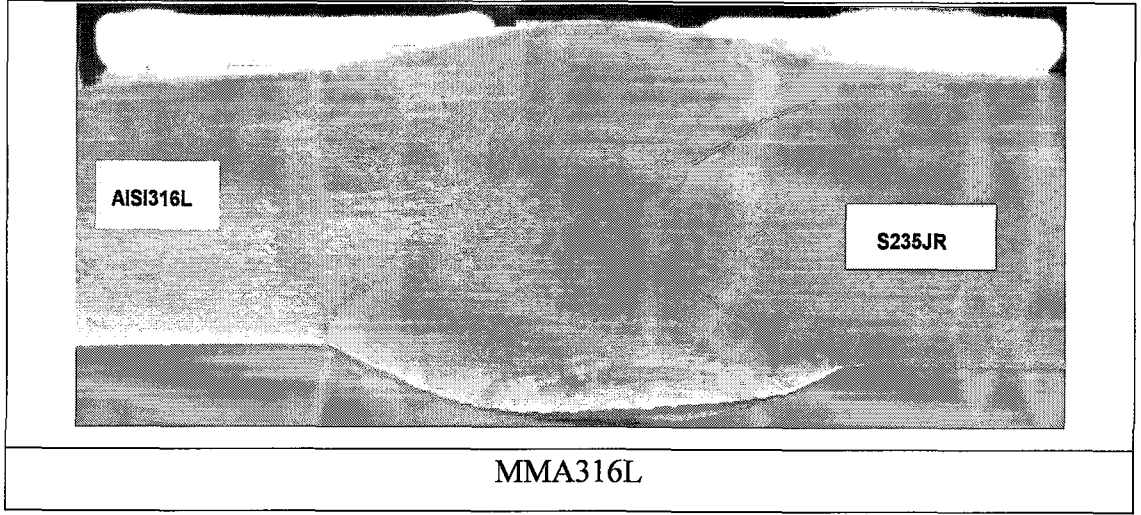
Her üç kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bağlantılardan alınan numuneler üzerinde kaynak bölgeleri metalografik olarak detaylı bir biçimde incelemiştir. Makro yapı ve mikro yapı incelemeleri ayrı ayrı yapılmış olup MIG, TIG ve MMA kaynaklı bağlantılarına ait makro yapı görüntüleri Şekil 6.10, ve 6.11 de görülmektedir.





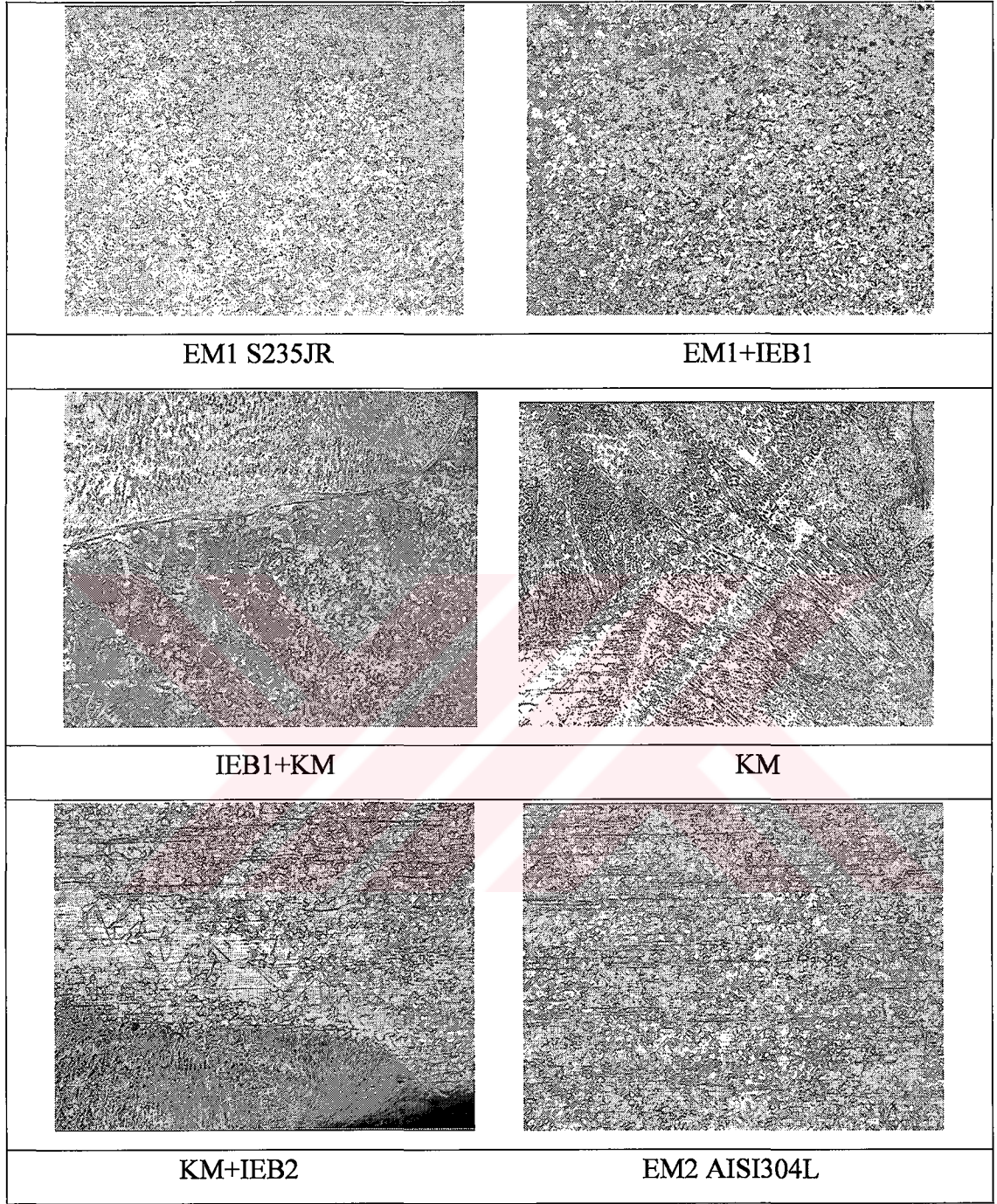
Şekil 6.10. MIG, TIG ve MMA yöntemlerin 304L-S235JR bağlantılarının makro yapı görüntüleri



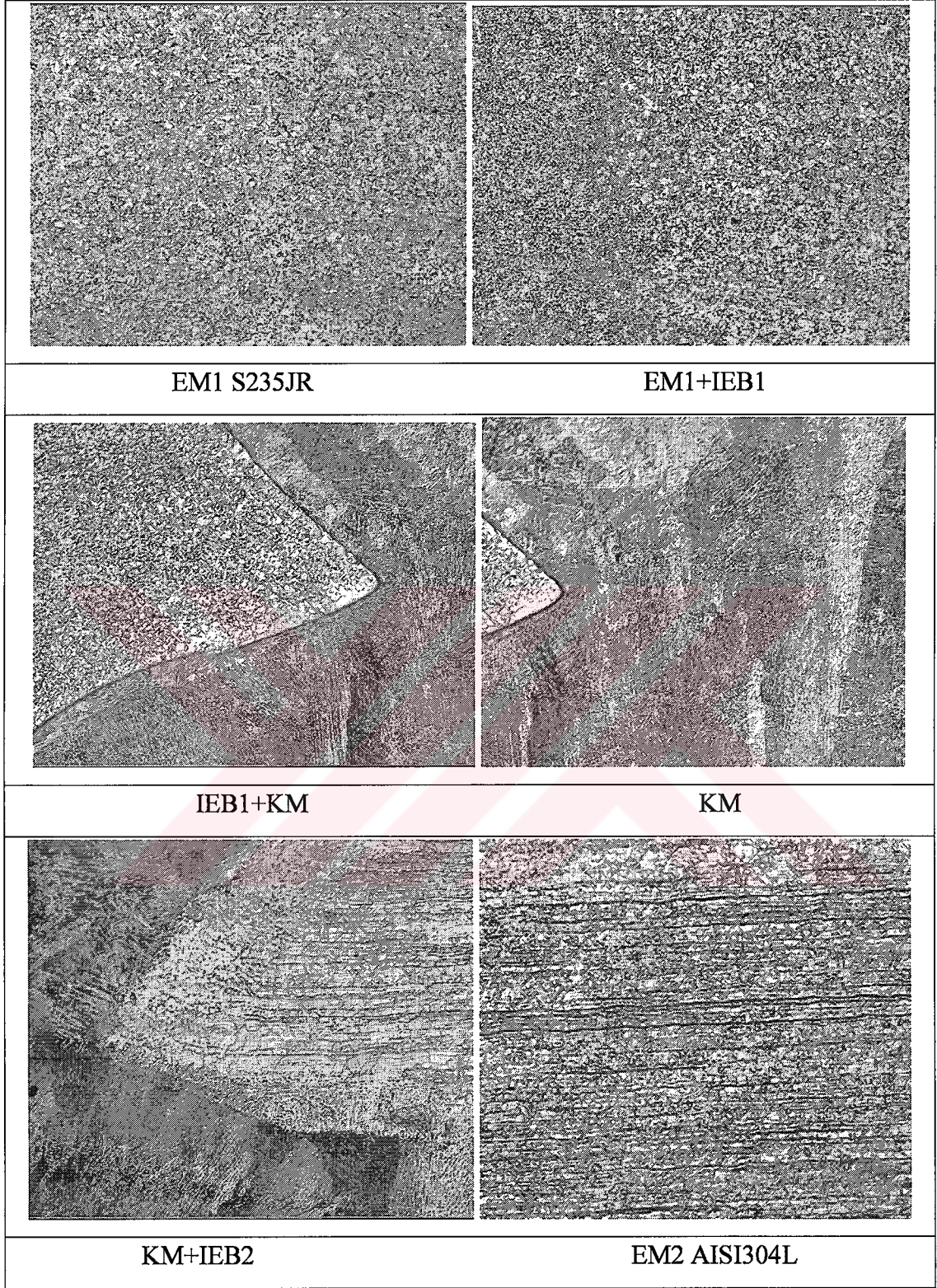


Şekil 6.11.MIG, TIG ve MMA yöntemlerinin 316L-S235JR bağlantılarının makro yapı görüntüleri

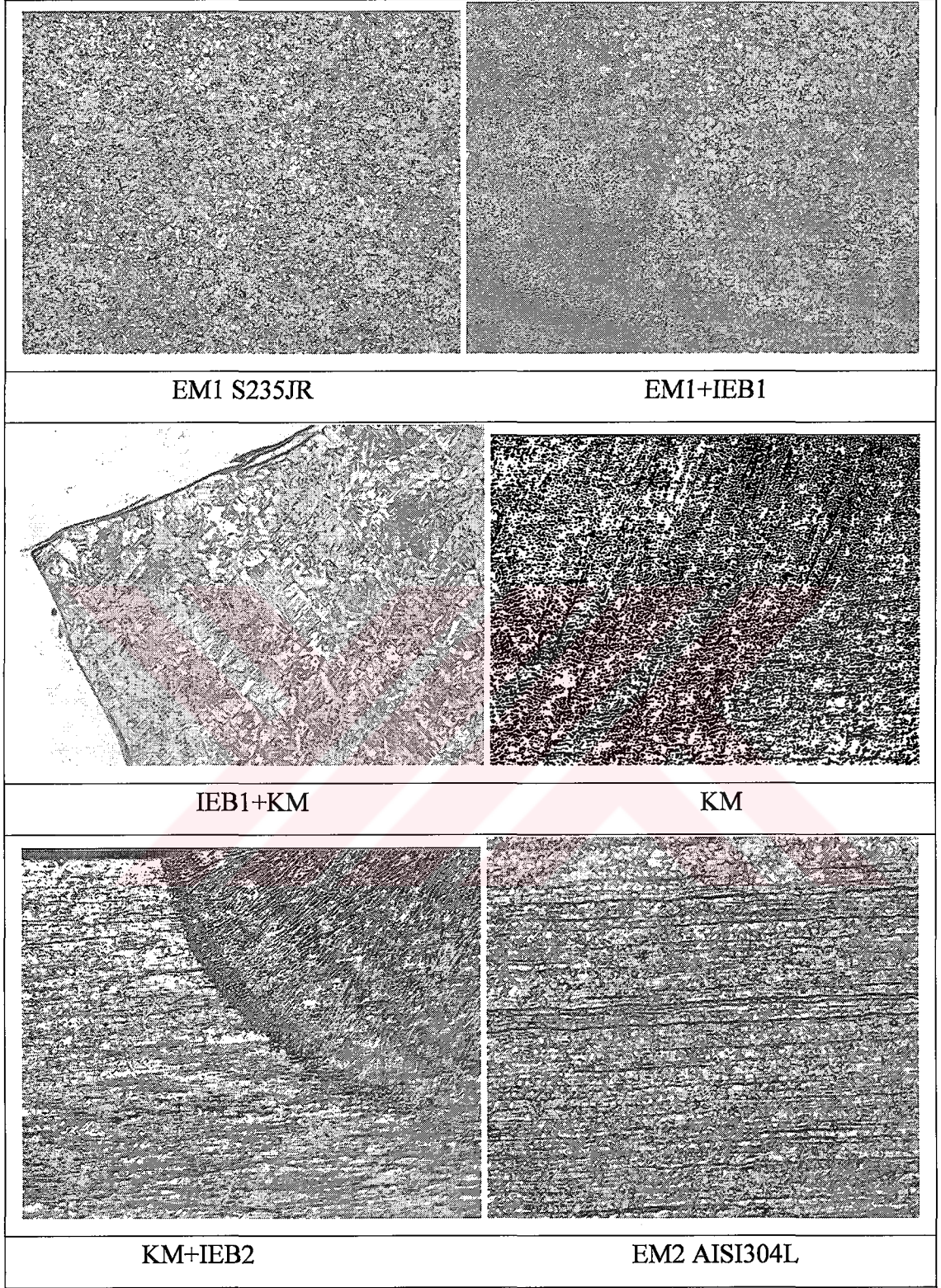
MIG, TIG, ve MMA kaynaklı bağlantılar için kaynak bölgesinin (EM-IEB-KM-IEB-EM) Mikro yapı fotoğrafları Q500 IW marka metal mikroskobu ile 100X büyütme ile yapılmış olan mikro yapı fotoğrafları şekil 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 de verilmiştir.



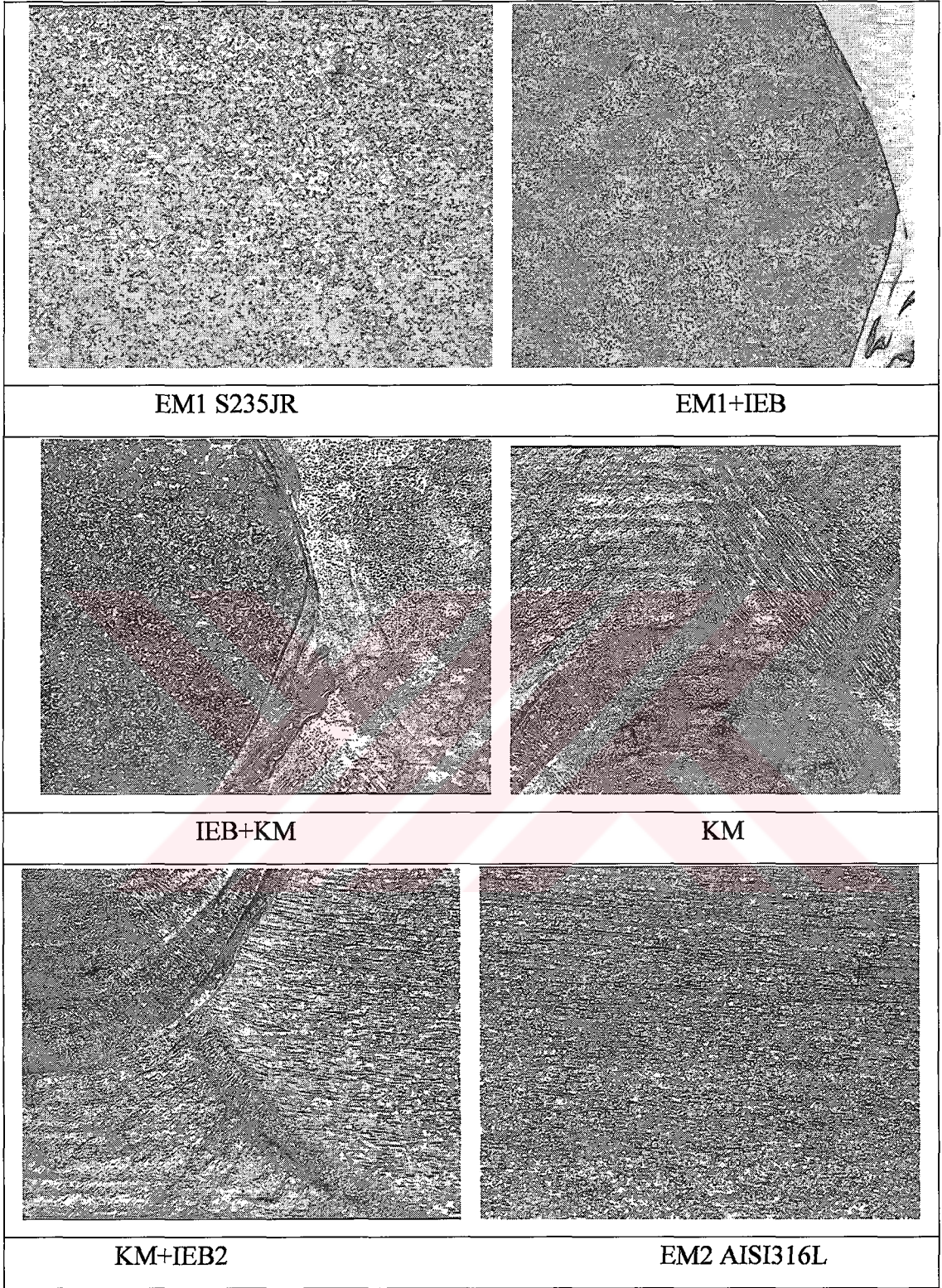
Şekil 6.12. MIG 304L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri



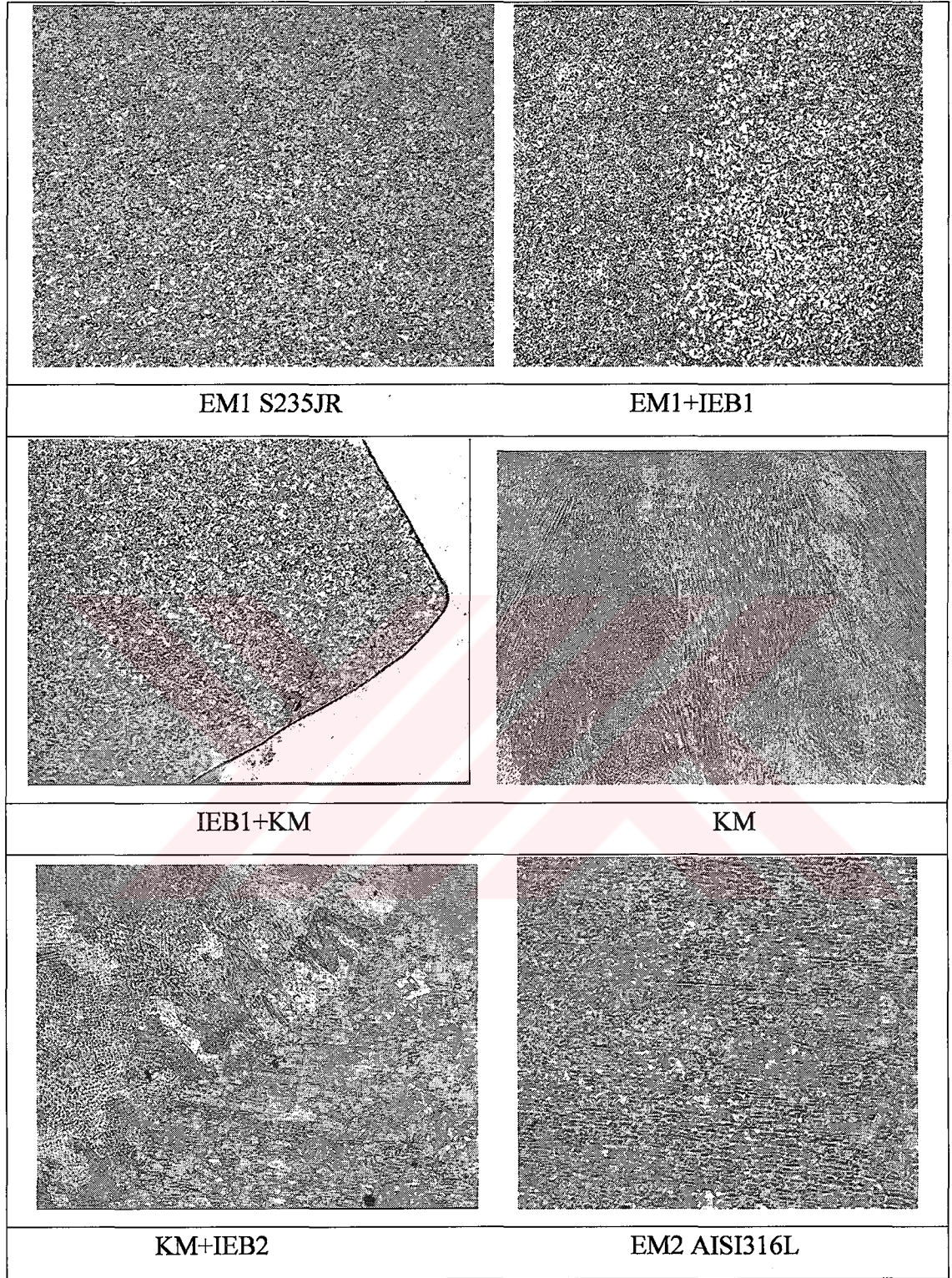
Şekil 6.13. TIG 304L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri



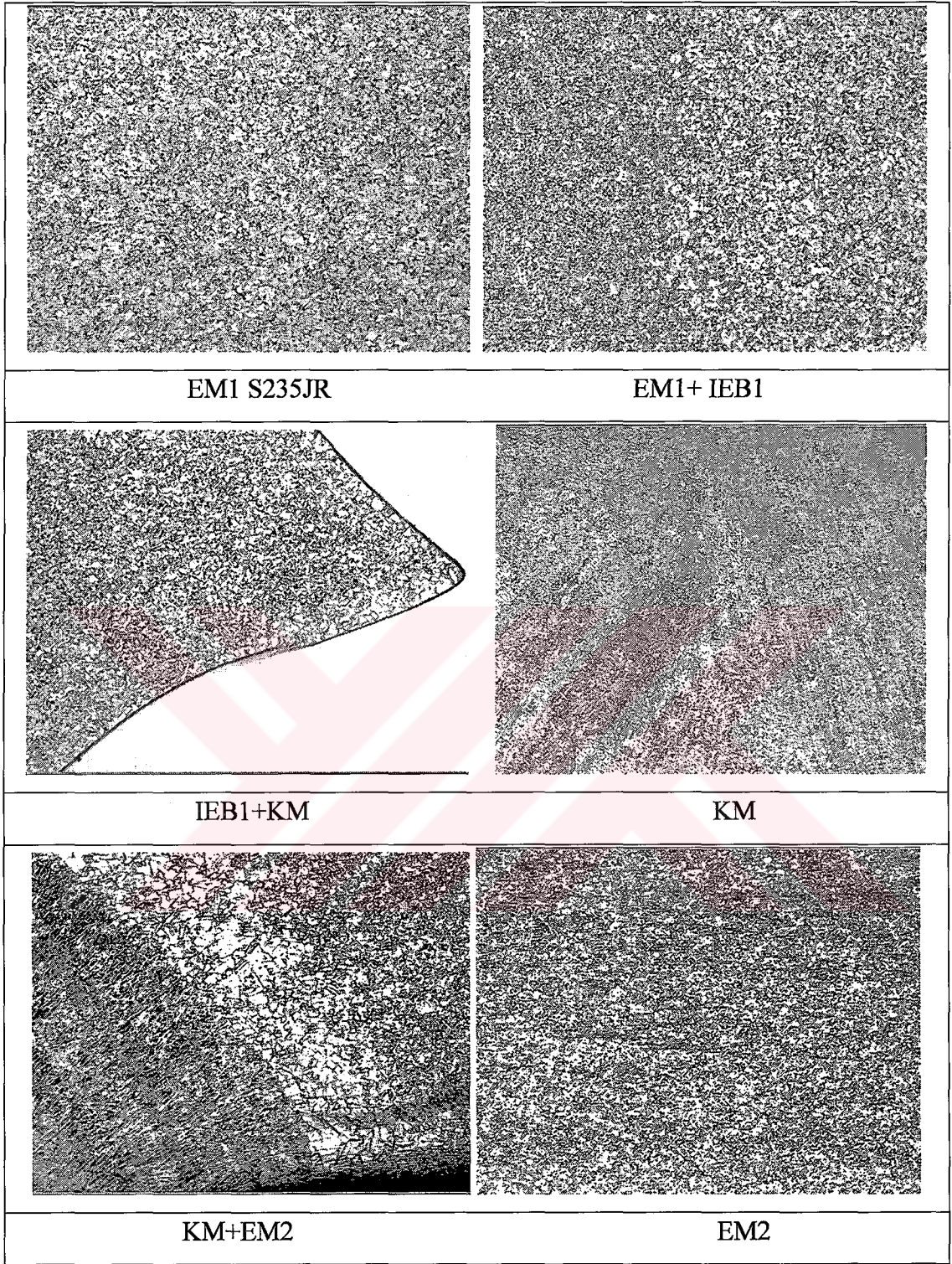
Şekil 6.14. MMA 304L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri



Şekil 6.15. MIG 316L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri



Şekil 6.16.TIG AISI 316L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri



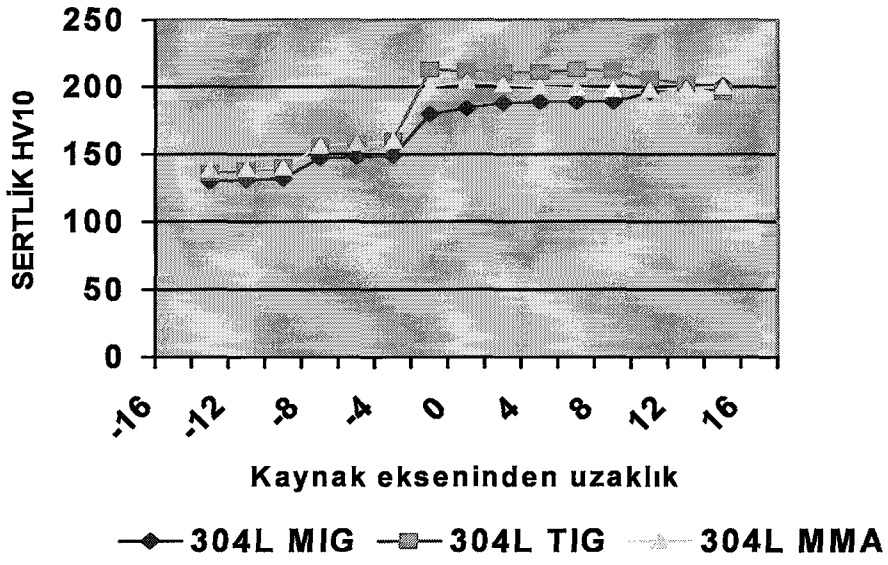
Şekil 6.17. MMA AISI 316L Kodlu Numunenin Mikro Yapı Görüntüleri

6.4. Vickers Sertlik İnceleme Sonuçları

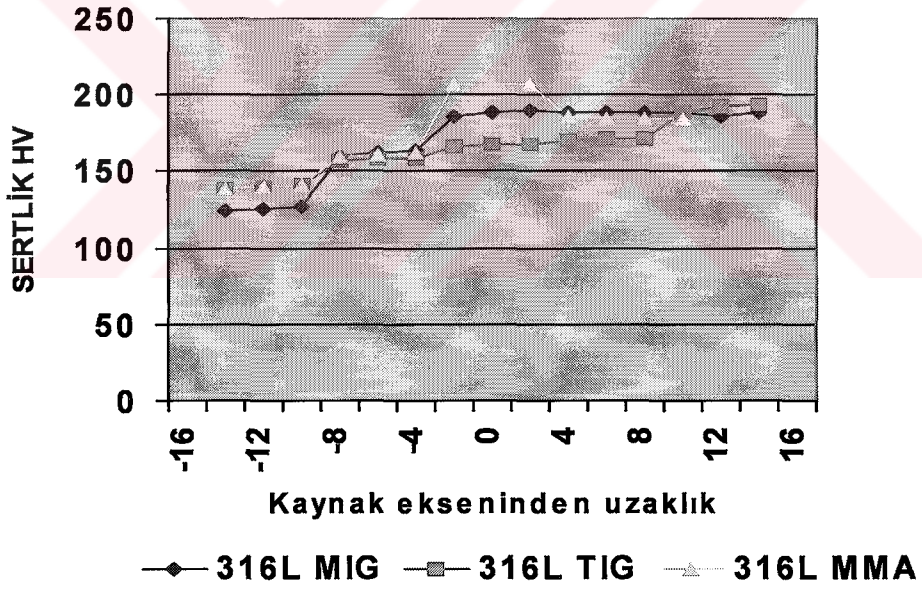
MIG, TIG ve MMA yöntemleri uygulanmış olan levhalardan alına metalografik inceleme numuneleri üzerinde EM1-IEB1-KM-IEB2-EM2 olacak şekilde EN1043 de belirtildiği gibi numune üst yüzeyinden 2mm derinlikte ve aralıkta kaynak ekseninde sağında ve solunda sertlik taraması yapılmıştır deney yükü olarak 10kg lık yük kullanılmıştır. Vickers sertlik tarama sonuçları Tablo 6.3' de ve Şekil 6.18 ve 6.19 de ve tüm toplu sonuçlar ise Şekil 6.20 de verilmiştir.

Tablo 6.3. MIG, TIG, MMA Kaynaklı Bağlantılarının Vickers Sertlik Tarama Sonuçları (HV₁₀).

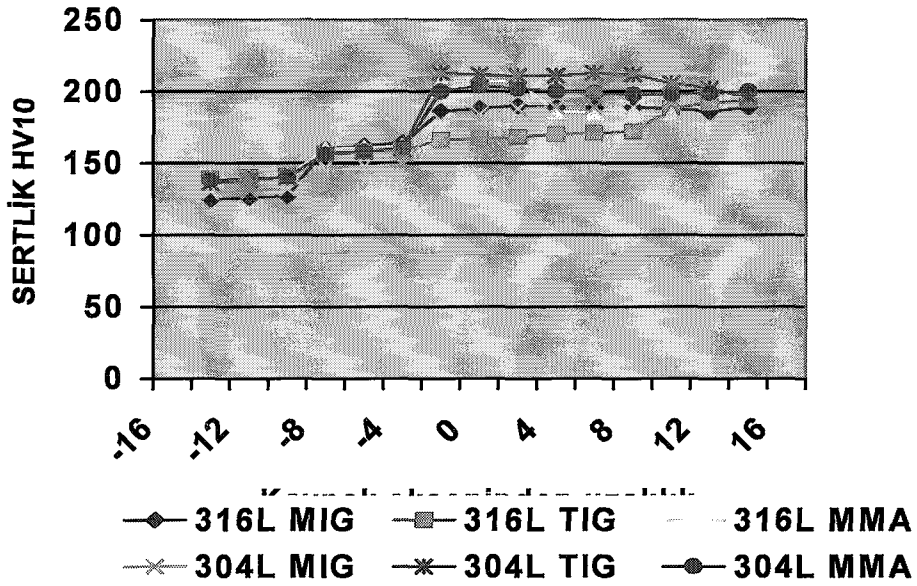
İz no	Numune Kodu					
	MIG304L	TIG304L	MMA304L	MIG316L	TIG316L	MMA316L
1	130	136	138	125	139	139
2	131	138	139	126	140	140
3	132	140	140	127	141	141
4	147	156	156	160	157	160
5	148	158	158	162	158	161
6	149	160	160	164	159	162
7	180	213	200	186	166	207
8	184	212	204	188	167	207
9	188	211	202	190	168	207
10	189	211	200	189	170	186
11	189	213	199	189	171	185
12	189	212	198	189	172	184
13	196	206	198	188	188	184
14	201	202	199	186	192	184
15	201	196	200	189	194	184



Şekil 6.18. 304L Kodlu Malzeme Çiftlerinin Sertlik Dağılımları



Şekil 6.19. 316L Kodlu Malzeme Çiftlerinin Sertlik Dağılımları



Şekil 6.20. 316L ve 304L Kodlu Malzeme Çiftlerinin Sertlik Dağılımlarının toplu halde gösterimi

6.5. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

6.5.1. Görsel inceleme sonuçlarının irdelenmesi

Farklı kaynak yöntemleri kullanılarak hazırlanmış olan levhaların tümünde kaynak dikişlerinin ilgili standart ve yönergelere göre uygun olduğu, sıçramaların olmadığı ve mekanik özellikleri etkilemeyecek ölçülerde yanma olukları olduğu görülmüştür. Dikiş boyutları normal ölçülerdedir. Parça kalınlığına, boyutuna ve yapılan ısı girdilerine bağlı olarak oluşan çarpılma miktarları normaldir.

6.5.2. Çekme deneyi sonuçlarının irdelenmesi

Çekme deneyinde; deney parçalarının tamamı deney sırasında normal çelik tarafından yani S235JR tarafından kopmuştur ve kopmaların tamamı sünek kopma biçiminde gerçekleşmiştir. Zaten bu beklenen bir durumdur çünkü, normal çeliğin mukavemet değerinin her iki paslanmaz çelik türünden de düşüktür. Elde edilen akma mukavemeti değerleri, ana malzeme için verilen minimum akma mukavemeti

değerlerinin üzerinde; çekme mukavemeti değerleri ise yaklaşık olarak verilen S23JR' nin çekme mukavemeti değerine yakın değerler şeklinde ölçülmüştür.

6.5.3. Eğme deneyi sonuçlarının irdelenmesi

Deney parçaları normal çalışma koşullarında karşılaşılabilecek durumlardan çok daha fazla zorlanacak şekilde aşırı eğilerek eğme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Eğme deneyi sonuçları çatlama gözlenmemiştir

6.5.4. Metalografik inceleme sonuçlarının değerlendirilmesi

Her üç kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bağlantılardan alınan numuneler üzerinde kaynak bölgelerinin detaylı olarak metalografik incelemesi yapıldığında, MIG, TIG, MMA kaynaklı bağlantılarının yapılan makro incelemelerinde kaynak bölgelerinin normal EM, IEB ve KM yapıları görüntüsü verdiği görülmüştür (Şekil 6.11,12,13,14,15,16,17)

Esas metal mikro yapısının haddelene hatlarını içeren, yani soğuk şekil değiştirmiş yapısı dolayısıyla eşdeğer tane boyutları gözlemlenmiştir. IEB' de TIG 304L numunesinde taneler yeniden kristalleşmeyi göstermektedir, ısının uzun süreli etkisi ve sıcaklığın yüksekliği ile daha iri taneler görülmüştür. MIG 304L numunesinde ise TIG kaynağına göre yoğun bir martenzitik yapı görülmüştür bunun sebebi ise ergime bölgesine yani direkt olarak kaynak dikişine ısının geçmesine bağlayabiliriz. MMA 304L numunesinde ise IEB bölgeden önce perlitik yapının yoğunluğu dikkat çekmiştir, martenzitik yapının ise bulunduğu ancak TIG kaynağında olduğu kadar yoğun olmadığı gözlenmiştir. IEB'den kaynak metaline geçişte keskin ergime çizgisi görüntüsü makro yapılarda da ortaya çıkmış olup bu bölgedeki mikro yapı geçişi de koyu renkten daha açık bir dokuya geçiş biçimindedir. Kaynak metalinde ise dentritik döküm yapısı görülmektedir. Esas metal 2 kısmında ise elektrodun uyumundan kaynaklana düzgün bir geçiş görülmektedir. Makro yapılarda ise 3 kaynak yönteminde de kaynak dikişinde herhangi bir hataya rastlanılmamıştır. Ancak MIG304L numunesinde kaynağın ekseninden kaydığı ve dikiş yüksekliğinin diğer yöntemlere göre yüksek olduğu ergime yüksek olmasından dolayı kaynak ağzı

formunuda kaybetmiştir, MMA 304L numunesinde ise kaynak dikişinin diğer yöntemlere göre daha geniş olduğu ancak dışarıdan bakıldığında ise en güzel dikiş görüntüsünü verdiği, TIG 304L numunesinde ise kaynak ağzı formlarının kaybolmadığı iyi bir kaynak dikişi verdiği görülmüştür.

.MIG 316L, TIG, 316L MMA 316L yapısında görülen yapılar yukarıda anlattığımız yapılara benzerdir. Yalnızca MIG 316L nin EM1-IEB tarafı incelendiğinde oluşan ferrit adacıkları görülmektedir.

6.5.5. Vickers sertlik taraması değerlerinin irdelenmesi

MIG, TIG ve MMA yöntemleri uygulanmış levhaların kaynak kesitlerinden çıkarılan metalografi numuneleri üzerinde 10 kg deney yükü kullanılarak yapılan Vickers sertlik taramalarının sonuçları incelendiğinde (Şekil , 6.18 ve 6.19)

MIG kaynaklı bağlantılarda EM1'in sertliğinin ortalama 128, IEB1 sertliğinin ortalama 153, kaynak metali sertliğinin ortalama 189 HV civarlarında olduğu, IEB2 sertliğinin ortalama 189, EM2'in sertliğinin ortalama 188 olduğu görülmüştür. Sertlik beklenen şekilde S235JR tarafından paslanmaz çelik tarafına doğru artarak ilerlemektedir. Kaynak metali daha önceden belirtildiği üzere, esas metal ve ek kaynak metali karışımından oluşan bir metalurjik döküm yapısı göstermektedir ve bu durum normaldir.

TIG kaynaklı bağlantılarda EM1'in sertliğinin ortalama 139, IEB1 sertliğinin ortalama 158, kaynak metali sertliğinin ortalama 189 HV civarlarında olduğu, IEB2 sertliğinin ortalama 189, EM2'in sertliğini TIG 304L kodlu numunede 212, TIG 316L no lu numunede ise ortalama 168 olduğu görülmüştür. Sertlik beklenen şekilde S235JR tarafından paslanmaz çelik tarafına doğru artarak ilerlemektedir. Kaynak metali daha önceden belirtildiği üzere, esas metal ve ek kaynak metali karışımından oluşan bir metalurjik döküm yapısı göstermektedir ve bu durum normaldir.

MMA kaynaklı bağlantılarda EM1'in sertliğinin ortalama 139, IEB1 sertliğinin ortalama 159, kaynak metali sertliğinin ortalama 189 HV civarlarında olduğu, IEB2 sertliğinin ortalama 189, EM2'in sertliğini TIG 304L kodlu numunede 200, TIG 316L no lu numunede ise ortalama 207 olduğu görülmüştür. Sertlik beklenen şekilde S235JR tarafından paslanmaz çelik tarafına doğru artarak ilerlemektedir. Kaynak metali daha önceden belirtildiği üzere, esas metal ve ek kaynak metali karışımından oluşan bir metalurjik döküm yapısı göstermektedir ve bu durum normaldir.



KAYNAKLAR

1. Anık, S., Anık, S. ve Vural, M., (1993a), 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi Cilt I-E, Birsen Yayınevi, İstanbul.
2. Güleç, Ş. ve Aran, A., (1993), Malzeme Bilgisi I-II, İTÜ Yayınları, İstanbul.
3. ASM Handbook Committee., (1983), Metals Handbook Volume-6 Welding, Brazing and Soldering, ASM, Metals Park, Ohio.
4. Barnhouse, E.J ve Lippold, J.C, "Microstructure/ Property Relationships in Dissimilar Welds between Stainless Steels and Carbon Steels", Welding Journal, December 1998: 477s- 487s.
5. TÜLBENTÇİ, K., 1998. Gazaltı Kaynak Yöntemi MIG/MAG. Arctech, İstanbul.
6. Cary, H.B., (1989), Modern Welding Technology, Prentice Hall, New Jersey.
7. Hosking, F.M., Stephens, J.J. ve Rejent, J.A., (1999), "Intermediate Temperature Joining of Dissimilar Metals", Welding Journal, April 1999: 127-136.
8. Jeffus, Larry., (1993), Welding Principles and Applications, Delmer Publishers, Albany.
9. Kou, S., (1987), Welding Metallurgy, University of Wisconsin, USA
10. Lancaster, J.F., (1993), Metallurgy of Welding Fifth Edition, London
11. Rossi, E., (1954), Welding Engineering, Me Graw-Hill, New York.
12. Schwartz, M.M., (1979), Modern Welding Joining Techniques, Wiley-Interscience, New York
13. Stinchcomb, C, (1999), Welding Technology Today Principle and Practices, Prentice Hill, New Jersey.
14. Stout, R.D., (1987), Weldability of Steels, Welding Research Council Fourth Edition, USA.
15. Weisman, C, (1984a), AWS Welding Handbook Volume-4 Metals and Their Weldability, AWS, Miami.
16. Weisman, C, (1984b), AWS Welding Handbook Volume-3 Resistance and Solid-State Welding and Other Joining Processes, AWS, Miami.

ÖZGEÇMİŐ

1979 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1998 yılında girdiği K.O.Ü. Makine Mühendisliği bölümünden 2002 yılında mezun oldu. Halen K.O.Ü Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

