

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI METALLERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE
KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN GENEL
İNCELENMESİ ve ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI**

106316

Makina Müh. Umut Enis ASLAN

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

106316

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selahattin YUMURTACI

Prof. Dr. Nurullah Gültekin
Prof. Dr. Nispet Kökmez
Doç. Dr. Selahattin YUMURTACI

İSTANBUL, 2001

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BİBLİYOTEKLERİ MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. METALSEL MALZEMELER.....	4
2.1 Metalsel Malzemelerin Kaynak Kabiliyeti	4
2.2 Kaynak Prosesinde Demir-Karbon Denge Diyagramı.....	9
3. FARKLI METALSEL MALZEMELERİN KAYNAĞINDA GÖZETLENMESİ GEREKEN NOKTALAR.....	14
3.1 Kaynak Metali.....	17
3.2 Ergime Oranları.....	18
3.3 Ergime Sıcaklığı.....	22
3.4 Isıl İletkenlik.....	23
3.5 Isısal Genleşme.....	23
3.6 Ön Isıtma ve Son Tavlama.....	24
3.7 İşletme Koşullarında Mekanik ve Fiziksel Özellikler.....	25
3.8 Korozyon ve Oksidasyon Direnci.....	25
3.9 İlave Malzeme Seçimi.....	26
4. FARKLI METALSEL MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	29
4.1 Elektron Işın Kaynağı.....	29
4.1.1 Yöntemin Tanıtımı.....	29

4.1.2	Kaynak Parametreleri.....	31
4.1.3	Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	31
4.2	Patlamalı Kaynak.....	33
4.2.1	Yöntemin Tanıtımı.....	33
4.2.2	Kaynak Parametreleri.....	34
4.2.3	Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	34
4.3	Difüzyon Kaynağı.....	35
4.3.1	Yöntemin Tanıtımı.....	36
4.3.2	Kaynak Parametreleri.....	37
4.3.3	Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	38
4.4	Ultrasonik Kaynak.....	40
4.4.1	Yöntemin Tanıtımı.....	40
4.4.2	Kaynak Parametreleri.....	41
4.4.3	Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	42
4.5	Soğuk Basınç Kaynağı.....	43
4.5.1	Yöntemin Tanıtımı.....	43
4.5.2	Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	44
4.6	MIG/ MAG, TIG Kaynağı.....	45
4.6.1	MIG/ MAG Kaynak Prosesi.....	45
4.6.1.1	Yöntemin Tanıtımı.....	45
4.6.1.2	Kaynak Parametreleri.....	45
4.6.1.3	Uygulama Alanı.....	46
4.6.2	TIG Kaynak Prosesi.....	46
4.6.2.1	Yöntemin Tanıtımı.....	46
4.6.2.2	Kaynak Parametreleri.....	47
4.6.2.3	Uygulama Alanı.....	48
4.6.3	Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	48
4.7	Nokta Direnç Kaynağı.....	48
4.7.1	Yöntemin Tanıtımı.....	49
4.7.2	Kaynak Parametreleri.....	50
4.7.3	Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	51
4.8	Sürtünme Kaynağı.....	53
4.8.1	Yöntemin Tanıtımı.....	54
4.8.2	Kaynak Parametreleri.....	55
4.8.3	Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi.....	56
4.9	Yakma Alın Direnç Kaynağı.....	58
4.9.1	Yakma Alın Direnç Kaynağının Genel Prensibi.....	59
4.9.2	Yöntemin Tanıtımı.....	60
4.9.3	Kaynak Parametreleri.....	63
4.9.4	Yakma Alın Direnç Kaynağında Dirençlerin Etüdü.....	64
4.9.5	Bağlantı Tasarımı.....	65
4.9.6	Yakma Alın Direnç Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları.....	66

4.9.7	Yakma Alın Direnç Kaynak Prosesinin Malzeme Üzerindeki Etkileri.....	67
4.9.8	Farklı Metalsel Malzemelerin Yakma Alın Kaynak Kabiliyeti.....	69
4.9.8.1	Yakma Alın Direnç Kaynak Prosesinde Normalizasyon Tavlama.....	71
4.9.8.1.1	Tavlama Sıcaklığı.....	72
4.9.8.1.2	Tavlama Süresi.....	72
4.9.8.1.3	Normalizasyon Tavlamasında Soğuma.....	73
4.9.8.2	Dekarbürizasyon.....	74
5.	FARKLI METALSEL MALZEME KAYNAK KOMBİNASYONLARI.....	76
5.1	Paslanmaz Çelik- Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik.....	76
5.1.1	Karbon Yayınmı.....	76
5.1.2	Östenitik Paslanmaz Çelik İlave Malzemeler.....	77
5.1.3	Nikel Alaşımli İlave Malzemeler.....	77
5.1.4	İşletme Koşuları.....	78
5.1.5	Östenitik Paslanmaz Çelik- Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik.....	79
5.1.6	Krom Paslanmaz Çeliği- Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik.....	86
5.1.7	Östenitik Mangan Çeliği- Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik.....	86
5.2	Nikel ve Kobalt Alaşımli- Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik.....	87
5.2.1	Nikel Alaşımli.....	87
5.2.2	Kobalt Alaşımli.....	90
5.3	Bakır Alaşımli- Çelik.....	91
5.3.1	Bakır.....	92
5.3.2	Bakır- Nikel Alaşımli.....	92
5.3.3	Alüminyum Bronz.....	93
5.3.4	Prinç.....	93
5.4	Bakır Alaşımli- Nikel Alaşımli.....	94
5.5	Alüminyum Alaşımli'nin Farklı Metallerle Kaynağı.....	94
5.5.1	Alüminyum Alaşımli- Çelik.....	95
5.5.1.1	Sürtünme Kaynaklı Alüminyum- Çelik Bağlantıların Mikroyapısal Karakterizasyonu.....	97
5.5.2	Alüminyum Alaşımli- Bakır Alaşımli.....	100
5.6	Titanyum Alaşımli- Farklı Metaller.....	102
6.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	103
6.1	Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	103
6.2	Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	103
6.2.1	Numune Yüzeylerinin Hazırlanması.....	104
6.2.2	Numune Boyut ve Sertlikleri.....	104
6.2.3	Numunelerin Numaralandırılması.....	105
6.3	Numunelerin Yakma Alın Kaynak Prosesi ile Birleştirilmesi.....	105

6.3.1	Makine Çalışma Şartları.....	105
6.3.2	Çeneler Arası Mesafe ve Numune Bağlama Uzunlukları.....	107
6.3.3	Numunelerin Schlatter 608 Yakma Alın Kaynak Tezgahında Birleştirilmesi.....	108
6.4	Numunelere Kaynak Sonu Uygulanan İşlemler.....	110
6.4.1	1 ve 2 Numaralı Numunelere Uygulanan Isıl İşlemler.....	111
6.4.1.1	Gerilim Giderme Tavlaması.....	111
6.4.1.2	Normalizasyon Tavlaması.....	111
6.4.2	1 Numaralı Numunenin HSS Yüzeyinin Sertleştirilmesi.....	113
6.5	Numunelerin Kaynak Bölgelerindeki Sertlik Dağılımları.....	114
6.6	Kaynak İşlemi Sonucu Numunelerde Meydana Gelen Malzeme Kayıpları.....	118
6.7	Kaynak Sonu Mikroyapıların İncelenebilmesi Amacıyla Numune Yüzeylerinin Zımparalama ve Dağlama İşlemleri.....	119
7.	SONUÇ.....	120
	KAYNAKLAR.....	127
	ÖZGEÇMİŞ.....	129

SİMGE LİSTESİ

$C_{eş}$	Karbon eşdeğeri
D_A	A metalinde ki yüzde ergime
D_B	B metalindeki yüzde ergime
D_T	A ve B metalinde ki toplam ergime yüzdesi
$E_{kin.}$	Kinetik enerji
HV	Vickers sertliği
l	İlk malzeme boyu
m_v	Elektron kütlesi
T_e	Ergime Sıcaklığı
u	Elektrik gerilimi
v	Elektron hızı
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 ısıl genleşme katsayısı
Δl	Malzeme uzunluğunda ki değişim
ΔT	Sıcaklıktaki değişim
$\Delta \epsilon$	Gerinimdeki değişim

KISALTMA LİSTESİ

HMK	Kübik Hacim Merkez
HSS	Yüksek Hız Çeliği
IW	Uluslararası Kaynak Enstitüsü
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MIG	Metal Asal Gaz
MAG	Metal Aktif Gaz
TIG	Tungsten Asal Gaz
YMK	Kübik Yüzey Merkez



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Farklı metalsel malzemelerin kaynak prosesi ile birleştirilmesi..... 2
Şekil 2.1	DIN 8528' e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörlerin gösterimi..... 6
Şekil 2.2	Soğuma eğrisi..... 9
Şekil 2.3	Demir karbon denge diyagramı..... 10
Şekil 2.4	Dengeli soğuma sonucu çelik malzemelerdeki iç yapı değişimleri..... 12
Şekil 3.1	Farklı iki metalin beş paso ile kaynağı..... 18
Şekil 3.2	Farklı metallerin kaynağında ergime oranlarının hesaplanması..... 20
Şekil 3.3	Farklı metalsel malzeme kaynak tasarımları için esas metal ergime durumları.....21
Şekil 3.4	Ni-Fe-Cu diyagramı ve sıcak çatlama bölgesi..... 28
Şekil 4.1	Elektron ışın kaynak donanımı..... 30
Şekil 4.2	Patlamalı kaynak donanımı.....34
Şekil 4.3	Difüzyon kaynağının esası.....37
Şekil 4.4	Ultrasonik nokta kaynağı.....41
Şekil 4.5	MIG/ MAG kaynak donanımı..... 47
Şekil 4.6	TIG kaynak prosesi donanımı..... 47
Şekil 4.7	Nokta direnç kaynak donanımı..... 49
Şekil 4.8	Sürtünme kaynak donanımı..... 53
Şekil 4.9	Sürtünme kaynağının uygulanma şekilleri..... 54
Şekil 4.10	Yakma alın direnç kaynağı esası..... 59
Şekil 4.11	Yakma alın direnç kaynak prosesinin prensip şeması..... 60
Şekil 4.12	Yakma alın direnç kaynak prosesinin işlem kademeleri..... 61
Şekil 4.13	Yakma alın direnç kaynağında dirençler..... 64
Şekil 4.14	Yakma alın direnç kaynak prosesi bağlantı tasarımları..... 65
Şekil 4.15	Büyük parçalarda yakma olayının başlatılabilmesi için pah oluşturulması..... 66
Şekil 4.16	Bağlantı tasarımına parça merkezlenmesinin etkisi..... 66
Şekil 4.17	Kaynak bölgesinde ve kaynaktan etkilenen bölgede zaman-sıcaklık değişimi..... 67
Şekil 4.18	Kaynak bölgesinden içeri doğru malzeme iç yapısının ısıdan dolayı etkileşimi..... 68
Şekil 4.19	4140 çelik malzemede yakma alın kaynak prosesi sırasında yüksek sıcaklıktan dolayı kaba tane oluşumu..... 68
Şekil 4.20	HSS malzemede kaynak bölgesindeki aşırı ısınmadan dolayı oluşan dendritik yapı ve birleşmiş karbürler..... 69
Şekil 4.21	Kaynak bölgesinde yüksek sıcaklıktan dolayı ledaburitik yapı oluşumu..... 69
Şekil 4.22	Tipik bir HSS Fe-C denge diyagramı..... 72
Şekil 4.23	Normalizasyon sonrası HSS malzeme iç yapısı..... 73

Şekil 4.24	4140 malzeme yüzeyinde yüksek sıcaklıktan dolayı oluşan dekarbürize olmuş kaba taneli yapı.....	74
Şekil 4.25	HSS malzeme yüzeyindeki, meneviş sonrası dekarbürize yapı.....	74
Şekil 4.26	HSS malzeme yüzeyinden 0,97 mm mesafede, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı.....	75
Şekil 4.27	HSS malzeme yüzeyinden 1,67 mm mesafede, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı.....	75
Şekil 4.28	HSS malzeme yüzeyinden 2,34 mm mesafede, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı.....	75
Şekil 4.29	HSS malzeme yüzeyinden 7,52 mm mesafede, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı.....	75
Şekil 5.1	Paslanmaz çelik ilave malzemelerin Schaeffler diyagramındaki konumları.....	77
Şekil 5.2	304 tip paslanmaz çeliğin ve düşük alaşımlı çeliğin, 67Ni-16Cr-15Mo-2Co ve ERNiMo-3 tip ilave malzemeleri kullanılarak birleştirildiği enine bükme numuneleri.....	78
Şekil 5.3	Sıcaklığın fonksiyonu olarak ısıl genleşme katsayısının değişimi.....	79
Şekil 5.4	Paslanmaz çelik kaynak metali bileşimlerinin Schaeffler diyagramında incelenmesi.....	81
Şekil 5.5	Düşük alaşımlı çelik ve 304 tip paslanmaz çelik malzemelerinin Er309 tip ilave malzemesi kullanılarak birleştirilmesinin Schaeffler diyagramında incelenmesi.....	82
Şekil 5.6	Yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzeme yüzeyinin paslanmaz çelik ilave malzemesi ile kaplanması.....	83
Şekil 5.7	Yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzemenin paslanmaz çelik ile kaynağı.....	83
Şekil 5.8	Düşük alaşımlı çelik ve paslanmaz çelik malzemelerinin değişken işletme sıcaklıklarını karşılayabilecek kaynak tasarımı.....	85
Şekil 5.9	Nikel ve nikel alaşımlı kaynak metalleri için demir ergime limitleri.....	88
Şekil 5.10	Nikel ve nikel alaşımlı kaynak metalleri için krom ergime limitleri.....	89
Şekil 5.11	41Co-22Cr-22Ni-15N alaşımı ile 30Fe-20Cr-20Ni-20Co-3Mo-3N alaşımlarının kaynağı.....	91
Şekil 5.12	Nikel-bakır alaşımlı kaynak metalinde, demir ergimesine bağlı olarak oluşan sıcak kırılma bölgesi.....	93
Şekil 5.13	Demir-alüminyum denge diyagramı.....	98
Şekil 5.14	Alüminyum-çelik bağlantılarının mikrosertlik dağılımı.....	99
Şekil 5.15	AlCuMg ₂ ve farklı çelik malzemelerin sürtünme kaynak bağlantılarında mikro sertlik değişimleri.....	99
Şekil 5.16	AlMgSi ₁ ve X10CrNiMoTi ₁₈ sürtünme kaynak bağlantılarında mikrosertlik değişimleri.....	100

Şekil 5.17	Alüminyum ve bakır metalsel malzemelerinin metal ark nokta kaynağı kullanılarak birleştirilmesi.....	101
Şekil 6.1	Çeneler arası mesafe ve numune bağlama uzunlukları.....	108
Şekil 6.2	Schlatter 608 yakma alın kaynak tezgahına numunelerin yerleştirilmesi.....	109
Şekil 6.3	Numunelerin Schlatter 608 yakma alın kaynak tezgahında ki kaynak, sonrası görünümleri.....	109
Şekil 6.4	Çapak alma tezgahı.....	110
Şekil 6.5	Gerilim giderme tavlamasından gelen potanın normalizasyon tav ocağı içerisine yerleştirilmesi.....	112
Şekil 6.6	Normalizasyon tavlamasında süre sıcaklık ilişkisi.....	112
Şekil 6.7	1 No' lu numunenin gerilim giderme ve normalizasyon tavlamaları sonrası sertlik dağılımlarının grafiksel gösterimi.....	115
Şekil 6.8	1 No' lu numunenin HSS yüzeyinin sertleştirilmesi sonucu elde edilen sertlik dağılımının grafiksel gösterimi.....	116
Şekil 6.9	2 No' lu numunenin gerilim giderme ve normalizasyon tavlamaları sonrası sertlik dağılımlarının grafiksel gösterimi.....	117
Şekil 6.10	Kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 No' lu numunenin sertlik dağılımının grafiksel gösterimi.....	118
Şekil 7.1	1 numaralı numune kaynak bölgesi mikro yapısı.....	122
Şekil 7.2	2 numaralı numune kaynak bölgesi mikro yapısı.....	122
Şekil 7.3	3 numaralı numune kaynak bölgesi mikro yapısı.....	122
Şekil 7.4	Kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın bölgede ki 4140 çelik tarafının mikro yapısı (x 1000).....	123
Şekil 7.5	Kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın bölgede ki HSS çelik tarafının mikro yapısı (x 1000).....	123
Şekil 7.6	Gerilim giderme ve normalizasyon tavlamalarına tabi tutulan 2 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın 4140 çelik tarafının mikroyapısı (x1000).....	124
Şekil 7.7	Gerilim giderme ve normalizasyon tavlamalarına tabi tutulan 2 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın HSS tarafının mikroyapısı (x1000).....	124
Şekil 7.8	2 numaralı numunenin 4140 çelik tarafının ITAB' ye komşu ana malzemede ki mikroyapısı.....	125
Şekil 7.9	HSS yüzeyi ve kaynak bölgesi sertleştirilen 1 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın HSS tarafının mikroyapısı (x 1000).....	125

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Karbon eşdeğerine bağlı ön tavlama sıcaklıkları..... 9
Çizelge 3.1	Örnek problem için seçilen esas ve ilave malzemelerin kimyasal bileşimleri..... 20
Çizelge 3.2	Metallerin fiziksel özelliklerinin, yalın karbonlu çeliğin fiziksel özellikleri baz alınarak karşılaştırılması..... 22
Çizelge 4.1	Farklı metalsel malzemelerin elektron ışın kaynak kabiliyeti..... 33
Çizelge 4.2	Patlamalı kaynak yöntemiyle birleştirilebilen metalsel malzemeler..... 35
Çizelge 4.3	Bazı malzeme çiftleri için difüzyon kaynak prosesi koşulları..... 39
Çizelge 4.4	Metalsel malzemelerin difüzyon kaynağa uygunluk durumları..... 40
Çizelge 4.5	Metalsel malzemelerin ultrasonik kaynağına uygunluk durumları..... 43
Çizelge 4.6	Metalsel malzemelerin soğuk basınç kaynağına uygunluk durumları..... 44
Çizelge 4.7	MIG/ MAG, TIG kaynak proseslerine uygun malzeme çiftleri..... 48
Çizelge 4.8	Bakır alaşımlı elektrod malzemeleri..... 50
Çizelge 4.9	Metalsel malzemelerin nokta direnç kaynağına uygunluk durumları..... 52
Çizelge 4.10	Metalsel malzemelerin sürtünme kaynağına uygunluk durumları..... 58
Çizelge 5.1	Nikel alaşımlarının çelik malzemelerle kaynağında kullanılabilir ilave malzemeler..... 90
Çizelge 5.2	Nikel alaşımları ve çelik malzemeler arasında gerçekleştirilen kaynak bağlantılarının mekanik özellikleri..... 89
Çizelge 5.3	Alüminyumun diğer metallerle birleştirilmesinde kullanılabilir kaynak yöntemlerinin incelenmesi..... 95
Çizelge 6.1	Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri..... 103
Çizelge 6.2	Kaynak numunelerinin boyut ve sertlik değerleri..... 104
Çizelge 6.3	Deneysel çalışmada seçilen makine çalışma şartları..... 107
Çizelge 6.4	Kaynak işlemi öncesi numune sertlik değerleri..... 114
Çizelge 6.5	1 No' lu numunenin gerilim giderme ve normalizasyon tavlama sonrası sertlik dağılımı..... 114
Çizelge 6.6	1 No' lu numunenin HSS yüzeyinin sertleştirilmesi sonucu elde edilen sertlik dağılımı..... 115
Çizelge 6.7	2 No' lu numunenin gerilim giderme ve normalizasyon tavlama sonrası sertlik dağılımı..... 116
Çizelge 6.8	Kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 No' lu numunenin sertlik dağılımı..... 117
Çizelge 6.9	Kaynak işlemi esnasında numunelerde meydana gelen malzeme kayıpları..... 118

ÖNSÖZ

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. Gerçekleştirmiş olduğum bu çalışmada, farklı malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemleri ve kaynak tasarımları detaylı olarak ele alınmıştır. Deneysel çalışmada malzeme çifti olarak S 6-5-2 yüksek hız çeliği- 4140 çeliği, kaynak yöntemi olarak ise yakma alın kaynak prosesi seçilmiş olup, kaynak sonrası uygulanan farklı ısıl işlemler sonucu, malzemelerin sertlik değerlerinde ve mikro yapılarında meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

Bu çalışmam da bana yardımcı olan ve beni sorularıyla yönlendiren tez danışmanım Sayın Doç.Dr.Selahattin Yumurtacı' ya, deneysel çalışmaları gerçekleştirdiğim Makine Takım Endüstri A.Ş' ye, deneysel çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan Makine Takım Endüstri A.Ş Isıl İşlem Yönetmeni Sayın Mehmet Asay' a ve laboratuvarlarımı kullanmama izin veren Yıldız Teknik Üniversitesi Met. ve Malz. Bölüm Başkanlığına teşekkür ederim.

ÖZET

Teknolojide, bir iş parçasından değişik özelliklerin beklendiği durumlarda, farklı malzemelerin birleştirilmesi yoluna gidilmektedir. Günümüzde farklı metallerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemi sayısı çok olmakla birlikte (elektron ışın kaynağı, sürtünme kaynağı, yakma alın kaynağı v.b.), önemli olan uygun yöntemin seçilebilmesidir. Farklı metalsel malzemelerin sahip olduğu, farklı ergime sıcaklıkları, ısı iletkenlikler gibi özellikler farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde yakma alın kaynak prosesini ve sürtünme kaynağını en ideal yöntemler olarak öne çıkarmaktadır.

Endüstride talaşlı imalatta oldukça yaygın bir biçimde kullanılan kesici takımların, ana malzemesini yüksek hız çelikleri oluşturmaktadır. HSS çeliklerinin fiyatlarının yüksekliği, kesici takımların HSS çeliğinden yapılmasını sınırlamakta, dolayısıyla da uygulamada kesici takımların sap kısımlarının karbon çeliğinden, kesici uç kısımlarının ise HSS çeliğinden imal edilmeleri yoluna gidilerek maliyet düşürülmektedir.

Bu çalışmanın deneysel kısmında, 20 mm çapında ki, 4140 çeliği ve S 6-5-2 yüksek hız çeliği çubukları yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemi esnasında tüm numuneler için, sabit kaynak parametreleri kullanılmış, işlem sonrası ise numunelere farklı ısı işlemler uygulanmıştır. Numunelerden bir tanesi kaynak sonu oda sıcaklığında soğumaya bırakılırken, diğer numuneler 550°C’ de gerilim giderme ve 850°C’ de normalizasyon tavlamalarına tabi tutulmuşlardır. Normalizasyon tavlama sonrası ise, numunelerden bir tanesinin HSS yüzeyi sertleştirilmiştir (1250°C). Isıl işlemler sonrası, numunelerde gerçekleşen sertlik değişimleri ile malzemelerin kaynak bölgesindeki iç yapı değişimleri incelenmiştir.

HSS’ de ki alaşım elemanlarının karbona olan ilgisinden dolayı, HSS tarafına doğru karbon yayılımı gerçekleşmektedir. HSS tarafındaki sertlikteki artışın nedeni ise kaynak çizgisi boyunca oluşan karbür çökeltileridir. Sertlikteki bu artış, uygulanan normalizasyon tavlamaıyla işletme şartlarını karşılayacak (yeterli sertlik ve tokluk) uygun değerlere indirilebilmektedir.

ABSTRACT

In the technology, where different properties are expected from work piece, different materials have to be joined together. Nowadays, there are a lot of welding processes (electron beam welding, friction welding, flash butt welding exc.), that can be used to join dissimilar metals, but the most important subject is to select the correct process. Different properties, like as welding points and thermal conductivities which dissimilar metals have, produce friction welding and flash butt welding processes to the best ideal methods in the welding of dissimilar metals.

High speed steels (HSS) are the main material of the cutting tools which are widely used in industrial cutting operations. High cost of HSS limits production of cutting tools by using HSS material, therefore, in practise the body of the cutting tool is manufactured by using HSS, whereas the shank by carbon steel, which lowers the cost.

In the experimental part of this study, 4140 steel and S 6-5-2 rods with 20 mm diameter were joined by using flash butt welding process. The test materials were welded with constant welding parameters and after the welding process, different heat treatments were applied to them. After the welding process one of the test material was cooled at the room temperature, and the other test materials were subjected to stress relieving treatment at 550°C and normalisation heat treatment at 850°C. After the normalisation heat treatment, one of the test materials HSS surface was hardened at 1250°C. The changes in the hardness and microstructures of the welding zones were studied, after the heat treatments.

Because of the affinity of the alloy elements to carbon in HSS, carbon migration has been taken place towards the HSS side. It was found that, in HSS side the cause of the increasing of hardness was the precipitation of carbide particles along the welding line. The increasing of hardness can be decreased to proper values desired for service conditions (enough hardness and toughness) by normalisation heat treatment.

1. GİRİŞ

Gelişen günümüz teknolojisinde, ihtiyaç duyulan malzeme özelliklerinin çok çeşitli olması, farklı özelliklere sahip bu metalsel malzemelerin, en uygun biçimde nasıl birleştirilebileceği sorusunu ortaya çıkarmıştır. Bu soruya gelişmekte olan kaynak teknolojisi en iyi cevabı verebilmektedir. Günümüzde; sürtünme kaynağı, yakma alın kaynağı, elektron ışın kaynağı, difüzyon kaynağı, ultrasonik kaynak yöntemleri gibi bir çok kaynak prosesi farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde başarı ile kullanılabilir.

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 ısıl genişleme katsayıları ve ergime sıcaklıkları çok iyi gözden geçirilmeli gerekiyorsa gerekli önlemler alınmalıdır.

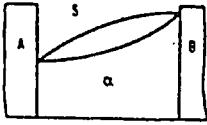
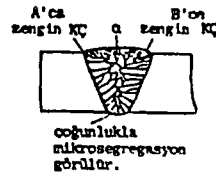
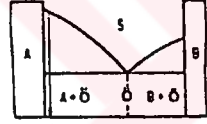

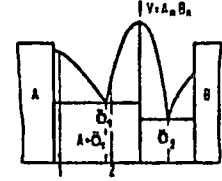
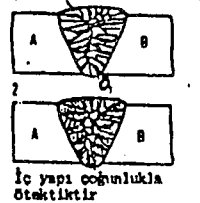
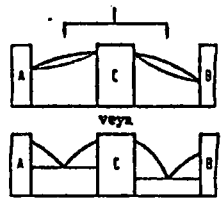
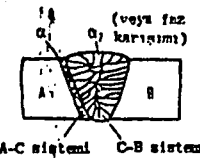
Kaynak sonrası oluşan bağlantının özelliklerinin belirlenmesinde, birleştirilen malzemelerin özellikleri ile, malzemelerin birlikte oluşturdukları faz diyagramları en önemli faktörlerdir. Bununla birlikte, kaynak ile birleştirilecek malzemelerin birbirilerinden farklı alaşımlar içermesi ve hatta bunların 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 1.1). Birleştirilecek metalsel malzemeler sürekli katı çözelti oluştururlarsa, kaynak metali şekil değiştirme özelliğine sahip ve kırılma olmayan bir iç yapıya sahip olacaktır (Şekil 1.1- 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 1.1- 2). Bu durumda kaynak metali A ve B metallerinin bir karışımıdır ve kaynak metalinin özellikleri bileşenler tarafından belirlenir. Birincil katılaştan 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 1.1- 3). Çok kırılma olan bu içyapı bileşenlerinin, yapıda az miktarda bulunması bile kaynak bağlantısının tümüyle gevrekleşip kullanılamamasına 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 1.1- 4). Nikel bir çok metal ile (bakır, demir, kobalt) sürekli veya geniş alanlı katı çözelti 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.

No	Faz Diyagramı	Kaynak Metali İç Yapısı	Bağlantının Özellikleri
1		 A'ca zengin KÇ B'ca zengin KÇ α çoğunlukla mikrosegregasyon görülür.	1.Kaynak metali tok ve çatlak oluşumuna az duyarlı olan katı çözeltiden 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 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		 α ₁ (veya faz karışımı) A-C sistemi C-B sistemi	C ilave malzemesi ile önce A'nın kaynak ağzı yüzeyinde bir tampon tabaka (α ₁) yapılıp , daha sonra da bu bölgeyle B arasında asıl kaynak dikışı gerçekleştirilir.

Şekil 1.1 Farklı metalsel malzemelerin kaynak prosesi ile birleştirilmesi(Güleç ve Aran, 1993)

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. O halde farklı bileşimde ki malzemelerin birleştirilmesinde eğer boyutları ve şekilleri müsade ediyorsa, ergitme kaynağına nazaran bir ergime 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. Bu amaçla günümüzde farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemleri olarak sürtünme kaynağı ve yakma alın kaynağı yöntemleri en ideal yöntemler olmaktadır. Gerçekleştirmiş olduğum bu tez çalışmasın da deneysel araştırmada proses olarak yakma alın kaynak prosesi kullanılmıştır. Yakma alın kaynak prosesi kaynak için gerekli ısının, metallerin elektriğe karşı gösterdikleri omik ve temas dirençten, yığılma işleminin ise mekanik veya hidrolik sistemlerin yardımıyla gerçekleştirildiği modernleşmiş bir kaynak yöntemidir. Yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilecek olan metalsel malzemelerin farklı alaşımlarda oluşu, malzemelerin kaynak özelliklerinde uyumsuzluğa neden olmakta bu ise bir çok teknolojik problemi beraberinde getirmektedir. Bu problemlerin en önemlisi ise kaynak bölgesindeki aşırı sertleşme ve yumuşamalar bir başka deyişle kaynak bölgesinde istenmeyen intermetalik bileşenlerin meydana gelmesi sonucu faz yapılarında meydana gelen olumsuzluklardır. Bu ve benzeri problemleri engellemek, ITAB genişliğini azaltmak ve çatlak oluşumunu önlemek için kaynak makinasının çeşitli değişkenlerinin uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Bütün bu ifadelerden yola çıkarak, gerçekleştirmiş olduğum bu tez çalışmasının teorik kısmında farklı malzeme kombinasyonları ve farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemlerinin genel incelenmesi ele alınmıştır. Deneysel çalışma olarak ise HSS (yüksek hız çeliği)(S 6-5-2) çeliği ile 4140 kalitesiz çeliğinin yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilmesi gerçekleştirilmiş ve daha sonra gerçekleştirilen çeşitli ısıl işlemler sonucu oluşan sertlik değişimlerinin ve mikro yapıların karşılaştırılması yoluna gidilerek tez çalışması tamamlanmıştır.

2. METALSEL MALZEMELER

Metalsel malzemeleri, metal olmayan elementlerden ayıran başlıca özellikler;

- Temiz ve pürüzsüz yüzeylerinin metalik parlaklığı,
- Kristal ince yapıları,
- Isı iletim kabiliyetleri,
- Elektrik iletim kabiliyetleridir.

Metalsel malzemeler kristallerden oluşurlar. Kristallerin oluşmasında atomların 3 boyutlu ve belirli kafes sistemleriyle dizilişi söz konusudur. Metallerin bazılarında sıcaklığa bağlı olarak birim hücre şekilleri değişikliğe uğrar. Buna allotropi veya eş özdeklik özelliği denir. (örnek olarak Fe, Mn, Co, Sn, Ti gösterilebilir.) Teknikte en fazla kullanılan metalsel malzemelerde rastlanan kafes sistemleri ise (Güleç, 1990);

- Kübik hacim merkez (HMK)
 α -Fe ($< 900^{\circ}\text{C}$), δ -Fe ($> 1410^{\circ}\text{C}$), Cr, Mo, W, V
- Kübik yüzey merkez (YMK)
 γ -Fe ($910 - 1410^{\circ}\text{C}$), Cu, Al, Ni, Ag, Au, Pb
- Sıkı düzenli hegzagonal

Mg, Zn, Be, Cd, α -Ti

Kafes yapıları metallerin, mekanik ve teknolojik özelliklerinde önemli değişiklikler ortaya çıkarır. Bu özelliklerden imal usulleri, ısıl işlemler gibi uygulamalarda sıkça yararlanılır.

2.1 Metalsel Malzemelerin Kaynak Kabiliyeti

Kaynak kabiliyeti kompleks anlamı olan bir ifadedir. Milletlerarası Kaynak Enstitüsü 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 (Anık vd., 1993).”

Açıklamadan da anlaşıldığı gibi kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye ait bir özellik değildir, aynı zamanda kaynak yöntemine ve konstrüksiyonada bağlıdır (Şekil 2.1).

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 özellikleri taşımasıdır. (dayanım, yorulma mukavemeti, korozyon dayanımı, genleşebilirlik gibi)
- Kaynak bağlantısının tasarımı amaçlanan kullanım için uygun olmalıdır.

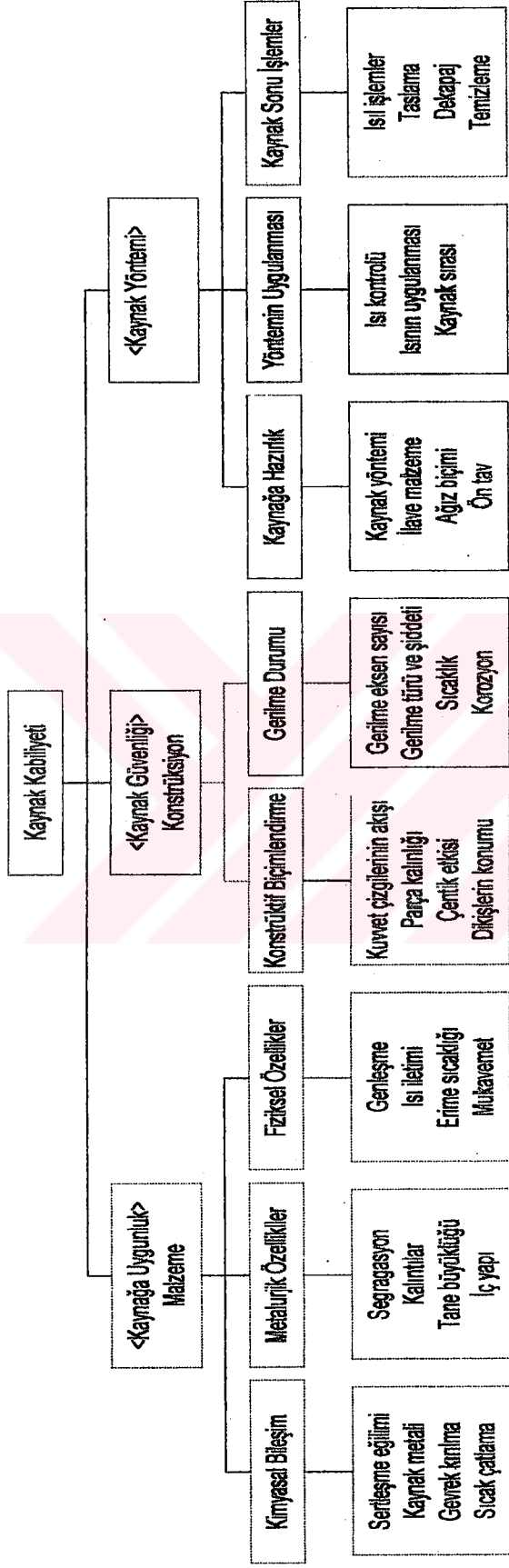
Rowe ve arkadaşları (1999), farklı metallerin kaynağında, kaynak işlemi esnasında veya kaynak işleminden sonra ergime bölgesinde bağlantıyı olumsuz yönde etkileyen istenmeyen oluşumlardan bahsetmişlerdir. Bu oluşumlar;

1. Kaynak metalinde veya ITAB' de birleşme esnasında veya kaynak işleminden sonra meydana gelen oluşumlar; sıcak çatlama, ITAB çatlama, hidrojen kırılabilirliği gibi.
2. Kaynak bölgesi ve komşu bölgelerde, işletme koşullarında meydana gelebilecek problemler. Bu problemler ise işletme şartlarında bağlantının verimini düşürecek her türlü 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.

Artık gerilme, ergitme esaslı bütün kaynak proseslerinde karşılaşılan bir olaydır (katılma 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.



Şekil 2.1 DIN 8528' e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörlerin şematik gösterimi (Anık v.d., 1993)

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

Hidrojen kırılğanlığı ise, kaynak işleminden yaklaşık 4–8 saat sonra gerçekleşmesi dolayısıyla soğuk kırılma olarak bilinmektedir. Genellikle ITAB' de meydana gelmektedir. ITAB' 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 ITAB' deki mikro yapıyı meydana getireceklerdir. Peki ITAB ne anlama gelmektedir, bu bölgede ne gibi değişimler meydana gelmektedir;

Metalsel malzemeler bir kaynak işlemi gördükleri zaman, kaynak dikişine bitişik olan bölge, kaynağa uygulanmış olan sıcaklık derecesinin, daha doğrusu ısıl 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 (ITAB) adı verilir. ITAB, kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi esnasında sıcaklığın içyapıyı, dolayısıyla metalin özelliklerini etkilediği bölgedir (Anık vd., 1993).

Bu bölgede erişilen maksimum sıcaklık derecesi, kaynak dikiş eksenine olan uzaklığın ve sıcaklık değişimi de zamanın fonksiyonu olarak bilinirse; kaynak işlemi sonunda oluşabilecek i yapı, esas metallerin özellikleri ve bileşimleri göz önünde tutularak bir dereceye kadar önceden tahmin edilebilir. Kaynak işlemi sırasında ITAB 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, ITAB diye adlandırılan bu bölge kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve bir çok kırılmalar ve çatlamalar bu bölgede oluşur.

Kaynakta malzemelerin sertleşme meylini belirten bir değer sayısının bulunması ve bununla metelsel 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.

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.

Uluslararası Kaynak Enstitüsünün (IIW) IX No' lu Komisyonuna (Kaynak Kabiliyeti Komisyonu) göre karbon eşdeğeri formülü:

$$C_{eş.} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{15} \quad (2.1)$$

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 (Çizelge 2.1).

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.

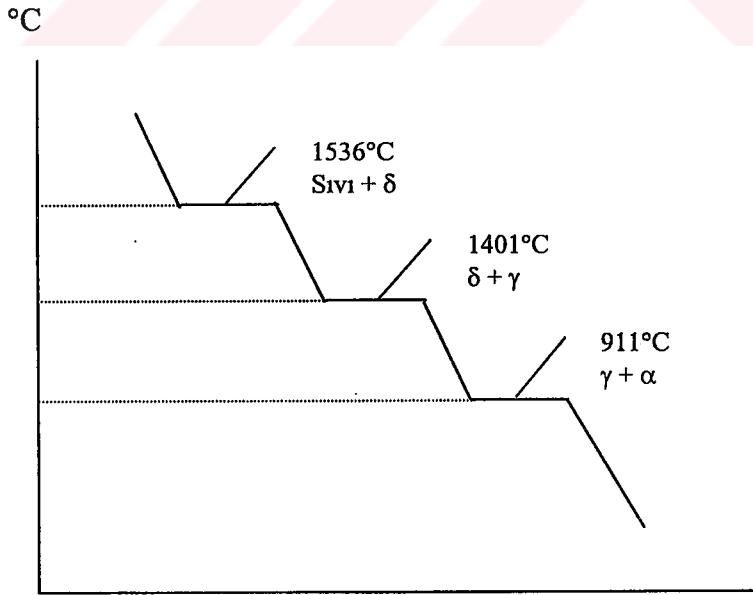
Çizelge 2.1 Karbon eşdeğerine bağlı ön tavlama sıcaklıkları (Anık vd., 1993)

Karbon Eşdeğeri (C_{es})	Ön Tavlama Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
< 0,40	-
0,45 – 0,60	100 – 200
> 0,60	200 – 350

2.2 Kaynak Prosesinde Demir Karbon Denge Diyagramının Yeri

Saf metaller katı halde tek kristal yapıya sahiptirler, bazı metaller ise katı halde değişik sıcaklıklarda farklı kristal yapı gösterirler. Bu özelliğe allotropi adı verilmektedir.

Saf demir $1536^{\circ}C$ ' de kübik hacim merkezli kristaller halinde δ - demir olarak katılaşır. $1401^{\circ}C$ ' de atomların daha da yaklaşması ile kübik yüzey merkezli kristal yapısında ki γ - demiri meydana gelir. Soğutma işlemi devam ettiği takdirde $911^{\circ}C$ ' de tekrar bir durak noktası ile karşılaşılır. Bu sıcaklıkta kübik hacim merkezli yeni kristaller oluşur ve α - demiri olarak adlandırılır. α - demiri oda sıcaklığına kadar devam eden bir soğumada artık bir daha değişime uğramayan son kristal şeklidir (Şekil 2.2).

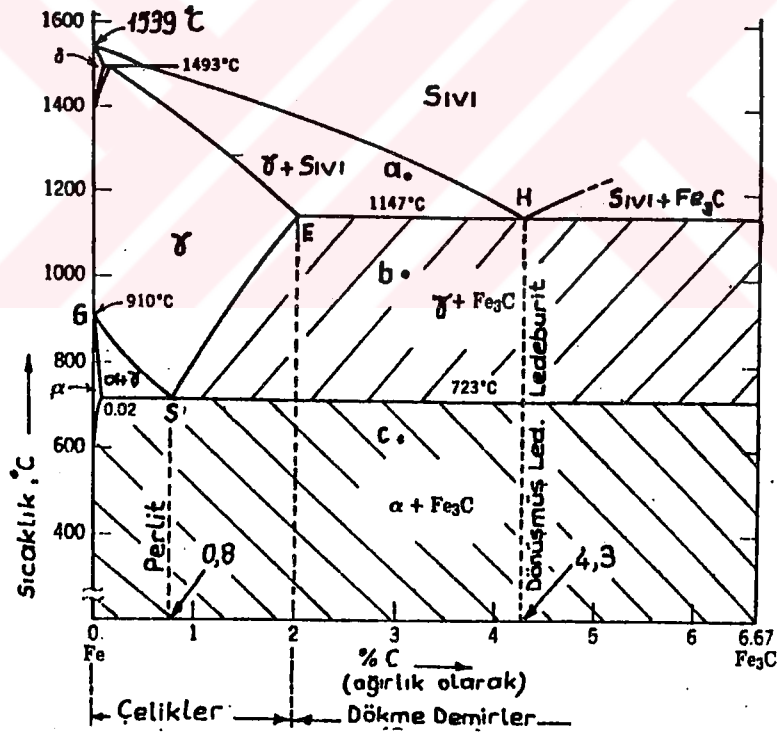


Şekil 2.2 Soğuma eğrisi (Güleç, 1990)

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).

Şekil 2.3' de peritektik, ötektik ve ötektoid temel reaksiyonlarından oluşan demir karbon denge diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.3 Demir karbon denge diyagramı (Güleç, 1990)

% C < % 0,8 **Ötektoidaltı** çelikler

% C = 0,8 **Ötektoid** çelik

% C > % 0,8 **Ötektoidüstü** çelikler

Ferrit (α) : KHM α - demiriyle karbonun katı çözültisi

Östenit (γ) : YHM γ - demiriyle karbonun katı çözültisi

Östenit (δ) : KHM δ - demiriyle karbonun katı çözültisi

Sementit : Fe_3C

Perlit : Ötektoid yapı (α + sementit lamelleri), ötektoid sıcaklığında östenit perlite dönüşür.

0,8 % C' lu alaşım yalnız perlitten meydana gelmektedir.

Ledeburit : Ötektik yapı (sementit + γ lamaelleri), ötektik sıcaklığında sıvıdan oluşur. % 4,3 C' lu alaşım yalnız ledeburitten ibarettir

Dönüştürmüş ledeburit : Ötektoid sıcaklığın altındaki ledeburittir (Östenit taneleri perlite dönüşür)

Konumuz olan çeliklerin kaynağının daha iyi anlaşılabilmesi için, demir karbon denge diyagramı üzerinde değişik oranlarda karbon içeren çeliklerin, ısıtılması ve dengeli bir şekilde soğutulmasıyla oluşan dönüşümleri ve bu dönüşümler sonucunda ortaya çıkan yapıları inceleyelim (Şekil 2.4):

Östenitizasyon sıcaklığına kadar ısıtılmış, ötektoid bileşimli (% 0,8 C) bir çelik, östenit denge koşullarını her an koruyabilecek bir yöntemle soğutulduğunda, tamamen perlit tanelerinden oluşan bir iç yapı elde edilecektir. (Karbon atomları çeşitli noktalarda tane sınırından başlayıp içeri doğru büyüyen sementit lamellerini oluşturacak şekilde bir araya gelir ve lamellerin aralarında karbonca fakir perlit kalır.) Her östenit tanesinden bu yolla ferrit ve sementit tabakasından oluşmuş bir perlit tabakası meydana gelir. Perlit mikroskop altında sedef parlaklığındadır. Dönüşüm 723°C ' de gerçekleşecek ve ısıtma halinde ise bu olay tam tersine cereyan edecektir.

Ötektoid altı bir çelik ($< 0,8\text{ C}$) östenitizasyon sıcaklığından itibaren dengeli bir şekilde soğutulduğunda GS çizgisine (Şekil 2.3) erişildiği anda, östenitin tane sınırlarında ferrit çekirdekleşmeye başlayacaktır. Pratik olarak hiç karbon çözündüremeyen bu yeni kristallere ferrit denir. Sıcaklık azaldıkça bu çekirdekler ferrit taneleri oluşturacaktır. Devam eden bir soğumada östenitte ki demir miktarı ferrit oluşumu sonrası azaldığından geri kalan östenit karbon bakımından zenginleşecektir. Sıcaklık A_1 'e yani 723°C ' ye düştüğü zaman, kalan östenit % 0,8 C içerir ve tamamı perlite dönüşür. Sonuçta ferrit ve perlit tanelerinden oluşan bir iç yapı elde edilir. Östenitin karbonca zenginleşmesi olayında önemli olan difüzyonun meydana gelebilmesi için gerekli zamanın olmasıdır. Yavaş dengeli soğutmada yeterli zaman vardır. Hızlı bir soğutma da ise, sıcaklık kısa zamanda çok düştüğünden kristal kafesinin ısıl hareketi çok düşük olur. Bu nedenle karbon atomlarının yer değiştirilebilmesi zorlaşır ve imkansız hale gelebilir. Isıtma halinde ise bu olayın tamamen tersi görülür ve perlit taneleri

gelmesi ve lamellerin aralarında karbonca fakir ferrit kalması)

- h. Bir önceki yapıyla aynı.
- i. % 1,2 C' lu östenit taneleri.
- j. C atomlarının tane sınırlarına yayılması ile buralarda sementit ayrışması.
- k. Sementit artarak bütün tane sınırlarını kaplamış ve östenitte çözünen C miktarı giderek azalıp % 0,8 değerine düşmüştür.
- l. Östenit perlite dönüşmüştür.
- m. L' deki yapıyla aynı fakat perlit dışı sementit az olmasına karşın sürekli olduğundan çeliği sert ve kırılgan yapar.

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 kırılgan 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).

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 kendini 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.

3. FARKLI METALSEL MALZEMELERİN KAYNAĞINDA GÖZETLENMESİ GEREKEN NOKTALAR

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 Committe, 1983).

İki farklı metalse 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 metalse malzemelerin birleştirildiği her kaynak işleminde, ilave malzeme ile farklı esas metallerin karışımında oluşan bir kaynak banyosu meydana gelecektir.

Farklı metalse 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, genleşme 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 genleşme katsayılarıdır. Metalsel malzemelerin ısıl genleşme 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 metallere birinin çok daha önce ergimesine sebep olacaktır. Farklı ergime sıcaklığı ve farklı ısıl genleşme oranlarına sahip iki metalsel malzeme birleştirildiği zaman, yüksek ısı girişli kaynak prosesi bu bağlantı için bir dezavantaj olacaktır. Bu sebepten dolayı uygun kaynak prosesinin de seçilmesi bu aşamada önem kazanacaktır.

Farklı metallerin kaynağında dikkat edilmesi gereken faktörleri şöyle özetleyebiliriz;

- Kaynak metalinde ergimenin kontrolü;

Kaynak metalinin çatlama duyarlı olmaması istenir. Aynı zamanda kaynak metali çeşitli hatalara sebebiyet vermeyecek şekilde, iki metalin erimesine elverişli bulunmalıdır.

- Kaynak bağlantısının yapısal kararlılığı;

Kaynak bölgesi, kaynak işlemi sırasında ve bütün sıcaklık aralıklarında yapısal olarak stabil olmalıdır.

- Fiziksel özellikler;

Kaynak metali fiziksel özellikleri bakımından, birleştirilen esas malzemelerin özelliklerine yakın olmalıdır. Özellikle ısıl genleşme durumu çok önemlidir ve uygulamada gerilme

konsantrasyonunu minimuma indirmek için, kaynak metalinin genleşme katsayısı esas malzemelerin genleşme katsayılarının arasında bulunmalıdır.

- Mekanik özellikler;

Kaynak dikişinde vaktinden önce bir hasar oluşmaması için, kaynak metali kaynak işlemi esnasında ki bütün sıcaklık aralıklarında en az esas metallere kadar, mekanik özellikleri bakımından dayanıklı olmalıdır.

- Korozyon dayanımı;

Kaynak metalindeki korozyonun önlenmesi için, kaynak metalinin korozyon direnci, esas metallere birinin korozyon direncinden daha iyi olmalıdır. Bu husus hem ortam şartlarında hem de yüksek sıcaklıktaki korozyon durumları için söz konusudur (Anık vd., 1993).

Çoğu zaman bu faktörlerin hepsi birden yerine getirilmeyebilir. Dolayısıyla da bazı isteklerden 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, metallere 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 prosede 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

alaşımaları 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. Bu yönteme ilave olarak laser 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.

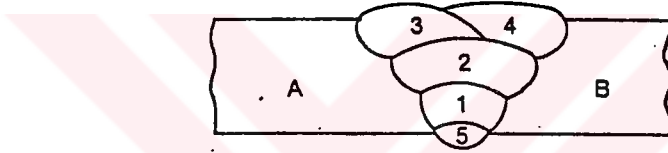
Farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bütün bu kaynak prosesleri ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Farklı metalsel malzemelerin uygun kaynak prosesi ile birleştirilmesinde ne gibi oluşumlar meydana gelmektedir, malzemelerin ergime oranları nasıl hesaplanmaktadır, malzeme özellikleri nasıl değişmekte ve kaynak metalinin özellikleri nasıl belirlenmektedir, hangi farklı malzeme kombinasyonları başarılı bir şekilde kaynak işlemi ile birleştirilebilmektedir, şimdi bu soruların cevaplarını vermeye çalışalım.

3.1 Kaynak Metali (Kaynak Banyosu)

Farklı metalsel malzemelerin, ergitme 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 malzemedan meydana gelmez.

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

Şekil 3.1' 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 malzemeden 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 3.1 Farklı iki metalin beş paso ile kaynağı (Anık vd., 1993)

3.2 Ergime Oranları

Ergitme kaynağı işlemi esnasında, birleştirilecek olan metalsel 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 metalsel malzemelerin kaynağında, kullanılan ilave malzeme, esas metallerle alaşım yapabilme özelliğine sahip olabilmelidir ki, oluşan kaynak metali yeterli genişleme 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 dayanımı, 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);

$$X_W = (D_A)(X_A) + (D_B)(X_B) + (1 - D_T)(X_F) \quad (3.1)$$

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 Çizelge 3.1' 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:

Çizelge 3.1 Örnek problem için seçilen esas ve ilave malzemelerin kimyasal bileşimleri (%) (Weisman, 1984a)

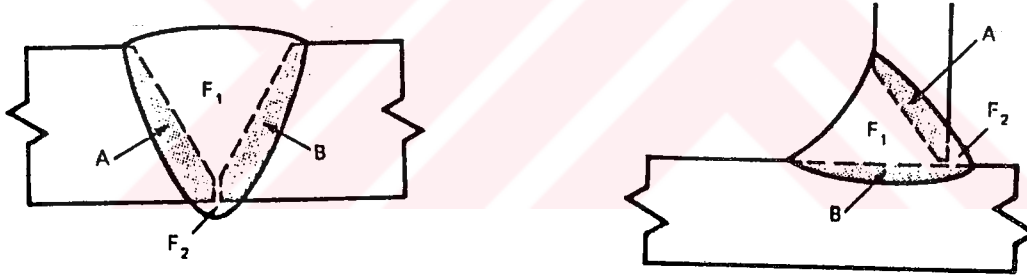
Yüzde Bileşimler (%)			
Element	Cr-Mo çeliği	316 Tip paslanmaz çelik	İlave malzeme
Cr	2,5	17	20
Ni	-	12	72
Mo	1	2,5	-
Fe	95,5	63	3

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

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

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

Şekil 3.2' de ise A, B esas metallerinin F ilave malzemesi kullanılarak gerçekleştirilen kaynağında, ergime oranlarının hesaplanması şematik olarak gösterilmiştir.



$$\text{A metalindeki ergime \%} = \frac{A}{A+B+(F_1+F_2)} \times 100$$

$$\text{B metalindeki ergime \%} = \frac{B}{A+B+(F_1+F_2)} \times 100$$

$$\text{Toplam ergime \%} = \frac{A+B}{A+B+(F_1+F_2)} \times 100$$

Şekil 3.2 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)

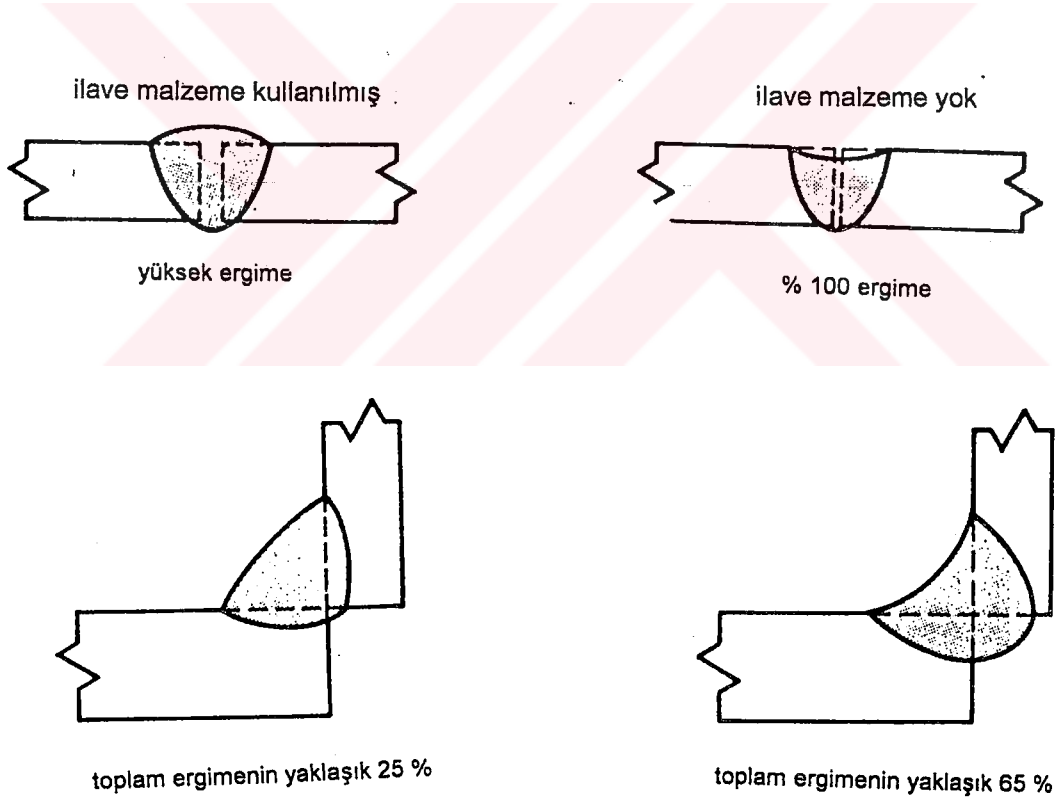
TIG - WIG kaynağı.....% 25- 30

MIG kaynağı.....% 25- 40

Elektrik ark kaynağı.....% 25- 40

Tozaltı 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 mertebe 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 3.3' de ise yine farklı metalsel malzeme kaynak tasarımları için esas metallerde ki ergime durumları gösterilmiştir (Weisman, 1984a).



Şekil 3.3 Farklı metalsel malzeme kaynak tasarımları için esas metal ergime durumları

3.3 Ergime Sıcaklığı

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.

Çizelge 3.2' de bazı metalsel malzemelerin ergime sıcaklıkları ve diğer önemli fiziksel özellikleri, karbon çeliğinin özellikleri baz alınarak karşılaştırılmıştır. Çizelgedeki verilerden çıkarılan sonuç, alüminyum alaşımlı malzemelerin, çelik ve nikel alaşımlarına ergitme kaynağı yöntemi ile birleştirilmesinin çok zor olduğudur.

Çizelge 3.2 Metallerin fiziksel özelliklerinin, yalın karbonlu çeliğin fiziksel özellikleri baz alınarak karşılaştırılması (Weisman, 1984a)

Özellik	Özelliklerin Oranları					
	Yalın C'lu Çelik	Bakır	Alüminyum	Östenitik Paslanmaz Çelik	70Ni-30Cu	76Ni-16Cr-8Fe
Isısal Genleşme Katsayısı	1,0	1,5	2,1	1,4	1,2	1,0
Isısal İletkenlik	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 kaldırılabilmektedir. 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).

3.4 Isıl İletkenlik

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.

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.

Yüksek ısısal iletkenliğe sahip metalin ön ısıtmaya tabi tutulması, ayrıca kaynak metalinin ve I.T.A.B' nin soğuma oranını azaltacaktır. Bir bakıma dengeli bir soğuma ortamı oluşacaktır. Ön ısıtmanın en önemli etkisi ise, ön ısıtmaya tabi tutulan esas metali eritmek için gerekli olan ısı miktarının azalacak olmasıdır.

3.5 Isısal Genleşme

Esas metallerin ve kaynak metalinin ısısal genleşme karakteristikleri kaynak işleminde dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Esas metallerin ısısal genleşme katsayılarındaki büyük farklılıklar, soğuma çevrimi esnasında bir metalde çekme gerilmesine ve diğerinde de basma gerilmesine sebep olacaktır. Çekme gerilmesine maruz kalan metalsel malzeme; gerilmelerin ısısal ve mekanik yollarla ortamdan uzaklaştırılmaması durumunda, kaynak işlemi esnasında sıcak kırılma ve işletme koşullarında ise soğuk kırılma eğiliminde olacaktır.

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

$$\alpha = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta T} \quad (3.2)$$

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

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta T} \quad (3.3)$$

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

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

3.6 Ön Isıtma ve Son Tavlama

Kaynak bağlantılarında, ön ısıtma ve son tavlama ısıl işlemlerinin uygulanması bazı farklı metalsel malzeme bağlantıları için problemlere sebep olabilir.

Farklı metallerin kaynağında ön ısıtma uygulaması, malzemelerin ergime sıcaklıkları arasında büyük farklılıklar varsa, malzemelerin ergime sürelerini eşitlemek amacıyla, ergime sıcaklığı yüksek olan malzemeye uygulanır.

Farklı metalsel malzemelerin kaynağında, sonradan tavlama tasarımcıyı zor durumda bırakabilir. Bunun nedeni, kaynak bağlantısının bir elemanına uygulanan ısıl işlemin diğer bağlantı elemanını olumsuz yönde etkileyebilecek olmasıdır. Örnek olarak; eğer nikel-krom alaşımlı bir malzeme, nonstabilize östenitik paslanmaz çelik malzeme ile kaynak prosesi ile birleştirilirse, nikel-krom alaşımına uygulanan tavlama sonucunda paslanmaz çeliğin taneler arası korozyona olan direnci azalacaktır. Bu probleme bir çözüm yolu, eğer uygunsa nonstabilize östenitik paslanmaz çelik yerine kararlı östenitik paslanmaz çelik kullanılmasıdır.

3.7 İşletme Koşullarında Mekanik ve Fiziksel Özellikler

Farklı metelsel 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 ITAB mevcuttur. İşletme koşullarında bir sorunla karşılaşılması için bu iki ITAB'nin dikkatli bir şekilde gözden geçirilmesi gereklidir.

İşletme koşulları altında düzensiz sıcaklık değişimlerinden kaçınılamıyorsa, metelsel malzemelerin ısıl genleşme katsayıları arasındaki büyük farklılıklar azaltılmalıdır. Bu problemde de esas metalleri benzer ısıl genleşme karakteristiklerine sahip metaller arasından seçmekle kaçınılabilir. 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; ısıl genleşme katsayısı, elastiklik modülü, akma dayancı, kırılma direnci v.b. Değişken sıcaklıktaki işletme şartlarına bağlı olarak, esas metallerin ve kaynak metalinin özellikleri arasındaki farklılıklar, ITAB' ler de ve kaynak metaline komşu bölgelerde gerilmelerin oluşmasına sebep olacak ve metelsel malzemelerin yorulma dayanımlarına bağlı olarak da istenmeyen çatlamlar gerçekleşebilecektir. Değişken sıcaklık altında işletme ömrü metalin kırılmaya olan direncine bağlıdır. Kısaca, işletme şartları altında farklı metelsel 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 metelsel malzeme çiftlerini uygun yöntemi seçerek birleştirmektir.

3.8 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).

Yüksek mukavemetli çelik malzemelerde galvanik oluşumu; ITAB' de hidrojen kırılabilirliği olasılığını arttıracaktır. Özellikle tasarım işletme koşullarında -40° - -130°C değerleri arasında ki sıcaklıklara maruz kalacaksa bu oluşum hızlanacaktır. Kaynak bölgesinde meydana gelen artık gerilmeler de hidrojen kırılabilirliği ve gerilim korozyonu tehlikelerin arttıracaktır (Rowe vd., 1999).

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).

3.9 İlave Malzeme Seçimi

İşletme koşulları altında iyi bir performans sağlaması istenen farklı metalsel malzeme bağlantıları için, uygun ilave malzeme seçimi önemli bir noktadır. Farklı metallerin kaynağının bir amacı; metaller 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 stabilitesini korumalıdır.

Fiziksel özellikler; kaynak metalinin fiziksel özellikleri, esas metallere 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;

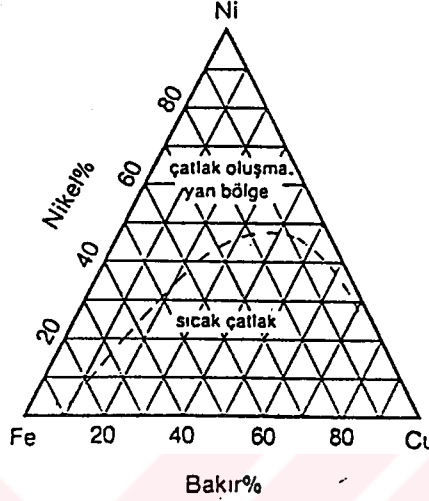
- Esas metallerin ergime sıcaklıkları arasındaki fark çok büyük ise; ilave malzeme normal olarak düşük ergime sıcaklığına sahip metale bağlı olarak seçilmelidir. Kaynak işlemi için seçilmiş olan uygun ilave malzeme bu esas metalle beraber eritilecektir. Ergimiş olan ilave malzeme, diğer bağlantı elemanında 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 genleşme karakteristiklerindeki farklılıklar dolayısıyla sıcaklık değişikliklerinin sebep olduğu gerilmeleri tolere edebilmesi için, yeterli genleşme özelliğine sahip olması gerekmektedir. (çatlak oluşturmadan ve mekanik özelliklerde önemli bir düşüş meydana getirmeden)

Bazı ilave malzemelerinin kaynak metallere ki ergime durumları aşağıdaki gibidir;

1-) Yalın karbonlu ve düşük alaşımlı çelikten mamül ilave malzemelerde ergime durumu;

Demir her oranda eriyebilir ve bunun fazla bir mahsuru yoktur. Genel amaç, çok sert ve kırılgan olan tamamen martenzitik yapının oluşmasını önlemektir. Dolayısıyla yalın karbonlu ve düşük alaşımlı çelikten mamül ilave malzemeler; nikel esaslı alaşımların, paslanmaz çeliklerin ve yüksek sıcaklık dökme alaşımlarının kaynağında kullanılmalıdır.

Bu tip ilave malzemelerde bakır miktarı az olmalıdır. Bu da nikelin gösterdiği etkiyi gösterir. Bakır miktarı artarsa, sıcak kırılmalık tehlikesi ortaya çıkar (Şekil.3.4). Bu nedenle yalnız karbonlu ve düşük alaşımlı çelikten mamül ilave malzemeler, bakır ve bakır esaslı alaşımların kaynağında kullanılmamalıdır.



Şekil 3.4 Ni-Fe-Cu diyagramı ve sıcak çatlama bölgesi (Anık vd., 1993)

2-) Östenitik çelik ilave malzemelerde ergime durumu;

Demir, nikel, krom, silisyum, manganez ve karbonun etkisi Schaffer diyagramından hesaplanabilir. Tamamen östenitik yapılar, sıcak çatlama duyarlı olduklarından, böyle durumlardan kaçınılmalıdır. Benzer tarzda martenzit oluşumu da istenmeyen bir husustur. Çatlama karşı dayanıklı ve gevrek olmayan bir yapı, östenit ve % 4-10 ferriten meydana gelir. Dolayısıyla uygulamada dikkatli bir seçimle, östenitik ilave malzemeler, yalnız karbonlu ve düşük alaşımlı krom çeliklerinin, paslanmaz çeliklerin ve benzer bileşimdeki yüksek sıcaklık dökme alaşımlarının kaynağında kullanılabilir. Nikel esaslı alaşımlarda ve fazla miktarda nikel içeren yüksek sıcaklık dökme alaşımların da östenitik ilave malzemeler kullanılmaktadır (Stout,1987; Anık vd., 1993).

Yalnız karbonlu ve düşük alaşımlı ilave malzemelerde olduğu gibi, östenitik ilave malzemelerde de bakır kötü bir etkiye sahiptir. Bunun için bakır ve bakır esaslı alaşımların kaynağından sakınılmalıdır.

4. FARKLI METALSEL MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.1 Elektron Işın Kaynağı

Elektron ışını, bir ışın kaynağından yaklaşık aynı hızla, aynı doğrultuda hareket eden elektronların akımıdır. Yüksek vakum içinde katod tüpleri yardımıyla oluşturulur. Katottan çıkan elektronlar, bir elektrik alanı yardımıyla anoda doğru ivmelendirilir (Anık vd., 1993).

$$E_{kin} = e \cdot u \cdot v^2 \cdot (m_v / 2) \quad (kj) \quad (4.1)$$

u : elektrik gerilimi (V)

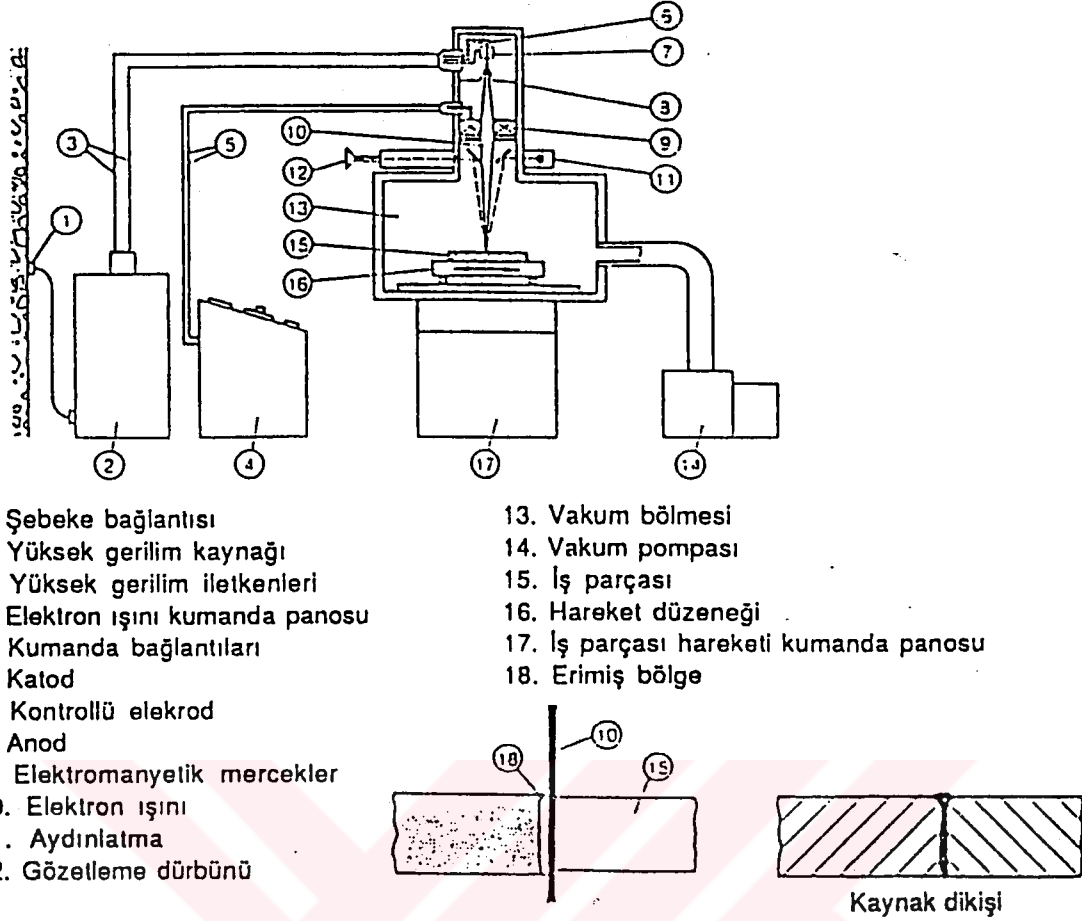
v : hız (m / s)

m_v :elektronun kütlesi (kg)

4.1.1 Yöntemin Tanıtımı

Kaynak için gerekli ısı, iş parçasına doğru hızla uçan elektronların parçaya çarptıklarında kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesinden sağlanır. Elektronlar, atomlardaki çok küçük kütleyle sahip (-) yüklü parçacıklardır. Bunlar, yüksek gerilim yardımıyla katodda ki (- kutup) elektron üreticinden çıkarak halka şeklindeki anoda (+ kutup) doğru ivmelendirilir ve saptırma bobinlerinin (elektromanyetik mercekler) içinden geçerken vakum odasında bulunan kaynaklanacak parçadaki birleştirme yerine ışın demeti olarak odaklanır. Elektron ışınıyla karşılaşılacak bölgede dar ve derin bir kaynak banyosu meydana gelir ve bu banyonun katılaşması ile parçalar birleşmiş olur (Şekil 4.1) (ODTÜ KTM, 1992).

Elektron ışın kaynağında birleştirilen parçalar I- alın ağız formunda hazırlanır ve ilave malzeme kullanılmadan kaynak yapılır. Akmayı veya yetersiz birleşmeyi önlemek için kaynak karakteristikleri çok dikkatli olarak seçilir. Elektron ışınının birleşme yerlerini etkilemeden geçmemesi ve aralığın erimiş hacimle tamamen doldurulabilmesi için, kaynaklanacak iki parça arasındaki aralığın 1/ 100 mm' den fazla olmaması gerekir. Bu dar tolerans, freeze ve taşlama suretiyle ağızların itinalı bir şekilde hazırlanmasını gerektirir. Diğer kaynak usullerinde bu kadar dar toleranslara gerek yoktur (Anık ve Vural., 1993).



Şekil 4.1 Elektron ışın kaynak donanımı (ODTÜ KTM, 1992)

Parçaya çarpan elektron ışını, malzeme yüzeyini buharlaşma sıcaklığına kadar ısıtır. Birdenbire buharlaşan malzeme, gelen ışının basıncının etkisiyle, çevresindeki erimiş metali yana iter. Böylece parçanın alt yüzeyine kadar uzanan bir buhar kanalı oluşur. Elektron ışını, yapılan dikiş boyunca hareket ettirilirse, önde bu buhar kanalı açılır ve bunun arkasından sıvı malzeme birleşerek kaynak gerçekleşir.

Elektron ışın kaynağının başlıca avantajları;

- Elektron ışını ile kaynakta, kaynak yerinin kimyasal olarak saflığını bozacak hiçbir işlem meydana gelmez. Bu sebepten kaynak metalinin bileşimi esas metalinkiyle aynıdır ve bir homojenlik sağlanmış olur.
- Mikron mertebesinde 100 mm kalınlığa kadar levhanın tek pasoda kaynağı mümkündür (Weisman, 1984b).
- Kaynak hızı daha yüksektir. Elektron ışın kaynağı özellikle toplam kaynak süresinin azlığı bakımından kendini gösterir.

- Kaynaktan sonra parçalarda meydana gelen distorsiyon miktarı da, yaklaşık olarak ark kaynağının onda biridir.
- Şekil ve boyutsal hassasiyet.
- Birleştirmede ulaşılan dayanım .
- Çok yüksek hızlı ısınma ve soğuma çevrimi .
- Metal, ergime bölgesinde kısmen buhar haline geçer.
- Pratik olarak, ergimiş banyoda bir gaz absorpsiyonu veya etkisi yoktur. (oksidasyon gibi)
- Dikişin her iki tarafındaki ani sıcaklık düşümü, ısının tesiri altındaki bölgeyi gayet az olarak sınırlandırır.
- İçinde gaz bulunan malzemelerin kaynağında elektron ışın kaynağının kullanılması üstünlük sağlar, çünkü yoğun ısı sebebiyle parçalar aynı anda erirler.

4.1.2 Kaynak Parametreleri

En dar elektron kesitinin yarıçapı 0,1–0,5 mm' dir. Işın odağında yüksek bir güç yoğunluğu mevcut olup, yaklaşık 10^8 W/ cm² dir ve elektron ışın hücresinden 1 mm uzaklığa kadar çalışma mesafesine sahiptir. Isı mabı olarak elektron ışınının en önemli üstünlüğü, elektrik arkına karşı kaynak yerinde 10000 kat daha yüksek ısı konsantrasyonu sağlamasıdır. Elektron ışını ile mikron mertebesinden 100 mm kalınlıklara kadar levhanın tek paso kaynağı mümkündür. Diğer kaynak yöntemleriyle, bu kadar kalın levhaların tek paso ile kaynağı yapılamamaktadır. Ayrıca diğer kaynak metodlarına göre kaynak hızı daha yüksektir (ASM Committee, 1983; Weisman, 1984a; Anık ve Vural, 1993).

4.1.3 Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi

Elektron ışın kaynağı ile gerçekleştirilen kaynak bağlantılarında iki eş malzemenin kullanılması bir zorunluluk değildir. Elektron ışın kaynağı teknolojisinin kullanıldığı bir çok uygulamada, farklı metalsel malzemeler arasında ki bağlantılar, eş malzemeler arasındaki bağlantılar kadar etkili ve başarılı olmuştur. Fakat metalsel malzemelerin ergime sıcaklıkları arasındaki farklılıkların ve malzemelerin birbirlerine karşı olan sınırlı çözünebilirlik özelliklerinin sonucu olarak bazı problemler ortaya çıkabilmekte, fakat uygun malzeme

seçimi ve elektron tabancasının uygun kullanımı ile bu problemlerin önüne geçilebilmektedir. Malzemelerin kaynak kabiliyetine tecrübelerle karar verilebileceği gibi, birleştirilecek metalsel malzemelerin alaşım faz diyagramlarının gözden geçirilmesiyle de bir tahmin yürütülebilmektedir. Eğer ki, birleştirilen metalsel malzemeler, kaynak metalinde intermetalik bileşenler oluşturuyorsa, kaynak bağlantısı kırılabilir yapıda olacaktır.

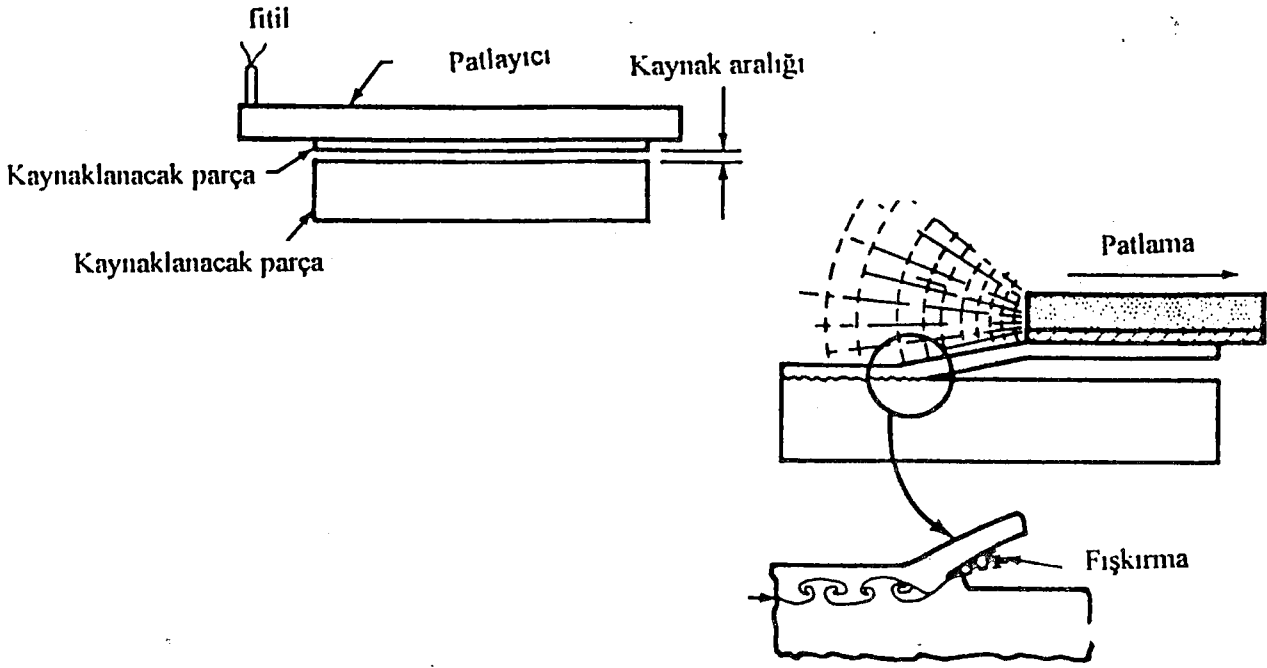
Kaynak işleminde, birleşme bölgesindeki erime oranlarının ayarlanabilme serbestliğide bulunmaktadır. Bu özellik, farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde daha fazla önem taşımaktadır. Farklı malzemelerde, eş sürede erime sıcaklıklarına ulaşamaması ya da çelik ile bakırın kaynağında olduğu gibi, malzemelerden birinin daha iletken olması engelleri, ışın demetinin uygun tarafa kaydırılması ile ortadan kaldırılmaktadır.

Örnek olarak alüminyum ve paslanmaz çeliğin kaynağında, ergime sıcaklıkları arasında ki büyük farklılıklardan dolayı büyük zorluklarla karşılaşmaktadır. (650°C-1450°C) Paslanmaz çeliği eritmek için gerekli yoğunlukta ki ışın, alüminyum malzemeyi etkileyecektir. Bu problem, elektron ışınının paslanmaz çelik malzemeye yakın mesafeden ve belli bir açıda yoğunlaştırılmasıyla çözülebilir. Bu durum; paslanmaz çelik malzemenin bir yüksek sıcaklık lehimleme havyası rolünü üstlenmesine ve alüminyum malzemeyi eritmesine olanak sağlayacaktır (Cary, 1989).

İki metalsel malzemenin karşılıklı olarak sınırlı çözünebilirlik özelliklerinden kaynaklanan problemler, yine ışının odaklandığı noktada ki davranışları ile çözülebilir. Örnek olarak birbirleriyle sınırlı çözünebilirlik özelliğine sahip olan ve beraber eritildiklerinde mekanik karışımlar meydana getiren bakır ve titanyum verilebilir. Karışımda ki yüksek oranda ki titanyum bağlantının gevrek ve kırılabilir yapıda olmasına neden olacaktır. Eğer ki bakır yüzdesi yüksek ise başarılı bir kaynak gerçekleştirilecektir. Yukarıda örnek gösterdiğimiz alüminyum- paslanmaz çelik örneğin de olduğu gibi, bu problemde ışının bakır malzeme yüzeyine yoğunlaştırılması ile çözülebilir.

Örneklerden anlaşılacağı gibi, farklı metalsel malzemelerin elektron ışın kaynağı ile birleştirilmesinde karşılaşılan bu problemler elektron ışınının açısının değiştirilmesi ve uygun yere yoğunlaştırılması ile ortadan kalkmaktadır.

Çizelge 4.1' de elektron ışın kaynağı yöntemi için farklı metalsel malzeme kombinasyonlarının kaynak kabiliyeti verilmiştir.



Şekil 4.2 Patlamalı kaynak donanımı (Weisman, 1984b)

Temizlenen yüzeyler bir kaç mm gibi yeterli bir aralık bırakılarak üst üste getirilir. Aralıklar dalgalı metal şeritler veya teller ile sağlanır. Bunlar sonra birlikte kaynak edilir. Birleştirilecek tabakaların üst yüzeyine ince bir koruyucu plastik tabakası ve bunun üzerine de patlayıcı madde yerleştirilir. Patlayıcı tutuşturulunca yüksek basınç ve hızla (1200-7000 m/sn) patlama olur ve üstteki sac alttakine kaynak edilir (Schwartz, 1979).

4.2.2 Kaynak Parametreleri

Patlamalı kaynak prosesinde üstteki patlayıcı ile yükü hızlandırılan parçanın kalınlığı 1,1-30 mm arasındadır. Fakat en uygun kalınlık 2-10 mm arasında bulunur. Altındaki hareketsiz parça için bir sınır yoktur. Şimdiye kadar kaynak yapılabilen, en büyük patlama alanı 32 m^2 ' ye kadar çıkmıştır. Patlama hızı 120 -1700 m/ sn, kaplama kalınlığı 2 - 10mm' dir (Anık vd.,1993).

4.2.3 Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi

Genel olarak % 5' den fazla uzayan (genleşen) metal ve alaşımları patlamalı kaynak yöntemi ile kaynak edilebilir. Çelik ve Al, Zr, Ti, Tn, Cu gibi gevrek metaller arası bileşiklerden oluşturulan malzemelerin kombinasyonunda da patlamalı kaynak başarı ile uygulanmaktadır.

Patlamalı kaynak yöntemiyle diğer kaynak prosesleri ile gerçekleştirilebilen bağlantılar (yalın karbonlu çelik– paslanmaz çelik) elde edilebildiği gibi metalürjik açıdan uyumsuz olan ve ergitme yöntemleriyle gerçekleştirilemeyen metallerin (alüminyum– çelik) kaynak bağlantıları da gerçekleştirilebilmektedir. Bu sebepten ötürü bu yöntemin başlıca avantajları;

- Çok farklı ergime sıcaklığına sahip metallere uygulanabilmesi,
- Çok değişik özelliklere sahip metallere uygulanabilmesi,
- Yüksek kalitede metalürjik bir bağlanma yalnız benzer malzemeler arasında değil, diğer yöntemlerle gerçekleştirilemeyen farklı malzemeler içinde geçerlidir.(Lancaster, 1993)

Çizelge 4.2’ de patlamalı kaynak prosesine uyumlu metalsel malzeme kombinasyonları verilmiştir.

Çizelge 4.2 Patlamalı kaynak yöntemiyle birleştirilebilen metalsel malzemeler(Jeffus, 1993)

Malzeme		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Zirkonyum	1	•	•						•							•
Magnesium	2	•	•		•		•	•							•	
Kobalt al.	3		•	•												
Platinyum	4						•			•			•			
Altın	5	•		•		•	•		•							
Gümüş	6	•		•	•	•		•			•					
Kolumbium	7	•		•	•	•		•	•	•						
Tantal	8	•	•	•	•	•	•	•	•							
Titanyum	9	•	•	•	•	•	•	•								
Nikel al.	10	•	•	•	•	•	•									
Bakır al.	11	•	•	•	•	•										
Alüminyum al.	12	•	•	•	•											
Paslanmaz Çelik	13	•	•	•												
Alaşımlı Çelik	14	•	•													
Yalın K. Çelik	15	•														

4.3 Difüzyon Kaynağı

Isı etkisi ile katı, sıvı ya da gaz fazlarda yer değiştirme olarak tanımlanan difüzyon olayı, ısı hareketlerinden doğan kinetik enerjilerin dengelenmesi ve bölgesel yoğunluk farklılıklarının azalması eğiliminden kaynaklanmaktadır.

Bir metalde atomlar, buldukları kafeste aralıksız ısı titreşime sahiptirler. Sıcaklığın artması ile artan bu titreşim mutlak $0^{\circ} K$ ' de kesilmektedir. Bu titreşimler kristal kafeslerindeki atomları yer değiştirmeye yardımcı yönde etkilemektedirler. Sıcaklığın artması ile difüzyonun kolaylaşması, iki nedene dayanmaktadır (Gültekin, 1991);

1-) Atomların titreşim genliklerinin artması,

2-) Kafeslerdeki boşlukların büyümesi,

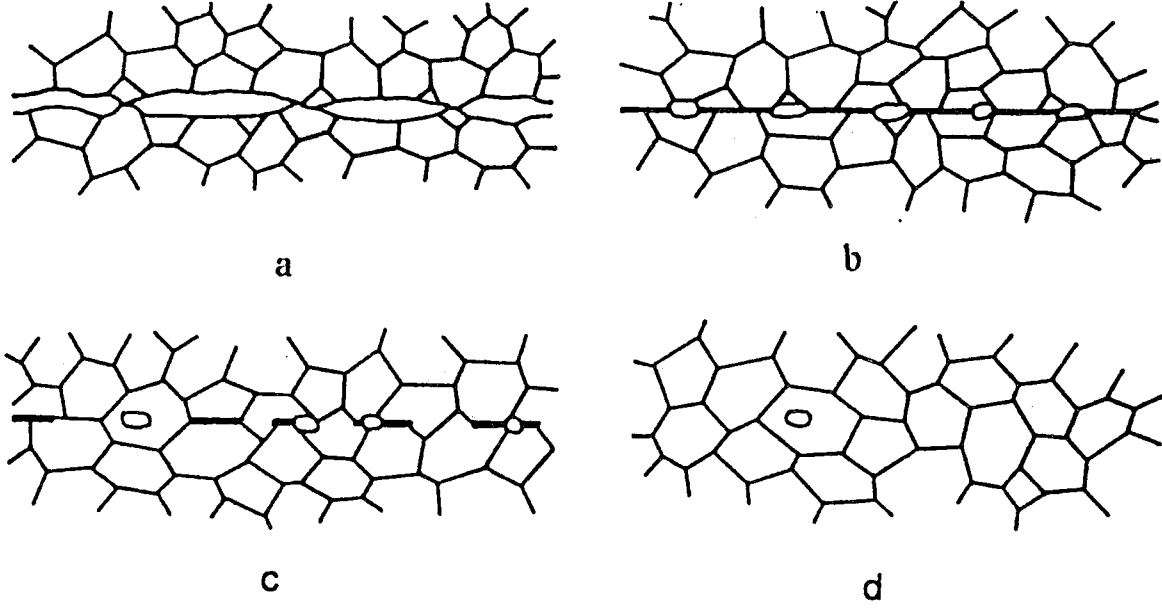
4.3.1 Yöntemin Tanıtımı

Difüzyon kaynağı aynı veya farklı, çoğunlukla metalsel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem, uçak ve uzay sanayi ile nükleer teknolojisi için geliştirilmiştir. Çünkü bu alanlarda kesitlerin ulaşılabilir yerlerde olmaması veya malzemelerin farklı olması gibi nedenlerle alışılmış kaynak yöntemlerinin kullanılması mümkün değildir.

Difüzyon kaynağı kaynak edilmesi öngörülen parçaların temas yüzeylerinin sınır tabakalarından, atomların yer değiştirme reaksiyonlarından yararlanılarak yapılan bir birleştirme uygulamasıdır. İşlemden difüzyonun hızlandırılması için parçalar tavlama ve parçalar bu sıcaklıkta belirli süre basınç altında tutulmaktadır. Tavlama sonu ulaşılan sıcaklık daima katı faz bölgesinde bulunmaktadır.

Kaynak sonu parçalar arasında makro, hatta mikro tesir sahasında bir ara hat bulunmaması olarak tanımlanan kusursuz bir birleştirme, kaynak edilecek yüzeylerin güvenli bir kontak sağlaması koşuluna bağlı bir şekilde oluşmaktadır. Bu nedenle, parça yüzeylerindeki oksit ve diğer yabancı elemanların mekanik, kimyasal ya da elektriksel yollarla uzaklaştırılması gerekmektedir.

Yüzeysel temas, pürüzlük noktalarından sağlandığından, atomların difüzyonu, bu noktalardan geçiş ile başlamaktadır. Yüzeylerdeki bu düzensizlik durumu, yüzey işleme kalitesindeki periyodikliğin dışında farklı bir bozukluğa sahip değil ise, kaynak işlemi sırasında basınç ve sıcaklığın etkisi ile tam veya kısmen düzlem konumuna getirilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Difüzyon kaynağının esasları (Weisman, 1984b)

- Yüzeylerin yalnızca pürüz noktalarından temas etmesi
- Deformasyon ve sınır tabakanın oluşumu
- Tane sınırlarının hareketi ve boşlukların yok oluşu
- Hacimsel difüzyon ve boşlukların yok oluşu

4.3.2 Kaynak Parametreleri

Kaynak sıcaklığı, basınç süresi, şekil değiştirme miktarı, yüzey kalitesi, koruyucu atmosfer başlıca kaynak parametreleridir.

Kaynak sıcaklığı, ortalama $0,7 T_e$ ($^{\circ}K$) olup yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindedir. Bu sıcaklıklar atomların hareketini (difüzyon) ve birleştirilecek yüzeylerin temizlenmesini kolaylaştırır. Gereğinden yüksek sıcaklıklar, tane irileşmesine ve dayanım düşmesine neden olur. Isıtma genellikle elektriksel, endüksiyon, direnç ve yüksek frekans teknikleriyle sağlanır.

Kaynak basıncı $1-30 N/mm^2$ ' dir (Anık ve Vural, 1993). Yüksek sıcaklıktaki bu basınç yüzeylerdeki pürüzlük tepelerinin plastik değişimini sağlar. Bu şekilde arttırılan yüzey teması, madde bağlarının oluşmasını sağlar. Kaynak basıncı hidrolik, pnömatik veya mekanik olarak uygulanır.

Kaynak süresi 10 dakika ile birkaç saat arasında değişebilir. Gerekli süre, sıcaklık ve basınca bağlı olarak belirlenir. Kaynak sıcaklığının artması ile bu süre azalır (ASM Committee, 1983).

Difüzyon kaynağının başlıca avantajları;

- Difüzyon kaynağı ile, diğer kaynak yöntemleriyle elde edilemeyen boyut toleranslarına ulaşılmakta, örnek olarak 0,02 –0,05 mm' lik boyutsal tamlıkla birleştirmeler sağlanabilmektedir (Stinchcomb, 1999).
- İşlem sonu parçaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişim meydana gelmemektedir.
- Montaj esnasında fazla sayıda bağlantı aynı anda yapılabilir.
- Ergitme yöntemleriyle birleştirilemeyen malzeme alaşımları için uygundur.

Difüzyon kaynak prosesinin başlıca dezavantajları ise;

- Birleştirilecek yüzeylerin iyi işlenmesi gereği.
- Donatının pahalı ve sürenin uzun olması.
- Yöntemin yüksek üretim uygulamaları için uygun olmaması.

4.3.3 Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi

Difüzyon kaynak prosesi; metalsel malzemeler arasındaki ergime sıcaklıkları farklılıklarının yüksek olması veya malzemelerin metalürjik yönden uyumlu olmamaları durumunda, farklı malzemelerin birleştirilmesinde sıkça tercih edilen bir kaynak prosesidir. Bu gibi durumlarda, metalsel malzemelerden birinin çok önce ergiyecek olması veya kaynak bağlantısının kırılğan yapıda olacak olması klasik ergime kaynağı yöntemlerinin bu tür uygulamalarda kullanılmasını engellemektedir. Difüzyon kaynak prosesi, ergitme kaynaklarında yüksek sıcaklıklara çıkılması sonucu oluşan kırılğan alaşımların, dayanımı düşürmesi sebebiyle, bu gibi durumlarda da tercih sebebidir.

Yöntem alışılmış kaynak usulleri gibi genel amaçlarla uygulanmakta, 1 mm' den itibaren kalınlıklarda; alışımlı ve alaşımsız çelikler, dökme demir, Al, Cu, Ti ve alaşımlarının ve metal esaslı malzemelerin kombinasyonlarına uygulanması mümkün olmaktadır (Gültekin, 1991).

Yöntem aynı tür malzemelerin birleştirilmesinde kullanılabileceği gibi farklı tür malzemelerin birleştirilmesinde de kullanılabilmektedir.

Farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesi; metalsel malzemelerin birbiri içerisinde karışabilmesi için, malzemelerin çatlak ve korozyon eğilimlerinin bulunmaması koşullarının sağlanması gerekmektedir. Difüzyon kaynağı ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilen farklı

metalsel malzeme kombinasyonları ise; kolumbium-Zr alaşımı, Mo-% 0,5 Ti alaşımı, bakır-316 tip paslanmaz çelik, Zr alaşımı-paslanmaz çelik (ASM Committee,1983; Weisman, 1984b).

Difüzyon kaynağında sıkça ortaya çıkan bir problem ise iki metalin ısısal genleşme karakteristiklikleri arasındaki farklılıklardır. Malzemelerin ısısal genleşme karakteristikliklerinin benzerlik göstermemesi bağlantıda makaslama gerilmelerine neden olacaktır. Problemin büyüklüğü; sıcaklığa, malzemelerin genleşme katsayıları arasındaki farklılıklara, parçaların biçim ve boyutlarına ve de oluşan bağlantının yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu problem esas anlamda bir tasarım problemidir.

Difüzyon kaynak prosesinde de, bazı metalsel malzeme bağlantıları arasında gevrek intermetalik fazların oluşumunu engellemek amacıyla ara tabaka kullanılması uygulamasına gidilmektedir.

Ara tabaka kullanılmasının bir başka avantajı malzemelerin örtüsüz durumlarına kıyasla daha hızlı bir difüzyon sağlanmakta ve kaynak süresi kısaltılmaktadır. Malzeme çiftlerine bağlı, Ni, NiCo, NiBe, AuCu, CbZr gibi malzemelerde ara tabaka olarak kullanılabilir. Çizelge 4.3' de bazı farklı metalsel malzeme bağlantılarının difüzyon kaynak prosesindeki işlem koşulları verilmiştir.

Çizelge 4.3 Bazı malzeme çiftleri için difüzyon kaynak prosesi koşulları(Weisman, 1984b)

Malzeme Çifti	Ara Tabaka	Sıcaklık °C	Zaman (saat)
Cu – Al		530	0,25
Cu – 316 paslanmaz çelik	Cu	985	2
Cu – Ti		850	0,25
Cu – Cb- %1 Zr	Cb- %1 Zr	985	4
4340 çeliği – Inconel 718		945	4
Çelik – Al	Bakır	485	

Çizelge 4.4 Metalsel malzemelerin difüzyon kaynağına uygunluk durumları (Anık vd.,1993)

Malzeme		13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Tantal	1					+						-	+	-
Niyobyum	2		+				-		+	+	+	-	-	
Zirkonyum	3				+	+						+		
Tungsten	4						+			+	x			
Molibden	5		+		x		+		+	x				
Titan	6		+		+		X		x					
Nikel	7					-	-	x						
Bakır	8		+		+	+	X							
Aluminyum	9				+	x								
CrNi çeliği	10		x		x									
Takım çeliği	11		+	x										
Yapı çeliği	12	+	x											
Dökme demir	13	-												

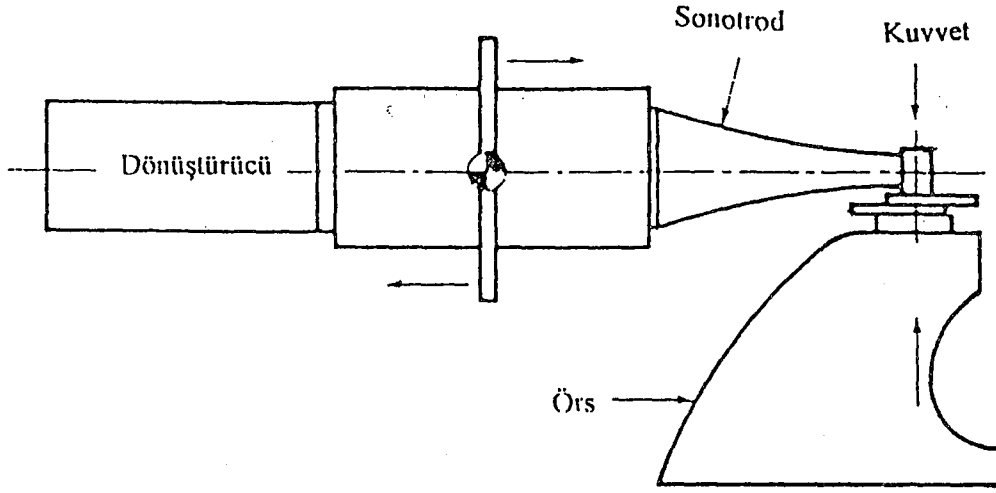
x - Çok iyi + iyi - Kötü

4.4 Ultrasonik Kaynak

Ultrason ışını, frekansın yüksekliği nedeni ile kulakla duyulmayıp, duyulabilen ses dalgalarından daha enerjilidir. Dalga boylarının küçüklüğü nedeni ile de belirli bir doğrultuya kolaylıkla yönlenebilmektedir. Bu özellikler, üstüne düştükleri ve kendilerini soğuran maddelerin ısınmasını sağlayabilmekte, kuvvetli ısı etkisinden sıvıların arındırılmasında yararlanılmaktadır.

4.4.1 Yöntemin Tanıtımı

Ultrasonik kaynak yönteminde parçalar, ultrasonik alandaki mekanik titreşimler ve hafif bir basınç yardımıyla birleştirilir. Bu amaçla bir elektro akustik dönüştürücüden yararlanır. Bu dönüştürücüde değişken bir elektrik akımı bir nikel alaşımının manyeto-striktif etkisi yardımı ile aynı frekanstaki boyuna mekanik titreşimlere çevrilir. Birleştirilecek parçalar sabit bir örs üzerindedir. Sonotrod yardımı ile teğetsel titreşimler parçaya aktarılır. Sıkıştırma kuvveti ve kaynak yüzeyleri arasındaki bağıl hareketlerin genliği yeterince yüksek ise, akma başlar. Kir, su ve oksit filmleri yırtılır. Yüzeyler ısınır, düzlenir, birbirine yaklaşarak bağ kuvvetleri etkin hale gelir. Isınma sadece çok ince bir tabaka ile sınırlıdır. Uygulamada, birbirine paralel ve bindirme konumundaki malzemelerin, ses üstü titreşime sahip bir eleman (sonotrod) ile altlık arasında basınç etkisinin de yardımıyla nokta veya dikiş kaynağı yapılabilir (Lancaster, 1993). Şekil 4.4' de ultrasonik nokta kaynağı donanımı görülmektedir.



Şekil 4.4 Ultrasonik nokta kaynağı(ASM Committe, 1983)

İşlemede, etkilendirilen titreşim ve basınç, birleştirilmesi öngörülen elemanlardan sadece üsttekine iletilmektedir. Titreşim genlikleri malzeme tür ve kombinasyonları ile kalınlıklarına bağlı olarak 10 – 100 μm aralığında bulunmaktadır. (Gültekin, 1991)

Uygulamaya basınç ve titreşim bir arada etkilendirilerek başlanmakta. temas yüzeylerinin pürüzlülüğü ile sürtünme enerjisi ısıya dönüşerek bu bölgede malzeme sıvılaşmaya oldukça yaklaşmaktadır. Bu arada oksit ve benzeri tabakalarda parçalanarak, atomsal çekim kuvvetleri etkin bir duruma getirilmektedir. Şekil değiştirme ve sıcaklık yükselmesinin etkisi ile yeniden kristal oluşumu görülebilmektedir.

Birleştirilen bölgeler veya parça için daha sonra herhangi bir talaşlı şekil verme işlemine gerek duyulmamaktadır.

4.4.2 Kaynak Parametreleri

Yöntemde elektriksel olarak üretilen titreşimin, mekanik enerjiye dönüştürülmesinden yararlanılmaktadır. Bu işlem için kullanılan şebekeye bağlı yüksek frekans jeneratörlerinin çıkış frekansları 20– 50 kHz aralığında bulunmakta, sistem kısmen veya tam mekanik ya da otomatik olarak çalışacak şekilde düzenlenmektedir.

Yüksek frekanslı titreşimli enerji belirli bir zaman birimi içerisinde kaynatılacak malzemelere iletilir. Değişik metallerin nokta ve direnç kaynağı yapılabilir. Kalınlıkları 0,004-2,5 mm' ye kadar değişen metallerin kaynatılması olağandır. Malzemelere etkiyen kuvvet tutma ya da

bağlama kuvveti olarak isimlendirilmektedir. Bağlama kuvvetinin görevi; iş parçalarını bir arada tutmaktır (Cary, 1989).

Ultrasonik kaynak prosesinin başlıca avantajları;

- Birleşme esnasında ısı oluşmaması.
- Yöntemin farklı tür metallerin ince ve kalın bölümlerinin kaynağına olanak vermesi.
- Ultrasonik kaynak yönteminde uygulanan basınçlar çok düşüktür.
- Kaynak süresi daha kısadır.

4.4.3 Farklı Metalse Malzemelerin Birleştirilmesi

Ultrasonik ışın kaynağı yöntemi önceden de belirtilmiş olduğu gibi, eş veya farklı malzemelerin titreşim ve basınç etkileri altında birleştirilmesi olarak tanımlanabilir.

Bu yöntemde, yumuşak metallere (Al, altın gibi) ince sacların, folyelerin veya tellerin (kalınlık 0,03– 2 mm), daha kalın çelik, demir dışı metaller, cam veya seramik gibi malzemeler üzerine kaynağı yapılır. Sert ve tabakalar halinde kırılğan bir oksit tabakasına sahip olan alüminyum, bu yöntem için uygundur (Anık ve Vural, 1993).

Ultrasonik kaynak yöntemi, şekil değiştirme kabiliyeti yüksek olan malzemelere (Pb) titreşim sürecinde akış eğilimi gösterdiklerinden, gevrek malzemelere ise çatlama duyarlılıkları nedeni ile yatkın bulunmamaktadır.

Al ve alaşımlarının kendi aralarında ve farklı metallerle gerçekleştirdiği ultrasonik kaynak bağlantılarında büyük başarı sağlanmıştır.

Bakır ve alaşımlarının da diğer metallerle kaynağında, bakırın yüksek ısıl iletkenliği ergitme kaynak proseslerinde olduğu gibi ultrasonik kaynak prosesinde bir problem yaratmaz.

Nikel, titanyum, zirkonyum, berilyum, magnezyum, malzemeleri ve bu malzemelerin çoğu alaşımı ultrasonik kaynak prosesi kullanılarak birbirleriyle ve diğer metallerle başarılı bir şekilde birleştirilebilmektedir. Çizelge 4.5' de, ultrasonik kaynak yöntemi ile birleştirilebilen malzeme kombinasyonları verilmiştir

Çizelge 4.5 Metalsel malzemelerin ultrasonik kaynağa uygunluk durumları(Weisman, 1984b)

Malzeme	Zr	W	Ti	Sn	Ta	Ag	Si	Pt	Pd	Ni	Mo	Mg	Fe	Au	Cu	Be	Al
Al al.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Be al.	+		+													+	
Cu al.	+		+			+		+		+	+		+	+	+		
Au							+	+		+			+	+			
Fe	+	+	+			+		+	+	+	+		+				
Mg al.						+						+					
Mo al.	+	+	+		+					+	+						
Ni al.			+					+		+							
Pd al.						+			+								
Pt al.							+										
Si					+												
Ag al.	+				+	+											
Ta al.					+												
Sn				+													
Ti al.			+														
W al.		+															
Zr al.	+																

4.5 Soğuk Basınç Kaynağı

Soğuk basınç kaynağı eş veya farklı metelsel malzemelerin, oda sıcaklığı ya da hafif tavlama ortamında, fakat her durumda malzemelerin rekristalizasyon sıcaklıklarından düşük sıcaklıklarda, yüksek basınç kuvvetlerinin etkisi altında oluşan plastik biçim değişimleri ile birlikte gerçekleştirilen bir birleştirme yöntemidir.

4.5.1 Yöntemin Tanıtımı

Soğuk basınç kaynağı oda sıcaklığında veya hafif sıcaklık uygulayarak basınç altında katı halde malzemeleri birbirine birleştirmedir. Parçaların en düşük rekristalizasyon sıcaklığı en yüksek sınır sıcaklık olarak alınır.

Metallerin yüzeyi çevre koşullarında daima yağ, oksit, sülfür veya gaz gibi bir tabaka ile kaplandığından, bu tabakanın kaynak işleminden önce temizlenmesi gerekir ve kaynak sırasında uygulanan basınçla şekil değiştirmelidir. Böylece şu sonuçlar alınır;

- Gevrek örtü tabakası yırtılır,
- İç temas ile kontakt noktalarında serbest kalan bölgelere çevre atmosferinin gaz atomları toplanmaz,

4.6 MIG / MAG, TIG Kaynağı

Farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde uygun koşulların sağlanması durumunda ark kaynak proseslerinden de yararlanılabilmektedir. Farklı metalsel malzemelerin birleştirilmesinde en sık kullanılan prosesler ise MIG/ MAG, TIG kaynak prosesleridir.

4.6.1 MIG/ MAG Kaynak Prosesi

Metal aktif gaz kaynağı : MAG

Metal asal gaz kaynağı : MIG

4.6.1.1 Yöntemin Tanıtımı

Bir metal koruyucu gaz kaynak düzeneği (Şekil 4.5); kaynak akım üretici, koruyucu gaz ünitesi, tel sürme mekanizması, kumanda ünitesi ve üfleçle birlikte hortum paketinden oluşmaktadır. Hortum paketi içerisinde üfleç; koruyucu gaz, kaynak akımı ve dolgu malzemesi olarak tel elektrod verilir. Kaynak teli temas borusu içerisinde sürtünerek geçerken akım kaynak teli üzerine aktarılır. Kaynak akımı elektrod ile iş parçası arasında gözle görülür bir ark oluşturur. Tel elektrod damlacıklar şeklinde ergir. Kaynak banyosu havanın etkisinden; demir dışı metallerde asal gazlarla, (Ar, He) alaşımsız, düşük alaşımlı ve yüksek alaşımlı çeliklerde aktif gazlarla (CO₂, Al-CO₂- O karışımı) korunur. Kaynak akımının arkın hemen önüne iletilmesi kaynak telinin yüksek akımlar altında eritilebilmesini sağlar, (Ör: 1,00 mm çapındaki kaynak telinin akım yüklenebilirliği 40– 200 A arasındadır.) dolayısıyla hem ince hem kalın kesitler hatasız olarak kaynaklanabilir (ODTÜ KTM, 1992).

4.6.1.2 Kaynak Parametreleri

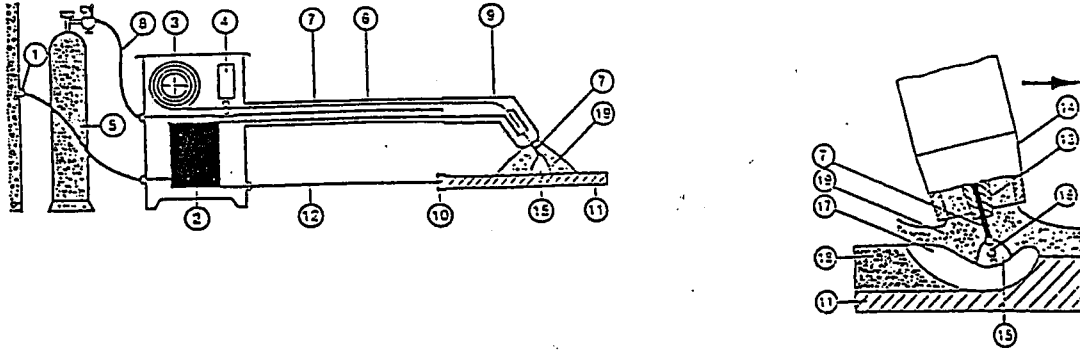
Tel elektrot çapı : 0,8 / 0,9 / 1,0 / 1,2 / 1,6 mm

Tel sürme hızı : 15 m/ dak. (max.)

Kaynak akımı : 1,6 mm çapında elektrotla 450 A' e kadar.

Koruyucu gaz miktarı : 10 – 18 lt / dak

Eritme kapasitesi : 6 kg / saat (max.) (ODTÜ KTM, 1992)



Şekil 4.5 MIG / MAG kaynak donanımı(ODTÜ KTM, 1992)

- | | | |
|---------------------------|---|---------------------------|
| 1. Şebeke bağlantısı | 8. Koruyucu gaz hortumu | 15. Ark |
| 2. Kaynak akım üretici | 9. Kaynak üfleci | 16. Damlacık geçişi |
| 3. Tel elektrot makarası | 10. İş parçası bağlantısı | 17. Akışkan kaynak metali |
| 4. Tel sürme düzeneği | 11. İş parçası | 18. Katı kaynak metali |
| 5. Basınç düşürücü | 12. Kaynak akım bağlantısı (iş parçası) | 19. Koruyucu gaz tabakası |
| 6. Kaynak akım bağlantısı | 13. Akım temas borusu | |
| 7. Tel elektrot | 14. Koruyucu gaz memesi | |

4.6.1.3 Uygulama Alanı

Alaşımız ve alaşımlı çelikler, alüminyum ve diğer demir dışı metaller, kalınlığı 0,6– 100 mm arasındaki malzemelerin bütün pozisyonlarda kaynaklanabilmesi için uygundur. Yöntemin uygulama alanı çok geniştir; otomotiv endüstrisinde, üretim ve onarım işlerinde v.b.

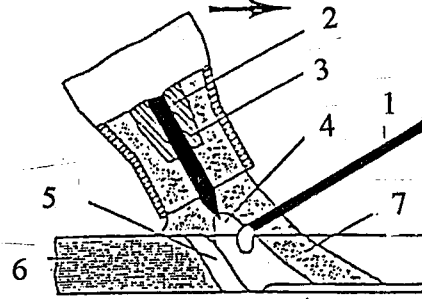
4.6.2 TIG Kaynak Prosesi

Tungsten asal gaz kaynağı : TIG

4.6.2.1 Yöntemin Tanıtımı

Kaynak için gerekli ısı, kaynak üfleci içerisinde bulunan bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında yanan bir ark ile sağlanır. İlave malzeme ark içerisinde el ile verilir ve eritilir. Akkor haline gelen tungsten elektrot, kaynak banyosu ve yakınlarındaki malzeme yüzeyi havanın etkisinden kaynak üfleci içerisinde gelen asal gaz (Ar, He) ile korunur. Tungsten elektrotun termik yüklemesi sınırlıdır, bu nedenle çok büyük eritme kapasitelerine ulaşamaz. Koruyucu gazın soy gaz olması dolayısıyla oksidasyon ve nitrür oluşumu gibi istenmeyen haller önlenmektedir. Soygaz olarak kullanılan argon, havadan daha ağır olması sebebiyle

erimiş metali daha iyi korur. Yüksek akım şiddetinin kullanılması gereken hallerde, helyum gazı kullanılır. Çünkü bu gaz daha yüksek ark gerilimi verir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 TIG kaynak proses donanımı(ODTÜ KTM, 1992)

1. Kaynak teli
2. Tungsten elektrot
3. Sıkıştırma yüksüğü
4. Ark
5. Akışkan kaynak metali
6. Katı kaynak metali
7. Koruyucu gaz tabakası

TIG kaynağı ile hemen hemen tüm malzemeler birleştirilebilir. Yüzeyinde, yüksek sıcaklıkta ergiyen bir oksit tabakası bulunan malzemelerin (Al alaşımları, Mg alaşımları) kaynağında özel önlemler gereklidir.

Elle TIG kaynağında, ancak düşük kaynak hızlarında ve ergime güçlerinde çalışılabilir. Yüksek dikiş kalitelerine ulaşmak için kaynakçının iyi eğitilmiş olması gereklidir.

4.6.2.2 Kaynak Parametreleri

Çelik, bakır, titanyum, nikel için doğru akım, alüminyum malzemeler için alternatif akım kullanılmaktadır. 4 mm çapındaki elektrotla 250 A akım şiddeti kullanılabilir.

Koruyucu gaz miktarı : 10 – 15 lt / dak.(ODTÜ KTM, 1992)

Hafif metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılan argon gazının çok saf olması gerekir (% 99,99) İçerisinde bulunabilecek su buharı, oksijen ve azot gibi bileşenler kaynağın

kalitesini düşürecektir. Bu sebepten paslanmaz çelik, bakır ve alaşımlarının kaynağında oksijen ve azotun oranları sırasıyla % 0,1 ve % 1,5 ' in altında olması gerekir.

4.6.2.3 Uygulama Alanı

Alaşımız ve alaşımlı çelikler, Al, Cu, Ti, Ni malzemelerinin birbirleriyle birleştirilmesinde kullanılmaktadır. 0,5– 4 mm kalınlığındaki malzemelerin birleştirilmesi uygundur. Daha kalın malzemelerin sadece kök pasosu bu yöntemle kaynaklanır. Uygulama alanları havacılık ve uzay endüstrisi, kap ve kazan imalatı v.b.

4.6.3 MIG/ MAG, TIG Kaynak Yöntemleri ile Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi

MIG/ MAG ve TIG kaynak proseslerini kullanarak gerçekleştirilen ve yaygın olarak kullanılan farklı metelsel malzeme kombinasyonları ve kullanılan ilave malzemeler Çizelge 4.7' de özetlenmiştir.

Çizelge 4.7 MIG / MAG , TIG kaynak proseslerine uygun malzeme çiftleri (Cary, 1989)

Malzeme Çiftleri	Kaynak Yöntemi ve İlave Malzeme	
	TIG	MIG / MAG
Al – Paslanmaz çelik	Paslanmaz çel. yüzeyinin uygun bir malzeme ile kaplanması	
Al – Bakır	Al. ve bakır malzemelerine uygun	bağlantı elemanı kullanılması
Bakır – Düşük alaşımlı çelik	Rcu	Ecu
Bakır – Paslanmaz çelik	RCuAl – A2	ECuAl – A2
Al. Bronz – Düşük alaşımlı çelik	RCuAl – A2	ECuAl – A2
Inconel – Düşük alaşımlı çelik	RNiCrFe – 3	EniCrFe – 3
Inconel – Östenitik paslanmaz çelik	RNiCrFe – 3	EniCrFe – 3
Inconel – Ferritik paslanmaz çelik	RNiCrFe – 3	EniCrFe – 3
Ferritik pas. çelik – Düş. al. çelik	RNiCrFe – 3	EniCrFe – 3
Östenitik pas. çelik – Düş. al. çelik	RNiCrFe – 3	EniCrFe – 3
Monel – Östenitik paslanmaz çelik	RNiCu – 2	ENiCu – 2
Monel – Ferritik paslanmaz çelik	RNiCu – 2	ENiCu – 2

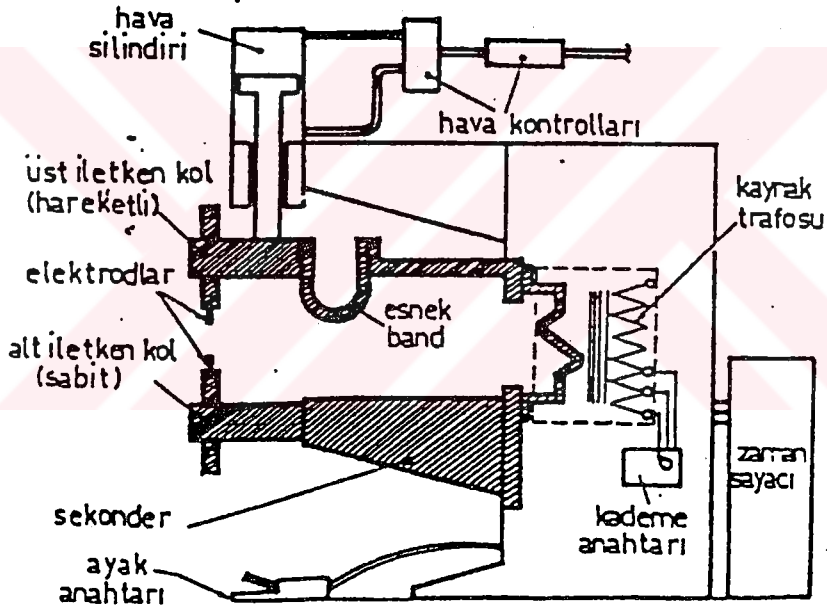
4.7 Nokta Direnç Kaynağı

Nokta direnç kaynak prosesi, ilave malzeme kullanılmadığından sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle, günümüzde uçak sanayi ve otomotiv endüstrisinde büyük ölçüde kullanılmaktadır.

4.7.1 Yöntemin Tanıtımı

Birleştirilecek metalsel malzemeler, bindirme şeklinde, iki bakır elektrod arasına yerleştirilir. Elektrodların belirli bir kuvvet ile bastırılmasından sonra kaynak akımı geçirilir. Ayarlanan süre boyunca bu akım, bir elektrod dan diğerine geçer (1 mm sac kalınlığında bu akım yaklaşık 10000 A, kaynak süresi ise 0,2 saniyedir.)(ODTÜ, 1992). İki malzeme arasındaki temas noktası, en yüksek dirence sahiptir ve ısınan malzemeler bu noktada ergir. Elektrik akımının kesilmesinden sonra kaynak banyosu, basınç altında katılaşır.

Alt elektrod sabit olup, üst elektrod hidrolik, pnömomatik, veya mekanik tertibatlar yardımıyla hareket edebilmekte ve elektrotlar arasında kaynak edilecek levhalara istenen yükü uygulamaktadır. Kaynak transformatörünün sekonder devresine elektriksel olarak da bağlı olan bu elektrodlar gerekli kaynak akımını da iletmektedir. Şekil 4.7' de direnç nokta kaynağı donanımı görülmektedir.



Şekil 4.7 Nokta direnç kaynağı donanımı(Eryürek, 1982)

Bu yöntemle 12 mm kalınlığa kadar çelik sacların, 1 mm kalınlığa kadar bakır levhaların ve 5 mm kalınlığa kadar alüminyum levhaların kaynağı yapılabilmektedir. Bakır ve alüminyum malzemelerinin yüksek ısıl iletkenlikleri ve düşük elektrik dirençleri, daha kalın levhalarda kaynak işlemini zorlaştırmaktadır (Eryürek, 1982; Jeffus, 1993).

Kaynak işlemi genel anlamda dört çevrimde gerçekleşmektedir;

a-) Basma zamanı: Elektrod kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının ilk uygulandığı an arasında ki geçen süredir.

b-) Kaynak zamanı: Kaynak akımının geçtiği zaman aralığıdır.

c-) Tutma zaman: Kaynak akımının kesilmesinden sonra, elektrod kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır.

d-) Ölü zaman: Elektrodun iş parçaları ile temasta olmadığı zaman aralığıdır.

4.7.2 Kaynak Parametreleri

Kaynak kalitesini etkileyen kaynak değişkenleri şu şekilde sıralanabilir;

a-) Elektrod malzemesi ve boyutları;

Saf bakır elektrodları üstün mekanik özellikleriyle beraber, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edinceye kadar, nokta direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmışlardır. Daha yüksek akım şiddeti, daha yüksek elektrod kuvveti ve daha yüksek kaynak hızının kullanıldığı kaynak yöntemlerinin gelişmesi, saf bakır malzemesinin elektrod malzemesi olarak kullanılmasını kısıtlamıştır. Saf bakır malzemenin istenmeyen bu özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bir seri bakır alaşımı geliştirilmiştir. Çizelge 4.8' de en çok kullanılan bakır alaşımlı elektrod malzemeleri verilmiştir (Eryürek, 1982; ASM Committee, 1983).

Çizelge 4.8 Bakır alaşımlı elektrod malzemeleri (Eryürek, 1982)

Alaşım Cinsi	Brinell Sertliği (kg / mm ²)	İletkenlik (% saf bakır)	Yumuşama Sıcaklığı (°C)
Bakır (Soğuk çek.)	95	90	150
Tellür-bakır	100	90	175
Kadmiyum-bakır	110	85	250
Krom-bakır	150	80	500
Tungsten-bakır	200 – 300	30	1000

Genel olarak, alaşımın sertliğinin artması, elektriksel ve ısıl direnci de artırır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için belirli bir elektrod alaşımının seçimi, onun mekanik özelliklerine göre değişen ısıl ve elektriksel özelliklerinin de göz önüne alınmasıyla gerçekleştirilir.

b-) Kaynak akım ve zamanı;

$$Q = k.I^2Rt \quad (4.2)$$

R direnci malzeme ve malzeme kalınlığına, elektrod kuvvetine ve elektrod uç çapına bağlı olup, değeri artan elektrod kuvveti ile azalmaktadır. Şu halde, gerekli ısı miktarını elde etmek

amacıyla değiştirilebilecek kaynak parametreleri kaynak akımı ve kaynak zamanıdır. Belirli bir ısı enerjisi elde etmek için çeşitli (I, t) değerleri mevcut olmakla beraber, ısı kaybının da zamana bağlı olması nedeniyle akım şiddetini keyfi olarak azaltarak kaynak zamanını arttırmak mümkün değildir. Bir başka ifadeyle, erimenin meydana gelebilmesi için bir minimum akım yoğunluğu mevcut olup, bu değer malzemenin cinsine, kalınlığına ve kaynak bölgesine etki eden elektrod basıncına bağlıdır.

Kısa kaynak zamanı ve yüksek akım şiddeti kullanılarak veya uzun kaynak zamanı, düşük akım şiddeti kullanılarak, aynı nokta çapı elde etmek mümkündür. Bunlardan ilkinde kısa süreli kaynak, ikincisine uzun süreli kaynak adı verilmektedir. Getirdiği büyük faydalar sebebiyle, kısa süreli kaynak tekniği çok gelişmiş olup, kaynak zamanı azaldıkça ısı kayıpları da azaldığından, işlemin ısı verimi artmaktadır. Kaynak süresi, kaynak akımının kesilmesinden sonra kaynak bölgesinin soğuma hızını etkiler. Uzun süreli kaynakta, kaynak bölgesine komşu bölgelerin sıcaklığı yükseldiğinden, sıcaklık farkı dolayısıyla da kaynak sonrası soğuma hızı düşüktür. Bu nedenle, % 0,3 C' lu çeliklerde ve bazı alaşımli çeliklerde sertleşmeyi önlemek için uzun süreli kaynak yöntemi kullanılır.

c-) Elektrot kuvveti;

Elektrot kuvveti kaynak işleminin üç aşamasında da önemli bir rol oynar. Basma safhasında, elektrot kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrot-malzeme temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Malzemelerin elektrodlar altında, belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak işlemi esnasında, elektrot kuvvetinin görevi, malzemeler arasından fişkırmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak bu fişkırmayı engellemektir. Dövme aşamasında ise, sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir (Eryürek, 1982).

4.7.3 Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi

Nokta direnç kaynağı, birleştirilebilen malzemeler bakımından diğer kaynak yöntemlerine oranla, daha fazla serbestliğe sahiptir. Yöntemden yararlanılarak bir çok metal ve metal çiftlerini, değişik biçim ve boyutlarda kusursuz olarak birleştirmek mümkündür. 0,5-30 mm kalınlıkta ki çelik ve alüminyum plakaların seri üretimi çok yaygındır. Metalsel malzemelerin bileşimi, onların özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını, gizli erime ısılarını, ısı ve elektrik

iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Metalsel malzemelerde, elektrik ve ısı iletkenlik genellikle aynı yönde paralel olarak değişir. Bu nedenle, yüksek elektrik iletkenliği ve dolayısıyla da yüksek ısı iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerde yüksek akım yoğunluğunda bile, üretilen çok az ısı çevreye hızla yayılır ve erime için gerekli ısı birikimini engeller. Bu ise, kaynak işlemini imkansız veya zor hale getirir. Diğer taraftan, mevcut ticari bir çok metalin birim kütlelerini erime sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı aynı mertebededir. Örnek olarak; alüminyum ve paslanmaz çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı özelliklerine sahip iki metali erime sıcaklıklarına getirmek için birim kütleleri başına yaklaşık aynı miktarda ısı gerekir (Eryürek, 1982; Cary, 1989; Stinchcomb, 1999).

Birleştirecek olan metalsel malzemelerden biri, diğer metalsel malzemeye oranla daha yüksek elektriksel dirence sahip ise, ısı bu metalsel malzemede diğerine nazaran çok daha hızlı iletilecektir. Bu durumda ısı iletkenliği mevcut değildir. Paslanmaz çelik ve orta karbonlu çelik gibi, farklı iki metalsel malzeme kaynak edildiği zaman, ısı iletkenliği ya yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrod temas alanını arttırarak, veya düşük dirençli orta karbonlu çelik tarafında , daha yüksek dirençli elektrod kullanarak sağlanır. Çizelge 4.9' da metalsel malzemelerin nokta direnç kaynağına yakınlıkları görülmektedir (ASM Committee, 1983).

Çizelge 4.9 Metalsel malzemelerin nokta direnç kaynağına uygunluk durumları(Gültekin, 1991)

Malzeme	Zr	W	Ti	Ta	Sn	Pt	NiCu	NiCr	Ni	Mo	Mg	FeNi	FeCr	Fe	CuNi	CuBe	Cu	Cd	Au	Al	Ag
Ag			4	3		3		5	3	4		5		3	3	3	4			4	3
Al			4	3	4	3	3		3	4	2	2	3	2	3	3	4	4			2
Au																			2		
Cd					2		2	4	4					2			2	2			
Cu	5	4	5	3	2	2	2	2	2	4		2	4	2		2	2				
CuBe		3		1		1		1	1	3				4	2	1					
CuNi		2		2		2		2	2	3				2	2						
Fe	5	3		3	4	1	2	2	2	2		2		1							
FeCr						1			2				2								
FeNi		5			4	5	2	2	2	2		2									
Mg											2										
Mo	2	3		3		2	2	2	2	4											
Ni	2	2	5	2	3	1	2	2	2												
NiCr		5			4	1	2	2													
NiCu					2	1	2														
Pt		2		2		1															
Sn					2																
Ta			3		3																
Ti			2																		
W	2	3																			
Zr	2																				

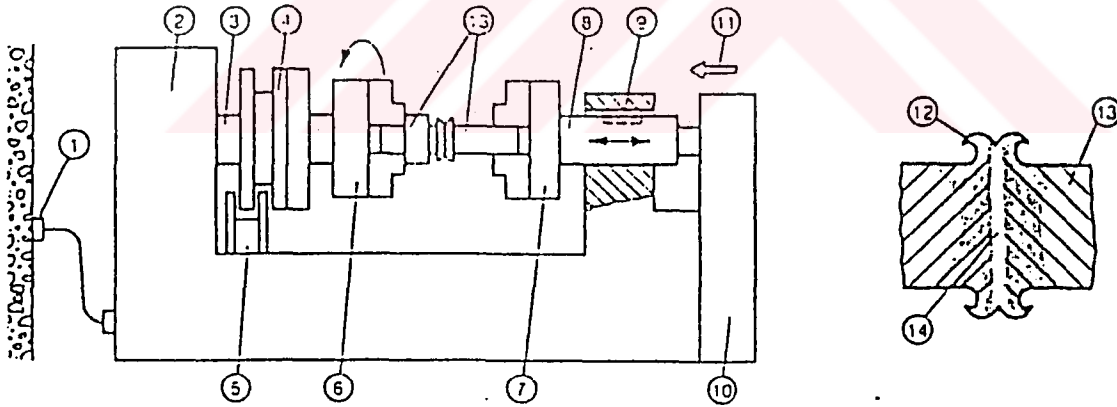
1- Çok iyi 2- İyi 3- Orta 4- Zor 5- Açıklık Yok

4.8 Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı, gelişen dünyamızda bir çok ülkede ve endüstride geniş olarak uygulama alanı bulmuş, ticari bir prosestir. Sürtünme kaynağı, genellikle dönel simetrisi olan parçaların, basınç altında alın kaynağı için kullanılır. Isı ihtiyacı, mekanik olarak sürtünme ile sağlanır. Sürtünme kaynağı, metelsel malzemeler ve kombinasyonları ile plastiklerin birleştirilmesine uygundur.

4.8.1 Yöntemin Tanıtımı

Sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilecek metelsel malzemelerden bir tanesi döndürülebilen diğeri ise aksnel olarak kayma hareketi yapabilen iki sıkıştırma düzeneğine tutturulur. Birinci sıkıştırma düzeneği hızla döndürülürken, ikincisi ise dönen düzeneğe doğru hareket ettirilir. Kaynak parçaları temas ettiklerinde sürtünmeden dolayı ısınırlar. Erime sıcaklığının hemen altında bir ısınma elde edildiğinde çevirme işlemi durdurulur ve parçalar büyük bir kuvvetle birbirlerine bastırılarak kaynamaları sağlanır. Bu işlem esnasında kaynak bölgesindeki malzeme sıkışma sonucu dışarı taşar (Şekil 4.8).



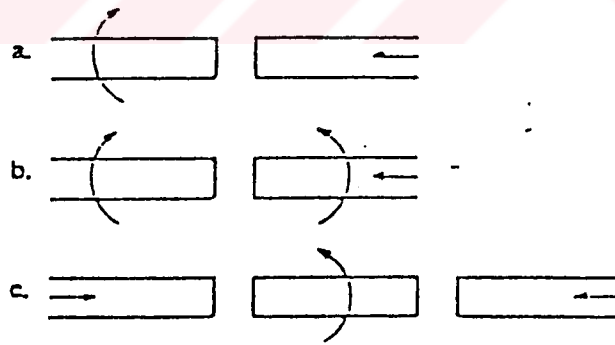
Şekil 4.8 Sürtünme kaynak donanımı (ODTÜ KTM, 1992)

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Şebeke bağlantısı | 10. Bastırma tertibatı |
| 2. Makine gövdesi ve hareket motoru | 11. Bastırma kuvveti |
| 3. Mil (çevrilebilir) | 12. Bastırma şişkinliği |
| 4. Volan | 13. Malzeme |
| 5. Fren | 14. Yüksek derecede ısınmış bölge |
| 6. Sıkıştırma düzeneği (çevrilebilir) | |
| 7. Sıkıştırma düzeneği (çevrilemez) | |
| 8. Mil (çevrilemez) | |
| 9. Kama | |

Göreceli hareket sonrasındaki durdurma periyodun da ara yüzeydeki sıcaklık, radyasyon ve konveksiyon yoluyla oluşan ısı kayıplarından dolayı düşmeye başlar. Bu nedenle durdurma zamanı mümkün olduğu kadar kısa tutularak dövme basıncı uygulanmalı ve parçalar soğumadan kaynak bağı oluşturulmalıdır. Bu olay özellikle küçük kaynak alanlarında hızlı ısı transferi nedeniyle çok daha önemlidir.

Kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler basınç altındadır ve ısıtma fazı yada sürtünme fazı olarak adlandırılan bu süreç yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar sürer. Çelikler için bağlantı bölgesinde oluşan sıcaklık 900– 1300 °C arasındadır. Çoğu durumda ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ara yüzeydeki ısıtılmış metal yığılır. Böylelikle kaynak bölgesi bir tür termodinamik işleme tabi tutulmuş olur ve dolayısıyla bu bölge iyi bir tane yapısı gösterir. Bundan dolayıdır ki, diğer yöntemlerle birleştirilemeyen metalsel malzemeler ve alaşımları rahatlıkla kaynatılabilirler. Bilindiği gibi parçalar arasında kaynak bağı oluşabilmesi için çıplak yüzeylerin temas haline gelmesi gerekir sürtünme kaynağında bütün temizlikler sürtünme yolu ile giderildiği için bu temas çok iyi gerçekleşir. Normal şartlar altında sürtünen yüzeylerde bir erime olayı oluşmaz şayet çok küçük miktarda bir erime oluşmuşsa da kaynak sonu uygulanan yığma işleminden dolayı erimiş metale ait bir delil bulunmaz (Yılmaz, 1991,1993).

Sürtünme kaynağının uygulama şekilleri Şekil 4.9’ da görülmektedir.



Şekil 4.9 Sürtünme kaynağının uygulanma şekilleri (Anık ve Vural, 1993)

- a-) Bir parçanın döndürülmesi, diğerinin ötelenmesiyle yapılan sürtünme kaynağı
- b-) Her iki parçanın döndürülüp, birinin ötelenmesiyle yapılan sürtünme kaynağı
- c-) Aradaki bir parçanın döndürülerek, her iki parçanın ötelenmesiyle yapılan sürtünme kaynağı

Yukarıda çeşitli özelliklerini sıraladığımız sürtünme kaynağı, Avrupa ve Amerika’da birbirinden farklı şekillerde uygulanmaktadır. Avrupa’ da sürekli tahrikle sürtünme kaynağı metodu, Amerika’ da volan tahrikli sürtünme kaynağı metodu gelişme göstermiştir.

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında, parçalardan biri bir motor hareket ünitesine bağlıdır ve sabit bir hız altında döner, bu sırada da sabit bir eksenel kuvvet uygulanır. Çalışma parçaları önceden belirlenen bir kaynak süresince veya belirlenen bir eksenel kısalma (yanma) oluşuncaya kadar sürtünür ve sonrasında frenlenerek durdurulur. Kaynak kuvveti yığılma amacıyla artırılır ve kaynak soğuyana kadar tutulur (ASM Committee, 1993).

Volan tahrikli sürtünme kaynağında ise, parçaya verilecek enerji, dönел bir volana depolanır. Bu kinetik enerji, parçaların ısıtılması için kullanılarak parçaların kaynağı tamamlanır.

4.8.2 Kaynak Parametreleri

Sürtünme kaynağı kontrolü gerektiren oldukça fazla sayıda parametre içermektedir. Bu yöntemle ilgili değişkenler dönme hızı, sürtünme basıncı , yığılma basıncı, sürtünme süresi, frenleme süresi, yığılma geciktirme süresi ve yığılma süresidir. Bunun dışında numune geometrisi ve numunenin yapıldığı malzemedен kaynaklanan diğer parametreler de söz konusudur. Ancak yapılan çalışmalar yöntem üzerinde en etkin olan ve optimizasyonu gereken parametrelerin dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığılma basıncı ve yığılma süresi olduğunu göstermiştir.

- Dönme hızı özellikle ITAB' nin genişliğinde etkilidir. Çelik malzemeler için çevresel hız 1,2– 1,8 m/s arasında önerilmektedir. 1,2 m/ s' nin altındaki hızlar çok yüksek momentler dolayısıyla üniform olmayan bir yığılma üretir. Bununla birlikte farklı metalsel malzeme bağlantıları için düşük hızlar, gevrek intermetalik bileşenlerin oluşumunu minimize edebilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise kaynak bölgesindeki aşırı ısınmayı önlemek için sürtünme basıncı ve sürtünme süresi çok dikkatli kontrol edilmelidir (Ateş vd., 1998).

- Sürtünme basıncı ve yığılma basıncı malzeme geometrisi ve malzemeye bağlıdır. Basıncı değişkeni, kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve eksenel kısalma miktarı ile kontrol edilebilir. Sürtünme basıncı, temas eden yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeylerde üniform bir ısıtma sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Sürtünme periyodu sonrasında, özellikle çelikler için bir yığılma basıncının uygulanması bağlantı kalitesini artırır. Yığılma basıncı malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır ve aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar düşük olmamalıdır. Farklı malzemelerin kaynağında ise daha düşük mukavemetli malzeme esas alınarak yığılma basıncı tespit edilir. Genel anlamda yumuşak çelikler için sürtünme basıncı 30– 65 Mpa, yığılma

basıncı 75 – 140 Mpa iken orta karbonlu ve yüksek karbonlu çelikler için sürtünme basıncı 70 – 210 Mpa, yığıma basıncı 100 – 420 Mpa arasındadır (Weisman, 1984b; Ateş vd., 1998).

- Sürtünme ve yığıma süreleri malzemeye bağlıdır. Sürtünme süresi, sürtünen yüzeylerdeki olası mümkün kalıntı ve pislikleri temizleyebilecek ve gerekli plastisite için üniform bir kaynak bölgesi sıcaklığına ulaşmayı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Tatminkar bir kaynak bağlantısı için belirli minimum bir ısıtma süresi değeri aşılmalıdır. Elverişsiz bir ısıtma bağlantıda yetersiz plastisiteye, yetersiz kaynaklanmaya sebep olacaktır. Buna karşı aşırı süre, aşırı derinlikte bir ısıtmaya ve malzeme sarfiyatına neden olacaktır.

- Sürtünme kaynağı ile dolu ve içi boş kesitlerin kaynağı yapılabilir. Mevcut olan sürtünme kaynağı makinalarıyla 1-300 mm çaplı makine parçaları kaynak edilebilmektedir. Günümüzde çelik borular için maksimum çap 900 mm, et kalınlığı $s = 8$ mm dir (Stinchcomb, 1999).

Sürtünme kaynağının temel avantajlarından biri enerji karakteristikleridir. Proses düşük bir enerji ve güç gerektirmektedir. Ayrıca daha az metal kaybı olmaktadır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir; sürtünme kaynağı esnasında ısı sadece kaynak bölgesinde ve kaynaklı parçaların yüzeyinde doğrusal olarak yayılmaktadır, buna karşın diğer kaynak proseslerinde ısının büyük bir kısmı, kaynak için gerekenden daha fazlası, esas metalin ısınması sonucu kaybolmaktadır

Sürtünme kaynağında ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, erime olayının oluşmaması ve ortaya çıkan sıcaklığın çok dar bir alanda sınırlı kalması, ayrıca meydana gelen plastik deformasyon nedeniyle yüzeylerdeki oksit tabakalarının ve kalıntıların dışarıya sürülebilmesi ve bu esnada kaynak bölgesinin bu olaydan dolayı atmosferin olumsuz etkilerinden korunabilmesi farklı bileşimdeki takım çeliklerinin bu kaynak yöntemi ile tatminkar bir biçimde birleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Westgate,1985; Yılmaz, 1991).

Sürtünme kaynağında özel durumlar hariç, parçaların en az bir tanesinin dönel olması arzu edilir. Karışık şekilli parçalar, ya da dövülerek şekillendirilmiş iki veya üç parça sürtünme kaynağı ile bir araya getirilerek üretilebilir. Sürtünme kaynağı ile ilgili temel dizayn şekilleri; çubuk-çubuk, boru-boru, çubuk-boru, çubuk-levha, boru-levha şeklindedir. Sürtünme kaynağı ile yapılacak açılı bağlantılarda, eksenle olacak açının 30° den büyük olması D.L.Kuruzar tarafından önerilmiştir (Kuruzar, 1979).

4.8.3 Farklı Metalsel Malzemelerin Birleştirilmesi

Başlıca yöntemlerle kaynağa uygun olmayan bir çok malzeme ve malzeme kombinasyonları sürtünme kaynak prosesi ile birleştirilebildiği için diğer kaynak yöntemleri için söz konusu

olan kaynağa uygunluğun belirlenmesindeki kriterler sürtünme kaynağında kullanılamazlar. Sürtünme kaynağına uygunluk için şartlar;

a-) Malzemelerin mukavemeti; Malzemelerin mukavemeti , sürtünme kaynağı sırasında eksenel basınç ve dönme momentiyle aşırı bir deformasyonun oluşumunu önleyecek kadar yüksek olmalıdır.

b-) Sıcak şekil değiştirme kabiliyeti; Birleştirilecek metalsel malzemelerin yeterli düzeyde sıcak şekil değiştirebilir özellikte olması istenir.

Bu kriterleri yerine getiren bir çok demir ve demir dışı metaller sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilirler. Sürtünme kaynağı farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin kaynağında da kullanılır ki, bu malzemeler genellikle diğer kaynak yöntemleriyle kaynaklanamaz. Erime sıcaklığı altı sıcaklıklar ve kısa kaynak süresi sürtünme kaynağına bu imkanı vermektedir. Buna örnek olarak; çeliğin (alaşımli veya alaşımsız) alüminyum ve bakır ile, toz metalürjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin ($Al_2O_3 - ZrO_3$) alüminyum ile, sert ve ağır metallerin diğer metallerle sürtünme kaynağı gösterilebilir.

Farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin sürtünme kaynağı simetrik olmayan deformasyon miktarına yol açar. Yüksek bir kaynak mukavemeti ise relatif olarak simetrik plastik deformasyon veren farklı malzemelerin kaynağında elde edilir.

Demir esaslı malzemeler, yumuşak çelikten, yüksek alaşımli çeliklere kadar kaynaklanabilmektedir. Yumuşak çelikler relatif olarak daha kolay kaynaklanmakta ve geniş bir parametre aralığına sahiptirler. HSS türü yüksek alaşımli çelikler ise daha dar bir parametre aralığında ve daha yüksek eksenel kuvvetlerde kaynaklanabilirler. Bunların tokluğu ve çatlak hassasiyeti dikkat edilmesi gereken bir konudur, muhakkak parçalarda oluşan çapaklar alınmalıdır. Çünkü bu çapaklar çatlak başlangıcı için uygun yerlerdir (Stout, 1987).

Paslanmaz çelikler, verilen kaynak parametrelerinde kolaylıkla kaynaklanabilirler. Isıl işlemli paslanmaz çelikler diğer yüksek alaşımli çelikler gibi kaynak değişkenlerine çok hassastır ve ITAB arzu edilen özellikler için kaynak sonu prosesler gerektirir. Bunun dışında sinterlenmiş malzemeler, Al ve alaşımları, Cu ve alaşımları, Ti alaşımları, Zr alaşımları, Mg alaşımları, ısıl dirençli alaşımlar olan Ni ve Co alaşımları, refrakter metaller olan T, Mo, Ni alaşımları da sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilmektedirler (Ateş vd., 1983; Anık ve Vural, 1993; Weisman, 1984b). Çizelge 4.10' da farklı metalsel malzeme kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygunlukları verilmiştir.

Çizelge 4.10 Metalsel malzemelerin sürtünme kaynağına uygunluk durumları(Weisman, 1984b)

Malzeme	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x		X	X	x
2							x	x	x	x									X	
3					x	x	x	x	x	x									X	
4							x	x	x	x										x
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										x
6										x										x
7																				x
8			x				x	x	x	x		X	X							
9			x						x	x		X								
10			x				x	x			x									
11		x	x	x	x	x	x	x	x	x										
12		x	x	x	x	x	x	x	x											
13				x	x	x	x	x												
14		x	x	x	x	x	x													
15				x	x	x														
16				x	x															
17				x																
18			x																	
19	x	x																		
20	x																			

Alüminyum ve alaşımları	(1)	Alaşımsız çelik	(11)
Alüminyum (TM – toz metal)	(2)	Düşük alaşımlı çelik	(12)
Dökme demir	(3)	Ferritik çelik	(13)
Sert metal	(4)	Östenitik çelik	(14)
Bakır ve alaşımları	(5)	Çelik döküm	(15)
Magnezyum ve alaşımları	(6)	Çelik (TM)	(16)
Molibden	(7)	Otomat çeliği	(17)
Nikel ve alaşımları	(8)	Titan ve alaşımları	(18)
Nikel alaşımları (TM)	(9)	Tungsten/ Wolfram	(19)
Niyobyum	(10)	Tungsten- bakır (TM)	(20)

4.9 Yakma Alın Direnç Kaynağı

Yakma alın kaynak yöntemi, bitişik iki alın yüzeyinin tüm alanını kapsayan bir elektrik direnç basınç kaynağı yöntemidir. Yakma alın kaynak yöntemi ile çok sayıda demir esaslı ve demir dışı alaşımları birleştirmek mümkündür; günümüz endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahip olan yalın karbonlu çelikler, alüminyum alaşımları büyük bir hazırlık ve özel bir önlem gerektirmeden yakma alın kaynak prosesi ile kaynak edilebilmektedirler.

Yakma alın kaynak prosesinin uygulanması ile birleştirilen eş bileşimli malzemelerde ortaya çıkan problemlerin büyük çoğunluğu çözülmüş olmasına karşın, farklı bileşimdeki malzemelerin kaynağında halen çözüm bekleyen çok sayıda problem vardır; bununla birlikte

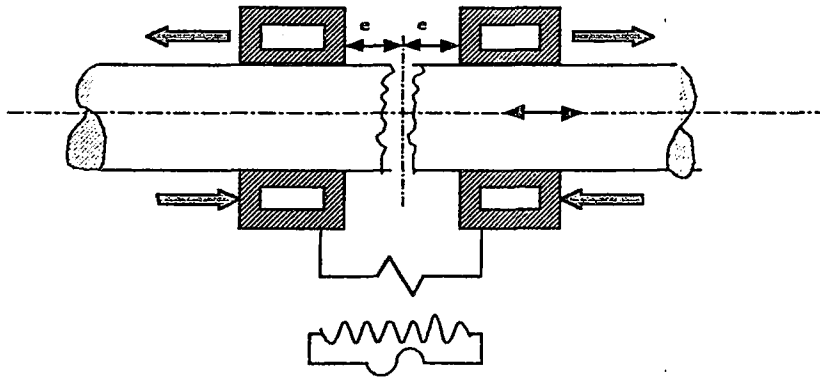
farklı metelsel malzemeler yakma ve yığma karakteristiklikleri benzer olmak koşulu ile büyük bir problemle karşılaşılmeden birbirleriyle kaynaklanabilmektedirler. Örnek olarak; alüminyum– bakır, nikel alaşımları- çelik, alüminyum– paslanmaz çelik, yalın karbonlu çelik– yüksek hız çeliği verilebilir.

Gerçekleştirmiş olduğum bu araştırmada deneysel çalışma olarak; yakma alın kaynak prosesi ile HSS çeliği ve 4140 çeliğinin birleştirilmesi incelenmiştir. Deneysel çalışmanın yakma alın kaynak yöntemi ile ilgili olmasından ötürü önceden açıklanmış olan diğer kaynak yöntemlerine oranla yakma alın kaynak prosesi detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

4.9.1 Yakma Alın Direnç Kaynağının Genel Prensibi

Yakma alın direnç kaynağında, birleştirilecek metelsel malzemelerin temas yüzeylerinden akım geçirmek koşuluyla bu kısımlar kaynak sıcaklığına getirilmektedir. Bu uygulamada, elektrod (germe elemanı) olarak tanımlanan elemanlar, parçaları tamamen veya kısmen kuşatmaktadır (Şekil 4.10). Bu germe elemanlarının özelliklerini; kaynak yapılacak parçaların şekli, büyüklüğü ve bileşimleri belirlemektedir. Germe elemanları iş parçalarının şişme doğrultusuna doğru hareketli olarak düzenlenmektedir. Bu elemanların görevleri aşağıda belirtilmektedir (ASM Committee, 1983);

- 1.) Kaynak işlemi esnasında parçaları tam ölçüsünde tutmak,
- 2.) Kaynak akımını parçalara iletmek,
- 3.) Parçalara yığma (şişirme) kuvvetini iletmektir.



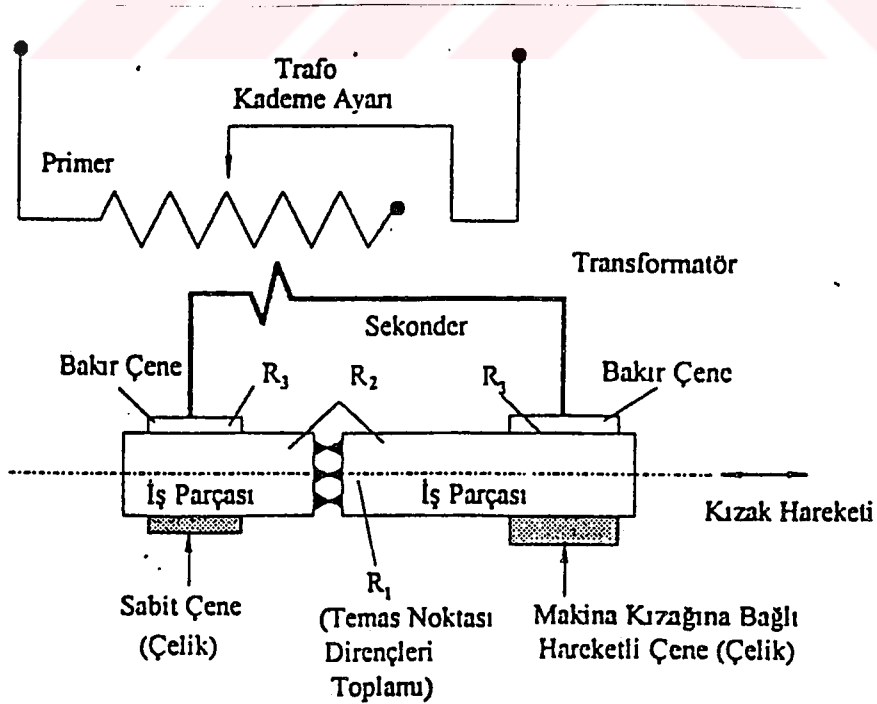
Şekil 4.10 Yakma alın direnç kaynağı esası (Makine Takım, 1999)

Yakma alın kaynağında, bütün kesitte eşit akım yoğunluğu bulunduğundan, birim yüzeyde açığa çıkan ısı miktarı da eşit olmaktadır. Bu nedenle uygulamalarda, kesitlerin eş büyüklükte

olması veya bir ön hazırlama ile koşulun sağlanması gerekmektedir. Sıkıştırma uzunluğu 'e' kaynak edilecek kesit ve malzeme türüne göre seçilmektedir. Bu uzunluk, daha iyi elektrik ve termik iletkenliğe sahip olan malzemelerde (düşük karbonlu çelik), düşük olanlara (yüksek karbonlu çelik) oranla daha büyüktür. Bu nedenle, farklı metelsel malzemelerde eş tavlama gerçekte gerçekleştirilememesi sorunu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kesit büyüdükçe kaynak akım devresinin kısaltılması gerekmektedir. Akım geçiren germe elemanlarının diyagonal düzenlemeleri ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Uygulamada akım geçişi genellikle, 4 sıkıştırıcı germe elemanı üzerinden yapılmaktadır. Akım geçirmesini üstlenmiş germe elemanlar Cu veya Cu alaşımlarından, akım geçirmeyenler ise genellikle çelikten seçilmektedir (Schwartz, 1979; Weisman, 1984b; Makine Takım, 1999).

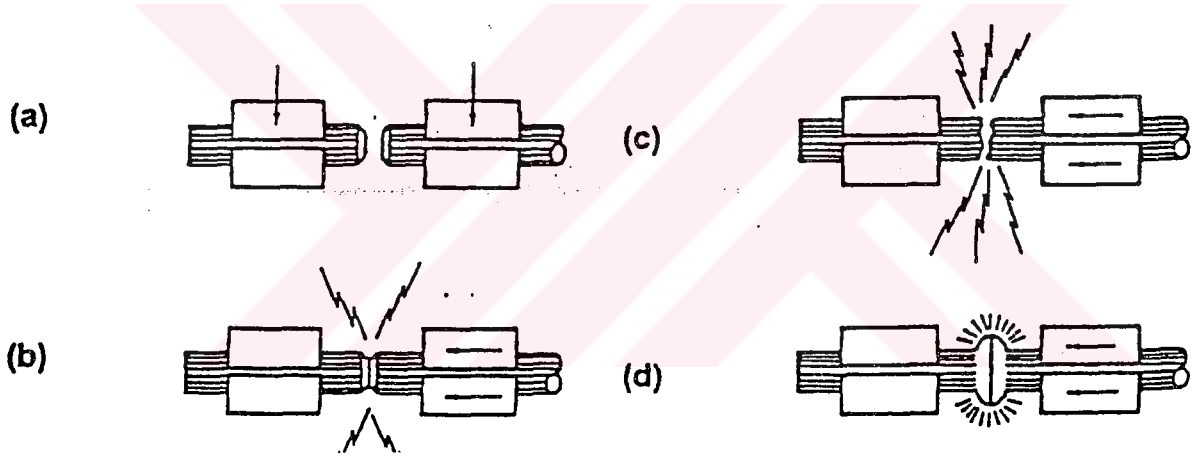
4.9.2 Yöntemin Tanıtımı

Çok iyi bilindiği gibi kaynak edilen iki metelsel malzemenin birleştirilebilmesi için, öncelikle malzemelerin alın kısımlarındaki sıcaklığı yükseltmek ve erimeyi sağlamak gereklidir. Bunun için gerekli kaynak ısı, elektrik akımının aktığı temas noktasının direnci ve yüzeyler arasındaki ark ile sağlanır. Uygulanan aksel basınç ile ergimiş metal ve oksitler dışarı sürülerek ana metal bir miktar yığılmaya uğratılır. Şekil 4.11' de yakma alın kaynak prosesinin prensip şeması görülmektedir.



Şekil 4.11 Yakma alın direnç kaynak prosesinin prensip şeması(Yılmaz, 1991)

Yakma alın direnç kaynağında kaynak edilecek parçalar düşük basınç altında birbirleriyle temas ettirilmektedir. Gerçek temas, parçaların bir önceki imal yöntemine bağlı olarak, sadece pürüzlülük uçlarında meydana gelebilmektedir. Büyük kontak direnci ve yoğun (yüksek) akım şiddetinin etkisi ile yüzey pürüzlülük uçları çok hızlı olarak ısınmakta, akışkan bir kontak köprüsü oluşmaktadır. Ergime sıcaklığına ulaşılması sonrası, magnetik alanında etkisi ile kesit üzerinde malzeme göçü başlamaktadır. Yüzey geriliminin etkisi ile köprü tabakası daima ince bir köprü oluşturmaktadır. Metal buharlaşma basıncının yüksekliği nedeni ile, ergimiş ve yanmış metalsel parçacıklar alınlarda kıvılcım demetleri oluşturmaktadır. Bu oluşum, yanma işlemi süresince, birbiri ardı sıra devamlılığını korumaktadır. Belirli bir yanma süresinden sonra, alın yüzeyleri eşit ve yeterli bir ısıya sahip olmaktadır. Son aşamada, yüzeyler hızla, vuruş şeklinde kapatılmaktadır. Böylece alınlardan cüruf, yabancı elemanlar ve akışkan malzeme fazlalığı dışarı itilmiş olmaktadır. Bu arada yanma ile oluşmuş kraterlerde kapanmaktadır. Şekil 4.12' de yakma alın kaynak prosesinin işlem sırası görülmektedir.



Şekil 4.12 Yakma alın direnç kaynak prosesinin işlem kademeleri (Weisman, 1984b)

- A-) Parçaların çeneler arasında sıkıştırılması
- B-) Parçalara yakma gerilimi ve akımın uygulanması, kıvılcım hareketinin başlaması
- C-) Normal gerilimde yakma işlemi
- D-) Yığılma uygulanması ve akımın kesilmesi

İşlem kademelerinden de anlaşılacağı üzere yakma alın kaynağı; yakma kademesi ve yığılma kademesi olmak üzere iki ana kademedir oluşmaktadır.

Yakma işlemi dirençle ısıtma işleminden önemli farklar göstermektedir. Metalik bir yüzey hiçbir zaman tam bir pürüzsüzlüğe sahip değildir. Az veya çok önemli çukurlar veya çıkıntılar yüzeyi kaplarlar. Pürüzlülüğün derecesi yüzeye uygulanan işleme bağlıdır. Yüzeydeki

pürüzler temas anında temas yüzeyinin küçük olmasına, bu da direncin artmasına neden olacaktır. Direncin büyük olması ısınma işlemini yanmaya dönüştürecektir.

Hareketli çenenin elektrik gerilimi altında hareketiyle kaynaklanacak parçaların yüzeyleri yüzeysel pürüzleri vasıtasıyla temas ederler. Temas noktalarının sayısı ve yüzeyi hareketli çenenin itme eksenine dik yüzeylerinin geometrisine ve yüzey durumuna bağlıdır.

Pürüzlerin temasında uygulanan basınç çok zayıf olduğundan temas yüzeyindeki elektrik direnci çok yüksektir. Çok yoğun bir akım geçtiğinden pürüzler çok kuvvetli bir ısınmanın merkezini meydana getirirler. Temas noktaları ani olarak ergime sıcaklığına ulaşır. Ergime halindeki bu küçük malzeme hacimleri patlarlar ve yanan zerrecikler dışarı doğru fırlarlar. Fırlamadan sonra bu temas noktaları tekrar yeni krater ve çukurlar oluştururlar. Bu kraterlerin pürüzlülük uçları tekrar temasa geçer ve böylece olay alın yüzeylerinin kaynak sıcaklığına ulaşacağı noktaya kadar devam eder (Yılmaz, 1993; Cary, 1989; Jeffus, 1993).

Yanma olayında metal zerreciklerinin yanması ve metalik buharların meydana gelmesi, birleştirilecek yüzeyleri örten sıvı metalin oksitlenmesini önler.

Ön ısıtma ve yanma işlemi çok kısa sürede meydana geldiğinden yüksek sıcaklık yalnız alın kısımlarda ve onun çok yakınında etkisini göstermiştir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldığında malzemeler aksel olarak birbirlerine bastırılır ve malzeme yığılması başladıktan hemen sonra elektrik akımı kesilir.

Yukarıda açıklandığı gibi malzemelerin alın kısımlarının kaynak sıcaklığına kadar ısıtılması elektrik akımının malzeme direnci ile temas direncinden yararlanılarak sağlanmış olur. Elektrik akımının ısıya dönüştürülmesi ise iki kademe meydana gelir.

a-) Ön ısıtma kademesi: Bu olay nispeten yavaş seyrederek birleştirilen malzemelerde geçen akım enerjisi Joule olayı ile ısıya dönüşür. Malzemelerin ısınması ile birlikte özgül elektrik dirençleri de yükselmeye başlar. Direncin artması ile azalan akım şiddeti belli bir sınıra altına düşünce yakma kademesine geçilir. Bu kademe uzun sürdüğü için malzemelerin ısı iletim katsayıları da önemlidir.

b-) Yakma kademesi: Bu kademe çok kısa sürelidir. Bu kademenin başında, kaynak aralığındaki metal erime sıcaklığına yükselmiş durumdadır. Elektrik akımının etkisi altında, kaynak aralığında metal parçacıkları buharlaşır, buharlaşan metal parçacıkları basıncın etkisi ile dışarıya fırlarlar. Metal parçacıklarının yerinden ayrılması ile beraber akım kesilir ve

elektrik arkı oluşur. Yüksek frekansla süren bu olayda buharlaşan metal parçacıkları aldıkları ısının bir kısmını çubukların alın yüzlerine bırakırlar.

Yığma kademesinde yüzeylerde mevcut olan erimiş metal ve oksitler dışarı sürülebilir. Uygulanacak yığma oranı, metal yeterli plastisiteye sahip iken, optimum yığma gerçekleştirecek ve erimiş metali katılaşmadan önce dışarı atabilecek düzeyde olmalıdır. Ayrıca kaynak bölgesinin ince taneli olabilmesi için uygun sıcaklığa ulaşıldığı anda yığma uygulanmalıdır.

Uygulanan yığma mesafesi ile, oksitler ve erimiş metal bağlantı bölgesinden uzaklaştırılabilir ve alın yüzeyler birbirleriyle çıplak olarak temas edebilir. Optimum bir kaynak kalitesi için yığma mesafesi uygun olmalıdır. Şayet kaynaklı parçalarda düzgün bir yakma sağlanabilmiş ise, daha düşük yığma mesafesi çoğu metal için uygun olacaktır. Bununla birlikte bazı ısı dirençli alaşımlar daha büyük yığma mesafeleri gerektirmektedir. Bazı durumlarda, kaynak bölgesi yakma işlemi sonrasında hızla soğumaya meyillidir. Bu durum, elverişsiz yığma ve yığılan metalde soğuk çatlak ile sonuçlanır. Bağlantı sıcaklığı, kaynak transformatöründen sağlanan akım ile sürdürülmelidir.

4.9.3 Kaynak Parametreleri

Yakma alın kaynak işleminde, optimum kaynak koşulunun sağlanması için hiçbir kaynak prosesinde gereksinim duyulmayacağı kadar değişkenin uygun bir şekilde birbirlerine uydurulması zorunluluğu vardır. Kaynak kalitesine etki eden değişkenler aşağıda verilmiştir;

1. Başlangıç ve ön ısıtma değişkenleri

- 1.1. Başlangıç çene mesafesi ayarı
- 1.2. Ön ısıtma yolu
- 1.3. Ön ısıtma zamanı
- 1.4. Ön ısıtma hızı
- 1.5. Ön ısıtma basıncı
- 1.6. Ön ısıtma gerilimi
- 1.7. Ön ısıtma akımı

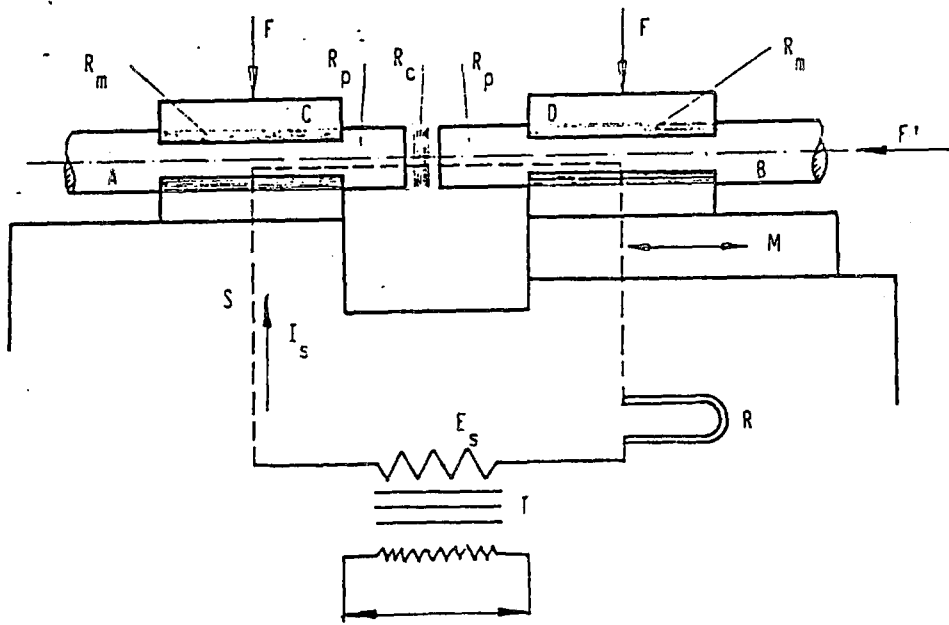
2. Yakma yolu değişkenleri

- 2.1. Yakma yolu
- 2.2. Yakma hızı
- 2.3. Yakma zamanı
- 2.4. Yakma basıncı

- 2.5. Yakma gerilimi
- 2.6. Yakma akımı
3. Yiğma ile ilgili değişkenler
 - 3.1. Yiğma hızı
 - 3.2. Yiğma zamanı
 - 3.3. Yiğma basıncı
 - 3.4. Yiğma gerilimi
 - 3.5. Yiğma akımı
 - 3.6. Yiğma akımını kesme zamanı
4. Toplam kaynak yolu
5. Toplam kaynak zamanı
6. Elektriksel değişkenler
 - 6.1. Kaynak makinasının özellikleri
 - 6.2. Yakma alın kaynaktan sonra kontrollü soğutma
7. Kaynak sonu parçaya uygulanan ısı işlemler (Yılmaz, 1993)

Yukarıda sözü edilen kaynak değişkenlerinin uygun bir şekilde ayarlanması durumunda kaynak bölgesinde arzu edilen metalürjik iç yapı ve fiziksel özellikler sağlanmış olacaktır.

4.9.4 Yakma Alın Direnç Kaynağında Dirençlerin Etüdü



Şekil 4.13 Yakma alın direnç kaynağında dirençler (Sandal, 1988)

Yakma alın kaynağında meydana gelen dirençler (Şekil 4.13);

a-) Parçaların çenelerle temas bölgesindeki temas direnci, R_m , sıkıştırma yüzeyine, sıkıştırma kuvvetine bağlıdır ve bu değişkenlerle doğru orantılıdır.

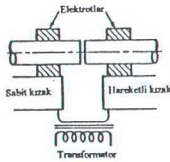
b-) Malzemelerin çenelerden taşan omik dirençleri, R_p , malzemelerin cinsine , sıcaklığına ve boyutlarına bağlıdır.

c-) Birbirlerine temas eden temas yüzeyindeki temas direnci, R_c dir. Bu dirençlerden $R_c > R_p > R_m$ dir. Yüzeyleri temas halinde olan iki parçanın temas yüzeylerindeki dirençleri aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

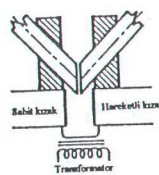
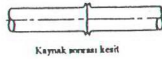
- Temas halindeki metelsel malzemelerin sertlik, mukavemet ve iletkenlik özelliklerine,
- Metallerin yüzeylerinin hazırlanma şekline,
- Temas halindeki yüzeylere etkileyen basınç şiddet ve türüne,

4.9.5 Bağlantı Tasarımı

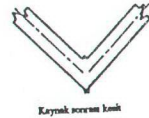
Yakma alın kaynak prosesinde kullanılabilcek bağlantı tasarımları Şekil 4.14'de görülmektedir. Tasarımda dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri kaynak edilecek metelsel malzemelerin bağlantıda aynı dik kesite sahip olmalarıdır. Büyük kesitlerin kaynak işlemi ile birleştirilmesi durumunda ise yakma olayının başlatılabilmesi için alın yüzeylerde pah oluşturulmalıdır (Şekil 4.15). Alın yüzeylerinde oluşturulan bu pahların amacı normalden daha yüksek yakma gerilimi kullanılması gerekliliğini ortadan kaldırmaktır.



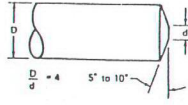
(a) Eş merkezli kaynak



(b) Açılı kaynak

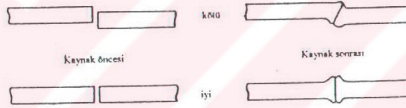


Şekil 4.14 Yakma alın direnç kaynak prosesi bağlantı tasarımları(Weisman, 1984b)



Şekil 4.15 Büyük parçalarda yakma olayının başlatılabilmesi için pah oluşturulması(Yılmaz,1993)

Kaynak edilecek parçaların bir merkezde olması çok önemlidir, aksi durumda yakma sadece karşılıklı gelen yüzeylerde oluşur ve ısıtma üniform olmaz. Dolayısıyla yığıma sırasında parçalar kayma eğilimi gösterir (Şekil 4.16). Kaynaklı bağlantıda oluşan dışarı taşıma genellikle alınmalıdır. Geniş kesitli malzemelerde yığımanın alınmaması çekme mukavemetini bir miktar artırırken , çentik etkisinden dolayı yorulma mukavemetini azaltır.



Şekil 4.16 Bağlantı tasarımına parça merkezlenmesinin etkisi (ASM Committee, 1983)

4.9.6 Yakma Alın Kaynak Prosesinin Avantaj ve Dezavantajları

Yakma alın kaynak prosesinin önemli avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Dairesel kesitli parçalar dışında, belli açığa sahip, H kesitli veya dörtgen kesitli parçalar da kolaylıkla kaynak edilebilir, özellikle dönele bir kesite gerek yoktur.
- Bir sınıra ihtiyaç göstermeksizin, çakışık eksenli veya birbirleri ile bir açı yapan şekilde olan aynı kesitli parçalar kaynak edilebilir.
- Temas yüzeylerindeki ergimiş metal filmi ve bunun yığıma esnasında dışarı fırlaması, yüzeydeki süreksizlikleri de giderir.
- Temas yüzeylerinin hazırlığı, ilk temas yüzeyini daraltmak için ahnları yuvarlatılan geniş kesitli parçalar hariç, önemli bir hazırlık gerektirmez.
- Yakma alın kaynak prosesinde ITAB daha dardır.

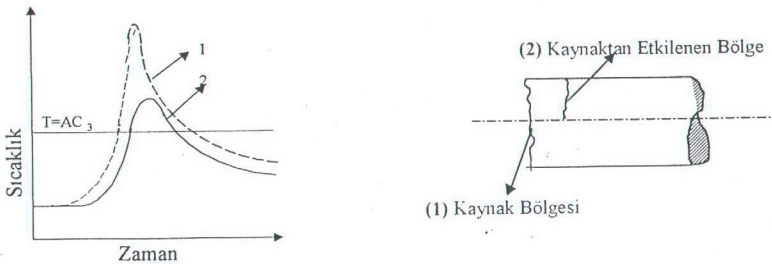
Yakma alın kaynak yönteminin dezavantajları ise;

- Tek fazlı yüksek güç gereksinimi, üç fazlı primer güç hatlarında dengesizlik oluşturur.
- Yakma işlemi sırasında dışarı fırlayan ergimiş metal zerrelere çevreye zarar verir.
- Yanan ve yığılan metalin alınması genellikle gereklidir ve özel teçhizat gerektirir.
- Küçük kesitli parçaların merkezlenmesi zordur.
- Kaynak edilecek parçalar dik kesite sahip olmalıdır.

4.9.7 Yakma Alın Kaynak Prosesinin Malzeme Üzerindeki Etkileri

Aynı kesite ve özelliklere sahip malzemelerin kaynağında, her bir parçada kaynak süresi boyunca ısı iletimi aynı, dolayısıyla yanma ve yığıma aynı olacaktır. Eğer farklı metallerin kaynağı söz konusu olur ise, yanma sırasında metal kaybı her bir malzeme için farklı olacaktır. Bu davranış malzemelerin elektriksel ve ısıl özellikleri ile erime noktalarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu durum bağlantı kalitesi üzerinde çok etkilidir.

Parçaların birleştirilecek kısımları, hemen hemen noktasal yani çok yoğun ısı uygulamasıyla yerel olarak eritilir. Isının akım vasıtasıyla yoğun olarak sağlanması çok yüksek ısıtma ve soğutma hızlarının ortaya çıkmasına neden olur. Ancak en yüksek sıcaklıkta kalma süresi en çok birkaç saniyedir (Şekil 4.17).

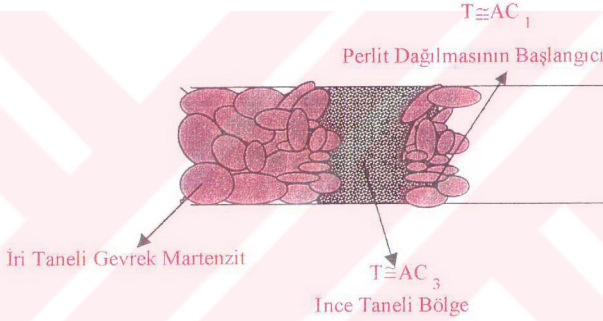


Şekil 4.17 Kaynak bölgesinde ve kaynaktan etkilenen bölgede zaman-sıcaklık değişimi(Makine Takım, 1999)

Kaynak sırasında uygulanan bu ısı işlem tekniğe uygulanan ısı işlemlerden belirgin farklılıklar göstermektedir;

a-) Isıtma hızları çok yüksektir; büyük sıcaklık farklılıklarından dolayı iç gerilmeler ortaya çıkar. İç yapı dönüşümleri ($\alpha \rightarrow \gamma$) sürenin kısıllığı nedeniyle tam olarak gerçekleşemez. Aynı nedenle karbürler, içyapı homojensizlikleri (segregasyonları) tümüyle çözünemez ve dolayısıyla giderilemezler.

b-) Erime bölgesi sınırının yakınında ulaşılan maksimum sıcaklıklar çok yüksektir ve çok kısa sürmelerine rağmen malzeme özelliklerini büyük ölçüde etkilerler. Ulaşılan bu yüksek sıcaklıktan dolayı yeterli süre sağlandığı zaman içyapıda tane kabalaşması meydana gelir ve dolayısıyla malzeme tokluğu düşer (Şekil 4.18- 4.19).



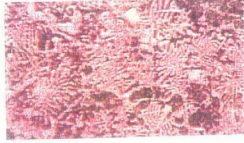
Şekil 4.18 Kaynak bölgesinden (sol kısım) içeri doğru malzeme iç yapısının ısıdan dolayı etkileşimi (Makine Takım, 1999)



Şekil 4.19 4140 çelik malzemede yakma alın kaynak prosesi sırasında yüksek sıcaklıktan dolayı kaba tane oluşumu (ferrit + perlit) (Makine Takım, 1999)

Ayrıca HSS (yüksek hız çeliği) malzemede görülen bir diğer iç yapı değişimi, ledaburitik veya dendritik yapı oluşumudur (Şekil 4.20-4.21). Ergime sıcaklığına ulaşıldığı zaman

kararlı bir soğuma ile tane sınırlarında karbür çökelmeleri oluşur ve bu da malzemenin gevrek özellik kazanmasına neden olur.



Şekil 4.20 HSS malzemede kaynak bölgesindeki aşırı ısınmadan dolayı oluşan dendritik yapı ve birleşmiş karbürler (Makine Takım, 1999)



Şekil 4.21 Kaynak bölgesinde yüksek sıcaklıktan dolayı ledaburitik yapı oluşumu (Sertlik: 400-500 HV10) (Makine Takım, 1999)

c-) Soğuma hızlarının yüksek oluşu, tehlikeli iç gerilme durumlarının ve östenite dönüşmüş bölgelerde martenzit oluşumuyla istenmeyen sertlik tepelerinin ortaya çıkmasına neden olur.

Sistemde ısının verilışı ne kadar yoğun olursa, sıcaklık gradyeni o kadar dik, yani ısıdan etkilenen bölge o kadar dar olur. Fakat oluşan bu yüksek sıcaklık gradyeninden dolayı iç yapı farklılıkları ve dolayısıyla ;

- Biçim değışiklikleri (çarpılma , büzülme) ve/ veya
- İç gerilmeler meydana gelir.

Oluşan bu gerilmeler ancak gerilim giderme ve tane boyutlu homojenizasyonu amacıyla yapılacak ısı işlemleri ile giderilebilir.

4.9.8 Farklı Metalsel Malzemelerin Yakma Alın Kaynak Kabiliyeti

Aynı kesite ve özelliklere sahip metalsel malzemelerin kaynağında, her bir parçada kaynak süresi boyunca, ısı iletiminin aynı olması dolayısıyla yanma ve yığıma aynı olacaktır. Eğer

farklı metelsel malzemelerin kaynağı söz konusu olursa, yanma sırasında metal kaybı her bir metelsel malzeme için farklı olacaktır. Bu davranış malzemelerin elektrikselsel ve ısıl özellikler ile erime noktaları arasındaki farklılıklara bağlanmaktadır ve bu durum bağlantı kalitesi üzerinde çok etkilidir.

Bir çok demir ve demir dışı metaller yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilebilmektedir. Yakma alın kaynak prosesi ile, yalın karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, korozyon ve ısı dirençli alaşımlar, Al alaşımları, Ni alaşımları, Cu alaşımları ve Ti alaşımları kaynak edilebilir. Ancak Ti alaşımları gibi kuvvetli reaktif malzemeler ançak soygaz koruması altında kaynak edilebilirler.

Kaynak edilecek parçaların değişik alaşımlarda oluşu, parçaların kaynak özellikleri ile sıcak dövme şartlarının uyumsuzluğuna neden olmakta bu ise bir çok teknolojik problemleri beraberinde getirmektedir. Bu problemlerin başında gelen, kaynak bölgesindeki aşırı sertleşme ve yumuşmaları engellemek, ısının tesiri altındaki bölgenin genişliğini azaltmak ve hatta çatlamaları önlemek için kaynak makinasının çeşitli değişkenlerinin uygun bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

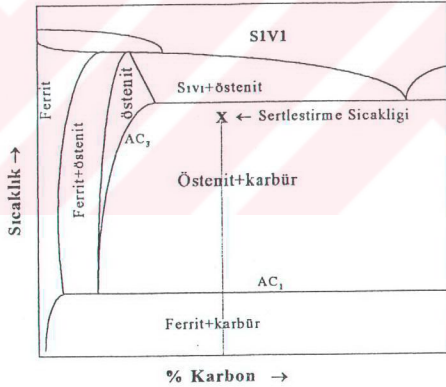
Farklı alaşımdaki malzemelerin yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilmesi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. 1961 senesinde 'Takım Sanayinde Alın Kaynağı' başlıklı pratik tavsiyeler içeren bir yayın yayınlanmıştır. Bu yazıda, HSS çeliği ile alaşımsız karbon çeliğinin yakma alın kaynağı için makina parametreleri üzerinde durulmuş ve bilhassa bazı hataları önleyici pratik önlemler alınmıştır. Farklı malzemelerin yakma alın kaynağı ile ilgili detaylı çalışma Civelekoğlu (1971), tarafından yapılmıştır ve bu çalışmada; yakma alın kaynak prosesi ile farklı malzemelerin birleştirilmesi sonucunda oluşan kaynak bölgesinde sert bir parlak şeridin oluştuğu, yumuşatma tavlamasından sonra ise parlak şeridin yumuşadığını bu defa onun yanında bir de ferritik esas yapıdan daha yumuşak bir yapıdan söz edilmektedir. Ayrıca yine bu çalışmada yakma hızının yükselmesi ile birlikte, parlak şerit genişliği, ferrit şeridi genişliğinin ve tav bölgeleri genişliklerinin arttığından bahsedilmektedir. Civelekoğlu gerçekleştirmiş olduğu bu çalışmada S 6-5-2/ Ck60 çelik çiftini yakma alın kaynak prosesi ile birleştirmiştir. Ayrıca Civelekoğlu kaynak sonu yumuşatma tavlaması uygulanmış numunelere, çekme deneyi uygulanmış ve kaynak sonu kırılmalar genellikle kaynak bölgesinde hemen karbon çelik tarafında oluşmuştur (Civelekoğlu, 1971).

S.A. Westgate (1985), tarafından C/ Mn çelikleri için yapılan çalışmada, hem yakma alın kaynağı hem de sürtünme kaynağı yapılarak elde edilen numunelere çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Yakma alın kaynaklı bağlantılar ana metale yakın çekme ve eğme özellikleri

çeliğin sertleştirme amacıyla ısıtılmasından daha çabuk östenitik yapıya ulaşılır. Uygulama sonucu elde edilecek yapıya; çeliğin bileşimi, başlangıç yapısı, tavlama sıcaklığı, ısıtma ve soğutma hızları, bekleme süresi gibi bir çok faktör çok yönlü olarak etki eder (Güleç ve Aran,1993).

4.9.8.1.1 Tavlama Sıcaklığı

Isıtma sıcaklığı çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Sıcaklığın en azından ötektoidaltı çeliklerde AC_3 , ötektoidüstü çeliklerde AC_1 değerlerini aşması gerekmektedir. Sıcaklıkların bu sınırların dışına çıkması, kuvvetli tane büyümesine yol açacağından uygun değildir. Düşük karbonlu çeliklerde bu önemli bir problemidir. Fakat HSS gibi yüksek karbon ve alaşımli çeliklerde tane büyümesi karbürlerin önleyici etkisinden dolayı engelleneceğinden daha yüksek sıcaklıklara çıkılabilmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Tipik bir HSS Fe-C denge diyagramı (Makine Takım, 1999)

4.9.8.1.2 Tavlama Süresi

Çözülmeler sonucu meydana gelen östenit kristallerinde difüzyon olayı ile karbonun dağılması ve ötektoidüstü çeliklerde sementitin şekillenmesi gerektiğinden, parçanın çekirdeğinde işlem sıcaklığına ulaşıldıktan sonra belirli bir sürenin geçmesi zorunludur.

gösterirken son derece kötü çentik darbe özellikleri göstermektedir. Bununla beraber S.A.Westgate normalize ısıtma işlemi görmüş numunelerde kısa süre, yüksek akım uygulamasının ve yüksek yığıma basıncı değerlerinin çentik darbe özelliklerini iyileştirdiğini tespit etmiştir. Bu bağlantıda 30 MPa değerinde bir yığıma basıncı uygun eğme özellikleri verirken, çentik darbe mukavemeti için yığıma basıncının 70 MPa değerine yükseltilmesi gerekmiştir. Yapılan bu çalışmada kaynak sonrası yakma alın kaynaklı parçaların çentik darbe tokluğunun çok düşük olduğu, normalizasyon ısıtma işlemi ile bu durumun ancak % 50- 70' i oranında bir seviyeye getirilebildiği tespit edilmiştir. Sertleştirilip temperlenmiş ya da sadece temperlenmiş numunelerde daha düşük darbe özellikleri belirlenmiştir (Westgate, 1985).

Bu araştırma için gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışma MAKINA TAKIM A.Ş.' de gerçekleştirilmiştir. Makine Takım A.Ş fabrikasında yakma alın kaynak prosesi kesici takımların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kesici takım imalatında gerek ekonomiklik gerekse istenen özellikleri sağlama açısından HSS çeliği ile 4140 çeliği birleştirilmektedir. HSS malzeme kesici takımın kesici kısmını ve 4140 çeliği ise kesici takımın sap kısmını oluşturmaktadır. Kesici takımın kesici kısmından ve sap kısmından beklenen özelliklerin farklılığı ve iki malzeme arasındaki on misline varan fiyat farkı bu iki malzemenin birleştirilerek kullanılmasını gerektirmiştir.

Makine Takım Endüstrisi A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilen detaylı bir araştırma ile HSS çeliği ve 4140 çeliğinin yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilmesi incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda iç yapıda oluşan iç gerilmelerin gerilme giderme tavlamasını takiben gerçekleştirilen normalizasyon tavlaması sonucunda minimum düzeye indirildiği tespit edilmiştir (Makine Takım, 1999).

4.9.8.1 Yakma Alın Direnç Kaynak Prosesinde Normalizasyon Tavlaması

Alın direnç kaynağı sonrası dengesiz sıcaklık akımı nedeniyle genellikle iç yapıda kalıcı iç gerilmeler oluşacaktır. Eğer bu iç gerilmeler, malzemelerin elastiklik ve akma sınırlarını aşarsa, plastik şekil değiştirmeyi meydana getirmektedirler. Ayrıca bu iç gerilmeler kopma gerilmesine ulaşır ve aşarlarsa, plastik deformasyonla birlikte kırılma meydana gelecektir.

Normalizasyon olarak adlandırılan normal tavlama işlemi, daha çok çeliklerin tane yapısının inceltilmesi için uygulanır. Tane küçülmesinin yanı sıra, iç yapı daha homojen hale gelir ve mekanik özelliklerde iyileşme meydana gelir. Normalizasyon tavlaması sonunda, karbürlerin daha ince lameller haline gelmesi ve tane sınırı karbürlerinin küreselleşmesinden dolayı,

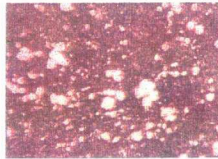
Ayrıca özellikle kalın çaplı parçalarda iç ve dış sıcaklık değerlerinin aynı olması içinde belirli bir süre geçmesi gerekmektedir. Tavlama sıcaklığının bağlı olduğu etkenler (Kou, 1987);

- Çözülen sekonder yapının tane büyüklüğü (tanede karbon dağılımı)
- Çeliğin karbon miktarı ve alaşım durumu (ısı iletme kabiliyeti)
- Tavlanan parçanın kalınlığıdır.

Östenitik yapının tane büyüklüğü ne kadar ince ise, sekonder yapıda o kadar ince olacağından, ısıtmada dönüşüm bölgesi mümkün olduğu kadar hızlı geçilmelidir. Bu nedenle eğer mümkünse normalizasyon sıcaklığının altında ön ısıtma ve sıcaklık dengelemesi yapılması (ani ısıtma ile oluşabilecek gerilmelerin oluşmaması amacıyla) ve ardından dönüşüm bölgesi hızlı geçilecek şekilde işlem sıcaklığına çıkılması, yalnızca ısıtmanın güvenliği açısından değil, aynı zamanda daha ince taneli sekonder yapıya ulaşmak içinde büyük yarar sağlar (Honeyvombe, 1995).

4.9.8.1.3 Normalizasyon Tavlamaında Soğutma

Soğutma işleminde, genellikle normal hava soğutmasıyla yeterli ince sekonder yapıya ulaşılabilir. Fakat HSS malzemelerde oda sıcaklığında soğutma ile martenzitik yapı elde edileceğinden, kontrollü ve yavaş soğutma ortamı kullanılır ve böylece, gerilme içermeyen, yumuşak bir iç yapı elde edilir. Genellikle istenmeyen gerilmelerden kaçınmak için, hızlı soğutma 760°C ' de kesilir ve devam eden soğutma fırında gerçekleştirilir. Fakat, fırında soğutmada parçanın çekirdeği yavaş soğuyacağından, özellikle kalın parçalarda çekirdek sıcaklığının işlem sıcaklığına ulaşmasına izin verecek kadar süre seçilmesi gerekmektedir. Aksi halde çekirdeğin ısıyla cidarların ısınabileceği de düşünülmektedir. Şekil 4.23' de normalizasyon sonrası HSS malzeme iç yapısı görülmektedir.



Şekil 4.23 Normalizasyon sonrası HSS malzeme iç yapısı (Perlit+ Karbür, Sertlik: 283 HV10)

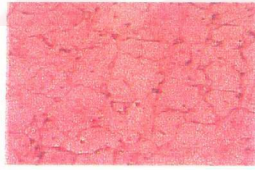
4.9.8.2 Dekarbürizasyon

Yakma alın direnç kaynak prosesinde kullanılan yüksek tavlama sıcaklıkları, eğer fırın içerisinde kontrollü bir atmosfer oluşturulmazsa oksidasyon ortamı oluşmasına neden olur. HSS malzeme bünyesindeki yüksek karbonun oksijene afinitesinden (ilgisi) dolayı sıcaklığa bağlı olarak CO ve CO₂ gazı oluşarak malzemenin dekarbürize olmasına neden olur. Dekarbürizasyonla birlikte ölçü hassasiyetini olumsuz yönde etkileyen tufallaşmada aynı ortamda meydana gelebilmektedir.

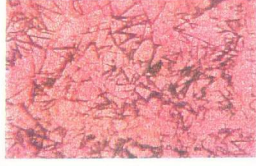
Dekarbürizasyon, iç yapı değişimine ve iç yapının değişmesinden kaynaklanan sertlik farklılıklarına neden olur.



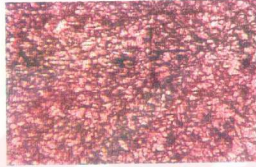
Şekil 4.24 4140 malzeme yüzeyinde yüksek sıcaklıktan dolayı oluşan dekarbürize olmuş kaba taneli yapı (Ferrit, sertlik: 145 HV₁₀) (Makine Takım, 1999)



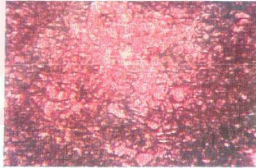
Şekil 4.25 HSS malzeme yüzeyindeki, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı (Ferrit + Karbür, Sertlik: 571 HV_{0,5}) (Makine Takım, 1999)



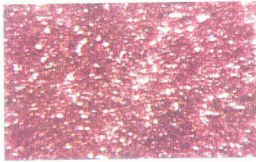
Şekil 4.26 HSS malzeme yüzeyinden 0,97 mm mesafede, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı (Ferrit + İğnesel Martenzit + Karbür, Sertlik: 663 HV_{0,5})(Makine Takım, 1999)



Şekil 4.27 HSS malzeme yüzeyinden 1,67 mm mesafede, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı (Ferrit + İğnesel Martenzit + Karbür, Sertlik: 720 HV₁) (Makine Takım, 1999)



Şekil 4.28 HSS malzeme yüzeyinden 2,34 mm mesafede, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı (Ferrit + İğnesel Martenzit + Karbür, Sertlik: 789 HV₁) (Makine Takım, 1999)



Şekil 4.29 HSS malzeme yüzeyinden 7,52 mm mesafede, meneviş sonrası dekarbürizasyon yapısı (İnce iğneli martenzit + Karbür, Sertlik: 853 HV₁) (Makine Takım, 1999)

5. FARKLI METALSEL MALZEME KAYNAK KOMBİNASYONLARI

5.1 Paslanmaz Çelik – Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik

Östenitik, ferritik veya martenzitik paslanmaz çelik malzemelerle, yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımli çelik malzemeler, her iki metelsel malzemedeki ergimeyi tolere edebilecek, bağlantı da çatlaklara sebebiyet vermeyecek uygun bir ilave malzeme kullanmak koşuluyla ergitme kaynağı yöntemleri ile birleştirilebilirler. Östenitik paslanmaz çelik veya nikel alaşımli ilave malzemeler en sık kullanılan ilave malzemeler olarak göze çarpmaktadır. İlave malzeme seçimi uygulamaya veya işletme koşullarına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir (Barnhouse ve Lippold, 1998).

5.1.1 Karbon Yayınımı

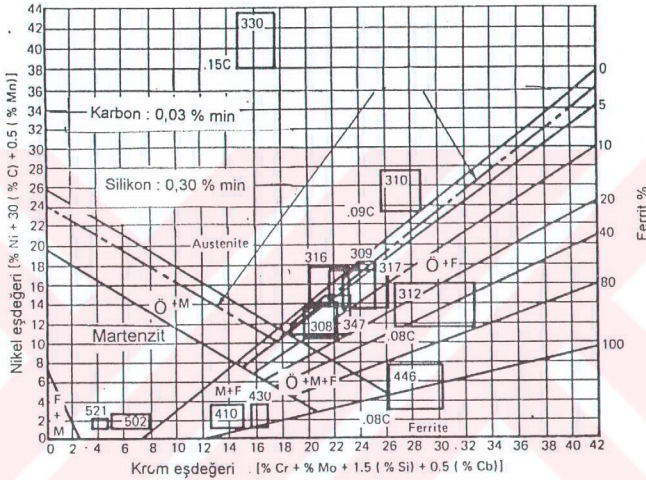
Çelik malzemedeki kromun, demire oranla karbona karşı daha fazla afinitesi vardır. Yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımli çeliğin, önemli miktarda krom içeren bir çelik ilave malzeme ile kaynağında, karbon 430°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda esas metalden ergiyerek, kaynak metalinin içinde yayılacaktır. Yayılma hızı sıcaklığın bir fonksiyonudur ve 600°C ve üzerindeki sıcaklıklarda yayılma hızı daha hızlı bir şekilde artış gösterecektir. Karbon yayınımlı 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 alaşımli 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 ITAB'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 ısıl genleşme katsayılarının farklılıklarından dolayı ITAB' lerde değişken makaslama gerilmeleri oluşacaktır. Bu gerilmeler, kaynak ara yüzeyinin yanındaki karbonsuzlaşmış band da yorulma zorlamalarına sebep olacaktır.

5.1.2 Östenitik Paslanmaz Çelik Tür İlave Malzeme

Olaya ticari açıdan bakmak gerekirse piyasada çok sayıda östenitik paslanmaz çelik ilave malzeme bulunmaktadır. En çok kullanılan paslanmaz çelik ilave malzemelerin mikro yapısal faz değişimleri Şekil 5.1' de ki Schaeffler diyagramında görülmektedir. Bazı durumlarda mikroyapı tamamen östenitiktir. Alaşım bileşiminin miktarına bağlı olarak mikroyapı bazı durumlarda ise bir miktar delta ferrit içermektedir (Weisman, 1984a; Barnhouse ve Lippold, 1998).



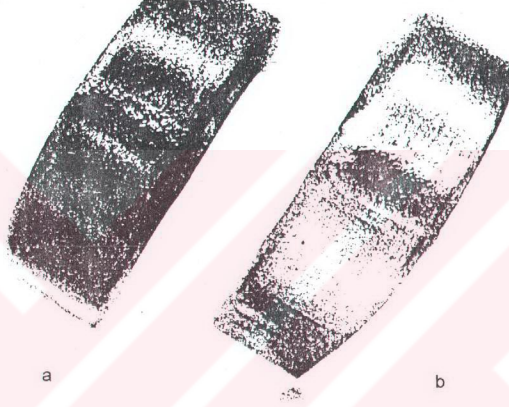
Şekil 5.1 Paslanmaz çelik ilave malzemelerin Schaeffler diyagramında ki konumları(Weisman, 1984a)

Yüksek sıcaklıktaki işletme şartlarında çalışan paslanmaz çelik boru sistemlerinin kaynağında ER16-8-2 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.

5.1.3 Nikel Alaşım İlave Malzeme

Paslanmaz çeliğin, yalın karbonlu çeliğe veya düşük alaşımli çeliğe kaynağında nikel alaşımli ilave malzemeler de kullanılabilir. Bu uygulamalar için kullanılması tavsiye edilen ilave malzemeler; ENiCrFe-2 veya 4 tip örtülü elektrodlar veya ERNiCr-3 tip çıplak

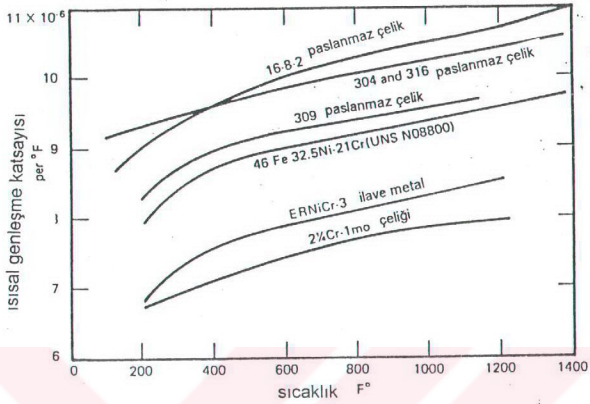
elektrodlardır. Fakat diğer nikel alaşımlı ilave malzemelerde bu uygulamalar için uygun olabileceklerdir. Şekil 5.2' de 304 tip paslanmaz çelik ve düşük alaşımlı çelik farklı metalse malzemelerinin birleştirilmesi ile elde edilen iki adet enine bükme numunesi görülmektedir (Weisman, 1984a). Bu birleştirmelerin birinde ERNiMo-3 tip ilave malzemesi diğerinde ise 67Ni-16Cr-15Mo-2Co ilave malzemesi kullanılmıştır. Bu birleştirmeler, nikel alaşımlı ilave malzemelerin iyi genleşebilirlik özelliklerine işaretir (ASM Committee, 1983; Barnhouse ve Lippold, 1998; Weisman, 1984a).



Şekil 5.2 304 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

5.1.4 İşletme Koşulları

Şekil 5.3' de sıcaklığın fonksiyonu olarak bazı alaşımların ısıl genleşme katsayıları değişimleri görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere 2-1/4Cr-1Mo çeliğinin ısıl genleşme katsayısı 304 ve 306 östenitik paslanmaz çelik malzemelerin ısıl 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 ısıl genleşme katsayıları arasındaki farkla orantılı olduğu düşünülürse, işletme koşullarındaki bu sıcaklık değişimi, çok farklı ısıl genleşme katsayılarına sahip malzemeler için büyük tehlikeler oluşturacaktır (Weisman, 1984a; Barnhouse ve Lippold, 1998).



Şekil 5.3 Sıcaklığın fonksiyonu olarak ısısal genişleme katsayısı değişimi (Weisman, 1984a)

Farklı metelsel malzemelerin birleştirilmesindeki tecrübeler, işletme koşullarında bazı bozuklukların ortaya çıkabileceğini göstermiştir. Östenitik, ferritik çelik bağlantılarında bağlantı bozukluklarının çoğu, kaynak ara yüzeyine komşu ferritik çelik ITAB'de 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 genişleme katsayılarının farklılıklarının sebep olduğu, yüksek gerilmeler ve ara yüzeydeki büzölmeler.
- 2-) Ferritik çelikten, paslanmaz çeliğe karbon yayınması ve bunun sonucu olarak ferritik çelik ITAB' nin zayıflaması.

5.1.5 Östenitik Paslanmaz Çelik – Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik

Östenitik paslanmaz çelikler, yalın karbonlu çeliklere, düşük alaşımli çeliklere ve krom çeliklerine uygun yöntemin seçilmesiyle başarılı bir şekilde kaynak edilebilirler.

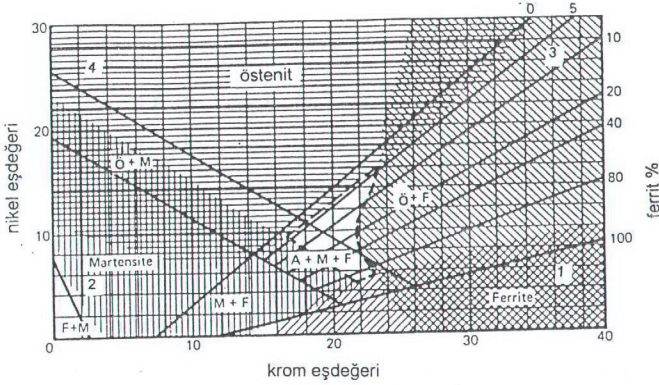
Östenitik paslanmaz çelik elektrotlar farklı metallerin birleştirilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Farklı metelsel malzemeleri birleştirmek için kullanılacak olan ilave

malzemenin seçiminde; ilave malzemenin ergimesinin esas metallere etkisi ve gerçekleştirilen bağlantının kullanılacağı işletme şartları göz önünde bulundurulmalıdır.

Kıscacası 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 metelsel 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 5.4' deki Schaffler diyagramında Cr ve Ni eşdeğerliklerine bağlı olarak, istenmeyen gevrek yapıların ve kırılmaların meydana gelebileceği kaynak metali kompozisyonları görülmektedir. Schaffler 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. Kıscaca ifade etmek gerekirse, uygun ilave malzeme ve kaynak yöntemi seçimi ile kaynak metali bileşiminin bu bölgeye denk gelmesi istenmektedir (Beres, 1998; Weisman, 1984a).



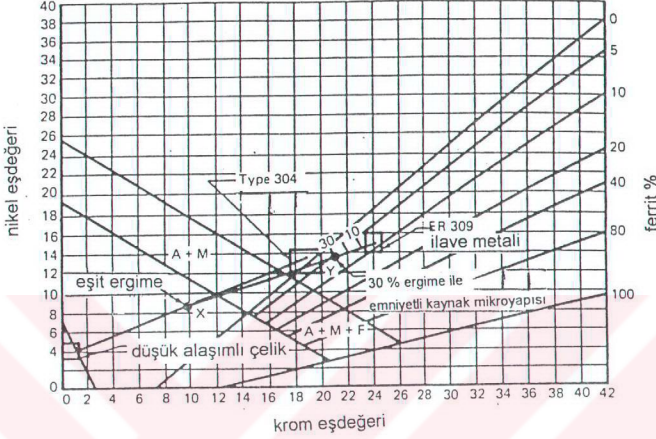
Şekil 5.4 Paslanmaz çelik kaynak metali bileşimlerinin Schaeffler diyagramında incelenmesi (Beres, 1998)

Schaeffler diyagramında ki alanlar ve özellikleri;

- **Alan 1** - Cr miktarı yüksek, C miktarı düşük paslanmaz çelikleri içine alır. Kaynak dikisine komşu bölgede 1150°C ' nin üzerinde tane büyümesi oluşur. Gevrekleşme sorunu görünür (Konig, 1998).
- **Alan 2** - Cr ve Ni eşdeğerleri düşük çelikleri içine alır, C miktarı % 0.3- 0.5 arası olan çeliklerde 400°C ' nin altında sertleşme çatlama eğilimi artar.
- **Alan 3** - Cr' ca zengin paslanmaz çeliklerde, ferrit yüzdesinin % 10' un üzerinde bulunması halinde 500– 900 °C sıcaklık aralığında σ genişmesi 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 düştükçe östenitik martenzitik yapıya sahip bölge. Bu bölgede 1250°C ' nin üstünde sıcak çatlama eğilimi, Ni oranı azaldıkça yükselir (Konig, 1998).

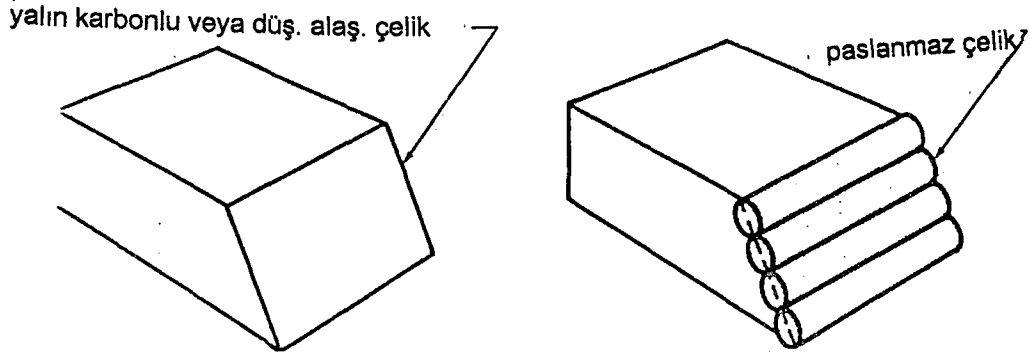
Schaeffler diyagramı, paslanmaz çelik ile yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı çelik malzemelerin birleştirilmesinde, kaynak metalinin mikroyapısının tahmin edilmesi amaçlı olarak da kullanılabilir. Şekil5.5' de prosedürün bir uygulama ile örneklendirilmesi

görülmektedir. Bu uygulamada düşük alaşımlı çelik ve 304 tip paslanmaz çelik malzemeleri ER309 tip paslanmaz çelik ilave malzemesi kullanılarak kaynak edilmiştir.



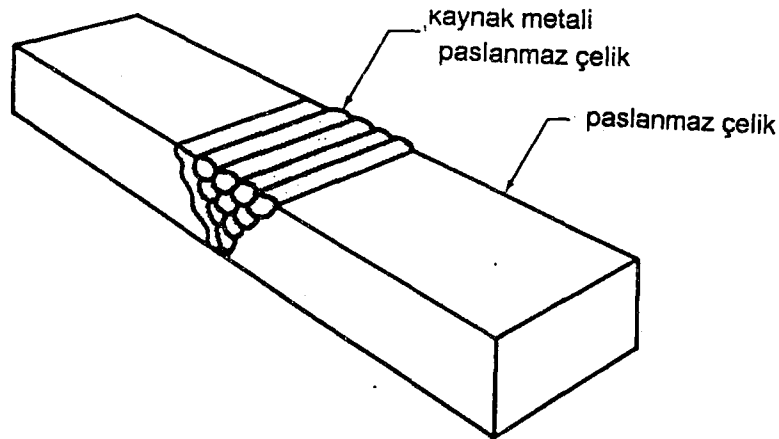
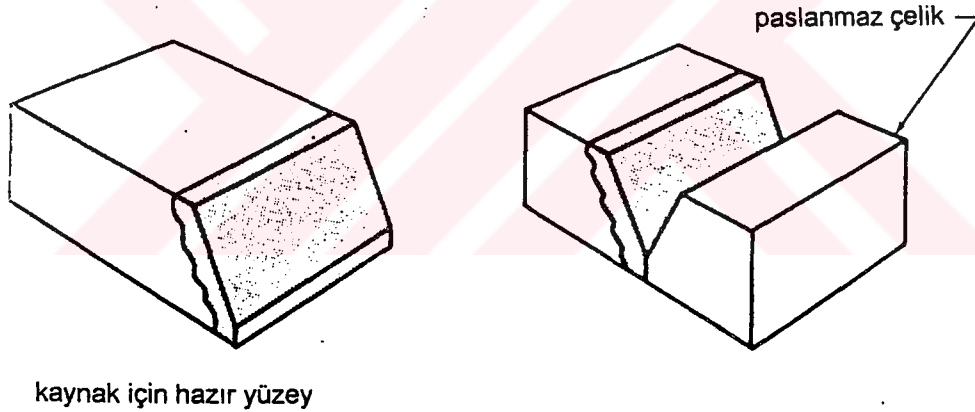
Şekil 5.5 Düşük alaş. çelik ve 304 tip paslanmaz çelik malzemelerinin Er 309 tip ilave malz. kullanılarak birleştirilmesinin Schaeffler diyagramında incelenmesi (Weisman, 1984a)

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 bağlı ergimeyi gösterir. Eğer ki birleştirilen metinsel 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 bölgedir. 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 5.6)(Weisman, 1984a).



Şekil 5.6 Yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımlı 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 5.7).



Şekil 5.7 Yalın karbonlu veya düşük alaşımlı çelik malzemenin paslanmaz çelik ile kaynağı (Weisman, 1984a)

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

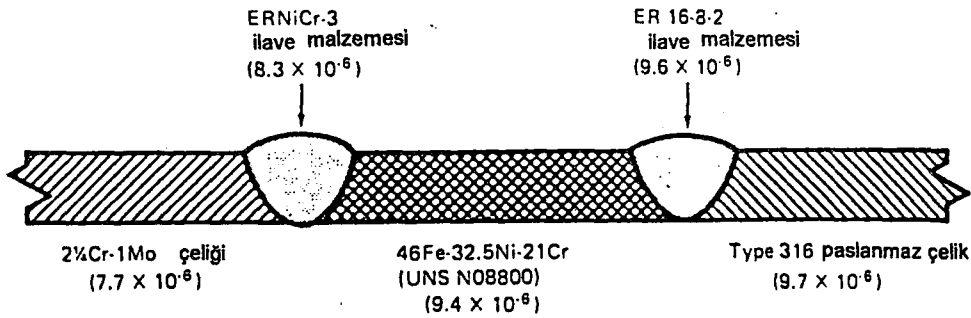
Bu sebepten 375°C' nin üzerinde ki sıcaklıklar da nikel alaşımlı ilave malzemelerden birinin kullanılması uygun olacaktır. Nikel alaşımlı ilave malzemeler değişken sıcaklıkta ki işletme koşullarına maruz kalan bağlantılar için bazı avantajlar sağlamaktadır. (kaynak işlemi esnasında kırılma hassasiyeti yaratmadan esas metallerdeki ergimeleri tolere edebilmekte ve düşük alaşımlı çelik malzemedan, kaynak metaline olan karbon yayılmasını minimum seviyeye indirebilmektedir.) Nikel alaşımlı ilave malzemelerin ısıl genişleme katsayıları düşük alaşımlı çeliğin ısıl genişleme katsayısına yakınlık göstermektedir (Şekil 5.3). 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 arayüzey 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 ITAB' 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 genleşme katsayısı, iki esas metalin ısıl genleşme katsayısını ortalayacak şekilde olmalı ve bu üçüncü metelse 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 5.8' de görülmektedir. Gerçekleştirilen bu tasarımın bir dezavantajı ise, bir kaynak bağlantısı yerine iki kaynak bağlantısına ihtiyaç duyulmasıdır. Şekil 5.8' 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 5.8 Düşük alaşımlı çelik ve paslanmaz çelik malzemelerinin değişken işletme sıcaklıklarını karşılayabilecek kaynak tasarımı (ASM Committee,1983)

5.1.6 Krom Paslanmaz Çeliği – Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik

Krom paslanmaz çeliğinin, yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımli 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 alaşımli çelik malzeme ile kaynağında, uygulamanın işletme şartlarını karşılayabilmesi için, düşük alaşımli çelik malzeme ile aynı bileşime sahip bir ilave malzeme kullanılması gerekmektedir. Krom çeliğinin ergime oranına bağlı olarak kaynak metalinde toplanacak krom miktarının, düşük alaşımli 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 alaşımli çeliklere kaynağının mümkün olduğu fikrine varılmıştır.

5.1.7 Östenitik Mangan Çeliği – Yalın Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik

Östenitik mangan çeliğinin, yalın karbonlu çeliğe veya düşük alaşımli çeliğe kaynağında uygun proses ile birlikte mangan alaşımli 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 alaşımli çelik malzemede ki ergime oranının % 25' in altında olduğu durumlarda elde edilmiştir. Aksi durumlarda kırılma tehlikesiyle karşılaşılabilir. Kaynak işlemi esnasında yalın karbonlu çelik veya düşük alaşımli 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.

5.2 Nikel ve Kobalt Alaşımaları – Yalnız Karbonlu Çelik veya Düşük Alaşımli Çelik

5.2.1 Nikel Alaşımaları

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

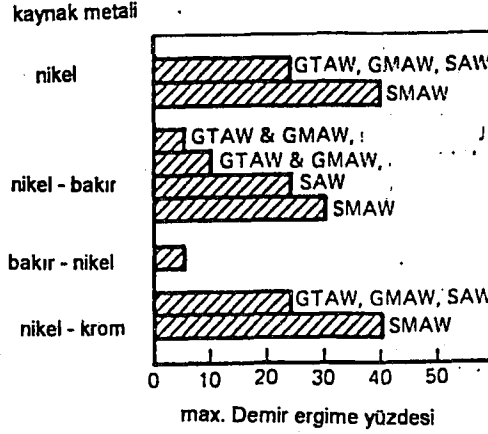
Nikel alaşımaları, uygun ilave malzeme kullanılarak ve uygun ergime kontrolü ile, çeliklerle kolaylıkla kaynak edilebilirler. İlave malzeme seçiminde ise, nikel esaslı ilave malzemeler iyi genleşebilirlik ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı genellikle tercih edilirler.

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

Nikel ve nikel alaşımındaki 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 çelik malzeme ile bir nikel alaşımli malzeme yine bir nikel alaşımli ilave malzeme kullanılarak birleştirilirken, sıcak çatlama tehlikesinden kaçınmak için ergime kontrol altında tutulmalıdır.

Demir ergimesi; Çoğu nikel alaşımli kaynak metali önemli miktarda demir ergimesi içerir, fakat ergime sınırları genel olarak kaynak prosesi ve ısıl işlemlerle değişiklik gösterir. Şekil 5.9’da 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 alaşımli 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.

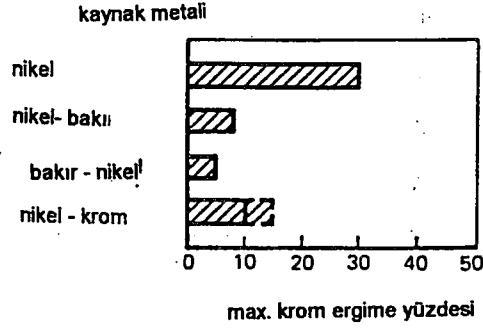


Şekil 5.9 Nikel ve nikel alaşım. kaynak metalleri için demir ergime limitleri(Weisman, 1984a)

Örtülü gaz kaynak prosesi ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde nikel-bakır kaynak metali, 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 5.10' da görüldüğü gibi krom ergimesi de nikel ve nikel alaşımli kaynak metallere 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 5.10 Nikel ve nikel alaşımlı kaynak metalleri için krom ergime limitleri(Weisman, 1984a)

İlave malzemeler ; Nikel alaşımlarının, çelik veya paslanmaz çelik malzemelere birleştirilmesinde kullanılması önerilen nikel alaşımlı ilave malzemeler, Çizelge 5.1' de verilmiştir. İki veya daha fazla ilave malzemenin verilmiş olduğu farklı metalsel malzeme bileşimleri için, nikel alaşımlı malzemeye kaynak edilecek çelik veya paslanmaz çeliğin spesifik özelliklerine (tipine) göre seçim yapılır. Bazı durumlarda, esas metaldeki ergime miktarı bir kontrol faktörüdür ve bu durum kaynak prosesi ile değişiklik gösterebilir. Kaynak işlemi için seçilen ilave malzeme, esas metallerle ergiyebilme uyumluluğuna sahip olmalı ve ilave malzemenin mekanik, fiziksel ve metalürjik özellikleri amaçlanan işletme şartları için uygun olmalıdır.

Mekanik özellikler ; Bazı nikel alaşımları ve çelik malzemeler arasında gerçekleştirilen kaynak birleştirmelerinde elde edilen çekme mukavemetleri, Çizelge 5.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Nikel alaşımları ve çelik malzemeler arasında gerçekleştirilen bağlantıların mekanik özellikleri(Weisman, 1984a)

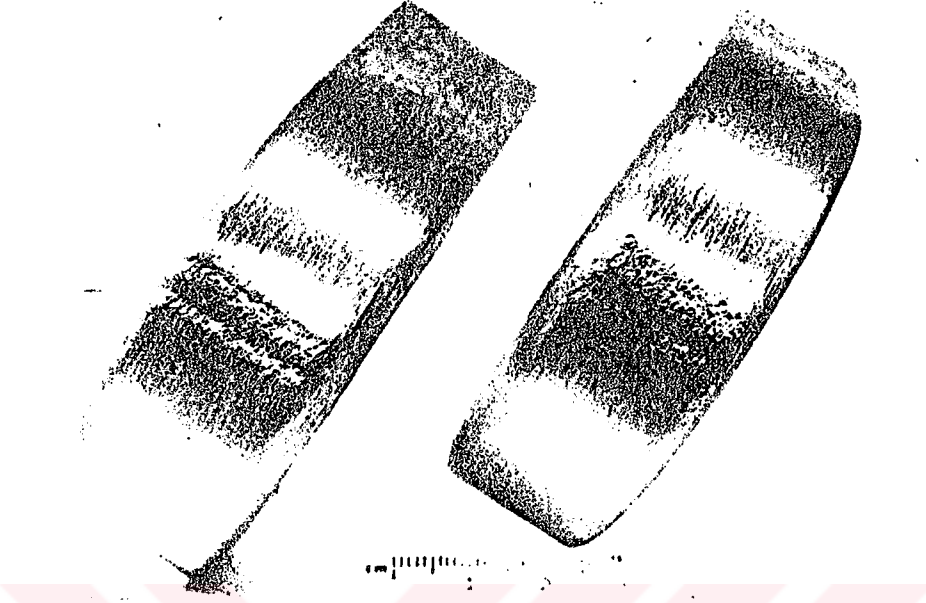
Nikel Alaşımı				
Genel İsim	Çelik	İlave Malz.	Çekme Mukavemeti Ksi	Hata oluşumu
Monel 400	410 pas.çel.	ENiCrFe-2	81,8	Monel
Monel 400	304 pas.çel.	ENiCrFe-2	82,4	Monel
Inconel 600	347 pas.çel.	ENiCrFe-2	95,1	Inconel
Inconel 600	405 pas.çel.	ERNiCrFe-6	90	Pas. Çel.
Inconel 625	304 pas.çel.	ENiCrMo-3	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	Düş. al çelik	ENiMo-1	60	Düşük al. çelik
Hastelloy C	316 pas.çel.	ENiCrFe-2	90,5	Pas. Çel.
Hastelloy C	Düş. al çelik	ENiCrMo-5	61	Düşük al. çelik

Çizelge 5.1 Nikel alaşımlarının çelik malzemelerle kaynağında kullanılacak ilave malzemeler (Weisman, 1984a)

Nikel Alaşımı		Kullanılacak İlave Malzemeler		
UNS No.	Genel İsim	İlave Metal Formu	Yalın Karbonlu veya Düşük Alaşımli Çelik ile kaynağında	Paslanmaz Çelik İle 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

5.2.2 Kobalt Alaşımları

Kobalt alaşımları genellikle, % 10-20 nikel, % 20-30 krom ve %2-15 tungsten veya molibden içerir. Metalürjik olarak, kobalt alaşımları kaynak kabiliyeti yönünden, yüksek sıcaklık nikel-krom alaşımları ile benzerlik göstermektedir. Bir kobalt alaşımını paslanmaz çelik malzeme ile kaynak ederken, kobalt alaşımının bileşimine benzerlik gösteren bir ilave malzeme kullanılması tercih edilir. Nikel alaşımli 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 alaşımli ilave malzemeler kullanılmıştır. Her iki uygulamada da, kaynak metali ve ITAB iyi genleşme özelliği göstermektedir (Larry, 1993).



Şekil 5.11 41Co-22Cr-22Ni-15N alaşımı ile 30Fe-20Cr-20Ni-20Co-3Mo-3N alaşımlarının kaynağı

5.3 Bakır Alaşımları – Çelik

Bakır ve demir sıvı durumda birbirlerinde tamamen karışırlar fakat, bu iki elementin katı durumda birbirlerine karşı çözünürlükleri sınırlıdır. Çoğu bakır-demir alaşımları iki fazlı katı çözeltiler meydana getirirler. Gevrek intermetalik bileşenlerin yokluğu kaynak kabiliyeti bakımından başarılı bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, iki faz alaşımlı 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 ITAB' de çatlaklar oluşturacak veya sıcak çatlama meydana getirecektir.

5.3.1 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 ısıl dengenin sağlanması amacıyla kalınlığına bağlı olarak 205°- 540°C sıcaklık aralıklarında ön tavlama işlemine tabi tutulmalıdır (Jeffus, 1993).

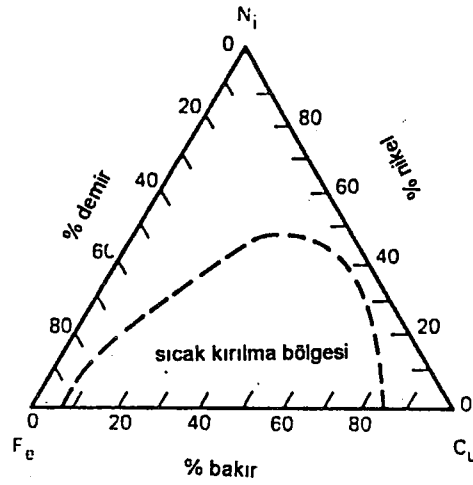
Bakır malzeme çelik malzemeye, silikon bronz (CuSi-A) veya alüminyum bronz (CuAl-Ax) ilave malzemeleri kullanılarak, uygun bir ark kaynak prosesi ile kaynak edilebilir. Bakır malzemenin ön tavlama tabi tutulduğu durumlar için, çelik bileşiminin ergime kontrolü çok önemlidir.

Bakır alaşımlı 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.

5.3.2 Bakır-Nikel Alaşımları

Şekil 5.12' 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 Committee, 1983).

Bakır-nikel alaşımları, yalın karbonlu çelik veya paslanmaz çelik malzemeler ile denizcilik uygulamalarında kullanılmak amacıyla birleştirilmektedir. Birleştirme işlemi için kullanılabilir 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 metaod ise; bakır-nikel alaşımını bir nikel ilave malzeme ile kaplamak ve yine aynı nikel alaşımlı ilave malzemeyi kullanarak kaynak işlemini gerçekleştirmektir.



Şekil 5.12 Nikel-bakır kaynak metalinde, demir ergimesine bağlı olarak oluşan sıcak kırılma bölgesi (ASM Committee, 1983)

5.3.3 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 bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yalın karbonlu çelik ve düşük alaşımlı çelik malzemeler için, çelik malzemenin sertliğine de bağlı 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.

5.3.4 Prinç

Düşük alaşımlı zink-prinç malzemesi, çelik malzemeye en iyi biçimde gaz tungsten ark kaynak yöntemi kullanılarak kaynak edilebilir. Kaynak metalindeki porositelyi azaltmak amacıyla, prinç 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. Prinç 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.

5.4. Bakır Alaşımları – Nikel Alaşımları

Bakır ve bakır-nikel alaşımlarının nikel ve alaşımlarına kaynağı için çeşitli uygulamalar mevcuttur fakat prinç ve bronz malzemeleri için bu uygulamalar sınırlıdır. Bakır ve nikel malzemeleri karşılıklı olarak birbirlerinde çözünürlük özelliğine sahiptirler. Bu özellikten dolayı, bu iki metalsel malzemenin ve alaşımlarının kaynağında çok fazla problemle karşılaşmaz.ve kaynak işlemi esnasında ilave malzeme olarak bakır-nikel, bakır veya nikel alaşımı ilave malzemeleri kullanılabilir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, bakır ve bakır-nikel alaşımları, nikel ve nikel-bakır alaşımlarına bakır-nikel veya nikel-bakır ilave alaşımı 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 alaşımı 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 alaşımı ilave malzeme ile kaplanır ve oluşturulan yeni yüzeyle nikel malzeme arasındaki kaynak bağlantısı nikel-bakır alaşımı 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.

5.5 Alüminyum Alaşımlarının Farklı Metallerle Kaynağı

Alüminyum alaşımı malzemelerin farklı metalsel malzemelerle birleştirilmesinde sık sık özel tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Alüminyum alaşımı 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. Çizelge 5.3' de alüminyum malzemenin diğer metalsel malzemelerle birleştirilmesinde kullanılabilecek kaynak yöntemlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 5.3 Alüminyumun diğer metallerle birleştirilmesinde kullanılabilecek kaynak yöntemlerinin incelenmesi (Shwartz, 1979)

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

5.5.1 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 ergitme 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. ($FeAl_2$, Fe_2Al_5 veya $FeAl_3$) 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 $690^{\circ}C-705^{\circ}C$ 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.

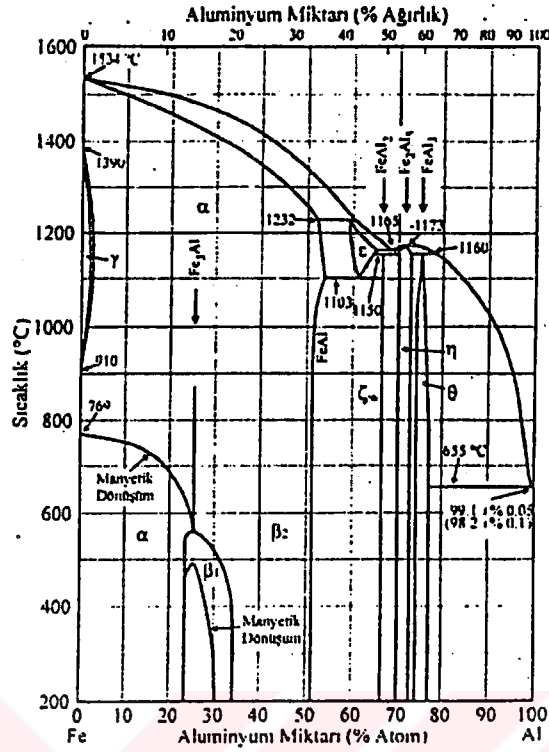
Alüminyumun çelik malzemeyle birleştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemi sürtünme kaynağıdır.

Sürtünme kaynaklı Al-çelik bağlantılarında en önemli problem kaynağını oluşturan ve kalınlığının mutlaka sınırlanması 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 kullanabilecek 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, arayüze 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).

5.5.1.1 Sürtünme Kaynaklı Al-Çelik Bağlantıların Mikroyapısal Karakterizasyonu

Al-çelik bağlantılarında oluşan gevrek intermetalik bileşikler ana problem kaynağını oluşturmaktadır. Bu fazın oluşumu ısı ve iki malzemenin difüzyon hızlarına bağlıdır. Bunun yanı sıra bu iki malzemenin katı halde birbirini çözündürmemesi bir diğer problem olup, intermetalik oluşumunu ayrıca teşvik etmektedir. Bunun yanı sıra kaynak sonu yüksek sıcaklıklarda (500°C) uygulanacak ısı işlemlerde intermetalik fazın oluşumunu teşvik etmektedir. H.Ochi ve arkadaşları (1977), tarafından yapılan çalışmada, Al-Mg-Si alaşımı-paslanmaz çelik çiftine 500°C' de uygulanan 4 saatlik tavlama ısı işlemi sonrasında Fe_2Al_5 içeren $FeAl_3$ bileşik intermetalik fazı oluşmaktadır. Şekil 5.13' de Fe-Al denge diyagramı üzerinden Al alaşımı-çelik bağlantısının arayüzeyin de oluşabilecek intermetalik faz türleri görülmektedir.

İntermetalik fazın kalınlığının kontrolü büyük önem taşımaktadır. Kaynak bağlantılarının gevrekliğini önlemek için bu fazın kalınlığının 3µm' nin altında tutulması gerekmektedir. Başarılı bir kaynak tasarımı için 0.1- 1 µm' lik kalınlık kabul edilebilir bir FeAl intermetalik kalınlığıdır. Yapılan mikro yapısal çalışmalarda intermetalik fazın, kaynağın yarı radyüsünde kalın, çevresinde ince, merkezinde ise hemen hemen bulunmadığı belirlenmiştir. Merkezde intermetalik tabakanın bulunmayışı bu bölgede relatif hızın düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



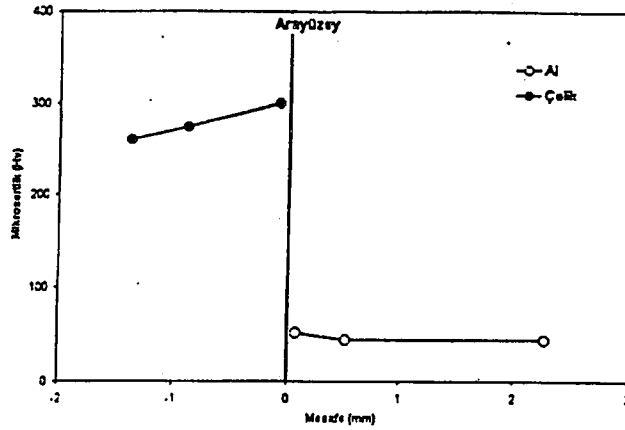
Şekil 5.13 Demir – alüminyum denge diyagramı (Yılmaz ve Çöl, 2000)

Alüminyum ve alaşımlarının çelik malzemeler ile gerçekleştirilen sürtünme kaynaklarında intermetalik tabaka oluşumunu engellemek amacıyla gümüş ara malzemesi kullanıldığında tabaka oluşumu önemli derecede engellenmekte ve alüminyum tarafına doğru bir gümüş difüzyon bölgesi oluşmaktadır. Bağlantı arayüzeyinin paslanmaz çelik ve yalın karbonlu çelik tarafında çok yüksek plastik deformasyon belirlenmiştir. Deformasyon nedeniyle özellikle kaynağın dış bölgelerinde tane yapısı yüksek derecede incelmıştır. Meydana gelen bu deformasyon ara yüzeyde sertlik artışlarına neden olmaktadır.

Şekil 5.14 sürtünme kaynaklı Al-çelik çifti için bağlantı bölgesinde sertlik değişimini göstermektedir. Burada ara yüzeyin hem alüminyum hem de çelik malzeme tarafında sertlikte bir artış meydana gelmiştir.

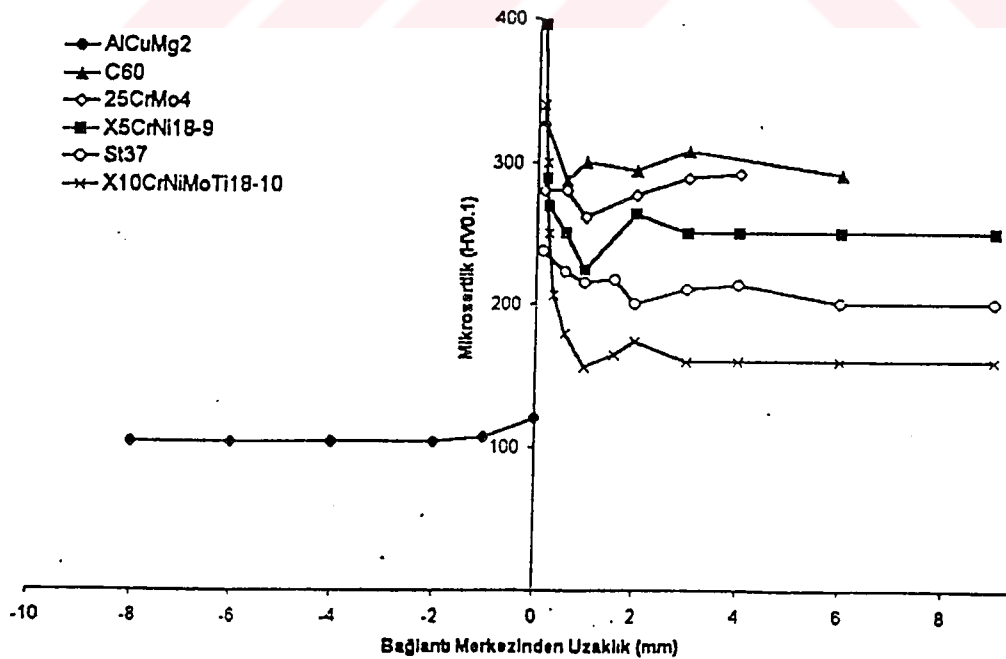
Şekil 5.15 ve 5.16 ise iki farklı alüminyum alaşımlarının ferritik ve östenitik çeliklerle olan sürtünme kaynaklı bağlantısında ara yüzey sertlik değişimini göstermektedir. Bu diyagramlarda 100-200 µm' luk dar bir bölgede çelik tarafında bir artış gözlenmektedir. Sertlik artışı östenitik çeliklerde, ferritik çeliklere nazaran daha yüksektir. Bu durum östenitik çeliklerin yüksek deformasyon sertleşmesi göstermesine bağlanabilir. Bağlantının

alüminyum tarafında AlMgSi1 alaşımı dışında diğer alaşımlarda sertlikte önemli bir değişim gözlenmektedir (Yılmaz ve Çöl, 2000).

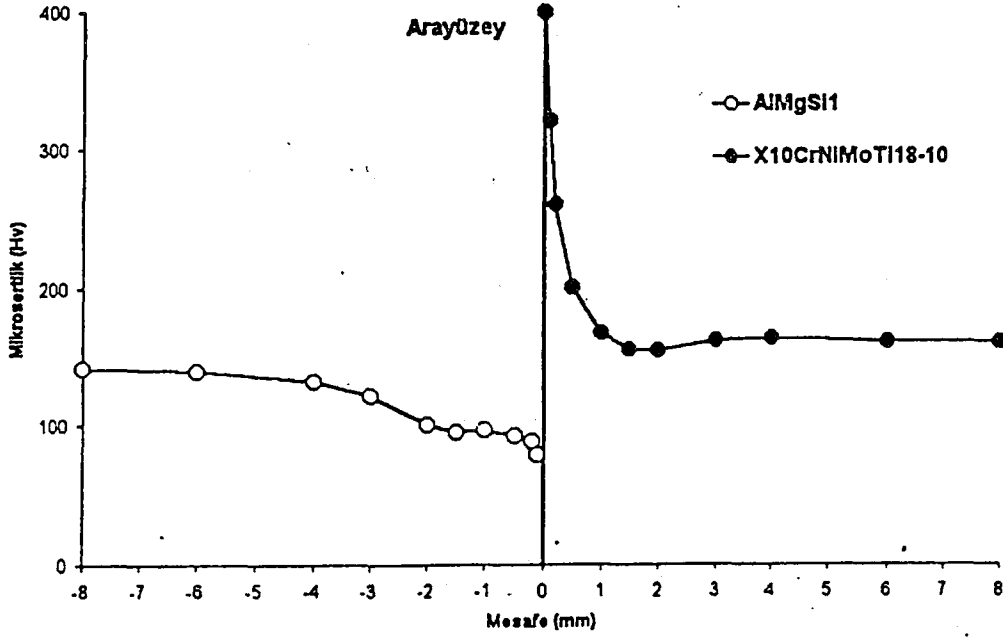


Şekil 5.14 Al-çelik bağlantılarının mikro sertlik dağılımı (Yılmaz ve Çöl, 2000)

Tüm malzeme kombinasyonları için alüminyum tarafının sıcaklığının kaynak işlemi sırasında rekristalizasyon sıcaklığının üzerine çıktığı ve yığılma basıncının uygulandığı sırada da soğuk pekleştiği söylenebilir. Bu durumda rekristalizasyon ile oluşması gereken sertlik düşüşü, rekristalizasyon sonrası tane boyutunun incilmesi ve yığılma basıncının uygulanması ile oluşan sertleşme ile dengelenmiştir.



Şekil 5.15 AlCuMg2 ve farklı çelik malzemelerin sürtünme kaynak bağlantılarında mikro sertlik değişimleri (Yılmaz ve Çöl, 2000)



Şekil 5.16 AlMgSi1 ve X10CrNiMoTi18 – 10 sürtünme kaynak bağlantılarında mikrosertlik değişimleri (Yılmaz ve Çöl, 2000)

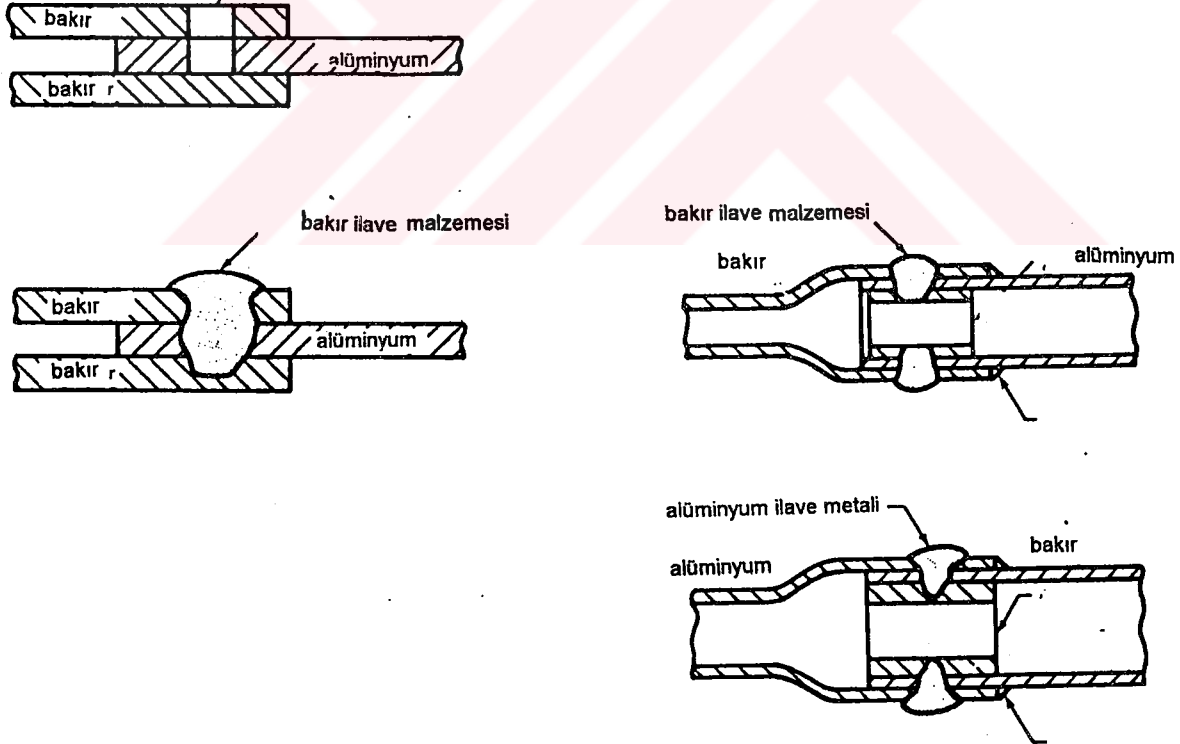
Sürtünme kaynağı öncesi alüminyum tarafının alın yüzeyinde mevcut alüminyum oksit, bağlantı oluşumuna bir bariyer rolü oynamaktadır. Ancak özellikle yüksek sürtünme basınçları ve yüksek dönme hızlarında oluşan deformasyonla Al yüzeyindeki bu alüminyum oksit tabaka kırılmakta ve büyük ölçüde yüzeyden uzaklaştırılarak çıplak yüzeylerin oluşumu sağlanabilmektedir. Bununla birlikte bu bağlantılarının ara yüzeyinde yer yer alüminyum oksit tabakaları görmek mümkündür

5.5.2 Alüminyum Alaşımları – Bakır Alaşımları

Alüminyum sıvı fazda, hemen hemen bütün nonferrous metallerle çözünürlük özelliğine sahiptir, fakat katı fazda gevrek intermetalik bileşenler meydana gelmektedir. Bu gevrek bileşenler, alüminyum elementinin ergitme kaynağı yöntemi ile diğer metallerle 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 kaçınılması için 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 malzemeyle 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 5.17'de 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 5.17 Alüminyum ve bakır metalsel malzemelerinin metal ark nokta kaynağı kullanılarak birleştirilmesi (Weisman, 1984a)

5.6 Titanyum Alaşımları – Farklı Metaller

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

Metallürjik 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 malzemedede, bakır alaşımlı malzemeye kaynak edilir. Benzer bağlantılar, elektron ışın kaynağı yöntemiyle de gerçekteşirilmiş 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 gerçekteşirilmesine 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.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1 Deneyselerde Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmanın gerçekleştirilmiş olduğu Makine Takım Endüstri A.Ş bünyesinde, yakma alın kaynak prosesi kesici takımların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kesici takımların, kesici kısımlarının mukavemetli, aşınmaya karşı dayanıklı, çalışma şartlarında ortaya çıkan ısıda kesiciliğini ve mukavemetini yitirmeyen özelliklere sahip malzemelerden, sap kısımlarının ise yüksek kopma mukavemetine ve uygun süneklığe sahip malzemelerden meydana gelmesi istenmektedir. Bütün bu özellikler göz önünde bulundurularak, Makine Takım Endüstri A.Ş bünyesinde kesici kısım olarak istenen özellikleri sağlaması açısından HSS (S 6-5-2) çeliği, sap kısım olarak ise, hem fiyat açısından hem de istenen özellikleri sağlaması bakımından, piyasada kalitesiz çelik olarak da adlandırılan 4140 çeliği kullanılmaktadır.

Gerçekleştirmiş olduğum bu deneysel çalışmada da HSS çeliği ile 4140 çeliğinin yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilmesi incelenmiştir. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1' de verilmiştir..

Çizelge 6.1 Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

Malzeme	Kimyasal Bileşim						
	C	Mn	Si	Mo	Cr	W	V
HSS (S 6-5-2) çeliği	0,89	0,3	0,2	5,0	4,3	6,4	1,9
4140 çeliği	0,41	0,7	0,3	0,2	1,1		

6.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneysel çalışmada kullanılacak olan HSS ve 4140 çelik malzeme numuneleri, istenilen boyutlara otomatik şerit testere yardımıyla kısaltılmıştır. Deneyler öncesi her iki çelik çubuk da sıcak haddelenmiş ve tavlanmış konumdadır.

6.2.1 Numune Yüzeylerinin Hazırlanması

Numune yüzeyleri silinerek yağlardan arındırılmış ve daha sonra malzeme yüzeyleri, savurma kumlama usulü ile çelik granüllü kumlama makinasında temizlenmiştir. Bu işlem yaklaşık 20 dakika sürmüştür.

6.2.2 Numune Boyut ve Sertlikleri

Kaynak işlemi öncesi, numune boyut ve sertlik değerleri, kaynak sonrasında elde edilecek değerlerle karşılaştırılabilmesi ve bir yorum yapılabilmesi amacıyla saptanmıştır (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 Kaynak numunelerinin boyut ve sertlik değerleri

Malzeme	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Sertlik (ort.)
HSS çeliği (A ₁)	20	48	285 HV 10
HSS çeliği (A ₂)	20	54	285 HV 10
HSS çeliği (A ₃)	20	54	285 HV 10
4140 çeliği (B ₁)	20	69	249 HV 10
4140 çeliği (B ₂)	20	69	249 HV 10
4140 çeliği (B ₃)	20	69	249 HV 10

Sertlik muayenesi olarak Vickers sertlik muayenesi kullanılmıştır. Bu yöntem de, elmaştan yapılmış basık dört kenarlı bir piramit kullanılmaktadır. Bu yöntem en doğru sertlik ölçümlerini verir ve en geniş ölçme aralığına sahiptir. Tercih edilen muayene yükleri standartlara göre 49/ 98/ 196/ 294/ 490/ 980 N' dur.

Muayene yüzeyi çok küçük veya ince olan numuneler için veya yüzeyin çok az tahrip edilmesi gereken durumlarda daha küçük yükler standartlaştırılmıştır. Bu yükler 1.96 N- 49 N arasındadır.

Sertlik değerlerinin kısa olarak belirlenmesi standartlara göre yapılmaktadır.

HSS malzemenin ortalama sertlik değeri, 285 HV 10, 4140 çelik malzemenin ise ortalama sertlik değeri, 249 HV 10' dur. Yani HSS malzeme için Vickers sertliği 285, 4140 çeliği için ise 249' dur.

Muayene yükü ise her iki numune içinde; $10 / 0,102 = 98 \text{ N}^2$ dur ve bu yükün etkime süresi 10-15 saniyedir.

6.2.3 Numunelerin Numaralandırılması

Yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilecek olan numunelere, kaynak sonrası değişik ısıll işlemler uygulanacağı için, deneysel çalışma esnasında numunelerin birbirleriyle karışmaması amacıyla, deney öncesi numuneler kaynak edilmeyecek aın yüzeylerinden numaralandırılmıştır.

1 numaralı numune: HSS kısım 54 mm, 4140 çelik malzeme kısmı 69 mm

2 numaralı numune: HSS kısım 48 mm, 4140 çelik malzeme kısmı 69 mm

3 numaralı numune: HSS kısım 54 mm, 4140 çelik malzeme kısmı 69 mm

6.3 Numunelerin Yakma Alın Kaynak Prosesi ile Birleştirilmesi

Numunelerin yakma alın kaynak prosesi ile başarılı bir şekilde birleştirilebilmesi, kaynak sonu istenen iç yapı ve dayanım özelliklerinin elde edilebilmesi amacıyla, kaynak makinası değişkenlerinin uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir.

6.3.1 Makina Çalışma Şartları

Makina değişkenlerinin ayarlanmasında, kaynak edilecek parça çapları baz alınmaktadır. Deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği Schlatter 608 yakma alın kaynağı tezgahında en düşük 16,5 mm, en yüksek 35 mm çaplı parçalar kaynak edilebilmektedir. Bu deneysel çalışmada da kullanılan numune çaplarının, 20 mm olması dolayısıyla, kaynak işlemi için Schlatter 608 tezgahının kullanılması tercih edilmiştir. Malzeme çapları baz alınarak gerçekleştirilen makina çalışma şartları şöyledir:

Voltaj; voltaj değeri çapa bağlı olmaksızın 380 volt olarak alınır.

Ampermetre; Ampermetre değeri de voltaj değeri gibi çapa bağlı olmaksızın alınır ve değeri 14 A' dir.

Kaynak şekli; malzeme çapına bağlı olarak çift ya da tek kaynak şekli tercih edilir. Çift kaynak şeklinin kullanılması, malzemeleri tutmak için kullanılan baskı çenelerinin iki kanalını da kullanılması, tek kaynak şeklinin seçilmesi ise bu çenelerin sadece bir kanalının

kullanılması anlamına gelir. 16,5- 24 mm çap aralığında çift kaynak şekli, 24- 35 mm çap aralığında ise tek kaynak şekli kullanılır. Düşük çaplarda tek kaynak şeklinin kullanılmamasının sebebi, sadece bir malzeme kullanılarak alın direnç kaynağı yapıldığı zaman ince kesitten daha fazla akım geçmesi ve dolayısıyla malzemelerin temas yüzeylerinde istenmeyen sıcaklık yükselmelerinin oluşmasıdır.

Sayaç; seçilen sayaç değeri kaynak için gerekli yığma sayısını belirtir, bu değer çapa ve diğer değişkenlere bağlı olarak değişir.

Kademeli şalter; kademeli şalter sistemin hızını belirler ve 2 şalter kademesi bulunup çapa bağlı olarak farklı şalter kademeleri kullanılır.16.5– 24 mm çap aralığında ikinci kademe, 24– 35 mm çap aralığında birinci kademe kullanılır. Ayrıca gündüz düşük voltaj değerinden dolayı ikinci kademe akşam ise yüksek voltaj değerinden dolayı birinci kademe kullanılır.

Ön ısıtma zamanı; sayaç yardımı ile yığma sayısı belirlenir ve bu yığmaların ilki ön ısıtma amacıyla yapılır. Ön ısıtma zamanı kaynak yapılacak malzeme çapı ile doğru orantılı olarak 3 saniyeden 4.2 saniyeye kadar yükselir.

Yığma akım zamanı; yığma aşamalarının en sonuncusunda geçen akımın süresi yığma akım zamanı olup , 4- 5.6 saniye arasında değişmektedir.

Yığma zamanı; yığma aşamalarının en sonuncusunda sap ve kesici kısmın alın altına temas ettiği toplam süre olup yığma akım zamanı bu süre içine dahildir. Bu değer malzeme çapı ile orantılı olarak 8 ile 10 saniye arasında değişmektedir.

Sıkma basıncı; sıkma ayaklarının malzemeleri sıkma basıncı olup değeri çapa bağlı olarak 2.5– 4 kp/ cm² arasında değişmektedir.

İlerleme basıncı; en son yığma amacıyla uygulanan kuvvet yığma basıncı olup değeri çapa bağlı olarak 2.1 ile 5 kp/cm² değerleri arasında değişmektedir.

Kızak hız ayarı; hareketli olan ayağın bağlı olduğu kızağın, diğer ayağa doğru ilerleme hızıdır.

Yığma yolu; kaynak edilecek iki malzemenin kaynak esnasındaki yığma miktarı yığma yolu olup değeri çapa bağlı olarak 8– 10 mm arasında değişmektedir. Eğer yığma yolu değeri düşük olursa malzeme boyu uzun kalır ve ayrıca alın merkezinde ilk yanma ile oluşan cüruf dışarı atılamaz, kaynak bölgesinde kırılmalar meydana gelir, yığma yolu değeri yüksek olursa kaynak sonrası malzeme boyu kısa kalır.

Bütün bu parametrelere bağı olarak bu deneysel çalışmada kullanılan makina çalışma şartları Çizelge 6.3' de verilmiştir.

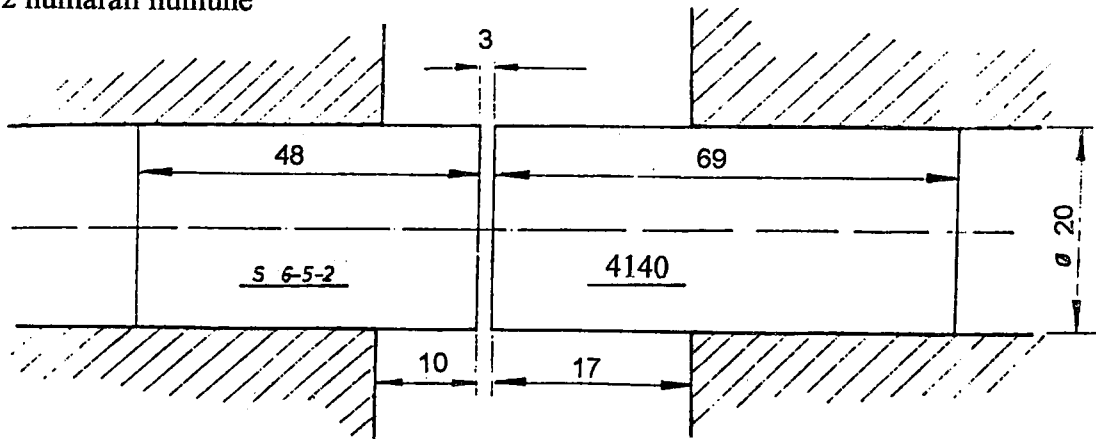
Çizelge 6.3 Deneysel çalışmada seçilen makine çalışma şartları

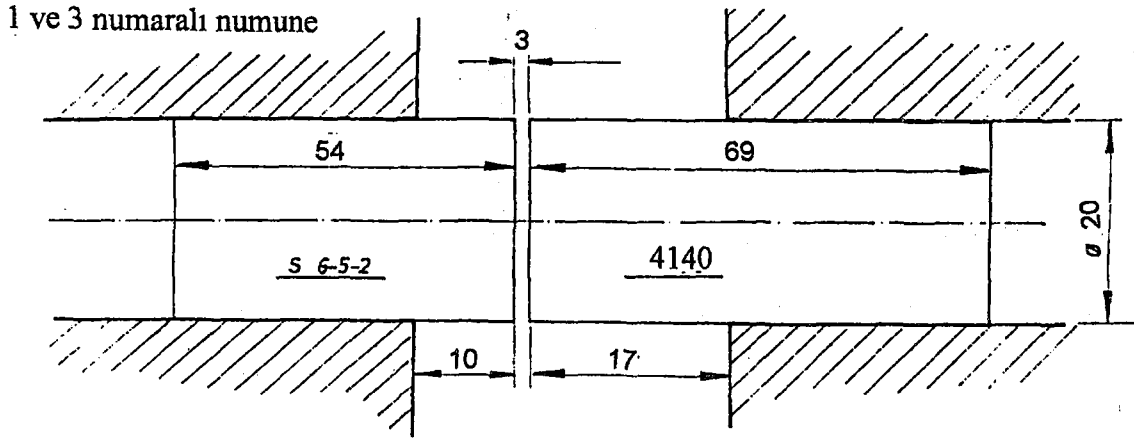
Malzeme Çapı	20 mm
Kaynak Şekli	Çift kaynak şekli
Voltaj	380 V
Amper	14 kA
Sayaç	2 yığma kademesi seçildi
Ön Isıtma Zamanı	3,4 saniye
Yığma Akım Zamanı	4,2 saniye
Yığma Zamanı	8 saniye
Sıkma Basıncı	3 kp/ cm ²
İlerleme Basıncı	2,4 kp/ cm ²
Yığma Yolu	8 mm
Yığma + Yakma Yolu	9 – 10 mm
Kızak Hızı	7 mm/ sn.

6.3.2 Çeneler Arası Mesafe ve Numune Bağlama Uzunlukları

Çeneler arası mesafe kaynak makinası firmasınınca verilen formüle uyularak ($1,5 \times \varnothing$) olarak alınmıştır. Bu formüle göre numune çaplarının 20 mm olması dolayısıyla, çeneler arası mesafe; $1,5 \times 20 = 30$ mm olarak alınmıştır (Şekil 6.1).

2 numaralı numune





Şekil 6.1 Çeneler arası mesafe ve numune bağlama uzunlukları

Numunelerin dirençleri ve ısı iletim katsayılarının farklı olması sebebiyle, elektrik akımı ile eşit bir şekilde ısınmalarını sağlamak amacıyla numune bağlama aralıkları elektrik dirençlerinin ters oranında ayarlanmıştır.

Kaynak işlemi ile birleştirilecek numuneler tutucu çenelere yerleştirilmiş ve alın yüzeyleri tam eksenlerinden temas ettirilmiştir. Kaynaklanacak parçaların bir merkezde olması çok önemlidir, aksi durumda yakma sadece karşılık gelen yüzeylerde oluşur ve ısıtma uniform olmaz. Dolayısıyla yığıma sırasında parçalar kayma eğilimi gösterir. Şekil 6.1' de görülmekte olan numuneler arası 3 mm mesafe, tezgahın işleme başlamasıyla, tezgah tarafından otomatik olarak ayarlanmaktadır.

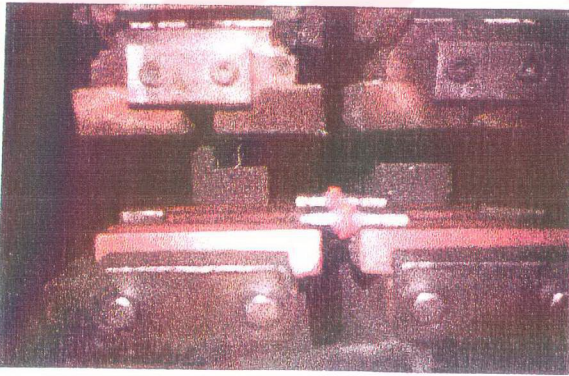
6.3.3 Numunelerin Schlatter 608 Yakma Alın Kaynak Tezgahında Birleştirilmesi

Şekil 6.2' de numunelerin Schlatter 608 yakma alın kaynak tezgahında ki konumları görülmektedir.



Şekil 6.2 Schlatter 608 yakma alın kaynak tezgahına numunelerin yerleştirilmesi

Şekil 6.3' de ise kaynak sonu çene baskı kuvvetlerinin de kaldırılmasıyla elde edilen, yağma sonucu oluşmuş çapaklı görüntü görülmektedir.



Şekil 6.3 Numunelerin Schlatter 608 alın kaynak tezgahında ki kaynak sonu görüntüleri

Şekil 6.3' de de görüldüğü gibi, yakma alın kaynak prosesindeki yığıma kademesi sonucu, numune kaynak yüzeylerinde çapaklar oluşmuştur. Oluşan bu çapaklar, Şekil 6.4'de görülmekte olan çapak alma tezgahında temizlenmiştir.



Şekil 6.4 Çapak alma tezgahı

6.4 Numunelere Kaynak Sonu Uygulanan İşlemler

Schlatter 608 yakma alın kaynak tezgahında kaynak edilen ve daha sonra çapak alma tezgahında oluşan çapakları temizlenen numunelerin, normal olarak bu işlemlerden sonra, gerilim giderme ve normalizasyon tavlamalarına tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu deneysel çalışmada da, 1 ve 2 numaralı numuneler kaynak sonu gerilim giderme tavlamasına ve gerilim giderme tavlamasını takiben normalizasyon tavlamalarına tabi tutulmuşlardır.

3 numaralı numune ise kaynak sonu oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

3 numaralı numunenin oda sıcaklığında soğutulmasının amacı ise; gerilim giderme ve normalizasyon tavlamalarına tabi tutulan numuneler ile sertlik ve mikroyapısal açıdan bir karşılaştırma yapılabilmesidir.

6.4.1 1 ve 2 Numaralı Numunelere Uygulanan Isıl İşlemler

6.4.1.1 Gerilim Giderme Tavlaması

Yakma alın kaynak işleminde, çok yüksek sıcaklığa çıkmış bulunan kaynak bölgesi ile numunelerin diğer kısımları arasında soğuma esnasında oluşacak gerilmeleri kısmen önleyebilmek için, 1 ve 2 numaralı numuneler 550°C sıcaklığında gerilme giderme tavlamasına tabi tutulmuşlardır. Bu amaçla, numuneler kaynak sonrası 550°C sıcaklığında ki pota içerisine yerleştirilmiş ve potanın tamamen dolmasının ardından potanın ağzı kapatılarak, normalizasyon tavlamasının uygulanması amacıyla, pota normalizasyon ısıl işlem alanına götürülmüştür. Numunelere normalizasyon tavlamasında uygulanacak olması, gerilme giderme tavlamasının yapılmasını da bir bakıma mecbur kılmıştır. Aksi halde sıcaklık farkından dolayı normalizasyon ocağında gerilmelerden kaynaklanan çatlamlar ve kırılmalar oluşabilecektir.

6.4.1.2 Normalizasyon Tavlaması

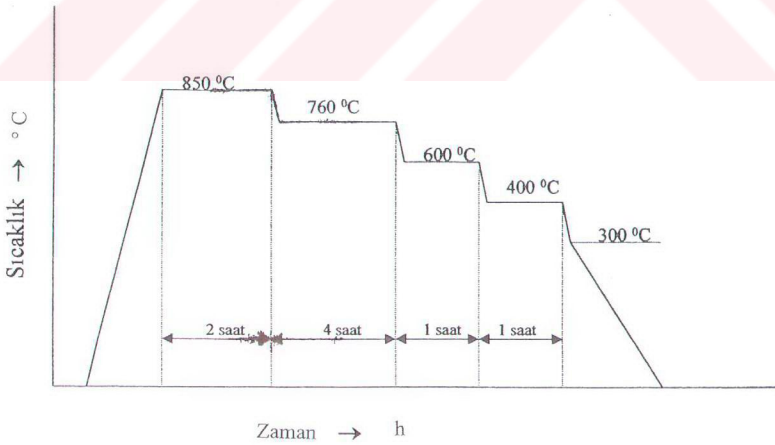
Gerilme giderme tavlamasına tabi tutulan 1 ve 2 numaralı numuneler, pota içerisinde normalizasyon ısıl işlem alanına getirilmişlerdir. Normalizasyon tavlamasından çıkacak olan mamullerin iç yapı uygunluğunu ve özellikle dekarbürizasyon olup olmadığını kontrol etmek amacıyla partilerin çap aralığında olacak şekilde numüne parça ocağa konur. Dekarbürizasyonu önlemek amacıyla ocak içine odun kömürü konur ve böylece ortamdaki oksijenin karbon ile birleşmesi sağlanır, odun kömürü üzerine ise hava ile teması kesmek için somot (SiO_2) sıvanır. 550°C sıcaklığındaki ocak içine potalar yerleştirilir (Şekil 6.5) ve daha sonra aşağıdaki sıra izlenerek normalizasyon tavlaması uygulanır;

- I. Ocağın 850°C ' a çıkması sağlanır.
- II. 850°C ' de 2 saat beklenir.
- III. Sıcaklık 760°C ' ye düşürülür ve bu sıcaklıkta 4 saat beklenir.
- IV. Sıcaklık 600°C ' ye düşürülür ve bu sıcaklıkta 1 saat beklenir.
- V. Sıcaklık 400°C ' ye düşürülür ve bu sıcaklıkta 1 saat beklenir.
- VI. Sıcaklık 300°C ' ye düşürülür ve ocağın kapağı açılır
- VII. Sıcaklık 150 – 180°C ' ye düştüğünde potalar ocağın içinden çıkarılır.

Normalizasyon tav ocağında çıkarılan pota, oda sıcaklığın da soğumaya bırakılır ve soğuma tamamlandıktan sonra potanın kapağı açılır ve numuneler pota içerisinden çıkarılır. Normalizasyon tavlamasında ki süre-sıcaklık ilişkisi ise Şekil 6.6' da görülmektedir.



Şekil 6.5 Gerilme giderme tavlamasından gelen potanın normalizasyon tav ocağı içerisine yerleştirilmesi



Şekil 6.6 Normalizasyon tavlamasında süre-sıcaklık ilişkisi

Normalizasyon tavlamasından çıkan 1 ve 2 numaralı numuneler, oda sıcaklığında soğutulan 3 numaralı numune ile birlikte, numunelerin kaynak bölgesinde oluşmuş olan hafif yükseltinin ortadan kaldırılması ve böylece mikroyapılarının daha kolay gözlenebilmesi amacıyla torna tezgahında ince tormalanmış ve daha sonra taşlama tezgahında taşlanmıştır. Bu işlemler sonucunda 1–2 ve 3 nolu numunelerin çapları başlangıç çapı olan 20 mm'den 19 mm'ye düşmüştür.

6.4.2 1 Numaralı Numunenin HSS Yüzeyinin Sertleştirilmesi

Takım çeliklerinin mümkün olan en yüksek sertlik derecesine ve aşınma mukavemetine sahip olmaları istenir. Bu arada soğuk şekil değiştirme kabiliyeti kaybolur ve süneklik çok düşer.

Bu amaçla bu deneysel çalışmada da, 1 numaralı numunenin HSS yüzeyinin sertleştirilmesi uygun görülmüştür. Böylece sertleştirme işlemi sonucu oluşan yeni iç yapının, 2 ve 3 numaralı numunelerin iç yapı özellikleriyle de karşılaştırılabilmesi mümkün olacaktır.

1 numaralı kaynak numunesinin ısı işlem ocaklarının içine daldırılabilmesi amacıyla numune özel olarak hazırlanan daldırma aparatına yerleştirilmiştir. Daldırma mesafesi, yani sertleştirilecek bölge önceden de belirtilmiş olduğu gibi HSS kısım ve kaynak bölgesidir. Sertleştirme işlemi aşağıda verilmiş olan sırayla gerçekleştirilmiştir:

- 813 numaralı ocak: kuru ısıtma 400°C (6.5 dakika) (numunenin hepsi ocağın içerisine daldırılmıştır.)

Bundan sonraki işlemlerde sadece sertleştirilecek kısım olan HSS kısmı ve kaynak bölgesi ocak içerisine daldırılmıştır.

- 802 numaralı ocak: ön ısıtma ocağı 850°C (6.5 dakika)
- 814 numaralı ocak: ön ısıtma ocağı 1050°C (6.5 dakika)
- 815 numaralı ocak: sertleştirme ocağı 1200°C (6.5 dakika)
- 816 numaralı ocak: soğutma ocağı 550°C (7 dakika)

816 numaralı soğutma ocağı içerisine de numunenin tümü daldırılmıştır.

816 numaralı ocaktan çıkarılan numune ılık su içerisine daldırılmış ve daha sonra oda sıcaklığında soğutulduktan sonra, yüzeyinin temizlenmesi ile sertleştirme işlemi tamamlanmıştır.

6.5 Numunelerin Kaynak Bölgesindeki Sertlik Dağılımları

Numuneler yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilmeden önce yapılan sertlik ölçümlerinde saptanan sertlik değerleri Çizelge 6.4' de verilmiştir.

Çizelge 6.4 Kaynak işlemi öncesi numunelerin sertlik değerleri

	Sertlik ort. (HV 10)	
Numune No.	HSS	4140 çeliği
1	285	249
2	285	249
3	285	249

Kaynak prosesi ile birleştirilen numunelere değişik ısı işlemler uygulanmıştır. Numunelere uygulanan ısı işlemler aşağıda bir kez daha özetlenmiştir.

1 No' lu numune; kaynak sonrası gerilme giderme ve normalizasyon tavlamlarına tabi tutulmuş, daha sonra HSS malzeme yüzeyi sertleştirilmiştir.

2 No' lu numune; kaynak sonrası gerilme giderme ve normalizasyon tavlamlarına tabi tutulmuştur.

3 No' lu numune; kaynak sonrası oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

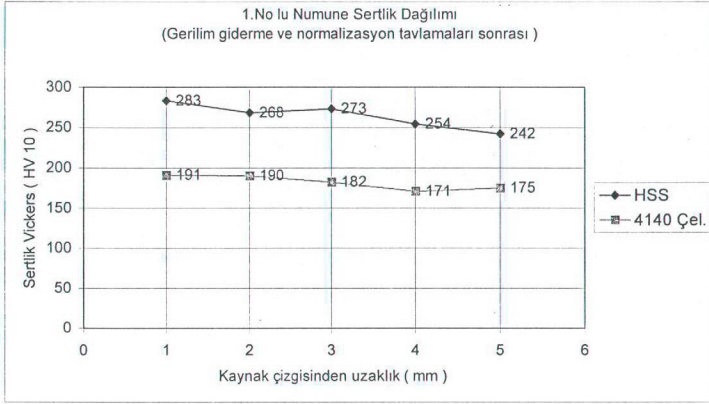
Yukarıda belirtilen işlemler sonrası numunelerde meydana gelen sertlik değişimleri ise;

- **1 No' lu numune sertlik dağılımı;**

Çizelge 6.5' de 1 No' lu numunenin gerilme giderme ve normalizasyon tavlamları sonrası sertlik dağılımı ve Şekil 6.7' de ise sertlik dağılımının grafiksel durumu görülmektedir.

Çizelge 6.5 1 No' lu numunenin gerilme giderme ve normalizasyon tavlamları sonrası sertlik dağılımı

Sertlik		Kaynak çizgisinden uzaklık (mm)
HSS	4140 çeliği	
283 HV 10	191 HV 10	1
268 HV 10	190 HV 10	2
273 HV 10	182 HV 10	3
254 HV 10	171 HV 10	4
242 HV 10	175 HV 10	5



Şekil 6.7 1 No' lu numunenin gerilim giderme ve normalizasyon tavlama sonrası sertlik dağılımlarının grafiksel gösterimi

Çizelge 6.6' da ise 1 No' lu numunenin normalizasyon tavlama sonrası HSS yüzeyinin sertleştirilmesi ile elde edilen sertlik dağılımı ve Şekil 6.8' de ise bu sertlik dağılımının grafiksel durumu gösterilmektedir.

Çizelge 6.6 1 No' lu numunenin HSS yüzeyinin sertleştirilmesi sonucu elde edilen sertlik dağılımı

Sertlik		Kaynak çizgisinden uzaklık (mm)
HSS	4140 çeliği	
835 HV 10	281 HV 10	1
836 HV 10	278 HV 10	2
836 HV 10	271 HV 10	3
835 HV 10	267 HV 10	4
837 HV 10	260 HV 10	5



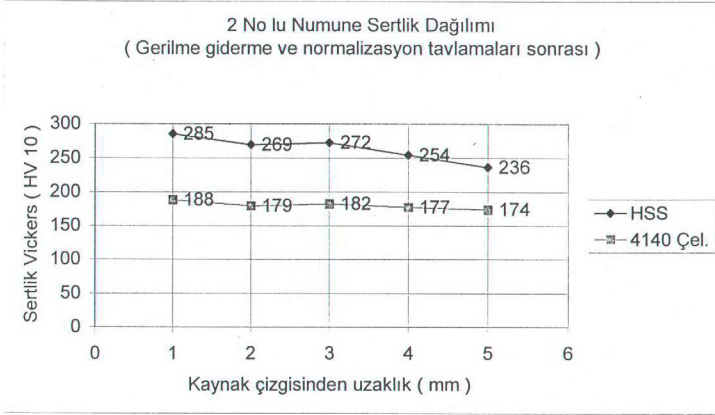
Şekil 6.8 1 No' lu numunenin HSS yüzeyinin sertleştirilmesi sonucu elde edilen sertlik dağılımının grafiksel gösterimi

- **2 No' lu numune sertlik dağılımı;**

Çizelge 6.7' de 2 No' lu numunenin gerilme giderme ve normalizasyon tavlama sonrası sertlik dağılımı ve Şekil 6.9' da ise sertlik dağılımının grafiksel durumu görülmektedir.

Çizelge 6.7 2 No' lu numunenin gerilme giderme ve normalizasyon tavlama sonrası sertlik dağılımı

Sertlik		Kaynak çizgisinden uzaklık (mm)
HSS	4140 çeliği	
285 HV 10	188 HV 10	1
269 HV 10	179 HV 10	2
272 HV 10	182 HV 10	3
254 HV 10	177 HV 10	4
236 HV 10	174 HV 10	5



Şekil 6.9 2 No' lu numunenin gerilim giderme ve normalizasyon tavlamaları sonrası sertlik dağılımının grafiksel gösterimi

- **3 No' lu numune Sertlik Dağılımı;**

Çizelge 6.8' de kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 no' lu numunenin sertlik dağılımı ve Şekil 6.10'da da bu sertlik dağılımının grafiksel durumu görülmektedir.

Çizelge 6.8 Kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 no' lu numunenin sertlik dağılımı

Sertlik		Kaynak çizgisinden uzaklık (mm)
HSS	4140 çeliği	
620 HV 10	342 HV 10	1
614 HV 10	330 HV 10	2
617 HV 10	334 HV 10	3
602 HV 10	332 HV 10	4
591 HV 10	328 HV 10	5



Şekil 6.10 Kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 no' lu numunenin sertlik dağılımının grafiksel gösterimi

6.6 Kaynak İşlemi Esnasında Numunelerde Meydana Gelen Malzeme Kayıpları

Kaynak işleminden önce tüm numuneler önceden de belirtildiği gibi numaralanmış ve boyutları ölçülmüştür. Kaynak işleminden sonra yüzey makro dağlanarak kaynak çizgisi belirlenmiş ve ölçümlerde numunelerin boylamasına kesitlerinin simetri eksenine esas alınmıştır. Yapılan ölçümler ve buna bağlı olarak kaynak işlemi esnasında numunelerde meydana gelen malzeme kayıpları Çizelge 6.9' da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Kaynak işlemi esnasında numunelerde meydana gelen malzeme kayıpları

Numune No.	Kaynak Öncesi			Kaynak Sonu			Kayıp		
	HSS	4140	Top.	HSS	4140	Top.	HSS	4140	Top.
1	54 mm	69 mm	123 mm	49,5 mm	65 mm	114,5 mm	4,5 mm	4 mm	8,5 mm
2	48 mm	69 mm	117 mm	43,5 mm	65,5 mm	109 mm	4,5 mm	3,5 mm	8 mm
3	54 mm	69 mm	123 mm	49,2 mm	65 mm	114,2 mm	4,8 mm	4 mm	8,8 mm

6.7 Kaynak Sonu Mikroyapıların İncelenebilmesi Amacıyla Numune Yüzeylerinin Zımparalama ve Dağlama İşlemleri

Kaynak numunelerinin mikroyapılarının incelenebilmesi amacıyla, kaynak yüzeylerinin parlatılması ve dağlanması gerekmektedir. Parlatma ve dağlama işlemleri gerçekleştirilirken takip edilen sıra aşağıda detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Kaynak numuneleri silindirik bir yapıya sahip olduklarından dolayı zımparalama işleminin daha kolay gerçekleştirilebilmesi, bir başka ifadeyle zımparalama ekseninin kaymaması amacıyla numuneler freeze tezgahında uygun ölçülere getirilmiştir. Bir başka ifadeyle uygun bir zımparalama yüzeyi sağlanmıştır.

Zımparalama yüzeyinin frezeden geçmesi dolayısıyla, zımparalama işlemine 200 zımparadan başlanması uygun görülmüştür. Daha sonra sırasıyla; 320 – 500 – 600 – 800 zımpara kağıtları kullanılmıştır. Zımparalama işlemi malzeme yüzeylerinin zarar görmemesi amacıyla su altında gerçekleştirilmiştir.(malzeme yüzeylerinin yanmaması amacıyla)

Zımparalama işlemi tamamlanan numunelere daha sonraki işlem olarak alumina ile kaba parlatma ve son olarak da elmas pasta ile ince parlatma işlemleri uygulanmıştır.

Bu işlemler Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları Makine Takım Endüstrisi A.Ş.' de çekileceğinden dolayı dağlama işlemi de Makine Takım Endüstrisi A.Ş. de gerçekleştirilmiştir.

Dağlama işlemin de Nital 5 kullanılmıştır.

Dağlama işleminden hemen sonrada malzemelerin mikroyapıları fotoğraflanmıştır. Mikroyapıların görüntülenmesinde kaynak bölgeleri için 250 büyültme, diğer bölgeler için yani ITAB' ler ve kaynaktan etkilenmeyen bölgeler için 1000 büyültme yapılması uygun görülmüştür.

7. SONUÇLAR

Farklı metallerin kaynak prosesi ile birleştirilmesinde karşılaşılan sorunlar, metallerin farklı fiziksel, mekanik ve metalürjik özelliklere sahip olmasından ileri gelmektedir. Bu deneysel çalışmada yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilen, HSS çeliği ile 4140 çeliğinin, gerek kaynak prosesi esnasında, gerekse ısıtma işlemi kademelerinde farklı davranışlar göstermelerinin nedeni de malzemelerin bu özelliklerindeki değişikliklerinden kaynaklanmaktadır. Bütün bu ifadelerden yola çıkarak bu deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçları şöyle açıklayabiliriz:

Kaynak işleminden önce ve sonra yapılan numune boyut ölçümleri ve buna bağlı olarak kaynak sonu numunelerde gerçekleşen malzeme kayıpları Çizelge 6.9' da verilmiştir. Çizelge 6.9' da görüldüğü gibi, kaynak işlemi sonrası, HSS çeliğinde 4,5- 4,8 mm, 4140 çeliğinde ise 3,5- 4 mm malzeme kaybı gerçekleşmektedir. HSS çeliğinde meydana gelen malzeme kaybının daha fazla olması, kaynak işlemi esnasında yanmanın büyük bir bölümünün, HSS çeliği tarafında gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Bu durum ise, HSS çeliğinin 4140 çeliğine oranla daha yüksek elektrik direncine ve daha düşük ergime sıcaklığına sahip olmasından ileri gelmektedir. Ayrıca kaynak işlemi esnasında HSS çeliğine olan karbon yayılımı, HSS çeliğinin ergime sıcaklığının daha da düşmesine neden olmaktadır.

HSS çeliğinin fiyatının, 4140 çeliğinin fiyatının yaklaşık 9-10 katı kadar fazla oluşu, malzeme kayıplarının mali tablodaki önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle, HSS çeliğindeki malzeme kayıplarını azaltmak, dolayısıyla da maliyeti düşürmek amacıyla kanımca 4140 çeliğine kaynak işlemi öncesi bir ön tav uygulanması uygun olacaktır.

Yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilen numunelere, kaynak sonrası farklı ısıtma işlemlerinin uygulanması sonucu elde edilen sertlik değişimleri, Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10' da görülmektedir. Bütün eğrilere ortak yaklaşımla bir yorum getirmek gerekirse; kaynak çizgisinden uzaklaştıkça HSS çeliğinde ki sertlikte belli bir düşüşün meydana geldiği, 4140 çelik malzeme tarafında ise sertlikteki bu düşüşün daha az olduğu ve sertlik değerlerinin birbirine yakınlık gösterdiği görülmektedir.

Yakma alın kaynak prosesi ile birleştirildikten sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılan 3 numaralı numunenin, kaynak bölgesinde ve ITAB' de karşılaşılan aşırı sertlik değerlerinde, gerilim giderme ve normalizasyon tavlama sonrası(2 numaralı numune), yaklaşık % 50' ye varan bir düşüş gerçekleşmektedir. Normalizasyon tavlama sonucu daha yumuşak bir yapı

elde edilmesinin yanı sıra, tane küçülmesiyle beraber iç yapı daha homojen hale gelmekte ve mekanik özelliklerde de iyileşme olmaktadır.

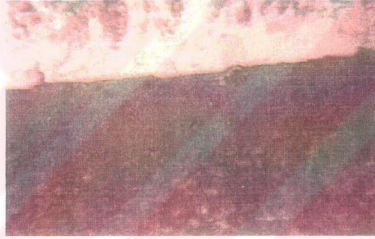
Talaş kaldırmada kesici takım malzemesi olarak kullanılan takım çeliklerinin mümkün olan en yüksek sertlik derecesine ve aşınma mukavemetine sahip olmaları istenir. Bu amaçla bu deneysel çalışma için, normalizasyon tavlama sonrası, 1 numaralı numunenin HSS yüzeyinin sertleştirilmesi uygun görülmüş ve sertleştirme ısıl işlemi sonrası HSS çeliğinin sertliği ortalama 835 HV10 değerine yükselmiştir. HSS çeliğinde ki alaşım elemanlarının karbona olan ilgisinden dolayı, HSS çeliğine doğru karbon yayılımı gerçekleşmekte ve karbon miktarının artması ile de erişilebilecek sertlik değeri yükselmektedir. Ayrıca 1 numaralı numuneye sertleştirme işlemi öncesinde uygulanan ön ısıtma tavlama sonucu (850°C ve 1050°C' de), sementit taneli bir şekilde yapıda yer almakta ve sertleştirme sıcaklığında östenit içerisinde daha kolay çözünmektedir.

Sertleştirme ısıl işleminin, sadece 1 no' lu numunenin HSS yüzeyine uygulanmasına karşın, 4140 çeliğinde de bir sertlik artışı meydana gelmektedir. Sertlik değerlerindeki bu artışa neden olarak, HSS yüzeyine uygulanan sertleştirme ısıl işlemi esnasında çıkılan yüksek sıcaklığın 4140 çeliğini bir tür etkilemesi ve soğutma hızının yüksek seçilmesi gösterilebilir.

Şekil 7.1, 7.2 ve 7.3' de yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgesindeki mikro yapıları görülmektedir. HSS çeliğinin bünyesinde bulunan alaşım elemanlarının karbona olan ilgisinden dolayı, gerek kaynak işlemi esnasında gerekse kaynak işlemi sonrası uygulanan ısıl işlemler esnasında, HSS çeliğine doğru karbon yayılımını gerçekleştirmektedir.



Şekil 7.1.1 numaralı numune kaynak bölgesi mikro yapısı (x 250) (normalizasyon tavlaması sonrası HSS yüzeyi sertleştirilen numune)



Şekil 7.2.2 numaralı numune kaynak bölgesi mikro yapısı (x250) (kaynak sonrası gerilim giderme ve normalizasyon tavlamaları uygulanan numune)



Şekil 7.3.3 numaralı numune kaynak bölgesi mikro yapısı (x250) (kaynak sonrası oda sıcaklığında soğutulan numune)

Kaynak sonu hiçbir ısıl işlem uygulanmayan ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılan 3 numaralı numunenin, 4140 çelik malzeme tarafında, soğumanın dengeli bir şekilde gerçekleşmemesi sebebiyle, ferritik-perlitik bir iç yapı elde edilmesi gerekirken, ortalama 335 HV10 sertlik değerinde, iğnesel martenzitten meydana gelen bir iç yapı oluşmuştur (Şekil 7.4). Yine aynı numunenin HSS çeliği tarafında ise, 610 HV10 sertlik değerinde, HSS çeliklerine özgü bir iç yapı olarak da adlandırılabilen, karbür çökmesiyle sertlik artışı gösteren bir iç yapı elde edilmiştir (Şekil 7.5).



Şekil 7.4 Kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın bölgedeki 4140 çelik tarafının mikro yapısı (x 1000)



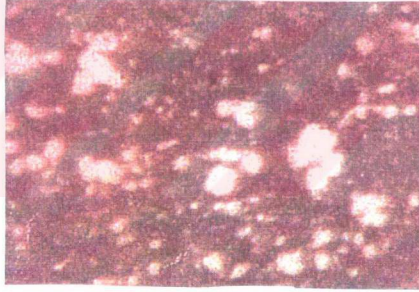
Şekil 7.5 Kaynak sonu oda sıcaklığında soğutulan 3 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın bölgedeki HSS çelik tarafının mikro yapısı (x 1000)

Normalizasyon tavlmasına tabi tutulan 2 numaralı numunenin 4140 çelik tarafında, normalizasyon işlemi sonrası dengeli soğuma sonucu, ferrit + perlit iç yapı dönüşümü meydana gelmekte (Şekil 7.6) ve kaynak sonrası oda sıcaklığında soğutulmuş olan 3 numaralı numuneye oranla sertlikte ki büyük düşüş dikkat çekmektedir.



Şekil 7.6 Gerilim giderme ve normalizasyon tavlamlarına tabi tutulan 2 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın 4140 çelik tarafının mikro yapısı (x1000)

2 numaralı numunenin HSS yüzeyinde ise, yine normalizasyon tavlaması sonrası dengeli soğuma sonucu, 3 numaralı numunede ki sertlik artışının aksine ortalama 283 HV10 sertlik değerinde, perlit + karbürden oluşan bir iç yapı meydana gelmektedir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7 Gerilim giderme ve normalizasyon tavlamlarına tabi tutulan 2 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın HSS tarafının mikroyapısı (x1000)

1 numaralı numunenin HSS yüzeyine uygulanan sertleştirme ısı işlemi sonrası, önceden de belirtilmiş olduğu gibi 4140 çeliğinin sertliğinde de bir artış meydana gelmektedir. Şekil 7.8' de 1 numaralı numunenin, ITAB' ye komşu 4140 çelik ana malzemesinde ki iç yapı dağılımı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, 4140 çelik malzemesi, esas yapısı olan dengeli ferrit-perlit dokusunu korumaktadır. (ötektoidalı yapı)



Şekil 7.8 2 numaralı numunenin 4140 çelik tarafının ITAB' ye komşu ana malzemedeki mikroyapısı (x1000)

1 numaralı numunenin HSS yüzeyinin sertleştirilmesi sonucu ise, yine HSS çeliklerine özgü, karbürlerin tane sınırlarına çökmesiyle, 835 HV10 sertlik değerine ulaşan bir iç yapı elde edilmektedir (Şekil 7.9). HSS çeliğindeki alaşım elemanlarının karbona olan ilgisinden dolayı HSS tarafında karbürler oluşmakta ve tane sınırlarına çöken bu karbürler sertliği arttırmaktadır.



Şekil 7.9 HSS yüzeyi ve kaynak bölgesi sertleştirilen 1 numaralı numunenin kaynak dikişine yakın HSS tarafının mikroyapısı (x 1000)

Sonuç olarak; HSS çeliğinin ve 4140 çeliğinin yakma alın kaynak prosesi ile birleştirilmesinde, HSS çeliğindeki alaşım elemanlarının karbona olan ilgisinden dolayı,

karbon HSS tarafına yayılmakta, bu bölgede yoğun çökeltiler oluşturarak sertliği en üst düzeye çıkararak, dolayısıyla da geçiş bölgesindeki sertlik farkını büyüterek bağlantının mukavemetini düşürmektedir. Ayrıca kaynak işlemi esnasında meydana gelen yanma kademesinde, 4140 çeliğine oranla HSS çeliğinde meydana gelen malzeme kaybındaki artış, ekonomik bakımdan bir olumsuzluk olsa da bu durum, 4140 çeliğine uygulanacak bir ön tavlama ile giderilebilecektir. Kısacası kaynak parametrelerinin doğru seçimi ve ısıtma işlem kademelerine gerekli önemin verilmesi durumunda, HSS çeliği ve 4140 çeliğinin birleştirilmesiyle imal edilen kesici takımlar, endüstriyel alanlarda başarı ile kullanılabilirler.



KAYNAKLAR

- Anık, S., Anık, S. ve Vural, M., (1993a), 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi Cilt I-II, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anık, S. ve Vural, M., (1993b). "Özel Kaynak Yöntemleri", MMO Mesleki Eğitim Programı Seminer Notları, MMO, 10-12 Kasım 1993, 89-170.
- ASM Handbook Committee., (1983), Metals Handbook Volume-6 Welding, Brazing and Soldering, ASM, Metals Park, Ohio.
- Ateş, H., Kurt, A. ve Türker, M., (1998), "Sürtünme Kaynağı", Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, TMMOB, 125-132.
- Beres, L., (1998), "Proposed Modification to Schaeffler Diagram for Chrome Equivalents and Carbon for More Accurate Prediction of Martensite Content", Welding Journal, July 1998: 273-276.
- 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.
- Cary, H.B., (1989), Modern Welding Technology, Prentice Hall, New Jersey.
- Civelekoglu, F., (1971), Yüksek Hız Çeliği (S-6-5-2) ile Alaşımızsız Karbon Çeliği (Ck60) Çubukların Yakma Alın Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin ve Kaynak Bölgesinin Etüdü, Doçentlik Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Eryürek, B., (1982), "Elektrik Direnç Kaynağı", Mühendis ve Makine, Cilt 24 (279): 22-30.
- Güleç, Ş., (1990), Malzeme Ders Notları, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Güleç, Ş. ve Aran, A., (1993), Malzeme Bilgisi I-II, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Ofset, İstanbul.
- Honeycombe, R., (1995), Steels Microstructures and Properties, London.
- Hosking, F.M., Stephens, J.J. ve Rejent, J.A., (1999), "Intermediate Temperature Joining of Dissimilar Metals", Welding Journal, April 1999: 127-136.
- Jeffus, Larry., (1993), Welding Principles and Applications, Delmer Publishers, Albany.
- Konig, R., Can, H. ve Yüksel, C., (1998), "Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Sonrası Yapıları", Kaynak Teknolojisi II Ulusal Kongresi, 1998 : 41-62.
- Kou, S., (1987), Welding Metallurgy, University of Wisconsin, USA
- Kuruzar, D.L., (1979), "Joint Design for the Friction Welding Process", Welding Journal, June 1979: 31-35
- Lancaster, J.F., (1993), Metallurgy of Welding Fifth Edition, London
- Lı, L. Ve Messler, R.W., (1999), "The Effects of Phosphorus and Sulfur on Susceptibility to Weld Hot Cracking in austenitic Stainless Steels", Welding Journal, December 1999:387s-396s.
- Makine Takım A.Ş., (1999), Alın Direnç Kaynak Prosesi, Makine Takım A.Ş, İstanbul(yayınlanmamış)

- Mills, M.J., Lippold, J.C ve Nelson, T.W., (1999), "Nature and Evaluation of the Fusion Boundary in Ferritic-Austenitic Dissimilar Metal Welds", Welding Journal, October 1999: 329s-337s
- ODTÜ Kaynak Teknolojisi Merkezi, (1992), Kaynak Teknolojisi Merkezi Kaynak Mühendisliği Notları, ODTÜ, Ankara.
- Omar, A.A., (1998), "Effects of Welding Parameters on Hard Zone Formation at Dissimilar Metal Welds", Welding Journal, February 1998: 86s-93s.
- Rossi, E., (1954), Welding Engineering, Mc Graw-Hill, New York.
- Rowe, M.D., Nelson, T.W ve Lippold, J.C., (1999), "Hydrogen Induced Cracking Along the Fussion Boundary of Dissimilar Metal Welds", Welding Journal, February 1999: 31s-37s.
- Sandal, O., (1988), Farklı İki Takım Çeliğinin Elektrik Yakma Alın Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul.
- Schwartz, M.M., (1979), Modern Welding Joining Techniques, Wiley-Interscience, New York
- Stinchcomb, C., (1999), Welding Technology Today Principle and Practices, Prentice Hill, New Jersey.
- Stout, R.D., (1987), Weldability of Steels, Welding Research Council Fourt Edition, USA.
- Yılmaz, M., (1991), "Farklı Takım Çeliklerinin Birleştirilmesinde Yakma Alın ve Sürtünme Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırılması", 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli: 156-168.
- Yılmaz, M., (1993), Farklı Takım Çeliklerinin Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul.
- Yılmaz, M. Ve Çöl, M., (2000), "Sürtünme Kaynaklı Alüminyum Çelik Bağlantılar", Mühendis ve Makina, Eylül 2000 (488): 15-22.
- Weisman, C., (1984a), AWS Welding Handbook Volume-4 Metals and Their Weldability, AWS, Miami.
- Weisman, C., (1984b), AWS Welding Handbook Volume-3 Resistance and Solid-State Welding and Other Joining Processes, AWS, Miami.
- Westgate, S.A., (1985), "Friction and Flash Welding-Mechanical Properties Reviewed", The Welding Institute Research Bulletin, February 1985: 49-53.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	25.01.1976	
Doğum yeri	Ankara	
Lise	1987 – 1994	Ankara Gazi Anadolu Lisesi
Lisans	1994 – 1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998 – 2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

