

75464

**ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI VE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ
UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Ercan CİHAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Ocak 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Şubat 1998

Tez Danışmanı : Prof. Selahaddin ANIK

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU

Prof. Dr. Murat EREKE

(Handwritten signatures and stamps)

(Faint stamp: İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ)

ŞUBAT 1998

ÖNSÖZ

Birleştirilmesi diğer kaynak yöntemleriyle oldukça güç olan malzemelerin kaynağında yeni sayılabilecek ve fiziksel prensipleri farklı bir yöntem olan elektron ışın kaynağı yöntemi bu tezde incelenmiştir. Özellikle otomotiv endüstrisinde son yıllarda geniş kullanım alanı bulan bu modern birleştirme yönteminin üzerinde daha çok sayıda farklı araştırmaların yapılacağı gözükmemektedir.

Oldukça geniş bir literatür taraması yaparak ve bizzat makina ve parçalar üzerinde tetkiklerde bulunarak hazırlamaya çalıştığım bu tezin oluşmasında bana yol gösteren ve imkan sağlayan tez danışmanım değerli hocam Prof. Selahaddin ANIK'a, başta Nevzat Ergin bey olmak üzere Renault firmasında çalışmama izin veren fabrika müdürü ve diğer personele, deneylerin yapılmasında ve mikroyapıların alınmasında büyük yardımları olan Yük. Mak. Müh. Halit Güloğlu'na ve Mannesmann personeline, TWI Research Center'dan C. Ribton'a ve Messer Griesheim'dan Peter Damm'a, ayrıca tez yazımında yardımcı olan Nazmiye Ayan ve Uğur Mutlu'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat 1998

Ercan CİHAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
SEMBOL LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ	XVI
ÖZET	XVII
SUMMARY	XVIII
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Elektron Işın Kaynağının Özel Karakteristikleri ve Işının Üretimi	1
1.2 Elektron Işının Üretimi	3
1.2.1 Serbest elektronlar	3
1.2.2 Katot	5
1.2.3 Anot	6
1.2.4 Kontrol elektrodu	7
1.2.5 Boş yük operasyonu	9
1.2.6 Odaklama lensi	11
1.2.7 Saptırma sistemi	14
1.2.8 Işın doğrultma sistemleri	15
1.2.9 Parlaklık	17
1.2.10 Güç yoğunluğu ve ölçme metodları	18
1.2.11 Güç yoğunluğu dağılımı üzerindeki etkiler	20
1.2.12 Vakum	21
BÖLÜM 2 ELEKTRON IŞINININ METAL NÜFUZİYETİNDEKİ DAVRANIŞI	23
2.1 Metal Yüzeyinde Oluşan İşlemler	23
2.2 Derin Nüfuziyet Kaynak Etkisi	25
2.3 Kaynak Prosesinin Neticeleri	33
BÖLÜM 3 KAYNAK PARAMETRELERİ VE KAYNAK UYGULAMASI ÜZERİNDEKİ TAVSİYELER	34
3.1 Parametrelerin Etkileri	34
3.2 İvmelendirme Voltajı	34
3.3 Işın Akımı	39
3.4 Mercek Akımı, Odaklama Pozisyonu	41
3.5 Kaynak Hızı	48
3.6 Işın Sapması	50
3.7 Işın Darbesi	55
3.8 Pozisyonel Kaynak	56
3.9 Çalışma Basıncı	58
3.10 Parametrelerin Optimizasyonu	61

BÖLÜM 4	METALİK MALZEMELERİN KAYNAK KABİLİYETİ	64
4.1	Kaynağa Uygunluk	64
4.2	Prosesle Bağlı Etkiler	64
4.2.1	Sıvı ve buhar fazları	64
4.3	Vakum Etkisi	65
4.4	Katılaşma	66
4.5	Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)	68
4.6	İç Kaynak Gerilmeleri	70
4.7	Kaynak Kabiliyeti Sınıflandırması	73
4.8	Farklı Malzeme Gruplarının Kaynak Kabiliyeti	75
4.8.1	Demir ve çelikler	75
4.8.2	Bakır malzemeler	80
4.8.3	Nikel ve kobalt malzemeler	80
4.8.4	Aluminyum malzemeler	81
4.8.5	Magnezyum malzemeler	85
4.8.6	Titanyum malzemeler	86
4.8.7	Özel metaller	88
4.8.8	Farklı malzemelerin kombinasyonu	90
4.9	Malzeme İşin Sapması İlişkisi	95
BÖLÜM 5	ATMOSFERİK BASINÇTA ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI	98
5.1	İşlemin Mekanizma ve Prensipleri	99
5.2	Atomlar Ve Hızlı Elektron Arasındaki Etkileşim	99
5.3	Saçılma Dağılımı	100
5.4	Yaklaşımlar	100
5.5	Işın Transferi	100
5.6	Kontrollü Atmosfer Ünitesi	101
5.7	Kaynak Parametreleri	102
BÖLÜM 6	OTOMOBİL ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMALAR	105
6.1	Yüksek Vakum İle Yapılan Uygulamalar	105
6.2	Atmosferik Basınç Altında Elektron Işın Kaynağı	112
6.2.1	NV-EBW kaynak yönteminin prensipleri ve ek özellikleri	112
6.2.2	Yaygın uygulama ve deneyimler	115
6.2.3	Emme manifoldu	115
6.2.4	Tork konvertörü	115
6.2.5	Transmisyon parçaları	117
6.2.6	Otomobil iskeleti için düz sac parçalar	117
6.2.7	Yeniden biçimlendirilen düz saclar	118
6.2.8	Sonuçlar	119
BÖLÜM 7	YAPILAN ARAŞTIRMA VE İNCELEMELER	121
7.1	Üzerinde Çalışılan Elektron Işın Kaynak Makinası	121
7.2	Elektron Tabancası Ve Özellikleri	122
7.3	Katot	123
7.4	Flaman	123
7.5	Wehnelt	123

7.6	Anot	125
7.7	Odaklama Bobini	126
7.8	Saptırma Bobinleri	126
7.9	Kaynak edilen parça	127
7.10	Mekanik Testler	128
7.11	Malzeme ve Kaynak Kabiliyeti	128
7.12	Sertlik Ölçümleri	130
7.13	Metallurjik Yapı	131
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		136
KAYNAKLAR		137
ÖZGEÇMİŞ		139



SEMBOL LİSTESİ

a	Gözenek veya boşluklar arasındaki en kısa mesafe	mm
a	Kaynak dolgusu kalınlığı	mm
A _A	Çalışma mesafesi	mm
A _F	Odaklama mesafesi	mm
b	Kaynak genişliği	mm
b _A	Işın salımının genliği	mm
b _P	Işın salımının genişliği	mm
b _S	Kaynak boşluğunun genişliği	mm
b _Z	Herhangi bir pozisyonda erime bölgesinin genişliği	mm
d	Çap	mm
d _{Fl}	Işın nokta çapı	mm
d _{Fo}	Işının odak çapı	mm
d _R	Çevresel kaynak çapı	mm
d _{St}	Herhangi bir pozisyonda ışın çapı	mm
e	Kenar kaçıklığı	mm
f	Salınım frekansı	Hz
F	Kuvvet	N
F	Gözenet veya boşlukların en büyük kesit alanı	mm ²
F _{Fl}	Çarpma noktasındaki noktasal ışın alanı	mm ²
F _{Fo}	Işının odak noktasındaki alanı	mm ²
g	Yerçekimi ivmesi	m · s ⁻²
G	Manyetik yoğunluk değişimi	V · s · m ⁻²
h	Kaynak dikişi yüksekliği	mm
i _p	Bekleme zamanı (Darbe)	ms
i _f	Darbe frekansı	Hz
i _t	Darbe süresi	ms
i _v	Darbe oranı	-
I _A	Işın çarpma akımı	mA
I _D	Nakledilen ışın akımı	mA
I _H	Katod ısıtma akımı	A
I _K	Işın sapma akımı	mA
I _L	Mercek akımı	A
I _P	Işın salınımı akımı	mA
I _S	Işın akımı	mA
I _{SD}	Sürekli ışın akımı	mA
I _{SP}	Darbeleri ışın akımı	mA
j _e	Emisyon akım yoğunluğu	A · cm ⁻²
j _{eR}	Boş yükle sınırlanan emisyon akım yoğunluğu	A · cm ⁻²
j _{eT}	Sıcaklığa bağlı emisyon akım yoğunluğu	A · cm ⁻²
k	Katod ve kontrol elektrodu arasındaki mesafe	mm
l	Kaynak dikişi genişliği	mm
L	Güç yoğunluğu	W · cm ⁻²
P _A	Çalışma basıncı	mbar
P _E	Işın jeneratöründeki basınç	mbar
P	Işın gücü	kW
R	Parlaklık	A · cm ⁻² · sr ⁻¹
R _K	Katoddaki parlaklık	A · cm ⁻² · sr ⁻¹
R _L	Işıma	W · cm ⁻² · sr ⁻¹
R _{p0.2}	% 0.2 gerilme	N · mm ⁻²
R _W	Parçadaki parlaklık	A · cm ⁻² · sr ⁻¹

s	Erime bölgesi derinliği	mm
t	Parça kalınlığı	mm
t	Parça kalınlığını berirleyen dayanım	mm
t	Zaman	s
T	Sıcaklık	°C;K
U _B	İvmelendirme voltajı	kV
U _{St}	Kontrol voltajı	kV
v	Işın dengelenmesi	mm
v _s	Kaynak hızı	mm · s ⁻¹ ;m · min ⁻¹
V	Çalışma kamarası hacmi	m ³
α	Açıklık açısı	rd
α	Kaynak dikişi eğim açısı	°
α _K	Katod ile ilgili açıklık açısı	rd
α _W	Parça ile ilgili açıklık açısı	rd
β	Sapma açısı	°
γ	Yoğunluk	g · cm ⁻³
δ	İntegral eğrisi gradiyanı	°
ω	Katı açı	sr



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Elektron ışın kaynağı ile TIG kaynağının karşılaştırılması (12,7 mm paslanmaz çelikten plaka)	1
Şekil 1.2 Çok kademeli elektron ışın kaynağı	2
Şekil 1.3 Elektron ışın kaynağı prosesi	3
Şekil 1.4 Elektron hızı ve ivmelendirme voltajı arasındaki ilişki	4
Şekil 1.5 $P=15$ kW'a kadar olan ışın güçleri için şerit katot (a) ve bir triod ışın üretici sisteminin şeması (b)	5
Şekil 1.6 Uygulanan kontrol voltajının sonucu olarak potansiyel çizgilerindeki değişim	7
Şekil 1.7 Wehnelt	8
Şekil 1.8 Bir triod sistemindeki ışın geometrisi (a) ve gerçek ve sanal kesişim noktası oluşumuna yön veren yollar (b)	9
Şekil 1.9 Boş yük alanının tanımı	11
Şekil 1.10 Elektron ışınının odaklanması için bir elektromanyetik mercekle sabit bir ivmelendirme voltajında U_b , odak mesafesi A_F 'nin mercekle akımı I_L 'ye bağılılığı	12
Şekil 1.11 Odakta ışının bel vermesi (caustic), işlenecek parçaya doğru açıklık açısı ve odak çapı d_{F0} görülmektedir ve odaklama merceği ve ışın saptırma sistemiyle bir elektron tabancası (a ve b)	13
Şekil 1.12 Bir ışın saptırma sistemi	15
Şekil 1.13 Üst (d_{FL0}) ve alt (d_{FLU}) tarafa odaklandığında nokta çapındaki değişim	16
Şekil 1.14 Bir elektron ışını için üst ve alt odaklama olduğunda noktanın şeklindeki değişimler ve stigmatör ve astigmatik sapması gözükken bir elektron ışınının düzeltilmesi	17
Şekil 1.15 Işımanın (R_L) ışının (R_W) parlaklığının tanımı	17
Şekil 1.16 Açıklık ölçüm metodu ve optimum parametre ayarlarıyla ışın güç yoğunluğunun üç boyutlu temsili şekli (a ve b)	19
Şekil 1.17 Eş güç yoğunluğu çizgileri ve daha az ısıtılmış bir katodun eş güç yoğunluğu çizgileri (a ve b)	20
Şekil 1.18 Bir elektron ışın tabancası ve basınç kademeleri ve kolon değeri ile birleşen çalışma kamarası	22

Şekil 2.1	İşlenecek parçanın yüzeyi ile elektron ışını karşılaştığı sırada oluşan prosesler	24
Şekil 2.2	Farklı malzemelerin üzerine çarpan $U_B=150$ kV bir ışın gücü için Schonland formülüne göre hesaplanmış, kinetik enerjilerinin yaklaşık %99'unu harcayan elektronların nüfuziyet derinliği	25
Şekil 2.3	Çevresel bir zirkaloy-2'nin kaynağında makroskopik kesit alanı içi, birleşme ve ITAB alanları ve derin nüfuziyet etkisi gözükmemektedir	26
Şekil 2.4	Derin nüfuziyetli kaynağın çeşitli kademeleri	26
Şekil 2.5	Yüksek nüfuziyetli kaynaklar :Bakır crom alaşımı 130mm (sağda), çelik 150mm (solda)	27
Şekil 2.6	X 20 Cr 13 malzemesinin 50 mm kalınlığındaki boylamasına kaynağında, birleşme ve ITAB bölgelerinin içinden alınmış bir makroskopik yapı	27
Şekil 2.7	Derin nüfuziyetli kaynakta, kaynak aralığı ve eriyen zarf içinde ana kuvvetler	28
Şekil 2.8	Kaynak aralığı ve eriyik zarfının üç boyutlu görüntüsü	28
Şekil 2.9	Birleşme bölgesinin altında boşluk oluşumu	29
Şekil 2.10	Kısmen nüfuz etmiş bir kaynak kökünün içinden boylamasına kesit, "sivri uç" etkisi ve boşlukların görünümü (15:1, x 0,6)	30
Şekil 2.11	Kaynak aralığında ve eriyen zarfta oluşan dinamik işlemler üzerinde Tandem elektron ışın kaynağı prosesinin etkisi	30
Şekil 2.12	Aşırı tümsekli, alttan kesmeli ve tepe oluşumlu kaynaklar ve alın kaynağının üst parçasında yarık oluşturarak bunların önlenmesi	31
Şekil 2.13	İşlenecek parçaya normal bir ışınla kaynatılmış, çevresel boru kaynağının içinden boylamasına bir kesit	32
Şekil 2.14	Malzeme hareketi ve elektron ışın kaynağı sırasında kaynak yüzeyinde kabuk oluşumu ve işlenecek parçanın yüzeyinden 7,5 mm altta yatay bir kesitte işaretli malzeme dağılımı	32
Şekil 3.1	Elektron ışınını direk olarak etkileyen çeşitli sistemlerin ve basınçların kullanılmasıyla gösterilen bir elektron ışın tabancası ve çalışma kamarası	34
Şekil 3.2	Odak çapı üzerinde ışın akımı I_s ve ivmelendirme voltajının etkisi	35
Şekil 3.3	Farklı ivmelendirme voltajı U_B ve odak mesafeleriyle A_F , ama $P=15$ kW'lık sabit bir ışın gücüyle yapılan kaynakların içinden kesitler	35
Şekil 3.4	Işın üreticinde metal buharının geri gelmesiyle oluşan yüksek voltajlı ark oluşumunu önlemek için anodun altındaki manyetik tuzak.	37

Şekil 3.5	Yana yatırılan elektron ışın tabancasıyla elde edilen ışın sapması	37
Şekil 3.6	Elektron tabancasının dışında ışın sapması	38
Şekil 3.7	Elektron tabancasında ve çalışma kamarasında, ışın akımı, çarpan ışın akımı, nakledilen akım ve işlenecek parçaya tesir eden akım	39
Şekil 3.8	Tam nüfuziyetli bir kaynak bağlantısında farklı etkiler elde edilir	40
Şekil 3.9	Çevresel bir kaynak için odağın nasıl ayarlanacağını görünümü	41
Şekil 3.10	Çeşitli odak pozisyonları	42
Şekil 3.11	Sürekli değişen bir odak pozisyonu ile tecrübi bir kaynak yapma yöntemi	42
Şekil 3.12	Çalışma mesafesinde A_A ve odak mesafesi A_F çeşitli ölçüm düzlemlerinde odak çapı d_{Fo} , nokta çapı d_{Fi} ve ışın çapı d_{Si} 'nin tanımlanması	43
Şekil 3.13	Normal odaklama şartları altında odak mesafesi A_F	44
Şekil 3.14	Mercek akımı I_L 'nin fonksiyonu olarak birleşme bölgesinin derinliği	45
Şekil 3.15	Nokta çapı d_{Fi} 'nin bir fonksiyonu olarak birleşme bölgesinin derinliği	46
Şekil 3.16	Sabit kaynak parametreleri için birleşme bölgesinin derinliği ve kaynak kalınlığı arasındaki ilişki	46
Şekil 3.17	Elektron ışınına farklı odaklama sistemlerinin etkisi	47
Şekil 3.18	Çeşitli odaklama pozisyonlarından alınan kaynak kesitleri ve odaklama pozisyonunun çekme boşlukları oluşumuna etkisi	48
Şekil 3.19	Bir elektron ışını tarafından eritilen malzeme hacmi	48
Şekil 3.20	Işın gücünün ve kaynak hızının bir fonksiyonu olarak çelikte ulaşılabilir kaynak kalınlıkları	49
Şekil 3.21	Elektron ışınının çeşitli salınım yöntemleri	50
Şekil 3.22	Işın osilasyonu ile çevresel bir kaynak dikişinin kaynağı. Salınımın frekansı f_p ve çevresel dikişin çapı d_R , kaynak hızını (v_s) belirler.	51
Şekil 3.23	Lale tekniği kullanılarak 80 mm kalınlığında 10.CrMo 9 10 malzemesinin kaynağı	52
Şekil 3.24	Elektron ışın kaynağında lale dikiş tekniği kullanarak çeşitli ışın akımı ayarlama metodları	53
Şekil 3.25	Şekil 3.24'de gösterilen lale tekniği kullanılarak yapılan kaynağın, kaynak kökü bölgesi (3:1x 0,6)	54
Şekil 3.26	Darbeli bir ışın akımının şekli	55

Şekil 3.27	Darbeli bir elektron ışını ile kaynak edilen bir alüminyum pistonun içinden kesit alanı (1:1; x 0,5)	56
Şekil 3.28	Elektron ışın kaynağı için kullanılan çeşitli pozisyonlar	57
Şekil 3.29	Farklı pozisyonlarda kaynak banyosunun boyutları	58
Şekil 3.30	200 mm kalınlıktaki bir elektron ışın kaynaklı parçanın makroskopik kesiti	58
Şekil 3.31	Dikiş geometrisi üzerinde gaz basıncının etkisi	59
Şekil 3.32	Bir yüksek basınç ($P_2 > 10^{-2}$ mbar) ortamına giren elektron ışınının saçılması	60
Şekil 3.33	Birleşme bölgesinin derinliği s ve çalışma basıncı P_A arasındaki ilişki	60
Şekil 3.34	Hava – vakum – hava elektron ışın kaynağı prosesi.	61
Şekil 4.1	Üst üste yığılan kabuklarla bir elektron ışın kaynağı (8:1, 0.6 X)	66
Şekil 4.2	Yüksek alaşımlı çeliklerdeki kaynakların kesit alanları	67
Şekil 4.3	Gözenekleri gözüken TiAl 6 V 4 malzemesinin kaynağının mikro kesiti (200:1; 0.6X)	67
Şekil 4.4	X 2 NiCoMo 18 9 5 de kaynakların içinden kesitler (80:1; 0.6 X)	67
Şekil 4.5	Ostenitik bir çelikte yatay kaynak kesiti (50:1 ; 0.5 X)	68
Şekil 4.6	St 42'nin elektron ışın kaynağında sanki dengeli sıcaklık	69
Şekil 4.7	St 52'nin kaynak merkezinden çeşitli mesafelerde sıcaklık–zaman eğrileri	69
Şekil 4.8	Kaynakta iç çekme gerilmeleri ve enine çekme oluşumu	70
Şekil 4.9	Daldırma ark kaynağında boylamasına iç gerilmeler.	72
Şekil 4.10	I-alın profilinin elektron ışın kaynağındaki boylamasına iç gerilmeleri	72
Şekil 4.11	21 CrMo V 5 11 de kaynak boyunca sertlik değişimi	76
Şekil 4.12	Shaeffler diagramında ostenitik ve feritik katılaşmanın ifadesi	77
Şekil 4.13	X 5 NiCrTi 26 15 de kaynak boyunca sertlik değişimi	79
Şekil 4.14	45mm kalınlığında Ni 19Cr 19Fe 5Nb 3Mo alaşımının makro resimleri (sağ:3x,sol:50x)	81
Şekil 4.15	Kobalt alaşımında yapılmış bir kalça protezi.	81
Şekil 4.16	Elektron ışın ve TIG yönteminin ısı girişi açısından karşılaştırılması	82

Şekil 4.17	Aluminyumda alaşımlı parçaların çatlaklara göreceli eğilimi	83
Şekil 4.18	AlCuMg 2 de bir elektron ışın kaynağı kesiti	84
Şekil 4.19	AlMgSi 1 de kaynak boyunca sertlik değişimi.	85
Şekil 4.20	Aluminyum bağlantı şekilleri	85
Şekil 4.21	6.4mm kalınlığında HM31A-T5 magnezyum alaşımının elektron ışın kaynağı	85
Şekil 4.22	7.62 mm kalınlığında HM31 A-T5 alaşımının kaynak bölgesinin mikroyapıları,250x	86
Şekil 4.23	I-Alın kaynağı bağlantı şekilleri	86
Şekil 4.24	Titanyum alaşımlarının elektron ışın kaynağı	88
Şekil 4.25	Molibden levhalar arasında bindirme bağlantılı elektron ışın kaynağı	89
Şekil 4.26	Molibden parçaların elektron ışın kaynağına hazırlık olarak, genişletilmiş kaynak boşluğu ve merkezleme kenarı olan I-alın kaynağı	90
Şekil 4.27	Çeşitli elektron ışın kaynağı kombinasyonları	91
Şekil 4.28	Çeşitli malzeme kombinasyonlarının elektron ışın kaynağına uygunluğu	92
Şekil 4.29	Kombinasyonda birbirleriyle kaynak için bağlı uygunluklarını belirlemek amacıyla elektron dağılımlarına göre elementlerin listelenmesi.	92
Şekil 4.30	Işın dengelenmesiyle yapılan bir kaynağın birleşme bölgesindeki titanyum konsantrasyonu	93
Şekil 4.31	İşlenecek parçanın eğilmesi ve korunması ile bir malzeme kombinasyonunun elektron ışın kaynağı.	94
Şekil 4.32	Kaynak edilen malzemeye ayarlanan, sapan voltajlara karşı elektron ışın muhafazası.	96
Şekil 4.33	Bir karşı saptırma voltajı uygulayarak işlenecek parçanın X noktasındaki ışın sapmasının kompose edilmesi.	96
Şekil 4.34	Birleşme hatalarının mümkün olabilecek şekillerinin yerini öğrenmek için elektron ışın kaynağı sırasında ultrasonik test.	97
Şekil 5.1	Kontrollü atmosfer ünitesinin detayları	102
Şekil 5.2	Atmosfer altında elektron ışınıyla yapılan alın kaynakları.	102
Şekil 5.3	AISI 304 paslanmaz çeliğinde vakum ve non-vakum kaynak nüfuziyeti ve gücü karşılaştırılması	103

Şekil 5.4	Tipik atmosferik elektron ışın kaynağı parametreleri ve bunlar arasında genel bir karşılaştırma	104
Şekil 6.1	Elektron ışın kaynağı için hazırlanmış dişliler.	105
Şekil 6.2	Dişli çarkların boyutları üzerindeki imalat metodların etkisi	105
Şekil 6.3	Senkronize çalışan bir dişlinin elektron ışın kaynağının içinden makro kesit.	106
Şekil 6.4	Elektron ışın kaynağı yapılmış dişli çark	106
Şekil 6.5	Elektron ışın kaynağı yapılmış dişli çarkda kesikli eksenel kaynak	106
Şekil 6.6	Elektron ışını ile kaynak edilmiş planet dişli kafesi ve tahrik şaftı	107
Şekil 6.7	Şekil 6.6'daki resmin kaynağı içinden makro kesit	107
Şekil 6.8	Elektron ışın kaynağı için hazırlanmış bir planet dişli kafesi. Yamuk bir şekilde biçimlendirilen pabuçlar birlikte kaynak edilir	107
Şekil 6.9	Sadece bir tahliye zamanı süresince, birçok sayıda planet dişli kafesinin elektron ışın kaynağı için döner tabla mekanizması.	108
Şekil 6.10	Elektron ışın kaynağı için makineyle işlenerek hazırlanmış tahrik şaftı	108
Şekil 6.11	Son eksenel çevresel kaynağı gösteren tahrik şaftı	108
Şekil 6.12	İki elektron tabancasına sahip makina	109
Şekil 6.13	Şekil 6.12'deki makinayla yapılan radyal dolgu kaynağı içinden makro kesit (yuvarlak köşe kaynağı) (10 : 1, 0.45 x)	109
Şekil 6.14	İki radyal çevresel kaynaklı ön tekerlek süspansiyonu ve bağlantı parçaları.	110
Şekil 6.15	Soldaki dövülmüş yüzey ve sağdaki boru şeklinde bağlantı arasındaki radyal çevresel kaynaklardan biri.	110
Şekil 6.16	Bir dizel motorun ön yanma odasının elektron ışın kaynağı ve montajdan önce elektron ışın kaynağı yapılan şok absorberi pistonları	111
Şekil 6.17	Elektron ışın teknolojisinin kullanılabildiği parçalar	111
Şekil 6.18	Seri üretime uygun parçalar	111
Şekil 6.19	Elektron ışın kaynağı için değişik makine dizayn prensipleri	113
Şekil 6.20	Atmosferik basınçta yapılan kaynak için elektron ışın tabancasının yapısı.	113

Şekil 6.21	Atmosferik basınçta yapılan deneme elektron ışın kaynaklarının makro kesitleri. (175 kV yüksek voltaj)	114
Şekil 6.22	Alüminyum dökümden yapılan emme manifoldunun atmosferik basınçta yapılan elektron ışın kaynağı.	115
Şekil 6.23	AISI 1010 sertleştirilmiş çeliğinden yapılan tork konvertörünün atmosferik basınçta yapılan elektron ışın kaynağı.	116
Şekil 6.24	AISI 4130'dan yapılan vidalı başlık ve malzemesi düşük karbonlu çelik olan bir diskten oluşan iletişim parçasının atmosferik basınçta yapılan elektron ışın kaynağı.	117
Şekil 6.25	Yapı çeliği AISI 1010'dan 3.5 mm kalınlığındaki düz sac parçalarının otomobil iskeletindeki bölümlerinin atmosferik basınçta yapılan elektron ışın kaynağı ve sonradan şekillendirilmiş hali.	118
Şekil 6.26	Yeniden biçimlendirilen düz parçaların prensip şeması : farklı kalınlık, açı ve yüzeydeki düz sac parçaların bağlantısı.	118
Şekil 6.27	Farklı kalınlıktaki St14'den düz sacların NV-EBW kaynağının makro kesitleri.	119
Şekil 7.1	Üzerinde çalışılan elektron ışın kaynağı makinası	121
Şekil 7.2	Elektron ışın kaynağı makinasının ünite ve parçaları	122
Şekil 7.3	Elektron tabancasının çalışma gerilimi ve buradaki akımın değerinin anot akımı üzerindeki etkisi	122
Şekil 7.4	Wehnelt'teki eşpotansiyel çizgileri	124
Şekil 7.5	Eşpotansiyel çizgileri ve elektron ışınının hareketi	124
Şekil 7.6	Elektronların anoda akışında Wehnelt'in etkisi	125
Şekil 7.7	Elektron ışın kaynağının prensip şeması ve saptırma bobinleri	126
Şekil 7.8	Vites kutusu içersinde ileri ve geri vites milleri	127
Şekil 7.9	Test edilen vites mili örneği.	127
Şekil 7.10	Kaynak edilecek parçalar (üstte) silindirik parça , (altta) düz parça	127
Şekil 7.11	Parçanın dayanım testi.	128
Şekil 7.12	Deformasyona uğuramış numune.	128
Şekil 7.13	Schaeffler diagramı.	130
Şekil 7.14	Sertlik ölçümleri alınan numune	130
Şekil 7.15	İleri vites milinden alınan örneğin, sertlik ölçümleri	131

Şekil 7.16	Geri vites milinden alınan örneğin, sertlik ölçümleri	131
Şekil 7.17	Yapılan kaynakların makro kesitleri, 3.25 x	132
Şekil 7.18	Dikişin üstünde üst üste yığılan kabuk izleri.	132
Şekil 7.19	Geri vites milinden alınan örneğin kaynak bölgesinin iç yapı dağılımı, 250x.	132
Şekil 7.20	İleri vites milinden alınan örneğin kaynak bölgesinin iç yapı dağılımı, 250x.	132
Şekil 7.21	Kaynak dikişindeki geçiş bölgeleri, 80x.	133
Şekil 7.22	İleri vites milinden alınan örneğin üç farklı yapıdaki geçiş bölgeleri, 250x.	133
Şekil 7.23	İleri vites milinden alınan örneğin üç farklı yapıdaki geçiş bölgeleri, 250x.	133
Şekil 7.24	Geri vites milinden alınan örneğin üç farklı yapıdaki geçiş bölgeleri, 250x	133
Şekil 7.25	Geri vites mili kaynak dikişinin geçiş bölgesindeki görünümü, 400x.	134
Şekil 7.26	Kaynak bölgesindeki martenzitik yapı. 250 x	134
Şekil 7.27	Esas malzemenin iç yapısı (ferrit-perlit) 250 x	134

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Kaynak yapmak için kullanılan çeşitli ısı membalarının maksimum güç yoğunlukları	4
Tablo 4.1 Metallerin bağıl elektron ışın kaynak kabiliyeti (DVS 3024)	77
Tablo 4.2 Çeşitli alüminyum alaşımların bağıl kaynak kabiliyeti	85
Tablo 4.3 Alüminyum alaşımlı parçaların çatlaklara bağıl hassasiyeti	86
Tablo 4.4 Titanyum malzemelerin gerilme giderme tavlama (DVS 2713)	90
Tablo 4.5 Elektron ışın kaynağı yapılan çeşitli malzemeler için önerilen temizleme metodları	91
Tablo 7.1 Geri vites mili düz parça kimyasal analiz sonuçları	131
Tablo 7.2 Geri vites mili silindirik parça kimyasal analiz sonuçları	131
Tablo 7.3 İleri vites mili düz parça kimyasal analiz sonuçları	132
Tablo 7.4 Geri vites mili parçalarının Creş ve Nieş değerleri	132

ÖZET

Bu çalışmada eritme kaynağı yöntemlerinden biri olan elektron ışın kaynağı ve bu kaynak yönteminin özellikle otomotiv endüstrisindeki uygulamaları üzerinde durulmuştur.

Yöntemin anlaşılması bakımından ışın üretilmesindeki fiziksel prensipler ve işlemin en önemli noktasını oluşturan elektron ışın tabancası anlatılmıştır.

Hala çok çeşitli araştırmalara konu olan ışının malzeme üzerindeki davranışı çeşitli örneklerle anlatılmış ve kaynak yerinde ışının ve malzemenin etkileşim fenomeni açıklanmaya çalışılmıştır.

Diğer bir üzerinde çalışılan konuda kaynak parametrelerinin birbiriyle etkileşimleri ve nasıl bir optimizasyona gidileceğidir. Etkili parametrelerden ivmelendirme voltajı, ışın akımı, mercekleme akımı, odaklama pozisyonu, kaynak hızı, ışın sapması ve çalışma basıncı gibi olanlar açıklanmıştır.

Yöntemin üstünlüğünün belirginleşmesi açısından zengin örneklerle malzemelerin kaynak kabiliyeti tartışılmış, çelik, alüminyum ve titanyumun geniş kullanım sahası nedeniyle üzerinde daha fazla durulmuştur. Ayrıca farklı malzemelerin kombinasyonları irdelenmiştir.

Tezin diğer önemli konusu olan otomobil endüstrisindeki uygulamalar öncelikle yüksek vakum altında yapılan çalışmalar ve sonra atmosferik basınç altında yapılan tatbikatlar detaylarıyla incelenmiştir.

Son bölüm, bizzat üzerinde çalışılan bir elektron ışın kaynağı makinasının spesifik özelliklerini tanıtmakta ve bu makinayla kaynak edilen parça üzerinde yapılan kimyasal analizleri, sertlik ölçümlerini ve mikroyapı incelemelerini içermektedir.

ELECTRON BEAM WELDING AND ITS APPLICATIONS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

Electron beam welding (EBW), the most powerful fusion welding process, has been developed for many years and is increasingly implemented in various sectors such as aircraft manufacture, aerospace industry, nuclear engineering, metal-processing industry and automotive industry. In this study, the principles of the process, its advantages and applications of in automotive industry are described. In addition, EB weldability of metallic materials is explained with wide range of example.

At the time of its inception in 1950s, electron beam welding was strictly a high vacuum process. Today the process has a much wider scope, being also practiced at a medium vacuum and at atmospheric pressure. The electron beam is always generated in a high vacuum but the workpiece may be at the same pressure as the beam generator or at a higher pressure.

The heart of the process is the electron gun. The operation of this equipment may be either automatic or semiautomatic. In the electron gun, electrons are emitted from a cathode, with the speed and direction imparted to these electrons by their attraction to a positively charged anode. Usually, the electrons are generated from heated filament, and a precisely shaped cathode electrode surrounding the filament electrostatically shapes the electrons into a converging beam.

This converging beam of electrons, accelerated to speeds in the range of 50 000 to 200 000 km/s, passes through a small hole in the center of the anode and continues towards the workpiece. After the beam leaves the anode, the mutual repulsion of the electrons causes the beam to diverge as it travels. To counteract this effect, an electromagnetic lens system is used to re-converge the beam and thus control the size of the beam focal spot at the workpiece.

When this highly accelerated electron hits the base metal, it will penetrate slightly below the surface and at that point release the bulk of its kinetic energy that turns to heat energy. The addition of heat brings about a substantial temperature increase at the point of impact. The succession of electrons striking the same place causes melting and then evaporation of the base metal. This creates metal vapors but the electron beam travels through the vapor much easier than solid metal. This causes the beam to penetrate deeper into the base metal. The width of penetration is extremely narrow. This operation is progressive until the beam finally emerges from the base of the work, leaving a hole filled with central column of vapor surrounded by a liquid.

With a vapor/liquid hole established in the material, a weld can be made by translating the hole along a predetermined joint line. This is done by moving either the beam or the workpiece beneath the beam. Material behind the advancing hole solidifies as the heat source is removed.

Heat input for welding is controlled by four basic parameters: the number of electrons per second impinging on the workpiece (beam current) the speed of the electrons (accelerating voltage), the diameter of the electron beam at the surface of or within the workpiece (beam spot size) and the speed with which the workpiece or electron gun is being translated (welding speed).

A fundamental characteristic of an electron beam, which can help to define its welding capability, is the electron beam's power density. At the workpiece; this factor, obviously, is dependent upon the basic gun parameters of beam power (current x voltage) and beam spot size.

Power densities more than 10^8 W/cm^2 can be obtained by concentrating high kinetic energy onto a small work area. Such a high power density cannot be achieved with any other known continuous beams, including laser beams. This characteristic has made it possible for EBW to produce deep, narrow, and almost parallel-sided welds with relatively low total heat input and narrow heat-affected zones in a wide variety of common and exotic metals.

Electron beam must function in a vacuum to prevent the dispersal of the focused electrons by collision with air or other gaseous or physical molecules. The required vacuum chamber, though a limiting restraint on workpiece accommodation does simplify shielding of personnel from the harmful X-rays, by lead lining the chamber.

The behavior of the electron beam on penetrating a metal is one of the most important and difficult parts of the electron beam welding process to understand. Numerous investigations have dealt with the phenomenon by which the beam is able to weld metal several centimeters thick in spite of the fact that the electrons themselves penetrate only a few hundredths of a millimeter into the surface of the material. Even today, some 30 years after the first trials involving welding of greater material thicknesses although the physical mechanism of the electron beam process are known in principle, the individual processes taking part are so complex that the still cannot be quantitatively described. The difficulty in accurately and completely describing them lies in part in the fact that the object of investigation, the welding process, to a large extent cannot be studied directly by experiment. This, theoretical observations can only be proven by examination of the resulting weld produced. Nevertheless, welding with contrasting materials, radiography during welding, frequency measurements of the penetrating current, as well as calculations of the depth of weld and of the energy processes involved have all served to increase our knowledge of the deep penetration welding effect considerably.

The characteristic narrow, parallel sided, single pass, autogenous welds produced by the EB process, are made by the "keyholing" mechanism. This works by creating a hole through the material being welded and then running this "keyhole" along the joint. Molten metal flows around the sides of the keyhole and solidifies behind, so forming the weld.

The keyhole can only be formed if a sufficient vapour pressure exists within it, to counteract surface tension, gravity and other forces which tend to favour its closure. This means that the material in and around the keyhole sees peak temperatures and temperature gradients in excess of those found in other non-keyholing fusion welding processes. The liquid metal in the keyhole is literally boiled. This, in combination with the vacuum environment, encourages preferential vaporization of some alloying elements in certain materials. The chemistry of the weld is usually altered to some extent, and occasionally a material is found to be altogether unweldable because of this effect. However, in the vast majority of cases, losses of

this type are very small, with EB weld metal analyses remaining within the parent material's compositional specification. Another effect of the intense heat and potentially rapid thermal cycle offered by EB is that materials that have very high melting points and/or very high thermal conductivities are readily EB weldable without preheat. Moreover, when EB welding dissimilar materials together, factors such as differences in melting point and thermal conductivity between the two materials become almost insignificant in determining the feasibility of the joint.

The weld penetration of an electron beam is a function of the following parameters: the beam's own characteristic in the plane of the weld, such as its diameter, convergence angle, current, and accelerating voltage; the physical properties of the welded material, such as its thermal conductivity and melting point; the welding speed; the welding environment.

Many attempts have been made to correlate the above variables, with some success. A universal relationship is unlikely to be found, however, since our present understanding of the mechanism of deep penetration is not complete. There is also the question of variation of beam current profile from one experiment to another, and such variations are even greater from one design of electron guns to another. Even beam diameter is not always recorded, although it is a critical parameter since it decides the power density of the beam and hence its penetration capabilities. Nevertheless, attempts at correlating welding parameters are useful since they may reveal discrepancies due to inadequate theory.

Some significant welding parameters are accelerating voltage, beam current, lens current, focal position, welding speed, beam deflection, beam pulsing, positional welding and working pressure.

Determining the optimum parameters before starting a new welding operation can involve a very wide range of considerations. Not only must a weld of suitable thickness be produced to fulfill the functions and loadings expected of the component, but it must also be free of both external and internal defects. The settings required to achieve this are thus best determined in two stages if previous parameters for similar types of welding are not available.

In general, the accelerating voltage is first set to U_{Bmax} and thereafter kept constant. It is also recommended that initially a lens current I_L is chosen which produces a slight under-focusing. Apart from this the beam current I_s , depending on the as yet still unknown welding speed v_s , must also be determined. Each of these parameters has a very complicated effect on the welding process and thus on the weld itself. For example, in some cases the optimum beam current between being "under" and "over" welded may lie within very close limits.

The features of the electron beam facilitate the joining of refractory metals and, to a certain extent, materials or material combinations that can hardly be handled by other welding processes.

It is impossible to make a general statement about the weldability of all materials. Handbooks have good discussions on the EB weldability of most materials.

In fact, materials that are readily arc-welded are readily EB welded. The qualifications on this statement are that some materials must be welded with little or no restraint, others with pre-heat and others with post-heat. Additional qualifications

are that some materials require careful cleaning, others careful selection of the base metal chemistry.

One of the more interesting materials considerations appearing in recent years is that of welding dissimilar metals. Joining of dissimilar metals leads to special problems in both solidification and processing. In the area of solidification, attention must be paid to the chemistry of both metals as well as to the resulting fusion zone. Without this attention, cracking is likely occurring. In stainless steels, cracking usually results from too little ferrite in the fusion zone. Low-alloy or hardenable steels usually crack as a result of the formation of martensite, although they too can crack as a result of low ferrite content. Joining of dissimilar Al alloys can result in joints with cracks as a result of insufficient alloy content.

Melting and vaporization of a material at the start of the welding process is measured in milliseconds. This rapid heating process has a mostly indirect effect on the behavior of the material.

The microstructural changes occurring in the solid material, as a result of the extremely rapid temperature cycle, also mean that no coarsening of the structure takes place.

In all evaluations of the fusion and heat affected zones, the microstructure and strength changes that occur are limited to a very narrow band of materials in comparison with other welding processes.

Extremely rapid and localized heating by the electron beam leaves the material adjacent to the weld almost unaffected thermally. The extremely rapid solidification can act very detrimentally on the closing of the "keyhole" and degassing of the melt. In particular, when welding seams that do not penetrate through the full thickness of the material, unstable processes take place at the base of the keyhole.

Most iron and steel materials are very suitable for welding. Case hardening and nitriding steels, can be successfully electron beam welded prior to surface treatment or after machining away the surface treated regions in the area of the weld. As the carbon content increases the tendency to hardening also increases. As a result of the high rates of cooling experienced during electron beam welding hardening becomes significant at about 0.2% carbon content. Even high alloy steels are generally suitable for welding.

The decrease in the tendency to hot cracking during electron beam welding has been confirmed by observations made during the welding of hardenable steels. It must be mentioned that, in the case of high alloy CrNi-steels, in many instances the weldability is dependent both on the oxygen and nitrogen contents of the metal as well as on the stabilising elements niobium and titanium. Thus certain alloy steels, and in particular high temperature steels, will only meet the stringent requirements for successful electron beam welding if they have been vacuum melted.

The high thermal conductivity of copper causes the molten metal to solidify very rapidly which thus impedes closing of the keyhole and the escape of gaseous elements. OF – coppers are quite suitable for welding.

Pure nickel and nickel materials with low alloy contents are suitable for welding. Electron beam welding is now an extremely important process in fabrication of high strength nickel alloys for engine and turbine construction.

In general in welding of aluminum the tenacious oxide skin, the high melting point difference between the oxide and the parent metal and the high affinity of the weld pool for atmospheric gases, in particular for hydrogen. However with electron beam welding no additional steps need be taken. The electron beam easily breaks through the oxide skin, melting in the process, whilst the vacuum keeps any harmful gases away from the weld pool. Electron beam welding is thus excellently suited to welding of aluminum, and as such only a few comments on the metallurgical processes which take place are necessary. In electron beam welding of aluminum, zinc is regarded as an especially unwelcome alloying element. It increases the sensitivity to hot cracking, as well as causing considerable formation of porosity the melt because of its high vapour pressure. A large proportion of cast aluminum materials is also suitable for welding. Work hardened and hardenable aluminum loses a certain amount of their hardness in the narrow fusion zone.

With few exceptions, all the titanium alloys are very suitable for electron beam welding. The only exceptions are the β -alloys which tend to become brittle in their heat affected zones because of metallurgical effects. The low thermal conductivity of titanium causes marked grain growth in the fusion and heat affected zones such that during electron beam welding high speeds are preferred.

Amongst the special metals are materials such as beryllium, molybdenum, niobium, tantalum, vanadium, tungsten and zirconium, all of which like titanium are of particular importance in certain branches of industry, but compared with normal materials such as steel, aluminum, etc, are not often welded. All of them have a marked tendency to become embrittled as a result of absorption of atmospheric gases even at relatively low temperatures below about 300° C. These materials are highly suitable for electron beam welding in contrast to other welding methods.

An other important and interesting situation is the relation between beam deflection and material. Electron beams are affected by both electrical and magnetic fields, which in particular instances can result in both unexpected and disruptive beam deflection. Thus, for example clamping arrangements and other welding aids to be used close to the position of welding should either be made from non-magnetic materials or in the case of ferritic steels should be demagnetised before use.

Although electron beam welding under vacuum is a long-established process. Less known in industry is the electron beam welding of component under atmospheric pressure (non-vacuum electron beam welding, NV-EBW). It has been used successfully for more than 25 years, mainly in the automobile industry and in other forms of mass production. Apart from the robust nature of the process, the superior advantage of non-vacuum welding machines is the very short cycle time achievable due to the omission of evacuation time for the workpiece chamber.

Enclosing the workpiece in a vacuum chamber imposes limitations on the size of the workpiece and on high-speed, high –production automation of the process unless large or complex chambers and vacuum systems are provided. The use of portable vacuum chambers also tends to be complex and cumbersome. Thus the development of a practical system for electron-beam welding with the workpiece at atmospheric pressure would significantly increase the scope of application of this welding technique.

Two basic technical problems must be solved in order to produce a practical nonvacuum electron-beam welding system. First, a technique must be developed

that permits the electron beam to escape from the vacuum environment in which it is formed and controlled into a region of gas at atmospheric pressure without significant loss of power. Second, the electron beam must be one that provides a reasonable working distance external of the gun structure before scattering reduces its power density to levels too low for metalworking.

Non-vacuum welding is increased application in the automotive industry where production requirements are high. In the automotive industry, advantage is taken of the relatively simple tooling required, the high speeds obtainable, and the reliability and reproducibility of the process.

Welding of torque converters, exhaust gas converters, steering column jackets, car frame parts are realized and proven examples.

The future non-vacuum electron beams as well as all other types of electron beams are especially promising. It is now up to the user to select carefully the equipment and tool the component in order to realize the full potential of electron beam welding.

In this study, it is worked on a high-vacuum electron beam welding machine that has an accelerating voltage of 45 KV. It is electron beam welded gearbox components (forward and back gear transmission components).

After giving considerable knowledge about working range, parameters and important parts of the machine, it is examined a few specimen from the point of view of metallurgical and mechanical features. Each specimen polished, etched and examined under a microscope.

It is applied dynamic loading because of working condition of specimens and taken good results.

Especially, a microstructure of welding area, heat affected zone and parent metal is depicted with a wide range of examples.

An evaluation of weld quality has been carried out based on the results of microstructure and hardness distribution of welding joint, as well as chemical composition analysis of welding joint.

Specimens that are subjected to chemical analysis have carbon rates 0,363 %; 0,368% and 0,385 %. Because medium carbon steel has a carbon range of 0,30 to 0,50 %, results fit to that type of steel.

Although carbon content is not the only factor affecting weldability, it is generally thought that as carbon content increases, weldability decreases. When carbon levels reach the 0,30 to 0,35 % range, special precautions, such as preheating, controlling heat input and postweld heat treating, are normally required.

As a result of rapid cooling in electron beam welds some fusion zone hardening is encountered. Also, with very fast cooling rates, martensite forms.

Recent developments in EB welding have been in the areas of computerized control, data acquisition, filler metal additions, video monitoring, seam tracking and very high voltage. Continued success in production depends on rigid control.

Although already accepted by some as an important joining process, electron beam welding still is a process in its infancy with substantial growth and development indicated. As worldwide fundamental and technological research continues on an ever-increasing scale it is expected that ELECTRON BEAM WELDING will experience further and continued expansion.



BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1 Elektron Işın Kaynağının Özel Karakteristikleri ve Işının Üretimi

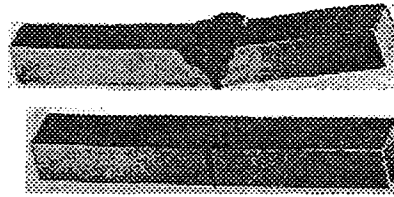
Diğer birleştirme teknikleriyle karşılaştırıldığında, elektron ışın kaynağının karakteristikleri şöyle sıralanabilir [1]:

1. Işının odaklandığı noktada çok yüksek (yaklaşık olarak 10^7 W/cm²) bir güç yoğunluğu. (Tablo 1.1)

Tablo 1.1 Kaynak yapmak için kullanılan çeşitli ısı membalarının maksimum güç yoğunlukları

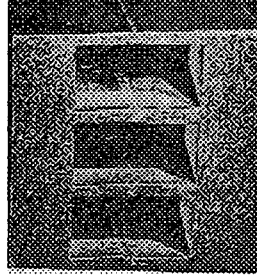
Isı membaı	Maksimum güç yoğunluğu W.cm ⁻²
Gaz alevi	$5 \cdot 10^3$
Elektrik arkı	10^4
Plazma	10^5
Lazer ışını (sürekli)	10^7
Elektron ışını	10^7

2. Enerji transferi işlenecek parçanın yüzeyindeki ısı iletimi ile değil, işlenecek parçanın kendi içinde çok daha verimli bir şekilde oluşur.
3. Parça kalınlığı ne olursa olsun, ağız hazırlamaya gerek yoktur ve dolgu metali gerektirmez.
4. Yüksek kaynak hızı sonucunda dar kaynak dikişleri ve dar ITAB'lar yanında işlenecek parçada küçük distorsiyonlar(Şekil 1.1) oluşur [2].



Şekil 1.1 Elektron ışın kaynağı ile TIG kaynağının karşılaştırılması (12,7 mm paslanmazçelikten plaka)

5. Başka durumlarda kaynak yapmak için uygun olmayan pozisyonlar, elektron ışınlarının ataleti olmayan osilasyonu sayesinde kaynak ile malzeme birleşmesine imkan verir [2]. Örneğin çoklu nüfuziyet. (Şekil 1.2)



Şekil 1.2 Çok kademeli elektron ışın kaynağı

6. Değişken çalışma mesafesi işlenecek parçaların oldukça farklı şekillerde kaynak edilebilmesine izin verir.
7. Kaynak işlemi vakum altında olduğundan, kaynak banyosunu oksidasyondan korumak için gerekli olan (temizleme maddeleri ve gazlar gibi) harcamalara gerek yoktur.
8. İşlenecek parçaların sayı ve büyüklüğünü uygun bir hale getirerek ve vakum odasının hacmini buna göre ayarlayarak kısa tahliye zamanı elde edilir. Parça vakum kamarasının hamini belirler.[3]
9. Elektriksel ve mekaniksel kaynak parametrelerinin kontrolü ve bilgisayar adaptasyonu mümkündür.
10. Kaynak parametreleri ve böylece üretilen kaynağın kalitesi yeniden uygun bir şekilde ayarlanabilir.
11. 60 kW'ın üzerindeki ivmelendirme voltajında kullanılan kurşun muhafaza direk olarak kaynak makinasına X ışını emisyonunu önlemek için bağlanır.

Elektron ışın kaynağı makinalarının sınırlı bir kısmı, diğer imalat yöntemlerinden farklı olarak, çok çeşitli uygulamaların ihtiyacı olan farklı güçleri karşılayabilme gücüne sahiptir [1].

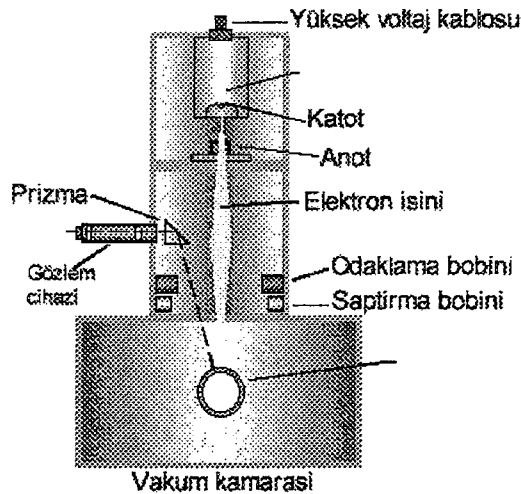
- 0.5 mm ila 300 mm arasındaki kaynak malzemesi kalınlıklarından daha az olanlar için 1 kW ila 300 kW'dan çok daha az ışın güçleri mevcuttur.
- Aynı otomobil endüstrisindeki seri üretim operasyonlarında olduğu gibi, değişken özel parçaların kaynağı için makinalar mevcuttur.

- Programlanmış kaynak parametrelerinin kullanımı ve parça manipülasyonu gerektiren üç boyutlu karmaşık parçaların kaynak edilebileceği gibi, basit boylamasına kaynak dikişleri de kaynak edilebilir.
- Yapı çelikleri, alaşım çelikleri, demir olmayan ve gaz hassasiyeti olan özel metaller bile başarılı bir şekilde kaynak edilebilir [1].

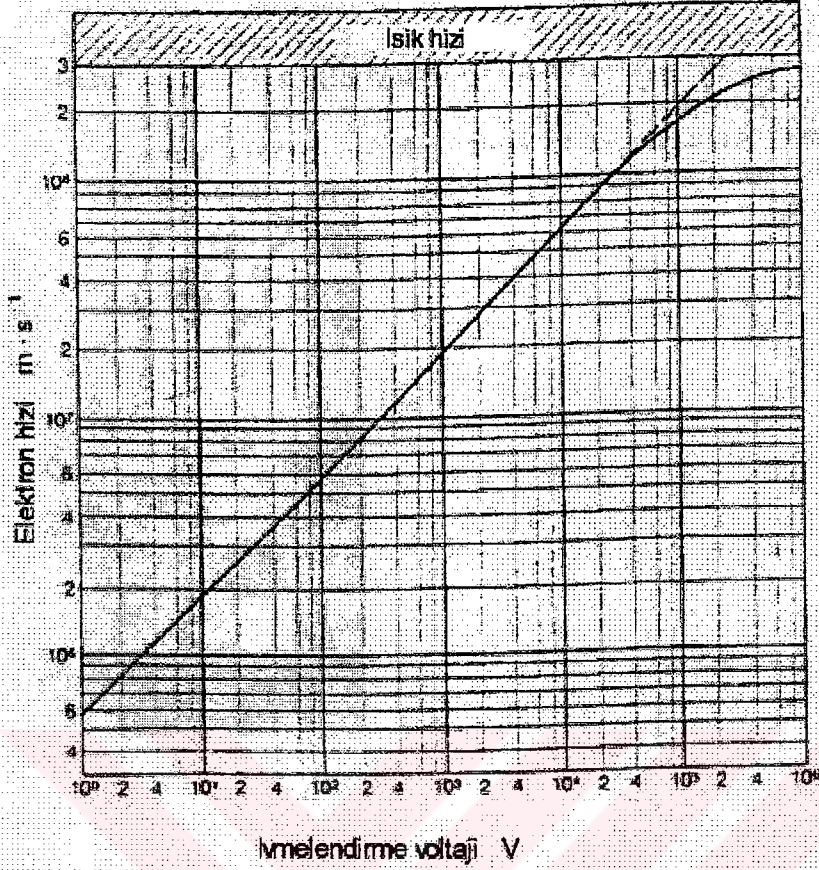
1.2 Elektron Işının Üretimi

1.2.1 Serbest Elektronlar

Eğer elektron ışın prosesinin(Şekil 1.3) fiziği göz önüne alınırsa, bu çeşit kaynak için ısı, maddedeki en hafif parçanın kinetik enerjisiyle sağlanır. Elektronun hareketsiz kütlesi $9,1 \cdot 10^{-28}$ gr'dır veya atomik boyutlarda 1836 kez protondan daha hafiftir. Kinetik enerji transformasyon prosesi için düşük kütleli bir partikül kullanımının gözüken dezavantajı, elektronun çok önemli bir özelliği tarafından kompanse edilir. Bu da, elektronun bir elektrik yükü taşımasıdır. Bunun değeri $1,6 \cdot 10^{-19}$ A.s'dir. Bu çok düşük güç, ışın akımı şeklinde sonuçlanacağından dolayı bir bütün olarak ele alınacaktır. Daha da önemlisi bu yük elektrik alanlar yardımı ile çok etkili bir şekilde elektronların hızlanmasına imkan verir. Böylece nihai olarak elektronlar metallerin kaynak edilmesi istenen enerji miktarını kazanırlar. Şekil 1.4'de görüldüğü üzere, kaynak için tipik ivmelendirme voltajı $150 \text{ kV} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ V}$ ve uygun bir vakum altında, elektronlar $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ hızına ulaşırlar, diğer bir deyişle ışık hızının 3'de 2'sine $\frac{1}{2} \text{ mv}^2$ terimi ile verilen elektronların kinetik enerjisi, bu hızda fark edilebilen elektronların yaklaşık olarak % 35'inin göreceli kütle artışı ile sağlanır[1].



Şekil 1.3 Elektron ışın kaynağı prosesi



Şekil 1.4 Elektron hızı ve ivmelendirme voltajı arasındaki ilişki

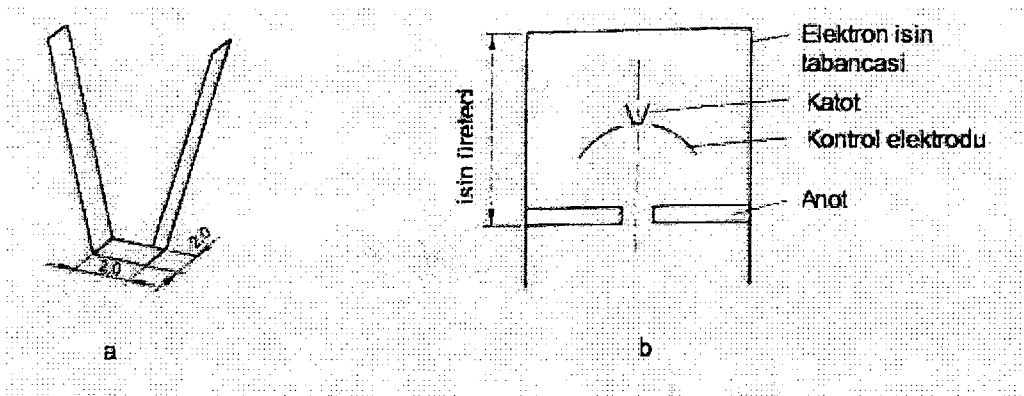
Elektronların atomu kuşatan yörüngelerde bulunduğu ve ayırık enerji seviyelerini işgal ettiği bilinmektedir. Metal halinde, dıştaki elektronlar atomun çekirdeğine zayıf bir şekilde bağlanmışlardır. Bu bahsedilen elektronlar kristal kafes boyunca aşağı yukarı serbestçe hareket ederler ve bu da metallere mükemmel bir elektrik iletkenliği verir (elektronların iletimi). Elektronlar kristal kafese potansiyel bir bariyer ile bağlı olduklarından metalin yüzeyinden kaçmayı başaramazlar. Ancak, yalnızca ek bir enerji sağlandığında bunu başarabilirler. Bu enerjiyi sağlamanın teknik olarak en güvenilir yolu metalin sıcaklığını arttırmaktır. Bu, serbest elektronların enerjisini artırır böylece elektronlar potansiyel bariyerleri aşabilirler ve metal yüzeyinden kaçabilirler. Isıl emisyon işlemiyle, bir metal elektronların membaı olur; ve negatif voltaj uygulandığında da elektron ışının membaı olur.

1.2.2 Katot

Elektronların membaı olması dışında, katot aynı zamanda başka önemli işlevler de gösterir. Mümkün olduğunca düşük ısııl enerji harcarken, büyük sayıda elektronu uzun bir müddet yaymaması istenir. Ayrıca, düşük ısııl güç kullanması diğer bir deyişle yüksek ışın akımları sağlayabilmesi gerekir.

Richardsons kuralına göre, yüksek bir ışın akımı yayılımının eldesi için, katot yüzeyi yüksek sıcaklıkta olmalıdır. Katot sıcaklığı ve elektron emisyonu arasındaki üstel ilişkiden dolayı, maksimum ulaşılabilir bir emisyon akımı yoğunluğu olarak veya sıcaklığı belirli doymuş akım yoğunluğu (J_{eT} , A/cm²) olarak ifade edilir. Yüksek ergime noktası katot malzemelerinin seçiminin belirlenmesinde etkilidir. Bu amaç için (Ta) tantal'a ilaveten, (Re) renyum ile kısmi olarak alaşımlandırılmış (W) tungsten de uygundur. Çünkü vakum altında mukayeseli olarak düşük buharlaşma basıncına sahiptir. Bu da oldukça uzun bir ömür sağlar. Elektron ışın kaynağı makinalarında, yaklaşık olarak $J_{eT} = 5$ A/cm²'lik emisyon akımı yoğunlukları, genelde bu tip direk olarak ısıtılmış tungsten katot ile elde edilir [1].

Katotu istenilen sıcaklığa yükseltmek için geren ısıtma gücü yalnızca katotun boyutlarına değil, aynı zamanda şekline ve kullanılan ısıtma tipine bağlıdır. Direk olarak ısıtılmış şerit katotlar (Şekil 1.5) bir çok sebepten dolayı elektron ışın kaynağı makinalarındaki kullanımlarında kendilerini ispatlamışlardır. Bu tip katot resistör olarak elektrik devresine bağlanır ve geçen akım tarafından direk olarak ısıtılır. Yüksek bir ısıtma verimine sahiptir ve belirli bir katot tutucu ile bağlandığında, şerit katotlar geometrik bir şekilde stabil emisyon yüzeyi ve böylece oldukça stabil ışın parametreleri sağlar.



Şekil 1.5 P=15 kW'a kadar olan ışın güçleri için şerit katot (a) ve bir triod ışın üretici sisteminin şeması (b)

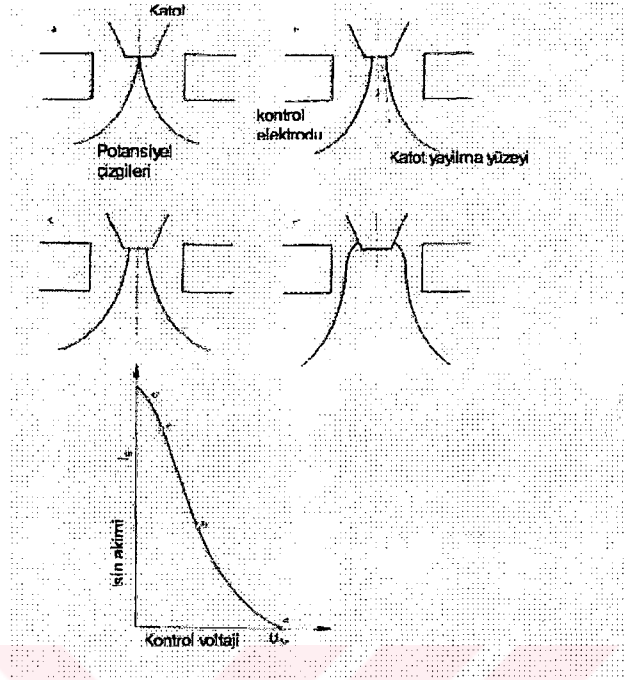
Elektron tabancasının aşınan tek parçası olarak, katotlar kolayca değiştirilebilirler. Düşük kütlelerinden dolayı ısı akımı kesildiğinde direk olarak ısıtılmış katotlar hızla soğurlar. Eğer elektron ışın tabancası vaktinden evvel çıkarılırsa, katot gereksiz oksidasyonlardan korunmuş olur.

Direk ısıtılmayan katotlar, ek bir elemanın yardımıyla (yardımcı katot) elektron çarpışmasıyla ısıtılır. Bunlar ısı akımı taşımazken daha ağır ve kalın kütleli ve daha kompleks bir şekildedirler. Bu tipin en çok bilineni vidalı katotlardır. Düşük ivmelendirme voltajlı elektron ışın makinalarının belirli tiplerinde sınırlı bir aralıkta kullanılırlar. Vidalı katotların üretilmesi daha kolaydır ve şerit katotlardan daha uzun bir ömüre sahiptirler. Bununla birlikte, bir kaç saat kaynak işleminden sonra, katotun yayılma yüzeyinde iyon çarpışması sonucunda krater formunda epeyce hasar kalır. Bu ışın karakteristiklerinde bir değişiklikle sonuçlanır ve böylece kaynakta da değişikliğe yol açar. Kontrol ayarlarının uygun düzenlenmesiyle bu değişiklikler, katotun kullanım süresini aşan bir şekilde kompanse edilmelidir. Başka bir dezavantajı yardımcı katotun çabuk bozulmasıdır. Yardımcı katot, vidalı katota göre çok daha fazla sıklıkta değiştirilmek zorundadır.

1.2.3 Anot

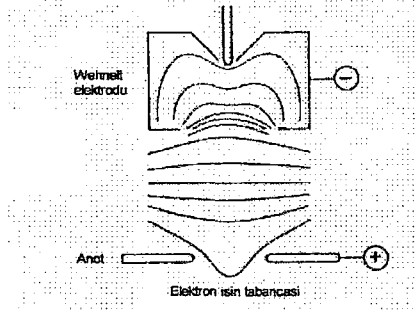
Isıl emisyon ile katot serbest elektronları oluşturan bir memba olur. Ama bu elektronlar kaynak işleminde kullanılabilecek bir elektron ışını formunda değildirler. Isıl emisyonundan dolayı, katot pozitif bir şekilde yüklenmiş olur ve negatif yüklenmiş elektronları çeker. Bu da elektronların katotun etrafında bir bulut şeklinde toplanmasına neden olur. Elektronların ihtiyacı olan kinetik enerjiyi vermek için, onları yüksek bir hıza çıkarmak lazımdır ve bunu başarmak için negatif bir voltaj katota uygulanır. Halka biçimli bir anot da yer potansiyelinde elektron bulutunun üzerinde monte edilir (şekil 1.6). Anot ve katot arasındaki elektrik alan elektronları anot yönünde hızlandırır. Elektronlar anotun içinden sabit bir hızla geçerler. Aynı anda bir yüksek voltaj üretici, katotu sürekli olarak akımla veya daha basit bir ifadeyle yeni elektronlarla besler. Böylece bir elektron akımı kapalı bir devre içinde işlenecek parçadan, makina ve toprak bağlantısı yoluyla yüksek gerilim üreticisine akar [1].

1.2.4 Kontrol Elektrodu



Şekil 1.6 Uygulanan kontrol voltajının sonucu olarak potansiyel çizgilerindeki değişim
a) Işın akımının bloke edilmesi
b) Düşük ışın akımı, I_s
c) Yüksek ışın akımı I_s
d) Yetersiz kontrol voltajından dolayı ışının optiksel elektron distorsyonu

Bir katot ve bir anotla, ışın üreticinin en basit şekli inşa edilebilir. Bu "diyod" sistemi aynı zamanda "Pierce" sistemi olarak adlandırılır. Aslında elektron ışın kaynağı makinalarının ilk yıllarında bir kaç makina kullanılmıştır. Önemli bir dezavantaja sahiptir, bu da ışın akımının, sadece ivmelendirme voltajının değiştirilmesiyle ve katotun sıcaklığının değiştirilmesiyle kontrol edilebilmesidir. Bu bağımlılık ekonomik bir kaynak işlemi için uygun olmayan sonuçlar doğurur. Bu sistemin oldukça kısa bir kullanım süresinden sonra, sadece bir anot, katot ve kontrol elektrodu içeren ve "Wehnelt silindiri" olarak bilinen "triody" sistemleri, elektron ışın kaynağı ve diğer elektron ışın imalat yöntemlerinde kullanılmıştır [1]. Şekil 1.7'de gösterildiği gibi katotun yakınında elektrik alan sapa, oluşan elektronlara dış bir radyal hız yönü verilir [4].

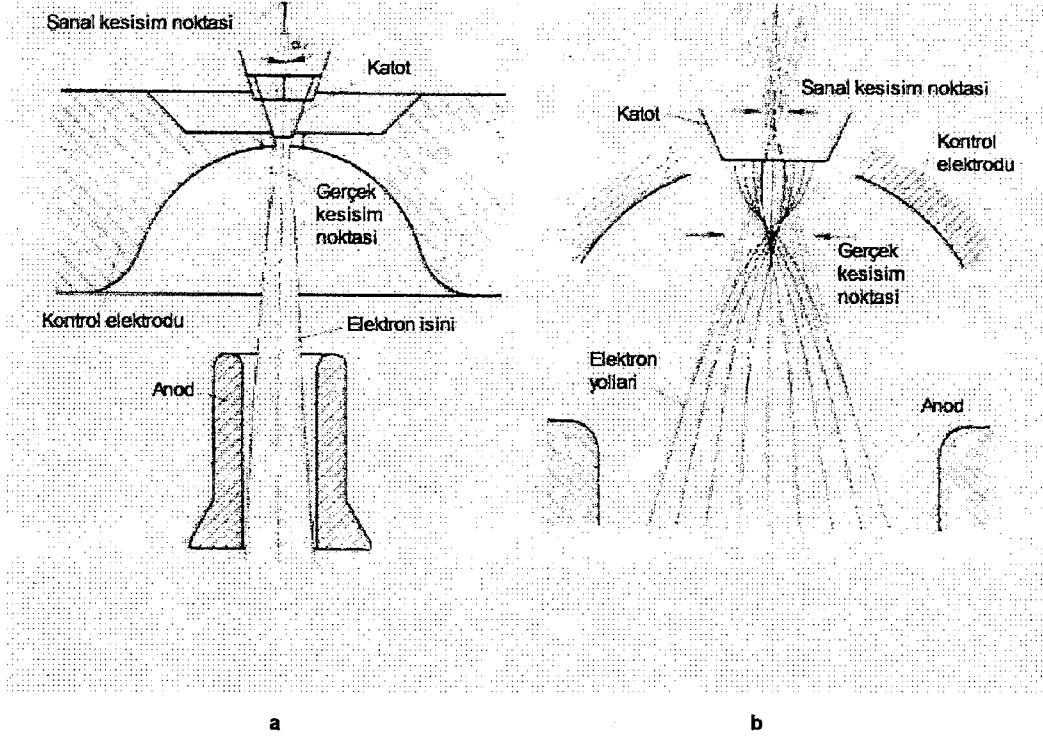


Şekil 1.7 Wehnelt

Bir kontrol elektrodunun yardımı ile elektron akımı ve böylece ışın akımı şu şekilde ayarlanabilir: Kontrol elektrodu katot potansiyelinde ancak ayrı bir güç kaynağından onun üzerine gelen daha yüksek bir negatif voltaja sahiptir. Fizik yasaları gereğince, benzer yükler birbirini iter. Katot ve anot arasındaki potansiyel farka rağmen, kontrol elektrodu uygun bir potansiyelde, elektronlarını katota doğru itmeyi başarır. Böylece efektif yayılma yüzeyi sıfıra indirilerek ışın akımı kesilir. Kontrol voltajı azaltılırsa, elektron yayılma yüzeyi artacak ve ışın çoğalacaktır (Şekil 1.6 b–c). Böylece ışın akımının ayarlanması, kontrol voltajının değiştirilmesi ile başarılır: Yüksek kontrol voltajı = düşük ışın akımı, düşük kontrol voltajı = yüksek ışın akımı. Şekil 1.6c’de ulaşılabilecek yayılma yüzeyindeki en büyük artış gösterilmektedir.

Kontrol voltajı (U_{st}) daha da azaltılarak yayılma yüzeyi katot ağzının kenarlarına kadar yayılır ve sonunda katotun etrafını kuşatır (Şekil 1.6d). Böylece ışında aşırı sapma ve çarpılma görülür. Rotasyonel olarak simetrik bir elektron ışını üretmek için, ivmelendirme voltajına ve triod düzenine bağlı olarak izin verilen minimum bir değer vardır ve kontrol voltajı bu değerin altına düşmemektedir.

Şekil 1.8a’da elektron ışın kaynağı makinasında bulunan tipik bir triod sistemindeki elektron ışınının şekli gösterilmektedir. Katotun yayılma yüzeyinin hemen altında elektron ışınının tipik boyun vermesinin, geometrisinden olduğu gibi; kontrol elektroduna uygulanan voltajdan dolayı da olduğuna dikkat edilmelidir. Bu boyun verme, gerçek kesişme pozisyonu olarak bilinir. Elektron ışınları, anodun içinden ve elektrik alansız bir bölgeye geçerken, ışının geometrik şekli odaklama lensine ulaşıncaya kadar değişmeyecektir. Işın zarfları eğimlerinin geriye katotun arkasına doğru uzatılması, sanal kesişim noktası olarak bilinen noktanın ışın eksenleriyle birlikte kesişim noktasını belirtir. Şekil 1.8b alan dağılımı etkisi altında elektron yollarını bir dereceye kadar daha düzgün gösteren büyütülmüş bir şeklidir.



Şekil 1.8 Bir triod sistemindeki ışın geometrisi (a) ve gerçek ve sanal kesişim noktası oluşumuna yön veren yollar (b)

Hakikat de, gerçek kesişimin tek kesin bir tanımlanmış kesişme noktasından ibaret olmadığı; birbirinden farklı kesişim çizgilerinin dizisinden oluştuğu görülebilir. Işın optiğindeki gibi elektron optiğinde de sistemin merkezi (fokal) uzunluğundan bahsedilir. Özellikle bu prosesin gelişiminin başındaki süreçte, kısa fokal uzunluklu (Rogowski) ve uzun fokal uzunluklu (Steigerwald uzak odak) sistemler arasındaki farklar ayırd edilmişti. Bugün, elektron ışın kaynağı makinalarının ana donanımları modifiye edilmiş Rogowski sistemleridir [4].

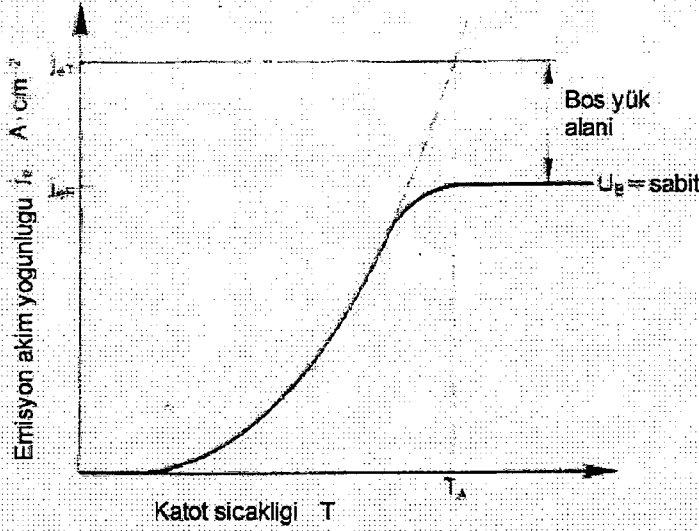
1.2.5 Boş Yük Operasyonu

Elektronların katot, kontrol elektrodu ve anot arasındaki hareketlerine göre olan fizik yasaları oldukça kompleksdir. Ama sistemlerin daha ayrıntılı gelişiminin manasını kavramak için her birinin ayrıntılarını açıklamaya ihtiyaç yoktur. Yalnızca, belirli bir ilişkinin anlaşılması gerekmektedir. Bu, belirli pratik öneme haiz olan katot ısıtma akımının ayarlarıdır.

İşletme sırasında, katot buharlaşmadan ve pülverizasyondan dolayı küçük ama önemli bir malzeme kaybına maruz kalır. Böylece sadece sınırlı bir kullanım süresine sahip olur.

Sıcaklık, katot malzemesinin ergime noktasının önemli bir derecede altında olmasına rağmen, buharlaşma vakum içinde yüksek katot sıcaklığının bir sonucudur. Yüksek enerjili iyonlar çarpma etkisiyle pülverizasyona sebebiyet verirler. Elektron ışını vakumun içinden ve kaynak noktasındaki buharlaşmayla beraber geçerken, elektron ışını artık gaz moleküllerinin üzerine çarpma etkisiyle yüksek enerji iyonları üretir. Malzemenin bu yavaş sürekli kaybı, katotun yayılma alanının kesişimini azaltır. Isıtma akımı düşer ve bunun sonucunda aynı zamanda katotun sıcaklığı düşer. Richardson bağıntısına göre, emisyon akım yoğunluğu J_{eT} kuvvetli bir şekilde katotun sıcaklığına bağlıdır. Öyle ki, katotun kullanım süresi boyunca sıcaklıktaki küçük değişiklikler, ışın akımı üzerinde epeyce bir etki oluşturabilir. Kaynak dikişinin tekrarlanabilmesi bakımından elektron ışın kaynağında oldukça katı şartlar geçerlidir. Bu tarz bir bağıllık (katot sıcaklığı – J_{eT}) aşırı kötü sonuçlara yol açabilir. Böyle durumlarda, bu etkiyi kompanse etmek için başka bir fiziksel bağıntı kullanmak mümkündür (Langmuir bağıntısı). Bu bağıntıya göre verilen bir ivmelendirme voltajı, bir çok sayıda geometrik karakteristiğin bir fonksiyonu olarak (anotdan katota olan mesafe gibi) katotdan sınırlı emisyon akımı boş yükünü J_{eR} , sadece verilen bir maksimum elektrik akımıyla çekebilir.

Böylece, ısıtma akımı ayarlanarak yeterli derecede yüksek bir katot sıcaklığı oluşturulur ki, maksimum ivmelendirme voltajında bile yeterli elektron bulunabilsin. Diğer bir deyişle, J_{eT} her zaman J_{eR} 'den büyük olmalıdır. Bu şartlar altında katot, fazla sayıda olan kendi doğal yüküne sahip ve böylece daha fazla elektron emisyonunu sınırlayan bir elektron bulutu tarafından kuşatılacaktır. Katot boş yük modunda çalışır. Yeterli bir katot sıcaklığında, akım yoğunluğuna bağlı olan sıcaklıktaki değişimler tarafından ışın akımının etkilenmeden nasıl kaldığı şekil 1.9'da şematik olarak gösterilmiştir. Pratikte kaynak makinasına takılan bir kaç monitör ve kontrol ünitesi boş yükleme bölgesinin görüntülenmesini ve ayarlanmasını kolaylaştırır ve katot ömrünün belirgin bir şekilde azalmamasını sağlar. Katotun ömrü aynı zamanda diğer faktörler tarafından da belirlenir. Özellikle, ışın akımı, kaynak edilen malzeme ve elektron tabancasının olduğu yerdeki basınç v.b. gibi. Ortalama katot ömrü yaklaşık 20 kaynak yapma saati olarak alınabilir [1].



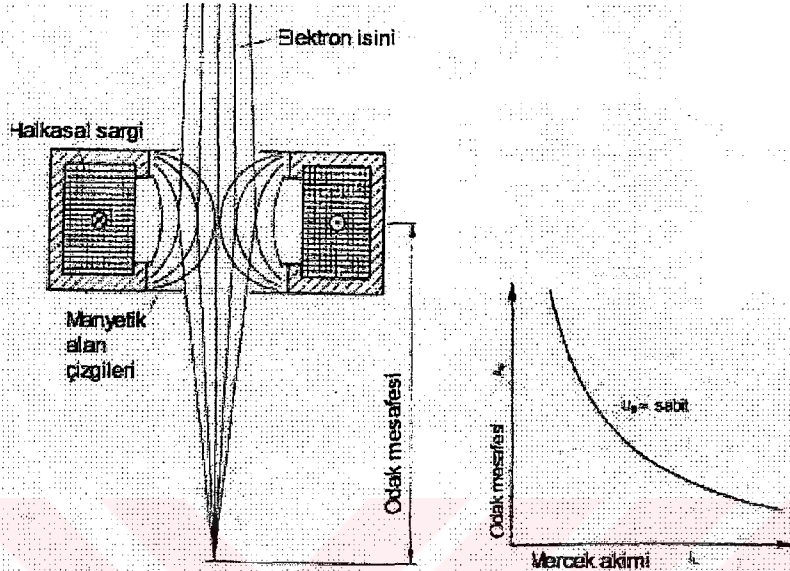
Şekil 1.9 Boş yük alanının tanımı

1.2.6 Odaklama Bobini

Katotun geometrik şeklinin, kontrol elektrodunun ve anotun yalnızca elektron tabancasında bulunan elektron eğri yolları üzerinde etkisi yoktur. Aynı zamanda, elektronların kaynak noktasına ilerleyen yolu üzerinde de etkilidir. Daha önce bahsedildiği gibi, triod sistemindeki elektrik alanına ışına bir ön odaklama şekli veriyor ve anotun içinden geçen elektronların sanki yük taşıyarak birbirini itmiş gibi davranırken şekillenen kesişme noktasını biçimlendiriyor (Şekil 1.8). Anotdan geçtikten sonra, elektronlar nihai hızlarına ulaşmış olmalarına rağmen, ayrılan ışın kaynak metalleri için hala yeterli güç yoğunluğuna sahip değildir. Bunu elde etmek için elektron ışını odaklanmalıdır.

Halka şeklinde bir bobin kullanımıyla ve manyetik alanların uygulanmasıyla, negatif bir şekilde yüklenmiş elektronların hareketinin yönünü etkilemek mümkündür. Halka, yüksek bir geçirgenliğe sahip demir muhafazayla korunan, üç tarafta da büyük miktarda sargı sayısı içeren bobinlerden oluşmuştur (Şekil 1.10). Bir doğru akım, halka şeklindeki bir bobinin sargısından geçer. Manyetik bir alan oluşturur ve bu manyetik alan demir muhafazadan içeriye doğru elektron ışının üzerine hareket eder. Aynı bir ışık ışını odaklamakta kullanılan kondansör mercek gibi bir odaklama gerçekleşir. Böyle yaparak, doğru akımın bobinin üzerinden Şekil 1.10'da

gösterildiği yönde veya aksi yönde geçmesi fark etmeyecektir. Elektronlar hızlarında herhangi bir değişiklik olmadan, spiral şeklinde hafifçe eğri bir yol belirleyerek ve bir odaklama noktasında birleşerek ayrılırlar. Işın gücü ve odaklama mesafesine bağlı olarak, 0,1-1 mm çapları tipik elektron ışın kaynağı çaplarıdır.

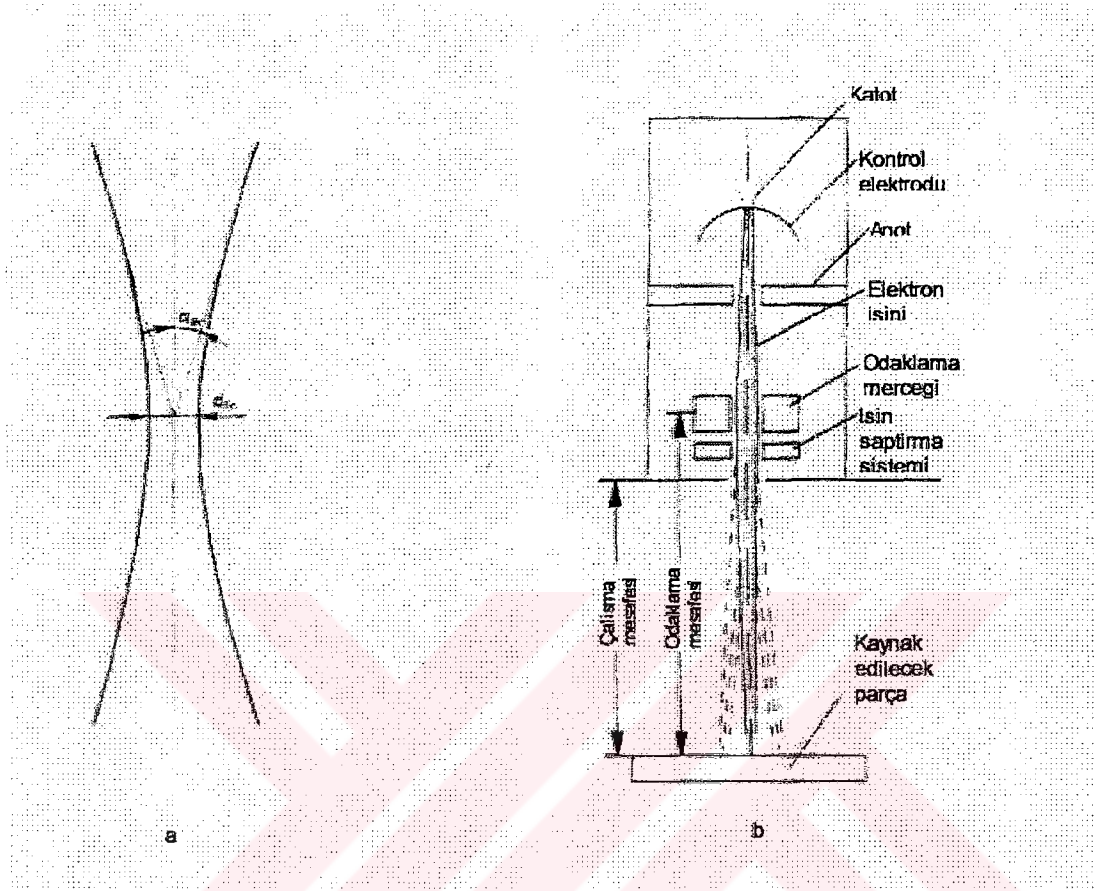


Şekil 1.10 Elektron ışınının odaklanması için bir elektromanyetik mercek ve sabit bir ivmelendirme voltajında U_B , odak mesafesi A_f 'nin mercek akımı I_L 'ye bağlılığı

Bu küçük odaklama çapıyla çeşitli kalınlıklarda metalleri kaynak yapmak için istenen yaklaşık 10^7 W/cm^2 'lik güç yoğunluğuna ulaşılır. Işın, hemen hemen işlenecek parçanın yüzeyi üzerine odaklanmalıdır. Bu, halkasal bobinin içinden akan akımı değiştirerek başarılır. Bu akım, saptırma gücünü veya manyetik merceğin odaklama uzunluğunu belirleyen ve mercek akımı I_L olarak ifade edilen ana bir faktördür. Fokal uzunluk, mercek akımının karesiyle ters orantılıdır aynı zamanda, ivmelendirme voltajı ile doğru orantılıdır (Şekil 1.10). Diğer bir deyişle, fokal uzunluk, ivmelendirme voltajı değiştirilerek de ayarlanabilir. Ama pratikte bu genellikle uygulanmaz.

Grafik gösterimde elektronlar işlenecek parçanın yüzeyine, sivri ucu üzerinde duran bir koni şeklinde çarparlar. Koninin ucu tarafından çevrilen yarım açı, α açıklığının açısı olarak ifade edilir ve sistemin optik bağıntılarında önemli bir rol oynar. Böylece, elektron ışın prosesinde bir işlenecek parçanın olduğu bölümdeki α_w açıklık

açısı (Şekil 1.11a) ve bir de katot bölümünde kesişme noktasındaki açıklık açısı (α_K)'dan (Şekil 1.8) söz edilebilir.



Şekil 1.11 Odakta ışının bel vermesi (caustic), işlenecek parçaya doğru açıklık açısı ve odak çapı d_{F0} görülmektedir ve odaklama merceği ve ışın saptırma sistemiyle bir elektron tabancası (a ve b)

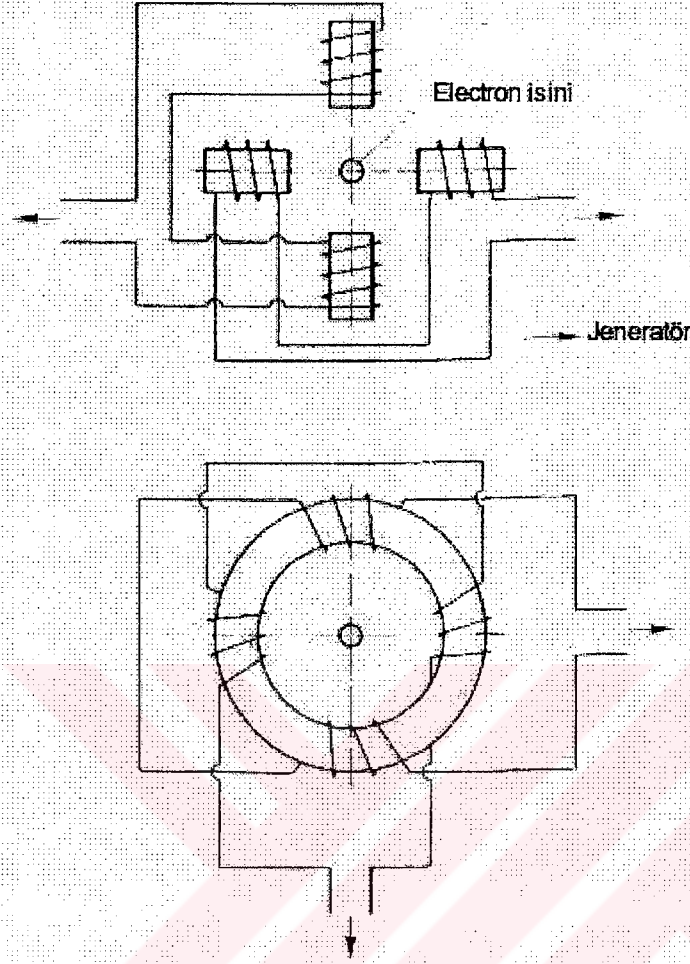
Gerçek kaynak uygulamasında açıklık işlenecek parçanın tarafındadır ve açıklık belirli limitler içinde ya fokal (merkez) noktası mesafesi yada mercek akımıyla aynen diğer belirli parametrelerde olduğu gibi değiştirilebilir ve büyük bir öneme sahiptir. Bu açı ortalama olarak 10^{-2} rad. veya $0,6^\circ$ ölçüsündedir ve ışınla bir işlenecek parça yüzeyine yakın kaynak yapılıyorsa hesaplanmak zorundadır

Katotdan işlenecek parçaya, elektronların gerçek yolunun aslında tanımlandığından daha karmaşık olduğu gözükmemektedir. Böylece, aynı zamanda ışık optiğinde, bir kaç farklı görüntüleme hatası çeşidi oluşabilir. Bu da merkezi noktanın şekli ve pozisyonunu etkileyecektir. Bu hataların sebepleri bir dereceye kadar fiziksel prensiplerdedir ve elektron ışınının üretilmesi ve sapmasını etkilemektedir (ısı sapma, boş yük sapması, küresel sapkınlık, astigmatizm, saçılma etkisi v.b.).

Bundan başka sebeplerde, elektron ışın tabancası ve odaklama merceği ile elektrik ve manyetik karışım alanlarının oluşabilmesidir. Kesin bir odak noktası yerine “caustic” olarak adlandırılan bir bel meydana getirilir. Bu, elektron ışınındaki en dıştaki yolları kuşatan zarfı belirtir (şekil 1.11a). Kural olarak, elektron ışın kaynağı makinasındaki görüntüleme hataları düzeltilemez. Gerçekte, bu tip hatalar kaynak işlemi üzerinde az bir etkiye sahip iken ve bütün olarak düzeltme gerekli değil iken, bu tip hataları düzeltmek için daha kapsamlı ek cihazlara ihtiyaç vardır. Bunun bir istisnası astigmatik hataların düzeltilmesidir.

1.2.7 Saptırma Sistemi

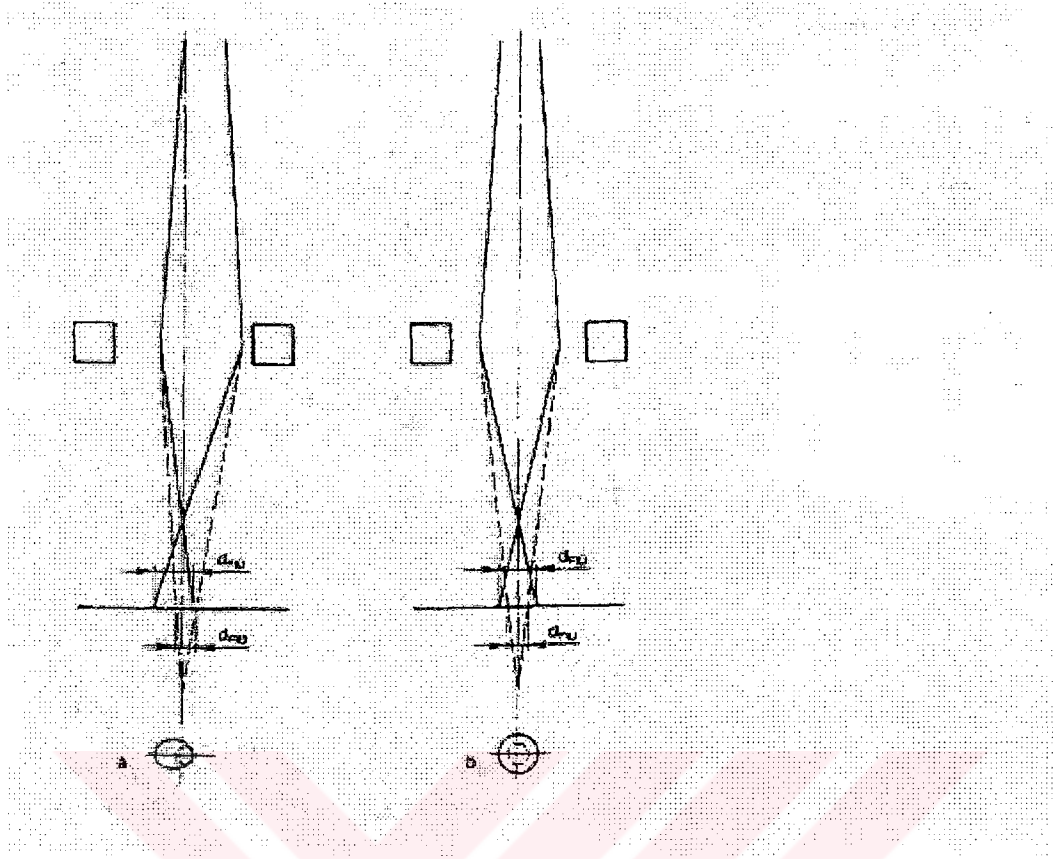
Bir çok durumda kaynak yapılırken, sabit elektron ışını altında, işlenecek parça ileriye (sağa – sola) hareket ettirilir. Diğer durumlarda elektron ışın tabancasının kendisi hareket eder ve sabit işlenecek parçanın üzerinden elektron ışını geçer. Ama sıklıkla elektron ışını kendi normal saptırılmamış ekseninden hareket ettirmek gerekir. Örneğin, T-kaynak birleştirmelerinde veya dinamik olarak etkili kaynak işlemlerinde. Bunu başarmak için elektron tabancasının içine odaklama merceğinin altına bir saptırma sistemi yerleştirilir (Şekil 1.11b). Saptırma sistemi, manyetik bir alan uygulanmasıyla ışını saptırabilir. Saptırma sistemi, bir tek parçanın veya bir kaç sayıda parçanın üzerine sarılmış 4 bobin içerir (Şekil 1.12). Sistem jeneratör ve amplifikatöre bağlanır. Bobinler, işlenecek parçanın ana eksenine veya elektron tabancasının hareketine göre karşılıklı eşleştirilir. Böylece uygun bir doğru akım uygulayarak ışın, statik olarak ya X-Y doğrultusunda yada istenen herhangi bir açı arasında hareket ettirilebilir. Alternatif akım kullanılarak aynı zamanda ışına osilasyon hareketi yaptırılabilir. Akımın frekansını ve faz farkını kontrol ederek, bobin çiftlerinin ikisine de akım verilerek, ışının herhangi bir yörüngede osilasyonunu sağlamak mümkündür. Böylece, elektron ışını, eylemsizliği olmayan ve tamamen kontrol edilebilirken, osilasyon şeklinin ve frekansının bir sınırı yoktur. Bununla birlikte, eğer indüktansı düşük ise, saptırma sistemi sadece yüksek frekanslarda elektron ışınının üzerine distorsiyona sebep olmadan uygulanır. Modern elektron ışın kaynağı makinalarının saptırma sistemleri, bobinlerin sarıldığı yerler için özel malzemeler kullanarak ve özel sargılama metodlarını uygulayarak bu istenen şartları yerine getirirler [1].



Şekil 1.12 Bir ışın sapıtma sistemi

1.2.8 Işın Doğrultma Sistemleri

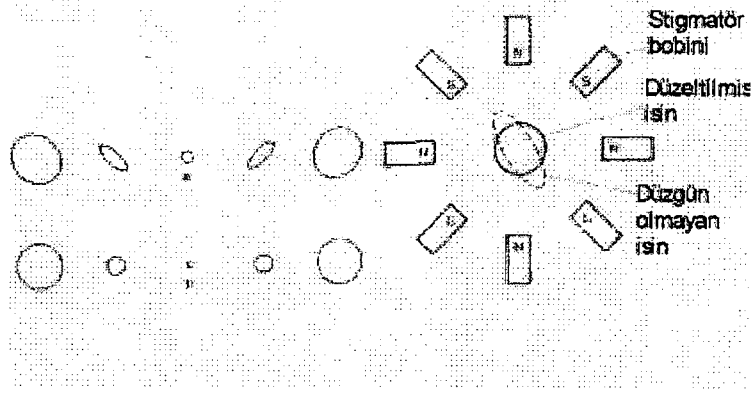
Merkez noktasının pozisyonel sabitliği ve odaklanması için önemli ve çok sayıda talep yerine getirilmelidir. Bütün pozisyonlarda ışın noktası hemen hemen dairesel olmalı ve pozisyonu değişmemeli, yani elektron ışını görüntüleme hataları olmadan işlenecek parçanın yüzeyinde normal kalmalıdır (Şekil 1.13). Ayrıca, noktanın pozisyonunun bütün katot ömrü boyunca sabit kalması beklenir. Bu yüzden, elektron ışın kaynağı makinaları ekstra cihazlarla donatılır. Bunlar elektron ışınında oluşan herhangi bir sapmayı düzeltmekte kullanılır.



Şekil 1.13 Üst ($d_{FLÜ}$) ve alt ($d_{FLÜ}$) tarafa odaklandığında nokta çapındaki değişim

- a) Merkezden kaçık ve meyilli ışın eksenini
- b) Normal ve merkezlenmiş ışın eksenini

Katot değişiminde sonra bile, elektron ışını kontrol elektrodu ve anot merkezi olarak aynı hizada kalmasının sağlanması için elektron ışın tabancasında çeşitli önlemler alınır. Stigmatör kullanarak ışını daha da doğrultmak mümkündür. Stigmatör, elektriksel ve manyetik girişimin etkilerini yani ışının astigmatizmini kompanse etmek fonksiyonunu yerine getirir. Odak pozisyonu değişimi ile aksenal kontrol değişirken, astigmatizmin tipik karakteristiği, ışın noktası şeklinin eliptik ve yatık olmasıdır (Şekil 1.13). Stigmatör yapı olarak sapıtma sistemine benzerdir ama diğer halka şeklinde sargılar, iki kutupluluk (polarite) ve bir dereceye kadar kutup sayısı itibarıyla farklıdır (Şekil 1.14). Dört kutup bir tek güç kaynağından teker teker kontrol edilebilir. Astigmatik sapmaların doğrultulması belirli bir yaklaşım istemektedir ve işletme talimatlarında açıklanmıştır.

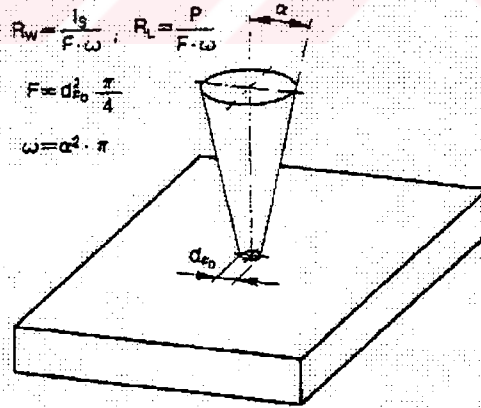


Şekil 1.14 Bir elektron ışını için üst ve alt odaklama olduğunda noktanın şeklindeki değişimler ve stigmatör ve astigmatik sapması gözüken bir elektron ışınının düzeltilmesi

- a) Astigmatik sapmayla
- b) Sapma olmadan

1.2.9 Parlaklık

Elektron ışını teknolojisinin başlangıcında düşünce şu idi: Verilen bir metalde ıvmelendirme voltajı U_B ışın akımı I_s kaynak hızı v_s ve ışın odak çapı d_{F0} parametrelerinin hepsine erimiş bölgenin oluşumunun derinliği ve genişliğini belirlemek için ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, daha detaylı tecrübi araştırmalar ilişkilerin aslında ilk bakışta görüldüğünden çok daha karmaşık olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.15 Işımanın (RL) ışının (RW) parlaklığının tanımı

Işıma malzemenin erimesine kadar çok sayıda farklı enerji dönüşümü verimleri hesaplanmış olsa bile, çoğunlukla hesap sonuçları gerçek pratik ölçümlerden farklı olacaktır. Fark edildi ki, yalnızca makinanın işletim paneline koyulan kaynak parametreleri değil, aynı zamanda elektron ışınının şekli de göz önünde

bulundurulmalıydı. Bu, elektron ışın kaynağında, ışık ve elektron optiğinden türetilen "parlaklık" teriminin kullanılması sonucunu verdi. Bir işlenecek parça kaynağındaki ilişki: ortalama parlaklık R_w , ışın akımı I_s 'nin kesin bir w açısında bir F yüzeyine çarpması olarak basitçe tanımlanır (Şekil 1.15) veya daha kesin olarak, I_s 'nin $w.F$ çarpımına bölümü olarak tanımlanır. Bazen "ışık saçma" R_L ifadesi de kullanılır. Burada ışın akımı I_s yerine ışın gücü P yer almaktadır. Bir elektron optik sisteminin ışın gücü değerinin büyüklüğü, elektron tabancası tarafından belirlenir. Eğer katotda mümkün olan en küçük emisyon bölgesinden ışını oluşturmak için gerekli elektronlar çekilirse, bu katotdaki parlaklık değeri R_k , emisyon akım yoğunluğu J_{eR} değiştirilerek artırılabilir. Işının devam eden yolu boyunca R_k parlaklığı iyi bir durumda kalabilir, artık herhangi bir artış mümkün değildir. Pratikte R_w genellikle R_k ' dan daha küçüktür [1].

Geometrik tam açı parametresi w 'nın tanımlanmasıyla, parlaklık R_w ve kaynak profili arasında oransal bir ilişki olduğu gösterilebilir. Bu da birleşme bölgesi derinliğinin, kaynak dikişine oranı şeklinde ifade edilir. Bunun anlamı şudur: verilen bir ışın akımında (I_s), odaklama mesafesi değiştirilerek, bir kaynak dikişi sadece daraltılabilir. Elektronun optik aşınmalarını ihmal ederek ışının katı açısı ve ışının odak noktasının alanının çarpımı $w.F_0$ gittikçe küçülür. Bu bakımdan $w.F_0$ çarpımı arttırılmadığı müddetçe, ışın akımı arttırılsa bile sadece birleşme bölgesinin profilinin değişmesine yarayacaktır.

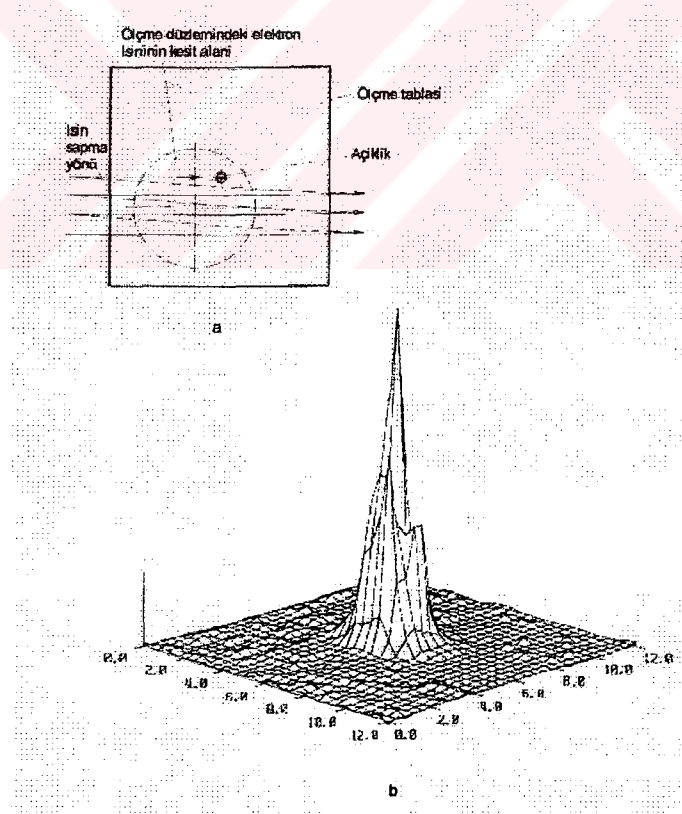
Bu referans ve bağıntılarla parlaklık terimi ve onun kaynak pratiği bakımından anlamının açıklanmasına çalışılmıştır. Hiç bir suretle, bir kullanıcının daha dar ve derin kaynak dikişleri oluşturmaya izin verildiği ve elektron tabancasında modifikasyon yapması gerektiği anlamına gelmemelidir. Bugün, bir taraftan modern elektron ışın kaynağı makinalarının hali hazırda optimize edilmiş ışın sistemleri ile donatıldığı düşünülürken, diğer taraftan teknik imalat sebeplerinden dolayı açıktır ki, kaynak dikişinin genişliğinin verilen bir minimum değer altına düşürülmesine izin verilmeyecektir.

1.2.10 Güç Yoğunluğu ve Ölçme Metodları

Kaynak kalitesinin uygunluğu ve farklı elektron ışın kaynağı makinalarının ayar parametrelerinin iyileştirilmesi ve gerçek imalat tecrübelerinden kazanılmış kaynak parametreleri transferi iyileştirilmesi çabası içinde ışın yoğunluğu karşısında gücün

değişimi faydalı ek bir karakteristik olarak son zamanlarda yükseltmiştir. Toplam ışın gücü P 'nin odak alanı F_{F0} 'a bölümü olarak güç yoğunluğunu tanımlamak bir elektron ışını karakterize etmek için yeterli değildir. Parlaklık esas olarak birleşme bölgesinin şeklini etkilerken, bütün kaynak işlemi güç yoğunluğundaki değişimlerle yakından ilgili görünmektedir. Daha geniş ve sistematik araştırmalara ihtiyaç olmakla birlikte, bağıntıları aydınlatılabilmek ve daha yeterli ölçme cihazlarının pratikte kullanımlarını geliştirmek kaynaklı imalatta ekonomik bir kullanım bilgisine sahip olmak ihtiyacı da vardır.

Güç yoğunluğu dağılımının belirlenmesi, elektron ışınında bir akım yoğunluğu dağılımının ölçümüne ihtiyaç duymaktadır. Çünkü ivmelendirme voltajı U_B sabit kabul edilebilir. Katı bir iletkenin yokluğunda ölçüm metodları bireysel olarak farklılaşır. Akımı ölçmek için farklı yardımcılar kullanılır. Ölçme işlemi boyunca bu yardımcılar elektron ışını tarafından epeyce ısı etkiye maruz kalırlar ve böylece kullanılan bütün metodlar, aşırı hızlı bir şekilde osilasyona uğrayan elektron ışını tarafından sensörleri zarara uğramaktan (erimekten) kurtarmaya çalışır.



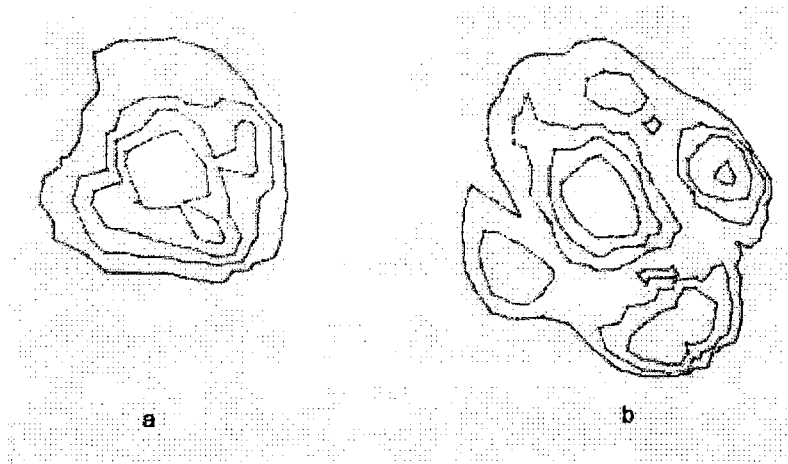
Şekil 1.16 Açıklık ölçüm metodu ve optimum parametre ayarlarıyla ışın güç yoğunluğunun üç boyutlu temsili şekli (a ve b)

Bazı ölçüm metodlarının belirgin bir avantajı, istenen herhangi bir gözlem açısından güç yoğunluğunun üç boyutlu gösterimi için özel bilgisayar programı geliştirilmiş olmasıdır (Şekil 1.16).

Bu tarz gösterim işlenmiş ölçümlerin belirginliğini artırır ve farklı dağılım şekillerinin değerlendirilmesini epeyce basitleştirir. 3 boyutlu gösterimin X ve Y eksenleri milimetre olarak ölçeklendirilmiştir ve temsili dağılım üzerinde gösterilen boyutlarda direkt bir tespate izin verir. Şekilde gösterilen uç, maksimum güç yoğunluğuna karşılık gelmektedir.

1.2.11 Güç Yoğunluğu Dağılımı Üzerindeki Etkiler

Modern güçlü elektronik veri işleme tekniklerinin kullanımıyla, oldukça kısa bir zaman içinde elektron ışınıyla, güç yoğunluğu dağılımının basit bir resminin eldesi mümkündür. Çok sayıda böyle ölçme şekilleri hali hazırda mevcut olmasına rağmen, bunlar gerçek uygulamada hala başlangıç dönemindedir. Şekil 1.16 ve Şekil 1.17a'da doğrudan katotla ısıtılmış bir ışının 3 boyutlu bir çizim örneği gösterilmiştir. Görünürdeki optimum parametre ayarlarıyla bile, en iyi gauss ışın gücü dağılımı kesinlikle rotasyonel olarak simetrik değildir. Bununla birlikte eğer katot daha az ısıtılırsa resim kesin olarak değişecektir (Şekil 1.17b). Işın akımı I_s 'nin aynı önceki değeri olan 160 mA'de kalması için, kontrol voltajı U_{st} aşırı derecede düşürülmeli ve yayılma yüzeyi katotun kenarları boyunca genişletilmelidir. Bölge tepeleri katotun dikdörtgen yayılma yüzeyinin dört köşesinde teşekkül eder. Şekil 1.17b'de ikincil maksimumlar olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.17 Eş güç yoğunluğu çizgileri ve daha az ısıtılmış bir katodun eş güç yoğunluğu çizgileri (a ve b)

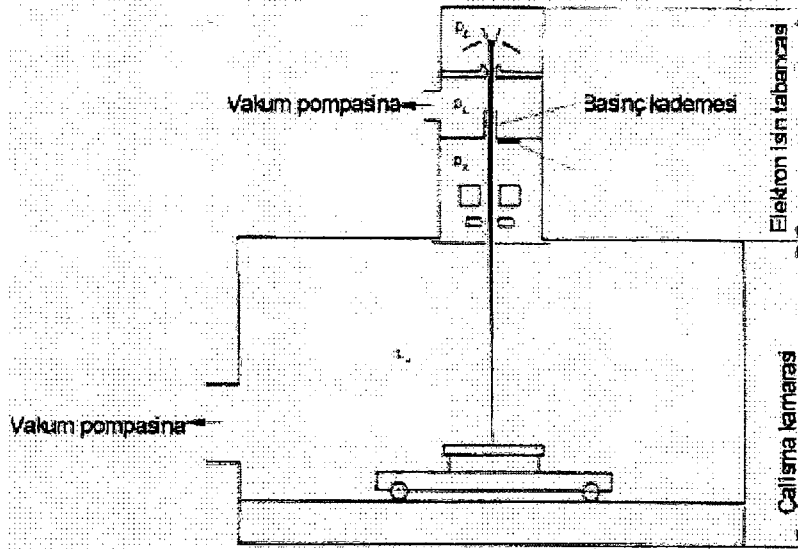
Ayrıntılı araştırmaların amacı, kaynağın şekil ve kalitesi arasındaki ilişkiyi muhtelif farklı güç yoğunluklarının bir fonksiyonu olarak belirlemek içindir.

1.2.12 Vakum

Kaynak için, elektron tabancasındaki vakum üç sebepten dolayı zaruridir.

- Yaklaşık 2750 °C sıcaklıktaki ısıtılmış katotla oksijen, oksidasyondan dolayı oluşacak zararı önlemek açısından ilişkide bulunmamalıdır.
- Elektron salma, hızlanma ve hizalama süresi boyunca ışık elektronları mümkün olduğunca az ağır hava moleküllerine çarpmalı. Eğer ideal yollarından daha uzağa saparlarsa elektron ışını istenen güç yoğunluğuna ulaşmak için odaklamayı başaramayacaktır.
- Elektron tabancasındaki kuvvet alanı katot, anot ve kontrol elektrodu arasında yüksek derecede bir elektrik izolasyonu gerektirmektedir. Bu da sadece yeterli bir vakum tarafından sağlanır. Aksi taktirde, havada veya yetersiz vakumda iyonizasyon olacak ve mevcut voltajlarda ark yapmayacak, atlama gerçekleşmeyecektir [1].

Elektron tabancasında kabul edilebilen en yüksek basınç $P_E=10^{-4}$ mbar ve genellikle pratikte, ayrılma 10^{-4} mbar'dan daha aşağı bir basınçta devam ettirilir. Tabancadan belli bir mesafede katotun oksidasyonunu önlemek ve elektrik izolasyon sağlamak için özellikle istenen düşük basınca ihtiyaç kalmaz. Örneğin 500 mm'lik ışın yollarıyla ve 120 kV'un üstünde ivmelendirme voltajıyla, havadaki moleküllerden dolayı oluşan dikkate değer herhangi bir elektron ışını saçılması olmadan basıncın yaklaşık $P_A=10^{-2}$ mbar'a kadar artırılmasına izin verilir. Böylece ışının çarpışma noktasındaki çalışma basıncı elektron tabancasındakinden 2 ila 3 büyüklük mertebesinde daha büyük teşekkül edebilir ki bu durumda ışın bir basınç kademesinin içine yönlendirilmek zorundadır (Şekil 1.18).



Şekil 1.18 Bir elektron ışın tabancası ve basınç kademeleri ve kolon değeri ile birleşen çalışma kamarası

P_E = Basınç kademesine kadar ışın üreticindeki basınç

P_A = Basınç kademesine kadar çalışma basıncındaki basınç

BÖLÜM 2 ELEKTRON IŞINININ METAL NÜFUZİYETİNDEKİ DAVRANIŞI

2.1 Metal Yüzeyinde Oluşan İşlemler

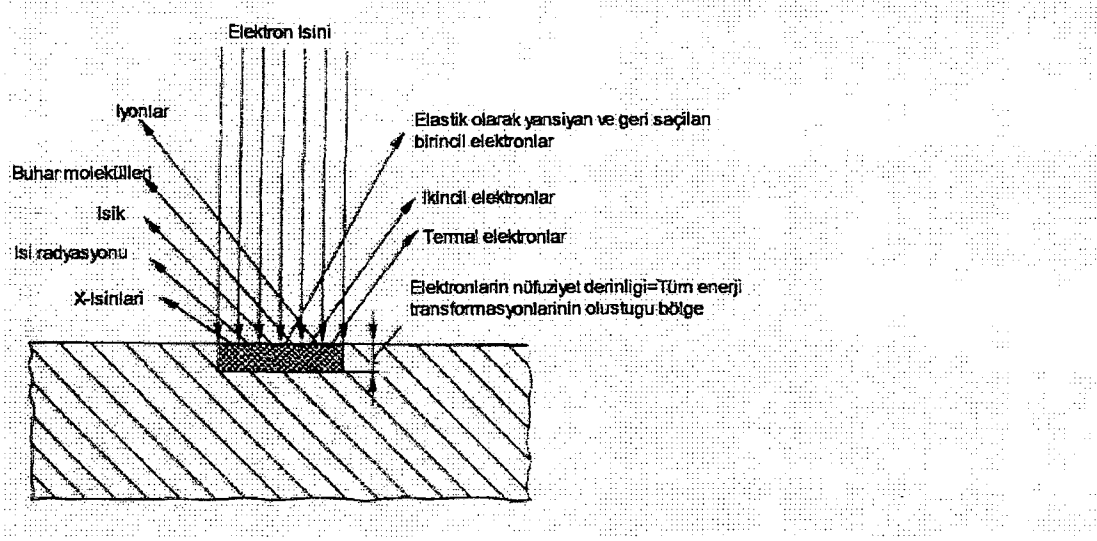
Odaklanmış ışının elektronları son derece yüksek bir hızda işlenecek parçanın yüzeyiyle çarpışır. Işın transferi sırasında elektronların kinetik enerjileri işlenecek parçaya nasıl verdiği oldukça komplikedir.

Katı metalin ısınması kristal kafesteki atomların kinetik enerjilerinde bir artışla sonuçlanır. Çok düşük kütlelerinden dolayı, elektronlar gerçekte enerjilerini çarpma işleminde kristal atomlarının oldukça ağır olan çekirdeklerine transfer ederler. Muhtemelen ışın çarpmasındaki elektronlar ve atom kafesindeki elektronlarla ve özellikle en dış kabukta olanlarla ve bir dereceye kadar serbest iletim elektronlarıyla bunların düşük bağlama derecelerinden dolayı elektrik alanları çevrelerine bir hayli yayılırlar.

Enerji transferindeki bu ilk adımdan sonra, iletim elektronları çarpışma enerjisi kazanarak kafese doğru geçip devam ederler, tekrar çarpışırlar, ama bu sefer kafes "phonon"ları ile (*phonon=quantized lattice vibration*) ve kafes atomlarının enerjisinde istenilen artışla sonuçlanır. Bunun görünen sonucu da metalin sıcaklığındaki artıştır. Işına yeterli güç yoğunluğu verilerek bilinen bütün metallerin kaynama noktasının çok üzerine çıkılır. Sıvı ve gaz fazlarda, kafes yapısı olmamasına rağmen sağlanan enerji de benzer bir yolla çarpışma işlemleriyle transfer edilir.

Elektronların yolu malzemenin içinden daha da ilerlemeden önce, ışının çarpıştığı noktada oluşan diğer işlemlerin bir bütünüden bahsedilmelidir. Işındaki elektronların hepsi kinetik enerjilerini malzemenin sıcaklığındaki artışa dönüştürmezler (Şekil 2.1). Aynı zamanda birincil elektronlar olarak bilinen elektronların küçük bir oranı ya elastik olarak direk bir şekilde işlenecek parçanın yüzeyinden yansır ya da yüzeye nüfuz ettikten sonra, yayınır ve sonra kısmi bir kinetik enerji kaybıyla geriye yansır. Ayrıca çarpışmalarda iletken elektronlar

metal kafes tarafından kabul edilmez ve ikincil elektronlar olarak malzeme yüzeyinden ayrılırlar.



Şekil 2.1 İşlenecek parçanın yüzeyi ile elektron ışını karşılaştığı sırada oluşan prosesler

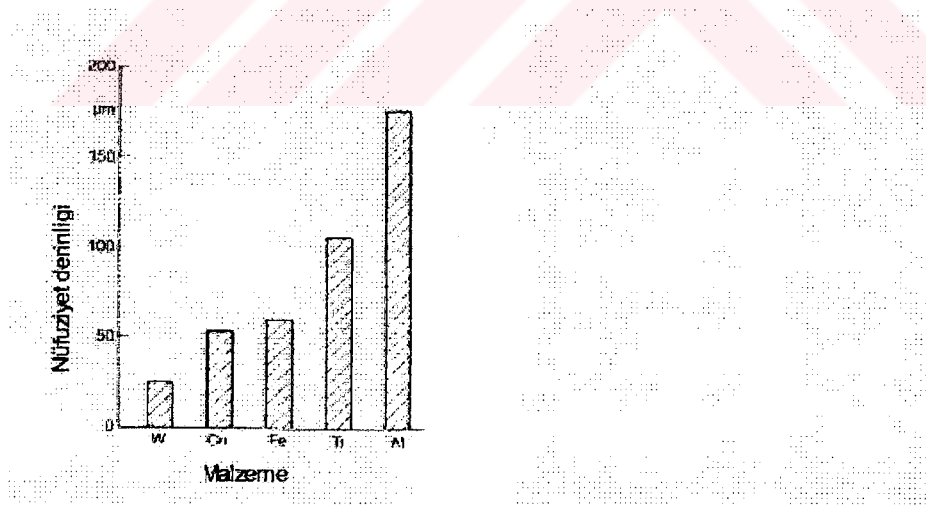
İşlenecek parçanın yüzeyinden ayrılan geriye saçılan birincil ve ikincil elektronların miktarı, enerji spektrumu ve yönsel dağılımı büyük bir derecede işlenecek parçanın şekline (dikiş geometrisi, boşluk genişliği, kenar hizası kaçıklığı, v.b.) kaynak damlasına ve buharlaşma kapileritesine bağlıdır. Öyle ki bunlar, kaynak dikişinin fiziki durumunu algılama sistemleri ve ışın odaklama yardımcıları için fiziksel ölçülebilir bir parametre olarak kullanılabilir.

Önemi daha az diğer geri saçılma etkileri içinden aynı zamanda elektron ışınlarının çarpışma noktasında X-ışınları da yayılır. Birincil elektronlar yavaşlatılırken, sürekli X-ışını radyasyonu olarak adlandırılan ve kaynak edilen malzemenin bir X-ışını yayma karakteristiği olan bu yayılma, üretilen X-ışınları tarafından tamamlanır. X-ışınlarının biyolojik etkileri vardır ve elektron ışın kaynağı boyunca yayılan enerji ve miktarı insan vücudu için zararlıdır. Buna rağmen elektron ışın kaynağının doğru güvenlik prosedürü takip edilirse, işletme personelinin sağlığında herhangi bir tehlike olmayacaktır. Kaynak normal olarak vakum odasının duvarında kendi vakumu içinde tatbik edildiğinden ($U_B \leq 60$ kV) veya oda duvarı ek koruyucu kurşunla kaplandığından ($U_B > 60$ kV) X-ışınlarına karşı yeterli bir güvenli koruma sağlayacaktır.

Bütün geri saçılma kayıplarının toplamı, literatürde çeşitli önlem seviyeleriyle verilen birkaç faktöre bağlıdır. Enerji transferi işleminin verimliliği, kesinlikle temel olarak, malzemenin yüzeyinde elektron ışının çarpışma noktasının geometrisine ve esas metale bağlıdır. Bu açıdan kaynağın başlangıcında çelik için verim, kesin bir hedef olan 0,6'dır ve kaynak boyunca aynı zamanda buhar kapileritesi veya "kaynak aralığı şekli" (*keyhole*) 0,9 ila 0,95 verimde şekillendirilmektedir [1].

2.2 Derin Nüfuziyet Kaynak Etkisi

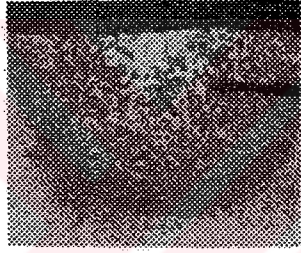
Hesaplamalardan ve ölçümlerden görülebilir ki, oldukça kısa bir mesafeden sonra ışın elektronları enerjilerini malzemeye bırakacaklardır. Örneğin 150 kV'da katı çelikteki nüfuziyet derinliği veya elektron aralığı sadece 0,06 mm'dir (Şekil 2.2). Yalnızca kaynağın başlangıçta katı ya da sıvı durumundaki malzemenin üzerine çarpması ve daha sonra buhar durumundayken elektron ışınının epeyce büyük bir yere sahip olduğu göz önüne alınsa bile, bu değer büyüklüğü 3 kat daha fazla olarak bilinen kaynaşma bölgesiyle nasıl bağlantılı olduğu karmaşık bir sorudur. Pratik olarak sadece yüzeyin tamamen etrafını çeviren bu küçük bölge çeşitli santimetrelerdeki malzeme kalınlıklarının kaynağının olabilmesi için paradoksal bir şekilde bilfiil gereklidir.



Şekil 2.2 Farklı malzemelerin üzerine çarpan $U_b=150$ kV bir ışın gücü için Schonland formülüne göre hesaplanmış, kinetik enerjilerinin yaklaşık %99'unu harcayan elektronların nüfuziyet derinliği

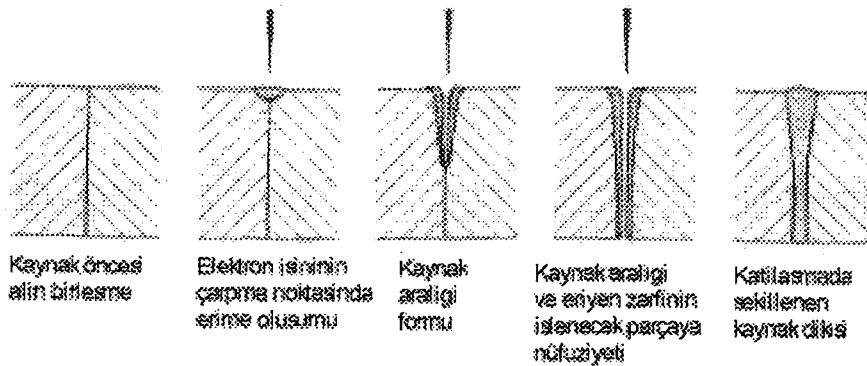
Kendiliğinden kaynayan (*autogenous*) gaz ve ark kaynağı ısı enerjilerini metale, metalin dışından transfer ederken; tam tersine "soğuk" elektron ışını, enerjisini gerçekte sadece malzemenin içindeyken ısıya dönüştürür. Kaynak yapıldığı müddet

boyunca, bunun belirli bir ilişkisi yoktur. Bununla birlikte eğer kaynak işlemi düşük kaynak akımı ile tatbik edilirse veya elektron ışınının güç yoğunluğu odaklanma olmadan bir gaz alevi veya elektrik arkınıninkine düşürülürse, 1 ila 2 mm genişliğinde oldukça kullanışlı bir bölge olağan geniş sıg şekle sahip olarak biçimlenecektir (Şekil 2.3). Böylece gerçek derin kaynak etkisi kullanımını yapmadan malzemeyi eritmek için elektron ışın kullanımı mümkündür. Diğer bir deyişle eğer, sadece az derinlikli kaynak istenirse, yalnızca ısı transferinin normal iletim metodu kullanımıyla, bağlantılar oluşturmak mümkündür. 10^5 W.cm^{-2} 'nin üzerindeki güç yoğunluklarında elektronlar daha önceden de bahsedilen çok dar bir bölgede kinetik enerjilerini oldukça hızlı bir şekilde ısıya çevirirler ve önemli bir miktarda ısı iletimi olmaksızın malzemenin bitişik bölgeleri ilkin elektron ışınının çarpma noktasında erir. Erimiş malzeme bundan sonra daha da ısıtılır ve buharlaşır, buhar sırası gelince kızgın buhar olur.



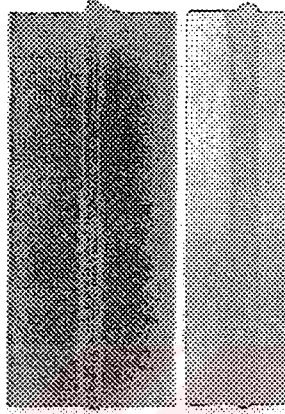
Şekil 2.3 Çevresel bir zirkaloy-2'nin kaynağında makroskopik kesit alanı içi, birleşme ve ITAB alanları ve derin nüfuziyet etkisi gözükmemektedir

Yaklaşık 2700 K ve yukarısı sıcaklıklarda, buhar genişler, yukarıya hareket eder ve reaksiyon kuvvetlerinin eriyiğe baskı yapmasının bir sonucu olarak aşağıdan ve yan yollardan serbest kalır [1].



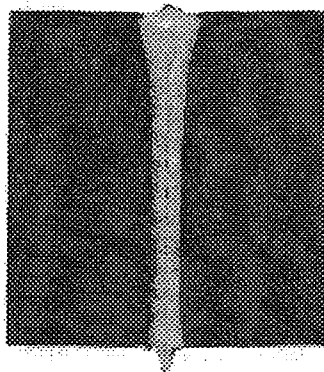
Şekil 2.4 Derin nüfuziyetli kaynağın çeşitli kademeleri

Bu olay bir çöküntü oluşturur ve bu çöküntü aynı şekilde ısıtılan kullanılmamış malzeme üzerinde çarpışma için elektronlara izin verir. Çöküntü formu gittikçe büyür ve erimiş malzemenin bir zarfı tarafından kuşatılmış buhar içeren bir "kaynak aralığı formu"na dönüşür (Şekil 2.4). İşlenecek parça çeşitli santimetrelerde olsa bile, yeterli enerji girdisi verilerek bu "kaynak aralığı formu" işlenecek parçanın bütün kalınlığı içinden geçecektir (Şekil 2.5). Bugün Şekil 2.5 ve 2.6' da gösterildiği gibi oldukça yüksek nüfuziyetlere raslamak mümkündür [5].



Şekil 2.5 Yüksek nüfuziyetli kaynaklar :Bakır crom alaşımı 130mm (sağda),çelik 150mm (solda)

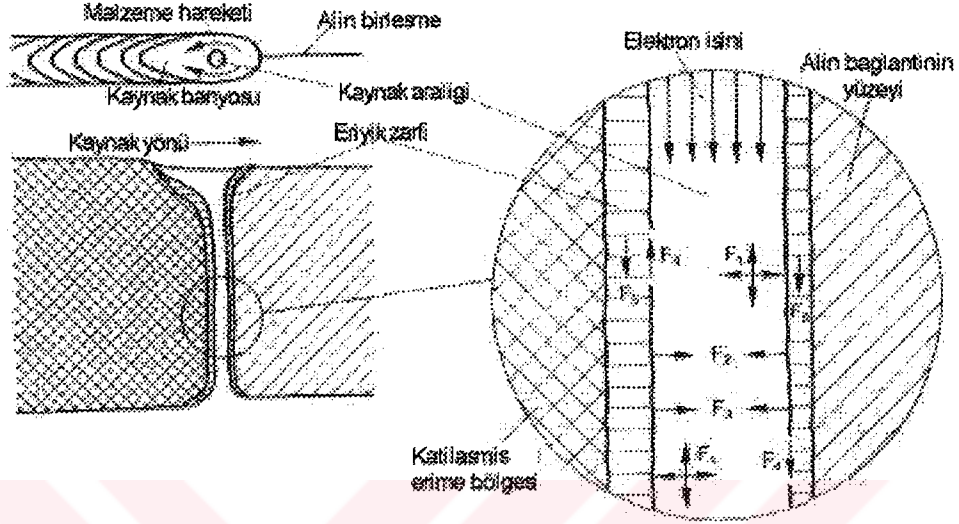
Bu yolla diğer bütün kaynak işlemlerinde olduğu gibi en az iki komponent parçasının yüzleri eritilebilir, erimiş malzeme kaynak banyosuna doğru akar, ısı ve işlenecek parça arasındaki bağıl hareket kaynak banyosunu (eriyik havuzu) bir kaynak bağlantısı şeklinde katılaştırır.



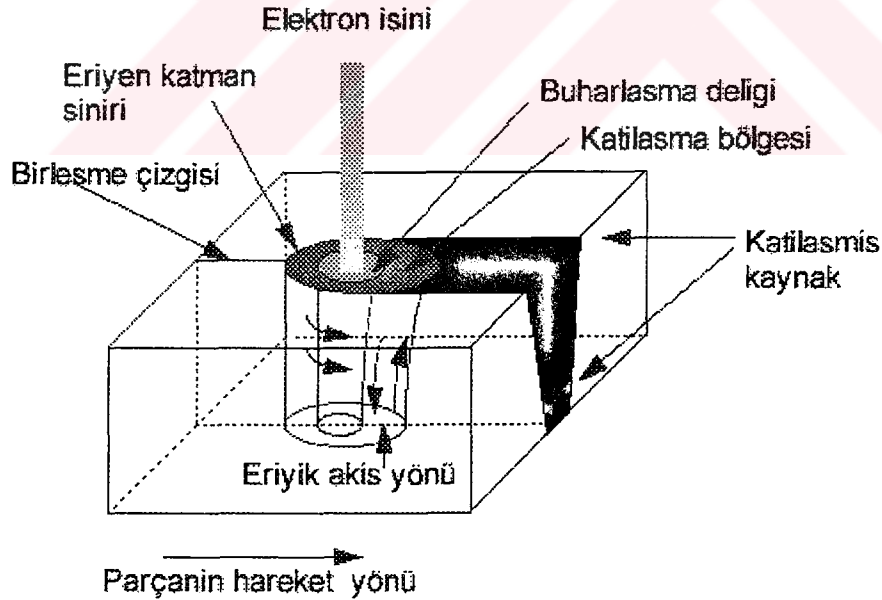
Şekil 2.6 X 20 Cr 13 malzemesinin 50 mm kalınlığındaki boylamasına kaynağında, birleşme ve ITAB bölgelerinin içinden alınmış bir makroskopik yapı

Derin kaynak etkisi; elektronların kapladığı bölgenin çok ötesinde, buharlaşmış ve erimiş malzemeye bir "kaynak aralığı formu" vererek elektron ışınının malzemeye

nüfuz edebildiği fiziksel bir işlemdir. Bu kaynak aralığı formunu sürekli olarak açık tutmak için ve kaynağın oluşması için gerekli enerji transferine izin vermek için, çeşitli kuvvetler birbirleriyle etkileşmelidir (Şekil 2.7 ve 2.8).



Şekil 2.7 Derin nüfuziyetli kaynakta, kaynak aralığı ve eriyen zarf içinde ana kuvvetler

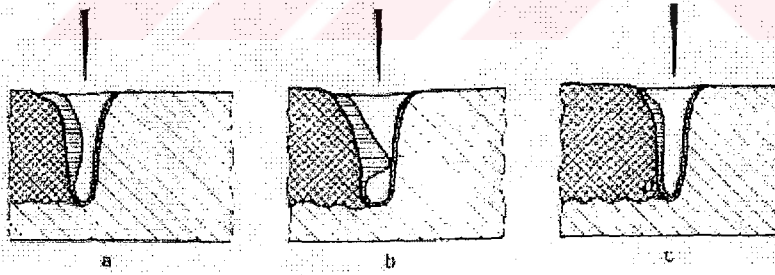


Şekil 2.8 Kaynak aralığı ve eriyik zarfının üç boyutlu görüntüsü

Buhar içerden dışarıya doğru kaynak aralığının duvarlarına baskı yapar ve böylece aynı zamanda hidrostatik basınca ve erimiş bölgenin zarfının yüzey gerilimine karşı hareket eder. İçerden kaynama sonucunda, yukarı ve aşağı doğru akan buhar

erimiş bölgenin zarfının iç duvarlarına karşı sürtünmeyle bir kuvvet uygular ve erimiş malzemenin ağırlığı reaksiyon gösterir. Böylece bu kuvvetler eriyik ağırlığını tutar. Buna ilave olarak, elektron ışını kaynak yönünde işlenecek parçanın içinden harekete başlarken, epeyce bir miktarda kaynak aralığı içinde oluşan eriyik hareketi vardır. Geniş araştırmalar tarafından da onaylanmış, elektron ışın kaynağındaki gerçek görsel incelemelerden bu proses boyunca oluşan hareket ve kuvvetlerin yalnızca sanki dengeli bir halde olduğu farz edilebilir.

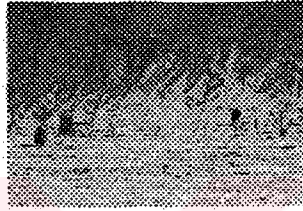
Yaklaşık $5 - 20 \text{ mm.s}^{-1}$ kaynak hızında ve yaklaşık 20 mm tam nüfuziyet derinliğinde malzemede buhar kaynak aralığı ve şekillendirilmiş erimiş bölge zarfı kaynak için uygun olup aşağı yukarı Şekil 2.9'daki doğal stabil şekile sahiptir. Bununla birlikte, düşük kaynak hızlarında veya belirli kısmi nüfuziyetli kaynaklarda, birleşme bölgesi işlenecek parça kalınlığıyla birlikte sona erer, kesin bir karakteristik dengesizlik gözlenir. Bu durumlarda buhar basıncı eriyiği stabil uniform bir şekilde ve eriyik zarfını dışarıya doğru şişkince tutmayı başaramaz, bunlar çöker ve kaynak aralığının altına düşer (Şekil 2.9). Böylece kaynak aralığının derinliği azaltılır ve geometrik boyutları ve fiziksel kuvvetleri ile ilgili özellikleri kaybolur. Ancak işlenecek parçanın ya da elektron ışınının ilerlemesiyle kaynak aralığına yeniden form verilebilir. Proses eriyik zarfının yeni bir çöküntüsüne yol açar.



Şekil 2.9 Birleşme bölgesinin altında boşluk oluşumu

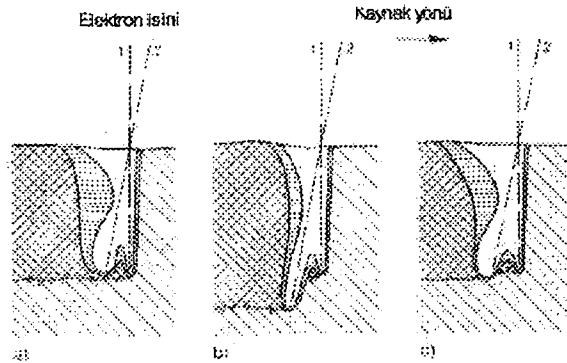
- a) Eriyen zarfın sürüklenen parçası yapılanır ve çöker
- b) Kaynak aralığının daha altındaki kısmi bloke olur ve artık elektron ışını birleşme bölgesinin altına ulaşamaz
- c) Çöken eriyik mantosu bir boşluk oluşturarak katılaşır

Şekil 2.9'da görüldüğü gibi aynı zamanda çöken eriyik zarfı, kaynak aralığının bir parçasını bloke edebilir. Hızlı katılaşma oluşumuyla, bu çöken eriyik zarfı eriyikten izole edilmiş durumdadır. Böylece buharın yoğunlaşmasından sonra artık erimiş malzeme tarafından doldurulamayacaktır. Böylece bir kök boşluğu şekillenir. Şekil 2.9'da gösterilen eriyik zarfının şekli ve kaynak aralığının boyutsal ölçeği elektron ışın kaynaklarının tipik bir örneği değildir ve sadece bu yolla anlaşılması için taslak şeklinde gösterilmiştir. Şekil 2.10'da gösterilen bir elektron ışın kaynağının içindeki boylamasına kesitin örneğinden görülebilir ki kaynama bölgesi kısmen boşluklarla ara ara kesilmiş, kaynamış metal bir çok dar iğneciklerden yapılmıştır. Bu olay "sivri uç etkisi" veya "sivri uçlu kök" olarak terminolojide yer almıştır.



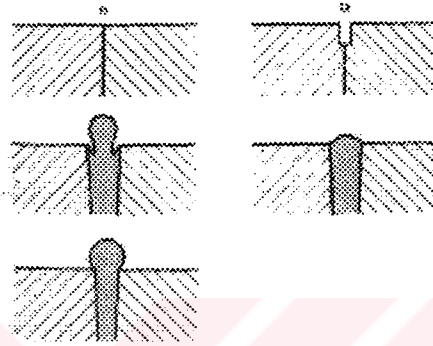
Şekil 2.10 Kısım nüfuz etmiş bir kaynak kökünün içinden boylamasına kesit, "sivri uç" etkisi ve boşlukların görünümü. Malzeme: X 6 CrNiTi 18 10 (15:1, x 0,6)

Geçmişte prosesin stabilizasyonunu hedeflemek ve kaynakta oluşan hataları önlemek amacıyla, çeşitli teknikler kullanarak bu dinamik etkilere müdahale etmek için epeyce bir çaba harcanmıştır. En ilginç önerilerden biri ikinci bir elektron ışını kullanımı şeklinde yapılmıştır. Bu ilave dik bir açıda meyilli elektron ışınıyla kaynak aralığının alt kısmı, kaynak yönüne karşı ve "sivri uç etkisi"ni önlemek için genişletilir. Böylece katılaşma işlemi birleşme bölgesinin derinliğinde herhangi bir değişim veya boşluk formu olmaksızın sürekli olarak ilerler (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Kaynak aralığında ve eriyen zarfta oluşan dinamik işlemler üzerinde Tandem elektron ışın kaynağı prosesinin etkisi 1=elektron ışını, 2=elektron ışını : a) ışın gücü P2 çok düşük; b) ışın gücü P2 çok yüksek; c) ışın gücü P2 kök boşlukları (sivri uç etkisi) oluşumunu önlemek için düzgün bir şekilde ayarlanmış

Bu tip tandem elektron ışın kaynağının teknik masrafları oldukça fazladır ve yeni yeni normal imalat uygulamasında kabul edilebilir duruma gelmiştir. Kaynak profilini iyileştirmek için ve yüksek hızda kaynakta stabil olmayan eriyik zarfından dolayı kaynak başı boyunca oluşan şişkinlikleri ve alttan kesmeleri önlemek için, derinliği gerçek kaynak hızına bağlı bir kaynak hazırlığı olarak 1 mm genişliğinde bir oyuk işlenmesi yardımcı olacaktır (Şekil 2.12). Bu yalnızca özel bir önlem olarak göz önüne alınmalıdır. Bununla birlikte elektron ışınını osilasyona uğratarak veya odaklamasını dağıtarak kaynağı genişleterek çok daha etkilidir.

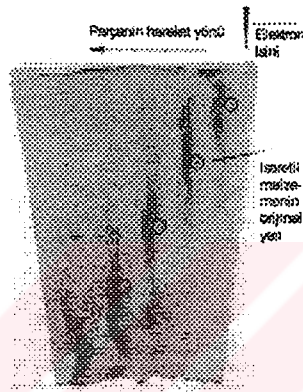


Şekil 2.12 Aşırı tümsekli, alttan kesmeli ve tepe oluşumlu kaynaklar ve alın kaynağının üst parçasında yarı oluşturarak bunların önlenmesi

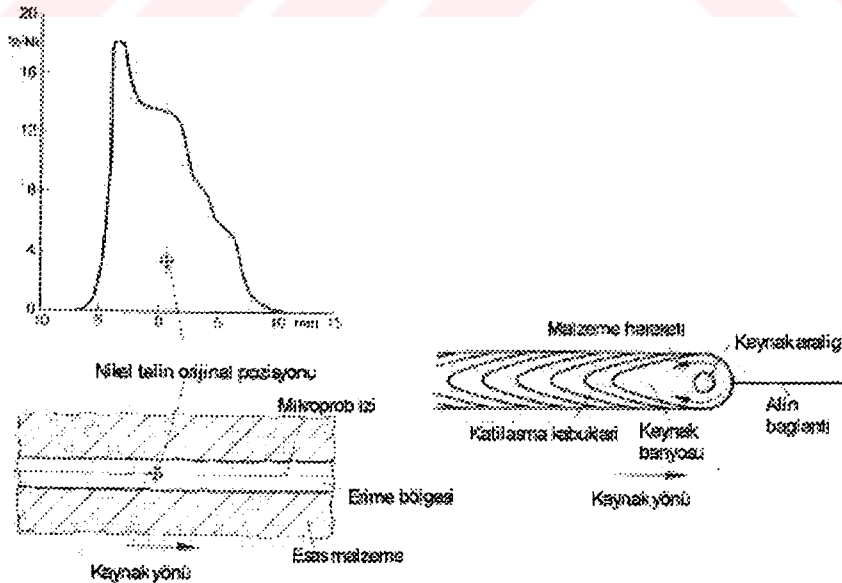
- a) Yüksek kaynak hızlarında normal olarak hazırlanmış bir alın kaynağında aşırı kaynak tümseğinin şekillenmesi
- b) Yarıklı bir alın bağlantısının elektron ışın kaynağında kaynak tümseği oluşumu

Daha derin araştırmalar kaynak aralığının içinde enerji girişindeki dalgalanmaların sonucu dinamik işlemlerin oluşup oluşmayacağını belirlemek için yapılmıştır. Örneğin ivmelendirme voltajındaki veya ışın akımındaki veyahut düzensiz bir kaynak hızındaki hafif dalgalanmalar gibi. Ancak normal şartlar altında yapılan kaynakta böyle bir ilişki kurulamaz. Tam tersine güç yoğunluğunun “sivri uç oluşumu” üzerine çok muhtemel bir etkisi vardır. Diğer tecrübi çalışmalar arasında aynı zamanda eriyikteki hidrodinamik işlemlerin araştırılması da vardır. Yerleşmiş teller, folyolar ve iğneler gibi belirgin malzemelerin kaynak yüzeyleri arasında ve sonra ana metalle birlikte kaynaması bu tip çalışmaların kullanımını şekillendirmiştir. Böylece birleşme bölgesinde belirgin malzemenin dağılımı metalografik ve analitik olarak takip edilebilir. Bu göstermiştir ki, aynı eriyik zarfının boylamasına yönündeki gibi malzeme, kaynak yönüne doğru kaynak banyosunda hareket etmektedir (Şekil 2.13 ve 2.14). Boylamasına kesitte belirleyici malzemenin dağılımı aynı zamanda farklı kaynak derinliklerinde eriyik zarfının ve kaynak aralığının şekli hakkında bilgi verir. Başka bir olası araştırma metodu da, küçük tungsten kürecikleri kaynak havuzu

içine koymak ve hareketlerini radyografik olarak izlemektir. Kaynak banyosunda ve kaynak aralığında malzeme hareketi çok büyük pratik öneme haizdir (Şekil 2.14). Bu, baştaki kaynak başı yüksekliğinde belirgin bir artışı ve kaynak dikişinin sonundaki krater oluşumunun ikisini de açıklar. Uygun önlemler alınırsa bunlar önlenir. Tanımlanmış kararsızlıklar kaynakların belirli durumlarında oluşur. Yani, metalin bütün kalınlığı boyunca nüfuz etmemesi durumu ve düşük hızlarda daha kalın kenarların kaynağında. İmalatta oluşan büyük sayıda elektron ışın kaynağı oldukça yüksek hızda yapılan ortalama kenar kalınlıklarındaki malzemede kök başı olan kaynaklardır. Bu şartlar altında kaynak aralığı dinamiklerinde herhangi bir kararsızlık tersine bir şekilde kaynak kalitesini etkilemeyecektir.



Şekil 2.13 İşlenecek parçaya normal bir ışınla kaynatılmış, çevresel boru kaynağının içinden boylamasına bir kesit; kenar kalınlığı: 100 mm; esas malzeme: 22 NiMoCr 3 7; işaretili malzeme: X 6 CrNiTi 18 10; işaretili malzeme çapı: 5 mm



Şekil 2.14 Malzeme hareketi ve elektron ışın kaynağı sırasında kaynak yüzeyinde kabuk oluşumu ve işlenecek parçanın yüzeyinden 7,5 mm altta yatay bir kesitte işaretili malzeme dağılımı. Esas malzeme: 25 mm kalınlığında titanyum; işaretili malzeme: nikel; işaretili iğne çapı: 1,5 mm

2.3 Kaynak Prosesinin Neticeleri

“Derin kaynak etkisindeki” ilgili kuvvetlerin büyüklükleri ve yönlerinden bir çok modeller ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmadan kazanılan önemli derecede malumat, çok kullanışlı enformasyon sağlamıştır. Bu enformasyon oldukça uygun iyi kaliteli kaynaklarının üretimini sağlamak amacıyla kaynak işlemi için yapılan ayarlamaların doğru seçiminde yardımcı olur. İşlenecek parçanın yüzeyi ile ilgili olan ışın odağının pozisyonu ile birlikte ışının salınımını yönlendiren çeşitli parametreler, kaynak sırasında oluşan işlemler için ve oluşan kaynaşma bölgesinin şekli için belirli bir öneme sahiptir. Bahsedilen daha da önemli faktörler ışın enerjisi ve ışının içindeki güç yoğunluğu dağılımıdır. Nicel veya en azından nitel bir şekilde formüle edilen güç yoğunluğu dağılımı ve kaynak işleminde oluşan mekanizmalar arasındaki ilişkiyi yönlendiren kural henüz anlaşılamamıştır [1].

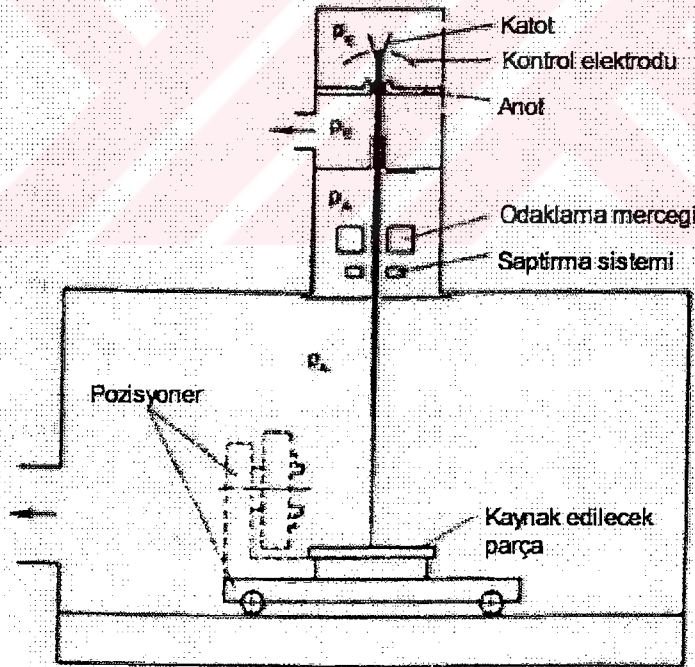
Malzeme üzerine nüfuz eden elektronların hareketine dair verilen açıklamalardan, aşağıdaki tavsiyeler kaynak pratiği açısından yapılabilir.

- Kök başlıklı kaynaklar (tam nüfuziyetli kaynaklar) her zaman tercih edilir.
- Eğer işlenecek parça istenen kaynak derinliğinden daha kalınsa kaynak edilecek yüzeyler öyle hazırlanmalı ki elektron ışını yinede bir kök başlığı biçimlendirecek şekilde olsun.
- Kök başlığı olmayan kaynaklarda, birleşme bölgesinin alt tarafı parçanın yük taşıyan kesitinin dışına dizayn edilmelidir.
- Elektron ışınının salınımı için özel ayarlar - dairesel kaynak dikişlerinin biten bölgelerinden dolayı, kök boşluklarını önlemek için – spesifik ve periyodik olarak değişen enerji dağılımı tarafından belirlenmelidir.
- Aşırı dış bükey kaynak başından ve dairesel kaynakta son kraterin oluşumundan uygun ışın akımı kontrolüyle kaçınılmalıdır.

BÖLÜM 3 KAYNAK PARAMETRELERİ VE KAYNAK UYGULAMASI ÜZERİNDEKİ TAVSİYELER

3.1 Parametrelerin Etkileri

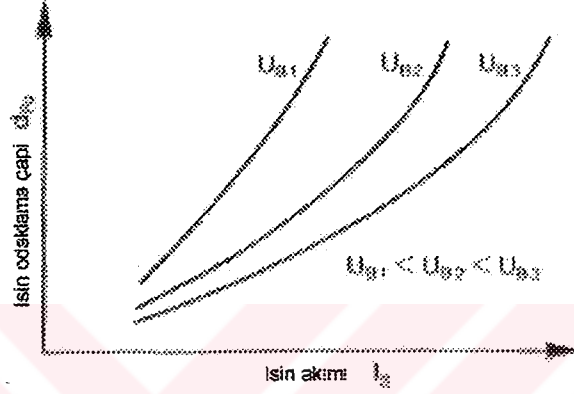
Elektron ışın parametrelerinin direk kontrolü için elektron tabancasında ve vakum kamarasındaki önemli olan parçalar şekil 3.1’de görülmektedir. Burada yalnızca bu parametreler açıklanmayacak aynı zamanda, hatalardan sakınma ve kaynak dikişi geometrisi gibi ilişkiler açısından bir gösterge verilecektir. Takip eden diyagramlar elektron ışın kaynağı makinasının çeşitli tipleri üzerinde yapılan ölçümleri içermektedir ve ilişkiler açısından içindeki eğilimleri göstermek niyetindedir. Yani nümerik değerler her türdeki tipik makineyi kastetmemektedir.



Şekil 3.1 Elektron ışını direk olarak etkileyen çeşitli sistemlerin ve basınçların kullanılmasıyla gösterilen bir elektron ışın tabancası ve çalışma kamarası

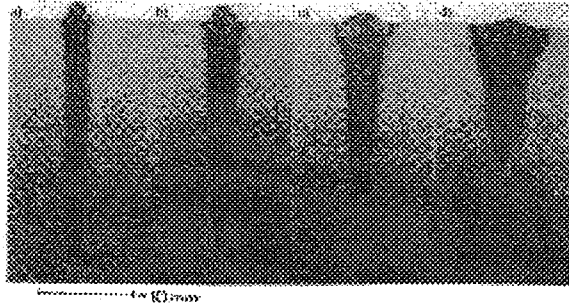
3.2 İvmelendirme Voltajı

Fiziksel bakış açısından, kaynak malzemeleri için kullanılan yük taşıyan yüksek enerjili bir ışın üretmek için, ivmelendirme voltajı en basit gereksinimlerin arasındadır. Ama kaynak teknolojisi açısından ivmelendirme voltajı en önemli ilgili parametrelerden biri değildir. Kaynak operasyonlarının çoğunluğu için, yüksek voltaj jeneratör tipi ve elektron ışını tabancası tipine bağlı ivmelendirme voltajı 60 veya 150 kV'a ayarlanan U_{Bmax} 'da sabit tutulur.



Şekil 3.2 Odak çapı üzerinde ışın akımı I_s ve ivmelendirme voltajının etkisi

Bu yolla şekil 3.2'de görüldüğü gibi gerekli ışın gücü P ve en düşük ışın akımı I_s için ışındaki en küçük odaklama çapı d_{F0} 'a ulaşılır. Bu yüzden yalnızca belirli istisnai örneklerde, mesela büyük bir odak kullanılarak üretilen geniş kaynak dikişlerinde, düşük ivmelendirme voltajları kullanmak uygundur.



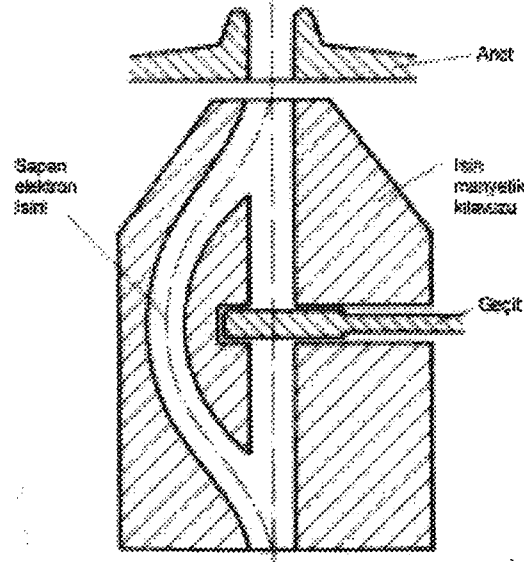
Şekil 3.3 Farklı ivmelendirme voltajı U_B ve odak mesafeleriyle A_F , ama $P=15$ kW'lık sabit bir ışın gücüyle yapılan kaynakların içinden kesitler. Birleşme bölgesinin derinliği (s) ve kaynak genişliği (b) üzerindeki etki gözükmemektedir.

	$U_B, \text{ kV}$	$A_F, \text{ mm}$
a	150	350
b	60	350
c	150	1200
d	60	1200

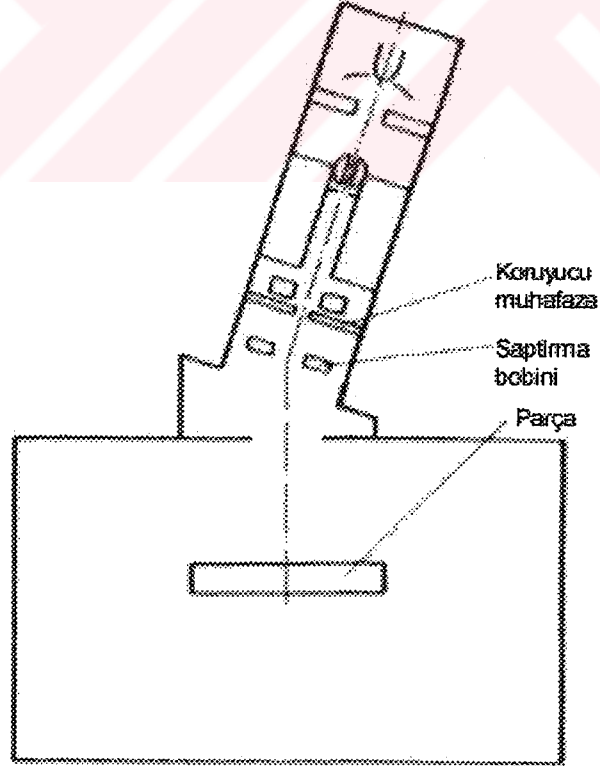
İvmelendirme voltajının farklı odaklama mesafelerinde kaynak dikişinin geometrisi üzerindeki etkileri şekil 3.3'de gösterilmektedir. Eğer A_F 350'den 1200 mm'ye arttırılırsa, birleşme bölgesinin derinliği $U_{B1}=150$ kV'da %30 civarında ve $U_{B2}=60$ kV'da % 40 kadar azaltılır. Aynı A_F odaklama mesafesinde, $U_{B2}=60$ kV'daki dikiş genişliği; $U_{B1}=150$ kV'dakinden yaklaşık olarak % 30 daha büyüktür ve $A_{F2}=1200$ mm odaklama mesafesinde her iki durumda da genişlik ilk değerlerinin iki katıdır. Buradan görülebilir ki, yüksek bir ivmelendirme voltajındaki bir elektron ışını ile, düşük bir ivmelendirme voltajındaki bir elektron ışını durumuna nazaran voltaj arttırıldığında odaklama çapı daha az artar. Kaynak malzemeleri veya bunların alaşım bileşenleri yüksek bir buharlaşma basıncına sahip ise, yüksek voltaj arkı dışarılarda oluşabilir. Bunlar vakumun izolasyon etkisi veya elektron ışın tabancasındaki elektrik alan kesildiğinde oluşan elektriksel boşalmalardır.

Bir yandan, katot ve yüksek voltaj yalıtkanlarının yüzeyinde oluşan aşınma (desorpsiyon) bunlara sebep olabilirken, öte yandan bunlar kaynak aralığında basınç altında püsküren erimiş partiküller içeren ve halkasal anot ve elektron ışın tabancası içinde fırlatılan metal buharı tarafından oluşabilirler. Kirli partiküller, aynı zamanda özellikle kontrol elektrodu ve katot arasındaki alanda öyle bir etkindir ki, elektrik alanda oluşan üst voltaj noktalarına çıkılmasına yol açabilirler. Böylece oluşan elektriksel boşalma sonunda, kontrol voltajı birden bire düşer, ışın akımı bir sınırlı akım rölesi kapanana kadar artar, kaynakta şekillenen hatalar çıkarılır (boşluklar, iç kaynak yanıkları, v.b.). Nihayet, elektron ışını genellikle arkasında bir son çukur bırakarak kesilir. Bu şekilde bir boşalmadan sonra, kaynak edilen işlenecek parçada da sonradan zorlukla giderilebilen hatalar kalabilir.

Bu tip hataları önlemek için bir dizi aşama geliştirilmiştir. Bunların arasından bazıları; büyük çalışma mesafelerinde kaynak yapma ($A_A > 2m$); ve sadece bir kaç milisaniye içinde akımdaki aşırı artışı önleyen elektrik kontrol sistemlerinin kullanımı; ve en önemli ışın parametrelerinin başlangıç ayarlarının yeniden ayarlanmasıdır. Elektron ışını saptırmak veya eğmek için başka bir olası yolda şu şekilde sağlanır. Işının çarpışma noktasından dışarı atılan erimiş partiküller elektron tabancasına giremezler. Şekil 3.4 anodun altında düzenlenmiş ve bir geçit civarına ışını yönlendiren manyetik bir tuzağı göstermektedir. Bununla birlikte, kaynak makinaları imalatı halinde, elektron ışınının eğilmesi tavsiye edilir ve elektron tabancası bundan dolayı çalışma kamarasının yukarısında belli bir açıdan monte edilir ki ışın, işlenecek parçanın yüzeyine dik açıda çarpabilsin (Şekil 3.5).

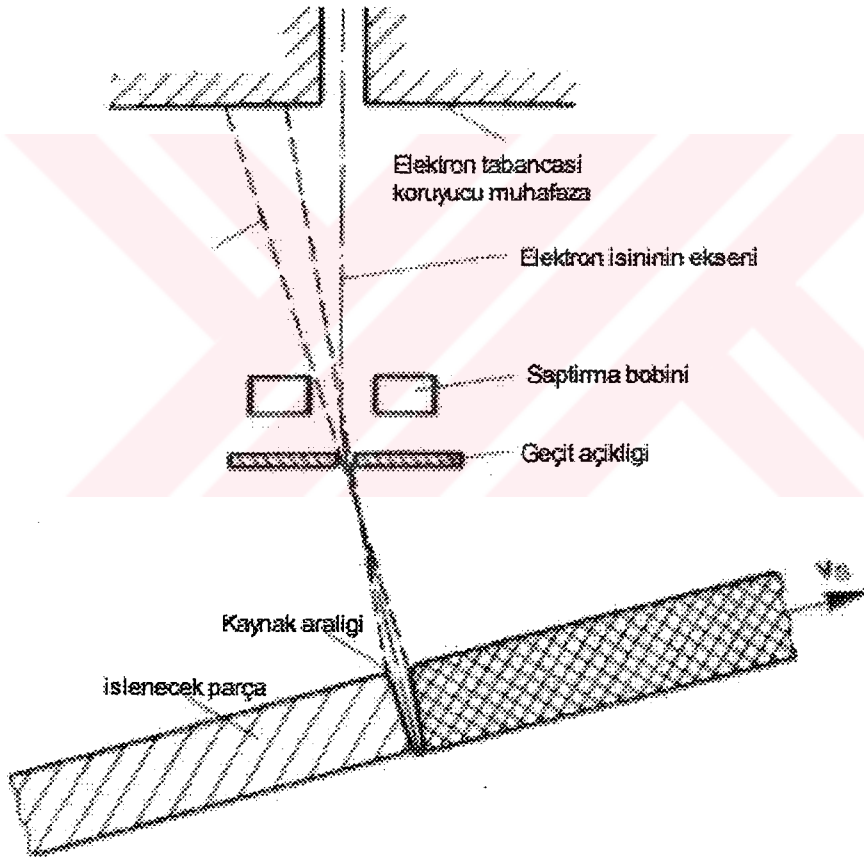


Şekil 3.4 Işın üreticinde metal buharının geri gelmesiyle oluşan yüksek voltajlı ark oluşumunu önlemek için anodun altındaki manyetik tuzak.



Şekil 3.5 Yana yatırılan elektron ışın tabancasıyla elde edilen ışın sapması

Bazı özel kaynak makinalarında elektron ışını çalışma kamarasına girdiğinde (Şekil 3.6), aksi taktirde gerekli olacak komplike modifikasyonlardan sakınmak için, çoğunlukla eğilir. Saptırılan erimiş partiküller kaynak aralığının boylamasına ekseninin yönünde kaynak noktasını terk ederler. Daha sonra, ışın açısı öyle bir şekilde olmalı ki partiküller elektron tabancasından ışının çıkış noktasına giremesinler ama uygun bir şekilde yerleştirilmiş koruma bantlarının üzerine çarpsınlar. Elektron tabancasının altındaki sapan ışının bir çok güçlüğe sebep olduğu unutulmamalıdır. Örneğin değiştirilen ışın eksenine göre yerleştirilen alın kaynağı düzeneğini oluşturmak için optik yolu modifiye etmek gereklidir. Buna ek olarak, elektron ışınının yönlendirilmesi onun çarpıtılmasına neden olur ve daha sonra uygun bir kompensasyon gerekir [1].



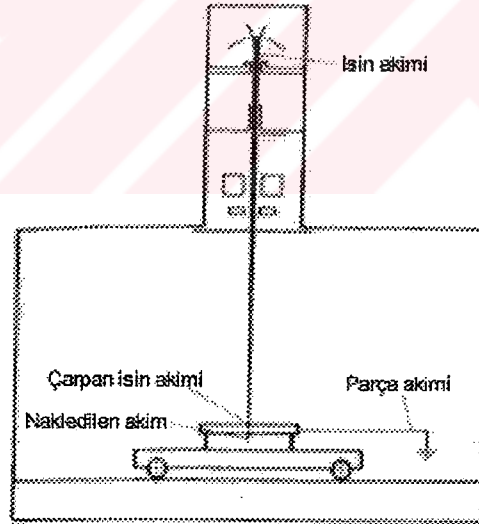
Şekil 3.6 Elektron tabancasının dışında ışın sapması

Böylece elektron ışınının yönlendirilmesi sadece belirli özel durumlarda mazur görülmelidir. Örneğin özellikle ağır kalın parçaların kaynağında. Elektrodların doğru kullanımı ve elektron tabancasının temiz tutulması şartıyla bugünün elektron ışın

kaynağı makinalarına, kaynağa uygun malzemelerinin büyük çoğunluğu için kısa devre boşalımını uygulaması olarak bakılabilir.

3.3 Işın Akımı

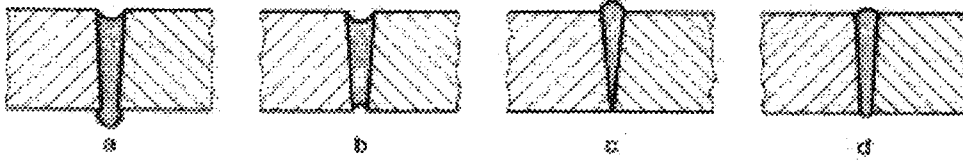
Işın akımı ivmelendirme voltajı ile birlikte ışın gücünü ve kaynak sonundaki bütün etkiler belirler. Şekil 3.7’de gösterildiği gibi çarpan ışın akımı, temel olarak kaynak işlemini etkiler ve mütakiben işlenecek parçanın tüm kalınlığına nüfuz edilmesi şartıyla çarpan ışın akımını, işlenecek parça akımı ve nakledilen akım diye ikiye böler. Işın elektronlarının daha büyük bir oranı işlenecek parçanın akımını biçimlendirmeye gider daha sonra da çalışma tablasından (kapama düzeneğinden v.b.) yere iletilir. Tam tersine nakledilen akım formundaki elektron ışınının geri kalan enerjisi, işlenecek parçasının alt tarafındaki açık kaynak aralığını korur ve nihai olarak kaynağın kök başı şeklini etkiler. Eğer aşırı bir şekilde yüksek ışın akımı belli bir kaynak operasyonu için ayarlanırsa, sıvılaştırma fazı süresince gelişen yüzey gerilimi yer çekimine karşı kaynak banyosunu ve aşırı büyük birleşme bölgesini desteklemek için yeterli değildir.



Şekil 3.7 Elektron tabancasında ve çalışma kamarasında, ışın akımı, çarpan ışın akımı, nakledilen akım ve işlenecek parçaya tesir eden akım

Bu olayda kaynak metali aşağıya doğru akar, kaynağın tepesinde iç bükeyliğe ve kök boyunca metal damlacıklara veya kökten düşmelerine sebep olur (Şekil 3.8a ve b). Bu şekil damlacıkların oluşumu kaynaktan malzeme kaybını temsil eder ve nakledilen akımın çok yüksek olmasıyla, erimiş metalin aşağıya damlamasıyla ve

damlacık formunun verilmesi nedeniyle bunlar oluşur. Tersine, oldukça düşük ayarlanan bir ışın akımı tamamen birleşmesi istenen parçaların tüm kalınlığını eritecektir ve ek olarak dikiş aşırı derecede bir dış bükey kaynak başıyla sonuçlanacaktır (Şekil 3.8c). Optimum ışın akımı tamamen işlenecek parçanın tüm kalınlığıyla kaynak edilir ve düzgünce bir dış bükey kaynak başı formu ve kökü oluşumuyla sonuçlanır (Şekil 3.8d).



Şekil 3.8 Tam nüfuziyetli bir kaynak bağlantısında farklı etkiler elde edilir

- a) Oldukça yavaş bir şekilde kaynak edilmiş, iç bükey kaynak başı ve kök boyunca damla formu
- b) a'dakine benzer ama kök oluşumu giderilmiş
- c) Yeteri derecede kaynak edilmemesiyle, dış bükey kaynak başı, yetersiz kaynak kökü
- d) Tam nüfuziyetli normal kaynak

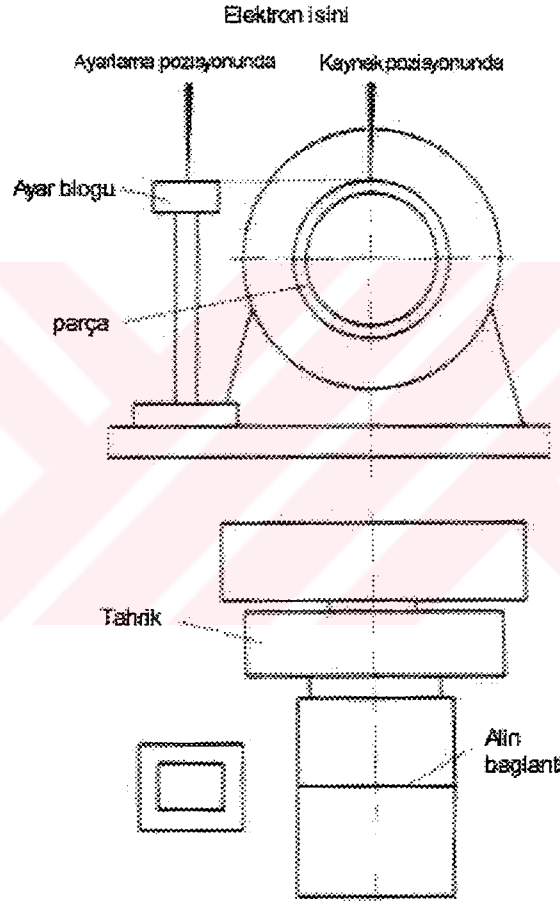
Bütün bu parametrelerden ışın akımı çoğunlukla ışın gücünü farklı kaynak operasyonlarına adapte edebilsin diye sürekli kontrol veya ayarlamalar gerektirmektedir. Modern elektron ışın kaynağı makinaları aşağıdaki kontrol fonksiyonu grupları tatbik edilebilsin diye ek donanımla donatılırlar:

- Aynı zamanda “eğim” kontrolü olarak adlandırılan ışın akımı kontrolü aşırı dış bükey kaynakları ve dairesel kaynakda son çukur oluşumunu önlemek için kullanılır.
- Değişen kalınlıklarda kaynak malzemeleri için ışın akımı kontrolü. Bu, ışın yolu uzunluğunda kurulan bir kontrol sistemiyle başarılır.
- Işın akımı kontrol edilebilsin diye nakledilen akımın ölçümü. Örneğin düşük hızlarda daha kalın parçaların kaynağında. Bu durumda işlenecek parçanın sıcaklığı kaynak sırasında epeyce artar ve uygun bir ışın akımı düşüşü gerektirir.

Bu tip kaynak operasyonlarıyla ivmelendirme voltajı ve kaynak hızı genellikle kontrol edilemez.

3.4 Mercek Akımı, Odaklama Pozisyonu

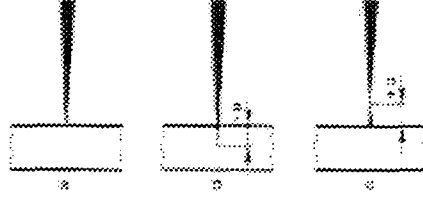
Elektron ışını, elektron tabancasından ayrılarak sapar ve tipik olarak yüksek güç yoğunluğu sağlamak için elektro manyetik bir mercek tarafından hizalanır ve odaklanır. İşlenecek parça üzerinde mercek akımının yardımıyla ışını düzgün bir şekilde odaklamak için, kaynağı kolaylaştırmak için bir çok ekipman parçası gerekmektedir. En basit durumda kaynaktan önce, elektron ışını aynı yükseklikte ve gerçek bir işlenecek parça olarak sabit duran bir malzeme parçası üzerine ayarlanmalıdır (Şekil .3.9).



Şekil 3.9 Çevresel bir kaynak için odağın nasıl ayarlanacağını görünümü

Mercek akımını değiştirerek ve optik bir sistemin içinden çarpışma noktasını gözleyerek, en düşük ışın çapı ayarlanmalı ve kaynağa başlanmalıdır. Hatasız kaynaklar özellikle çok derin kaynak durumunda, yalnızca odaklama pozisyonu kullanılarak. "Tüm kalınlığı olmayan" ve "aşırı derecede kaynaklanmış" işlenecek parça arasında ışın akım aralığı çok küçüktür ve de ya kaynak başı alt kısmı kesilmiş olarak görünecek ya da kök damlacıklarıyla kaplanacaktır. Eğer elektron

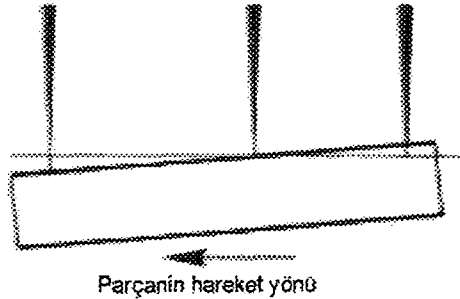
ışınının ayrı bir yere odaklanması ayarlanırsa, odağın pozisyonu bu sefer işlenecek parça yüzeyinin üzerine veya altına gelecektir (şekil 3.10).



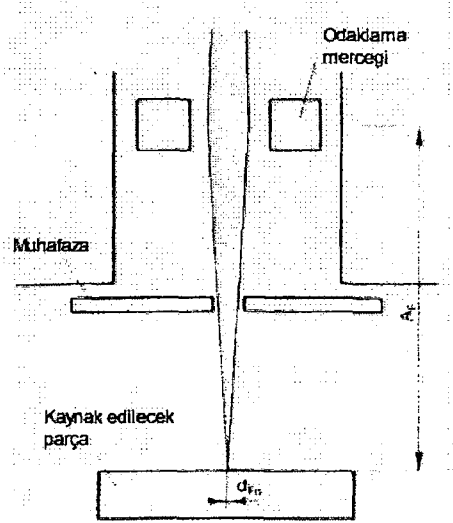
Şekil 3.10 Çeşitli odak pozisyonları

a) Normal bir şekilde odaklanma; b) Alt tarafa odaklama; c) Üst tarafa odaklama

O zaman bu hataların oluşumu epeyce azaltılacaktır. Bir yandan erimiş metal zarfı ve diğer yandan yer çekimi kuvvetinin olduğu kaynak aralığındaki kuvvetler arasında farklı bir yere odaklama basit ama bayağı etkili bir yoldur. Işının ne kadar ayrı odaklanmak zorunda olduğu – ki mercek akımı olarak (mA) veya odak değişimi mm olarak ifade edilir – sayısız diğer faktörle bağlantılı olduğundan dolayı yalnızca deneme kaynakları yapılarak belirlenir. Şekil 3.11’de kaynak üzerinde odaklama pozisyonu etkisini göstermek için bir metod belirtilmiştir. Çeliklerin kaynağında, kalın malzemelerle olan (örneğin $t > 10$ mm) kaynaklarda, malzemenin yüzeyinden yaklaşık 0,3 t aşağıdaki bir odak pozisyonun en uygun olduğu görülmüştür. Böylece tecrübeler göstermiştir ki, odaklanan bir elektron ışınını çarpışma noktasındaki mümkün olan en küçük çapı kesin olarak bütün kaynak pozisyonları için en uygunu değildir.



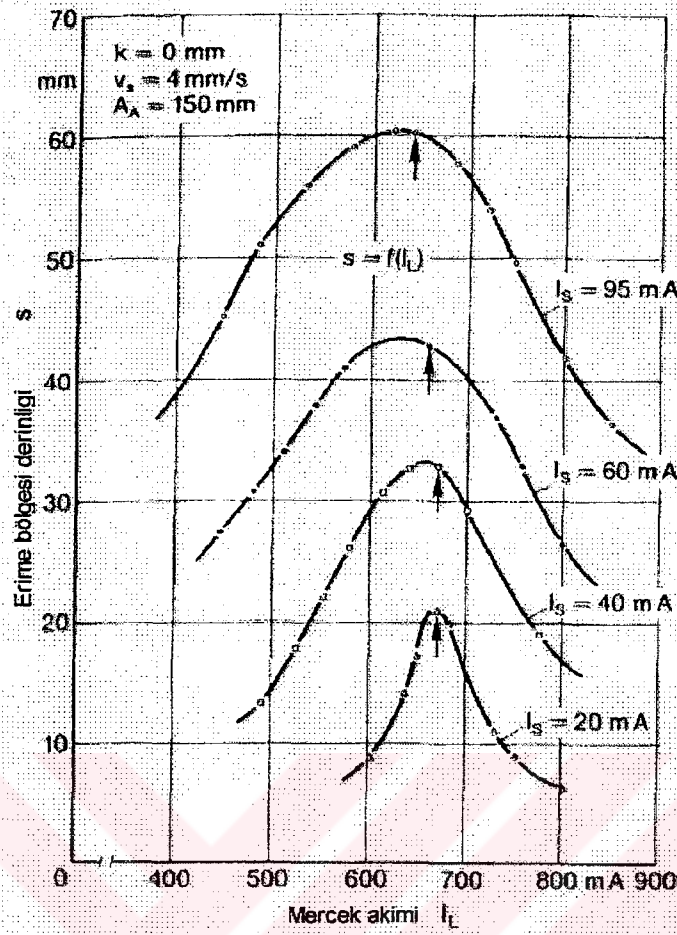
Şekil 3.11 Sürekli değişen bir odak pozisyonu ile tecrübi bir kaynak yapma yöntemi



Şekil 3.13 Normal odaklama şartları altında odak mesafesi A_F

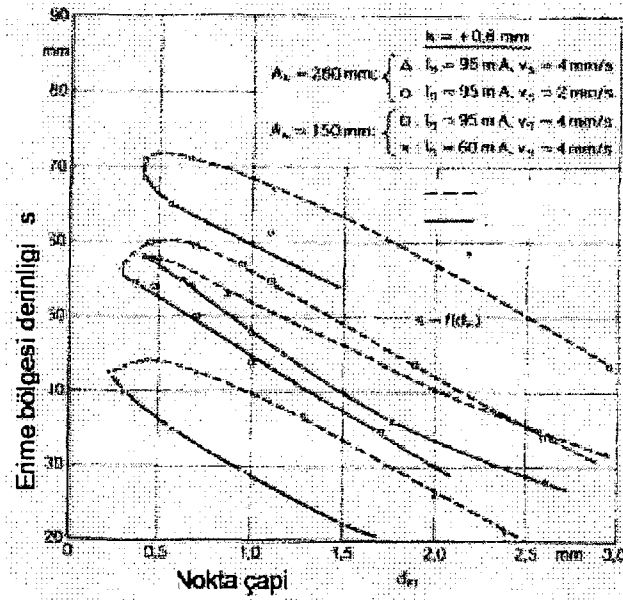
Gereken odaklama pozisyonunu dikkate almadan, bir test parçası üzerinde nokta çapı gözlenerek verilen ivmelendirme voltajı ve odak mesafesi için, normal mercek akımı belirlenmelidir. Yüksek ışın akımları epeyce zorluklar oluşturmaktadır, çünkü ayarlama zamanı süresince, bütün ışın gücü test parçasına nüfuz eder ve çarpışma noktasında bir çukurluk bırakır. Çarpan ışın işlenecek parça yüzeyinde parlak bir nokta olarak gözükecektir ama işlenecek parça yüzeyinin altında bir odak pozisyonu tanımlanmamıştır. Pratik olarak, 10 kW'a kadar olan ışın güçlerinde, parametre ayarları iki aşamaya ayrılarak bu güçlüklerden sakınabilir. İlk önce, bir test parçası için uygun bir ışın akımı ile "normal" odak için mercek akımı belirlenir. Güç aralığı içindeki bu mercek akımı, son ışın akımının odaklanması için ve kaynak için optimum odağı belirlemek amacıyla kullanılabilmesi bir referans olarak yeteri derecede kesindir.

Yüksek ışık akımları için optimum odaklama pozisyonun belirlemek için aynı zamanda şekil 3.11'deki gibi hareket etmek de mümkündür. Aynı zamanda otomatik odaklama için tamamlayıcı metodlardan da bahsedilir. Ama bu büyük bir ek yatırım ihtiyacı gerektirmektedir. Kullanıcılar bu bağlantılar için beklemelidir çünkü imal edilen kaynak makinalarında henüz bunları bulamayacaklardır.



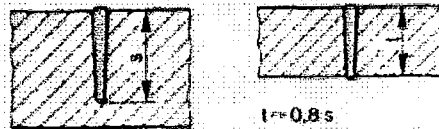
Şekil 3.14 Mercek akımı I_L 'nin fonksiyonu olarak birleşme bölgesinin derinliği s ; k =katot ve kontrol elektrodu arasındaki düşey mesafe; Malzeme: Ck22; $\uparrow$ =normal mercek akımı

Elektron ışınının farklı yere odaklanması yalnızca, oluşan kaynak dikişlerinin şekli açısından değil, aynı zamanda birleşme bölgesinin derinliği açısından da büyük öneme sahiptir. Böylece maksimum dikiş kalınlığı artık kaynak edilebilir. Örneğin, şekil 3.14 çeşitli ışın akımlarında, mercek akımının birleşme bölgesinin derinliği üzerindeki etkisini göstermektedir. $I_s = 20 \text{ mA}$ 'de iken, birleşme bölgesinin derinliği, mercek akımı I_L ile hızlı bir şekilde değişir daha yüksek ışın akımlarında birleşme bölgesinin derinliği, keskinliği daha az değişimler sergiler. Burada, hafifçe alt-odaklama haricinde birleşme bölgesinin maksimum derinliğine normal mercek akımlarında ulaşamaz.



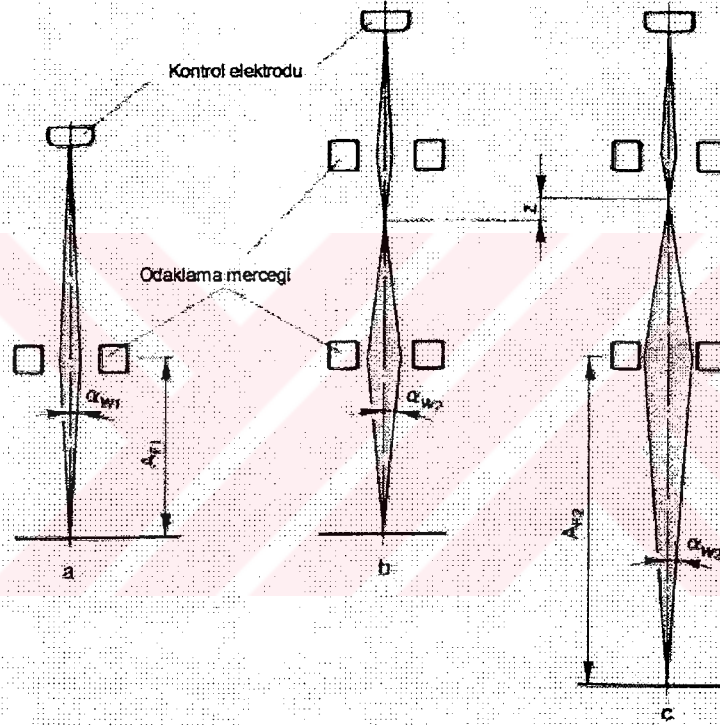
Şekil 3.15 Nokta çapı d_{F1} 'nin bir fonksiyonu olarak birleşme bölgesinin derinliği s , Malzeme: Ck22;
 $\uparrow$ =normal mercekle akımı (kesik çizgi-alt odaklama; düz çizgi-üst odaklama)

Şekil 3.15 bu ilişkiyi vurgulamakta ve birleşme bölgesinin derinliği ve nokta çapı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bir yandan saptırılan bir elektron ışını ile (üst odaklama) ve diğer yandan yakınsayan bir ışın ile (alt odaklama), işlenecek parçanın yüzeyinde aynı ışın çapı için, 10 mm'den daha fazla oluşabilen birleşme bölgesinin derinliğindeki farklılıklar şaşırtıcıdır. Şekil 3.14 ve 3.15 farklı parametrelerin bir fonksiyonu olarak birleşme bölgesinin derinliği s 'i göstermektedir. Birleşme bölgesinin derinliği, bir I-profil kaynağı dikişi kalınlığı t ile karşılaştırılmaz (Şekil 3.16). Kökü olan bir I-dikişi kaynağı için, elektron ışını belirli bir sürekli güçte işlenecek parçanın içinden geçmeli, kökü olmayan bir kaynak dikişi durumunda (yani malzemenin tüm kalınlığı içinden geçilmediğinde) erime bölgesinin derinliğini arttırmak için mevcut olmalıdır. Böylece, aynı ayarlarla, malzemenin tüm kalınlığı kaynak edildiğinde birleşme derinliği, malzemenin tüm kalınlığına sadece kısmi olarak nüfuz eden bir kaynakla ulaşılabilecek yaklaşık % 80'le sınırlandırılmıştır.



Şekil 3.16 Sabit kaynak parametreleri için birleşme bölgesinin derinliği ve kaynak kalınlığı arasındaki ilişki

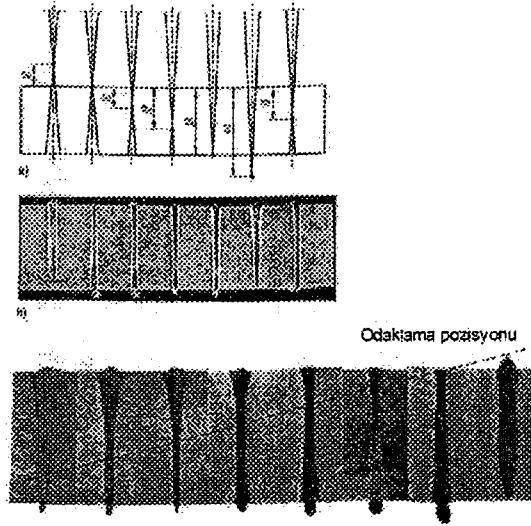
Elektron ışın kaynağında odaklama ve çalışma mesafelerini arttırmakla, maksimum birleşme derinliği azalırken, odaklama çapı artar (Şekil 3.3). Işının güç yoğunluğundaki bu azalış ikinci bir odaklama merceği kullanımıyla karşılanabilir (Şekil 3.17). Bu, mercek ya tabancanın içine yerleştirilebilir ya da çalışma kamerasında monte edilebilir. Bu açıklık açısı α_w 'nin arttırılmasına ve odaklama çapının tekrar düşmesine izin verir. Parlaklığın (R) sabitliği kuralına göre, güç yoğunluğu aralık açısı w ile orantılı olarak artar veya açıklık açısı (α)'nın karesi ile orantılı olarak artar. Daha kalın işlenecek parçaların kaynağında ışın karakteristiklerinin kontrolü metodunun belirli pratik önemi vardır.



Şekil 3.17 Elektron ışın kaynağında farklı odaklama sistemlerinin etkisi

- a) Normal odaklama sistemi
- b) a'daki gibi aynı odaklama mesafesinde ikinci bir odaklama merceğiyle açıklık açısının büyütülmesi
- c) a'ya kıyasla daha büyük bir odak mesafesinde ikinci bir odaklama merceğiyle aynı açıklık açısı

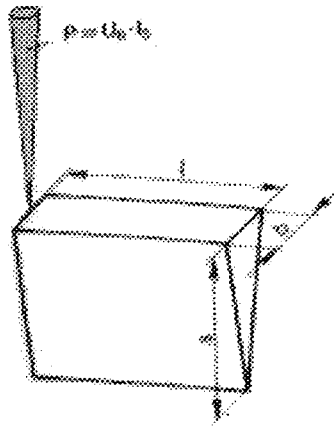
Şekil 3.18'de çeşitli odaklama pozisyonlarının parça üzerindeki etkisi ve dikişdeki hatalar görülmektedir [6].



Şekil 3.18 Çeşitli odaklama pozisyonlarından alınan kaynak kesitleri ve odaklama pozisyonunun çekme boşlukları oluşumuna etkisi

3.5 Kaynak Hızı

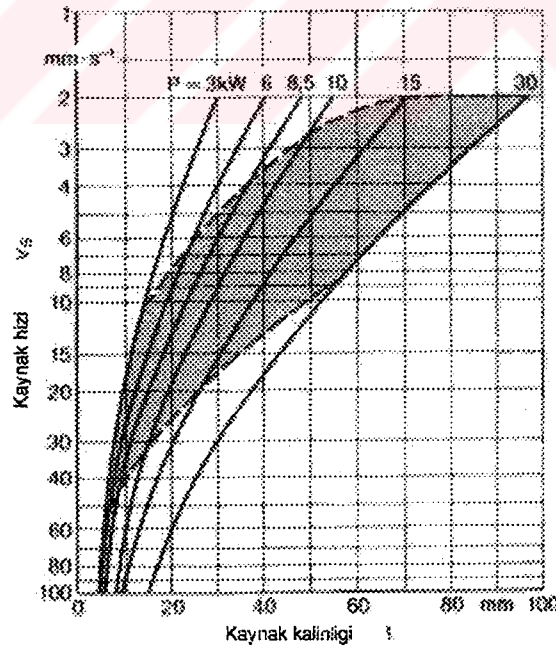
İşlenecek parçanın hareketi ile elektron ışını görecelidir ya da tam tersi şekildedir. Kaynak aralığı, eriyen metal zarfının içinden malzemeye doğru hareket eder ve kaynak dikişi oluşur. Bu hareketin sonucu olarak, ışın gücü malzemenin gövdesine transfer edilir öyle ki her kaynak operasyonu için ısı girişinin tipik bir geometrisi oluşur (Şekil 3.19). Diğer birleştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında elektron ışın kaynağında ısıtılan gövde belli derecede küçüktür. Araştırmalar göstermiştir ki, sabit bir ışın gücünde ısı girişi beklenildiği gibi malzemeye ve hem kaynak dikişi genişliğine hem de birleşme derinliğinde bağlıdır. Kaynak hızının artışıyla, iletim yolu ile daha az ısı kaybı sonucunda, ısı girişi azalır [1].



Şekil 3.19 Bir elektron ışını tarafından eritilen malzeme hacmi

Şimdiye kadar bahsedilen bütün kaynak parametreleri kaynak işlemini oldukça kuvvetli ve karakteristik şekilde etkiler. Odaklama pozisyonu ile birlikte ışın gücü temel olarak, kaynak aralığında ve eriyen zarfda hareket eden kuvvetleri etkiler. Katılaşmayı ve soğumayı içeren dinamik işlemler, kaynak hızı tarafından temelde etkilenirler. Işın gücüyle birlikte kaynak hızı, birleşme bölgesinin derinliği veya dikiş kalınlığını belirler (Şekil 3.20), aynı kaynak banyosunda ve eriyen zarftaki malzeme aktarımındaki gibi.

Böylece özellikle yüksek kaynak hızlarında, kaynak aralığını çevreleyen eriyen zarf kalınlığı azaltılır. Bu da kaynak banyosu içinde uniform malzeme aktarımını alt üst eder ve kaynağın başı ve kökü boyunca damla benzeri büzülmelerin oluşumuna neden olur. Farklı bir yere odaklama veya ışının salınımıyla genişleyen kaynak dikişi bu tarz düzensizlikler önlemeye yardımcı olur. Tersine, çok düşük kaynak hızlarında aşırı geniş bir kaynak dikişi şekillenebilir, kaynak banyosundaki kaynak aralığı nüfuz etmekte yetersiz kalır. Diğer bir deyişle, verilen bir ışın gücünde kaynak hızının azaltılmasıyla birleşme bölgesinin derinliğine veya aşılamayacak dikiş kalınlığına bağlı belirli bir malzeme vardır. Bu, eğrilerin üst limiti olarak şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Işın gücünün ve kaynak hızının bir fonksiyonu olarak çelikte ulaşılabilecek kaynak kalınlıkları

P= kaynak makinasının mevcut maksimum gücü

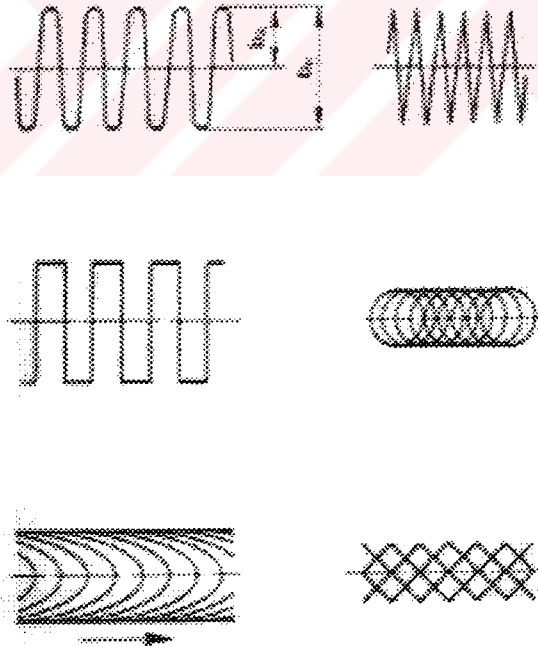
Taralı alan= ekonomik olarak uygulanabilir çalışma sahası

3.6 Işın Sapması

Elektron ışını negatif yük taşıyıcılarından oluşmuştur ve böylece kendi normal ekseninden farklı yollara elektrik ve manyetik alanlar yardımıyla saptırılabilir. Şu sapma tiplerini görmek mümkündür:

- Statik sapma
- Dinamik periyodik ışın sapması, aynı zamanda ışın osilasyonu olarak da adlandırılır.
- Dinamik periyodik olmayan ışın sapması.

Eğer bir doğru akım saptırma sisteminin bobinlerinden geçerse, o zaman elektron ışını statik olarak belirli bir açıyla sapacaktır. Statik ışın sapması, normal pozisyonda T-alın kaynakları yapmak için gereklidir. İstenilen sapma açısı β , doğru akımın bobinlere verilmesiyle (sapma akımı I_k) ayarlanır. Genelde maksimum sapma açısı $\pm 5^\circ$ derecedir ve bu ışının çarpma noktasındaki eğimi arttırılarak; optik görüş sistemi bakış alanı sınırlanır.

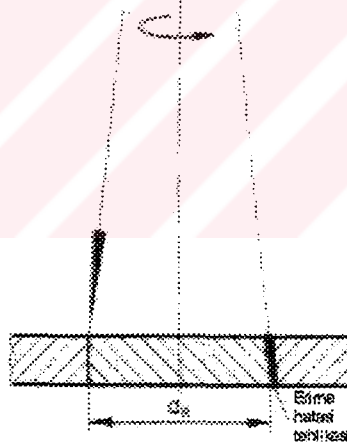


Şekil 3.21 Elektron ışınının çeşitli salınım yöntemleri

b_A = Salınımın genişliği
 b_P = Salınım genişliği

Elektron ışınları periyodik olarak değişen alternatif akımlarda, dinamik olarak, ataleti olmadan, kaynak için gerekli her yönde, şekilde ve frekans da sapabilir (Şekil 3.21). Küçük ve büyük genliklerdeki ışın osilasyonu, oluşan kaynağın kalitesini geliştirmek amacıyla, birleşme ve katılma işlemlerini faydalı olarak etkileyen daha etkili ve genel olarak kullanışlı bir metoddur. Işın osilasyonu, kaynak aralığının ebat olarak büyümesine neden olur. Kısmi olarak nüfuz eden kaynakların kökündeki boşlukların tuzağa düşmesi sonucu eriyen zarfı çökmekten ve kısalırmaktan korur. Genelde salınan bir elektron ışını, birleşme bölgesinin boyutlarını artırır ve gaz gözeneklerinin kaynak banyosundan çıkıp kaçmasına izin verir.

Ek olarak, ışın osilasyonu içinden düşen kaynak kökünü önleyerek ve kaynak başının keskin bir alt kesme oluşumu olmadan düzgün bir şekilde katılmasına izin vererek eriyen bölgenin dinamiklerini etkileyebilir. Daha büyük dikiş kalınlıkları ve ışın sapmalarıyla birleşme hataları tehlikelerinin hesaba katılması şartı ile, uygun yüksek genlikler ve düşük frekanslarla, aynı zamanda ışın osilasyonu çevresel dikişlerin kaynak edilmesine izin verecektir (Şekil 3.22). Bu tarz çevresel kaynağa, dairesel şekil verilen ışın biçimlerinde yarı çap hatası % 0,25'den küçük tutulmalıdır.

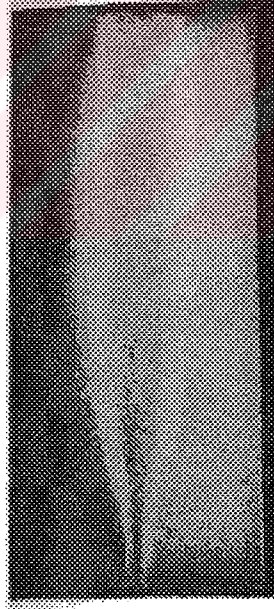


Şekil 3.22 Işın osilasyonu ile çevresel bir kaynak dikişinin kaynağı. Salınımın frekansı f_p ve çevresel dikişin çapı d_R , kaynak hızını (v_s) belirler.

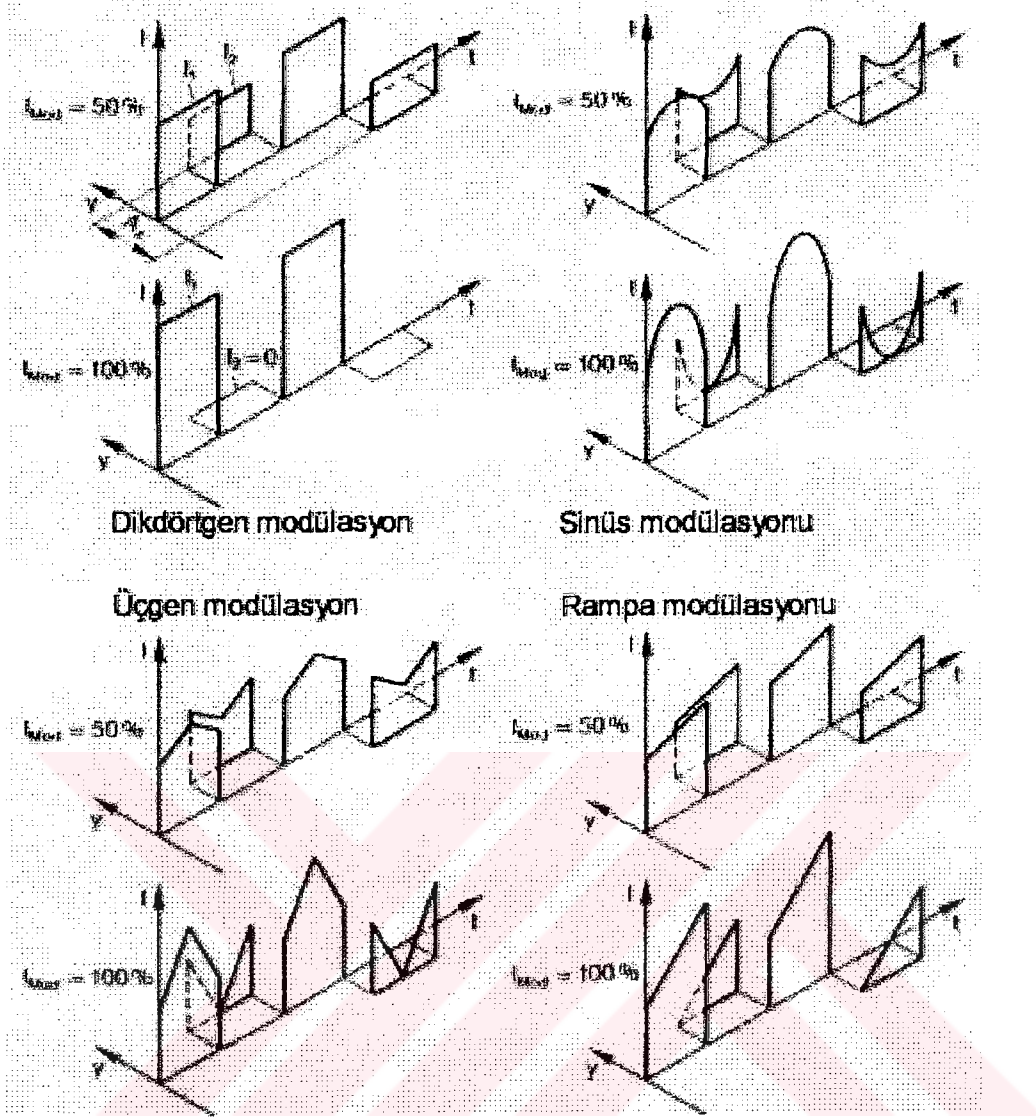
Otomatik yol kontrolü ve dikiş izi takibi sistemleriyle yapılan kaynağa, farklı tipte bir dinamik ışın sapması gereklidir. Bu durumlarda, sapma sistemi ışın kontrol sistemi tarafından periyodik olmayan bir alternatif akımla beslenir. Bu da ışın noktasının gerekli pozisyonları ve asıl değişimlerin düzeltilmesi ve meydana çıkartılmasıyla (örneğin sürüklenme hatası düzeltilmesi), önceden belirlenmiş X-Y yönünde açılı verilmiş dikiş yolunu takip edebilmesi için ışına izin verir.

Diğer bir bahsedilmesi gereken belirli ışın sapma tipi de, oldukça kalın işlenecek parçaların kaynağı için, lale şeklinde dikiş tekniğidir. Bu şekildeki operasyonda, ışın akımı çeşitli şekillerde ayar (modüle) edilirken, elektron ışını çapraz bir şekilde salınır (Şekil 3.24).

Daha ince kaynak parçalarında olduğu gibi, kaynak kökü problemsiz katılaşabilsin diye, ışın gücünün bu dağılımıyla, dikiş genişliği erime alanının daha derin bölgelerinde kontrol edilebilir. Geniş bir kadeh ve dar saplı, lale şeklinde bir kaynaşma bölgesi biçimlenir (Şekil 3.23 ve 3.24). Bu durumda, lale dikiş tekniği terimi, benzer bir şekilde isimlendirilen kaynak dikişi hazırlığı metodu yapmak için değildir. Lale dikiş tekniğinin kullanıldığı denemelerde, 60 x 80 mm kalınlıklarında deneme numuneleri şimdiye kadar kaynak edilmiştir. Numunelerin açısal kısalması, ortalama olarak 1° dereceden küçüktür ve nominal olarak artmamıştır. Kaynağın daha alt parçasında birleşme bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölge arasında sınırdaki ölçülen sertlik değerleri daha yüksek soğuma oranından dolayı kaynağın üst kısmında % 10 – 20 yukarıdadır (malzeme: 10 CrMo 9 10).

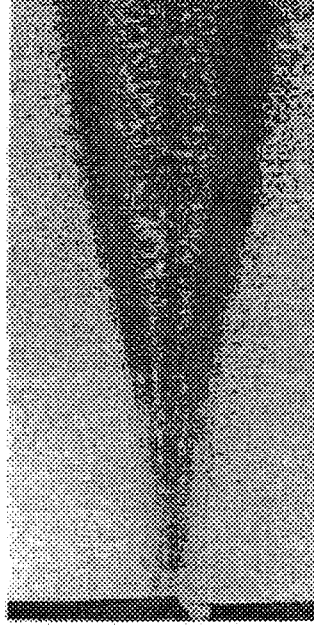


Şekil 3.23 Lale tekniği kullanılarak 80 mm kalınlığında 10.CrMo 9 10 malzemesinin kaynağı, ışın gücü $P=18$ kW, kaynak hızı $v_s=1,8 \text{ mm.s}^{-1}$, osilasyon şekli: testere dişli



Şekil 3.24 Elektron ışın kaynağında lale dikiş tekniği kullanarak çeşitli ışın akımı ayarlama metodları

Kesin olarak sapma tipi, hangi frekans ve genlikte bahsedilen sonuçları üreteceği yalnızca bir seri deneme kaynağından belirlenebilir. Bunun sebebi, katı ve sıvı durumdaki malzeme özellikleri (eriyik viskozitesi), kaynak hızı, malzeme kalınlığı, birleşme bölgesinin derinliği, güç yoğunluğu ve dağılımı v.b. işlemi etkileyen sayısız faktörden dolayıdır. Böylece çevresel kaynak dikişlerinde, kaynağın başlangıcında ön ısıtma gecikmesi ve erime derinliğinde yavaş yavaş azalışların hepsi, osilasyon parametrelerini belirlemekte ve kullanılması gerekli ayarlamalarda önemli bir rol oynar [1].



Şekil 3.25 Şekil 3.24'de gösterilen lale tekniği kullanılarak yapılan kaynağın, kaynak kökü bölgesi (3:1x 0,6)

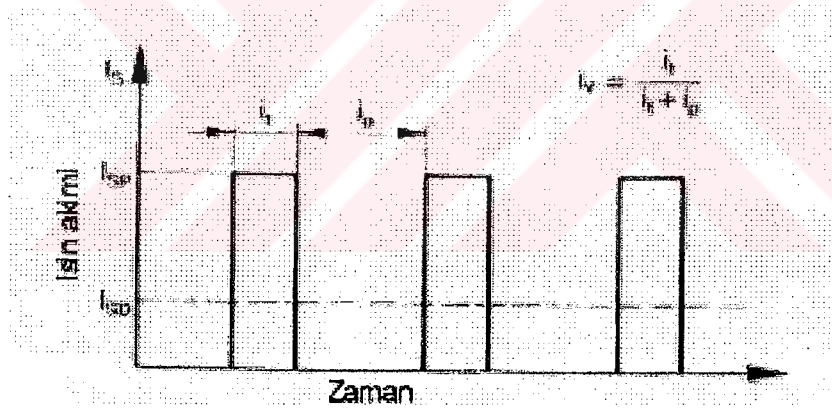
Literatür ve tecrübelerden, aşağıdaki açıklamalar, kaynak yapılacak malzemenin etkilerini hesaba katmadan gerçekleştirilebilecek etki tipleri hakkında fikir verecektir.

- Boylamasına osilasyon birleşme bölgesinin derinliği artırır.
- Malzemenin tüm kalınlığı içinden bir kökle beraber yapılan kaynakta, optimum kaynak parametreleri aralığı arttırılsın diye, çapraz osilasyon, sinuzoidal, dikdörtgen, yamuk şeklinde, elipsel ve X-şeklinde bunların hepsi kaynak banyolarını dengeler.
- Dairesel osilasyon, iğneli kök (root spiking) oluşumunu bastırır. (Kökte katılaşma boşlukları)
- Parabolik osilasyon, kaynak başını düzleştirir ve alt kesmeleri minimize eder.
- $f < 25$ Hz'den küçük sapma frekanslarıyla, elektron ışını kaynak aralığına hareket eder.
- $f > 25$ Hz'den büyük sapma frekanslarıyla, elektron ışını kaynak aralığının içinde onu genişleterek hareket eder.
- Araştırılan sapma genlikleri: $b_p = 0,3$ ila 2 mm.
- Osilasyon olmadan yapılan benzeri kaynaklarla karşılaştırıldığında, boylamasına ve X-osilasyonu haricindeki diğer bütün durumlarda; birleşme bölgesinin derinliği bir dereceye kadar azaltılır. Bu etki, ışın akımı arttırılarak ve/veya kaynak hızı azaltılarak kompanse edilebilir.

3.7 Işın Darbesi

Elektron ışın teknolojisinin ilk yıllarında kaynak makinalarının maksimum gücü yaklaşık 3 kW'la sınırlıdır. Düşük kaynak hızlarında kalın kaynaklar yapılabilmesi için ve birçok şekilde mümkün olabilen ışının osilasyona uğratabilmesi için, tecrübe ve ek donanım noksanlığı vardı. Böylece, sadece 10 belki 15 mm'ye kadar kalınlıklar derin kaynak etkisine rağmen, malzemeye bağlı olarak, hatasız güvenli olarak kaynak edilebilirdi. Bu kez de darbeli elektron ışın kaynağı önem kazandı. Bugün, birleşme bölgesinin derinliğini arttırmak için kullanılan bu teknik yalnızca ikincil bir öneme sahiptir.

Elektrik devresi yardımıyla yüksek voltaj jeneratöründe, ışın akımı tekrar ederek epeyce arttırılır ve sonra kısa periyotlarda kesilir (Şekil 3.26). Böylece, darbeli bir ışın akımı veya darbeli ışın gücü kesin tanımlanmış bir frekans ve yüksek uç nokta değerlerine sahip olmasıyla üretilir ki bu hesaplanarak ortalama bir değer olarak mümkün olan makinanın maksimum nominal ışın gücü aşılmadan ifade edilir.

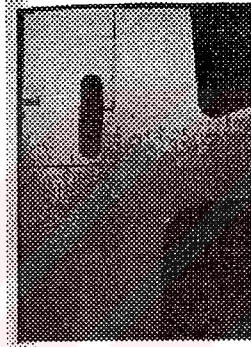


Şekil 3.26 Darbeli bir ışın akımının şekli. I_{SD} =sürekli ışın akımı, I_{SP} =darbeli ışın akımı, I_T =darbe genişliği, I_P =bekleme zamanı, I_V =darbe oranı

Yüksek darbeli akımın bir sonucu olarak, elektron ışını derin olarak bir yandan öbür yana bitişik malzemeye uygun bir şekilde nüfuz eder ve böylece tek tek kaynak aralıklarının doğal sarkması ve üst üste binmesi meydana gelir. Malzemedeki kaynak aralığı çapıyla ve ısı iletimiyle kaynak yönünde sürekli ve kompakt birleşme bölgesi oluşur. Böylece, darbeli kaynak dikişlerinin tipik karakteristikleri; 50 mm'ye kadar büyük bir [s/b] oranı olması, aynı güçle sürekli bir ışınla yapılan kaynaklara kıyasla birleşme bölgesinin derinliğinde yaklaşık % 50 bir artış olması ve aynı zamanda daha fazla düzensiz ve saçılan kaynak dikişi oluşmasıdır. Bahsedilen

%50 artış, darbeleri elektron ışınının, istenildiğinde basitçe arttırılmayan birleşme bölgesinin derinliği üzerindeki etkisini göstermektedir. Bir yandan kaynaşma ve ısı iletimi işlemleri boşluk içermeyen bir kaynak sağlamak için belirli bir minimum zaman istemektedir. Diğer yandan darbeleri akım I_{SP} , sürekli akım I_{SD} ile karşılaştırıldığında, yalnızca belirli elektron optiği ve düzeni sınırları içinde, anahtar oran I_T 'ye bağlıdır.

Bu teknik artık, çok daha yüksek ışın güçlerinin günümüzde yaygın ve mevcut olmasından dolayı, birleşme bölgesinin derinliğini arttırmak için kullanılmamasına rağmen, bu kurallar aynı zamanda düzenlenen darbeleri ışın kullanımını, modern elektron ışın kaynağı makinaları içinde geçerli kılmaktadır. Bununla beraber çok dar erime bölgeleri üretimi için kullanılır. Bunun iyi bilinen bir örneği, alüminyum pistonlardaki soğutma kanalları elektron ışını kaynağıdır (Şekil 3.27).



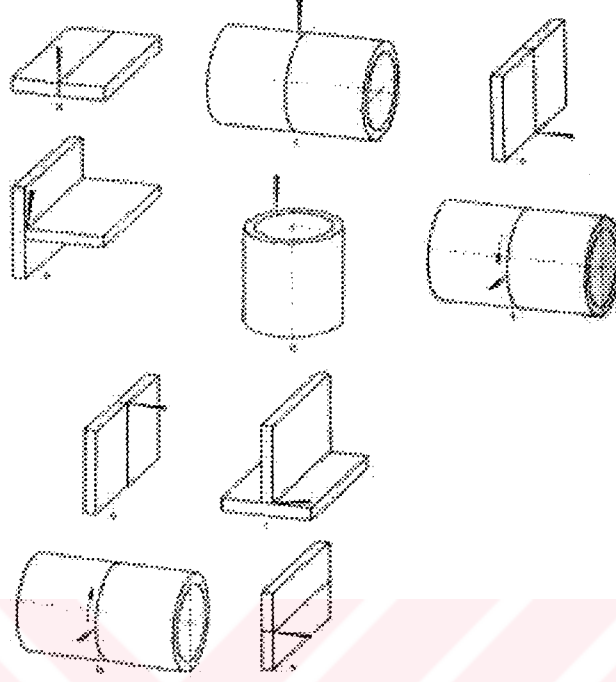
Şekil 3.27 Darbeleri bir elektron ışını ile kaynak edilen bir alüminyum pistonun içinden kesit alanı (1:1; x 0,5)

Kaynak, kanal duvarlarına eriterek zarar vermeden soğutma kanalına yakın yapılmalıdır. Kaynağın baş kısmının kaldırılması, pistonun dış yüzeyinin makina ile işlenmesini müteakip tatbik edilir. Işın darbesinin başka bir olası kullanımı nokta kaynağındadır. Bu işlemler şimdi, başlangıçta mümkün olandan daha büyük ayarlama aralıkları kullanımıyla, modern elektron ışın kaynağı makinalarının programlanabilir bilgisayar kontrol sistemleriyle tatbik edilmektedir.

3.8 Pozisyonel Kaynak

Kaynak teknolojisinde, pozisyonel kaynak terimi, işlenecek parçanın normal yatay pozisyonundan sapan, bütün geometrik pozisyonlarına uygulanır (Şekil 3.28). Kaynak pozisyonunda, yerçekimi kaynak banyosunda yatay pozisyonundan farklı bir şekilde hareket eder. Pozisyonel kaynak, işlenecek parçanın ebatları ve kaynak dikeylerinin pozisyonundan dolayı çoğunlukla kaçınılmazdır, örneğin gemi

konstrüksiyonlarında. Diğer durumlarda, kasten çok büyük bir kaynak banyosu kontrolü geliştirmek için kullanılır.

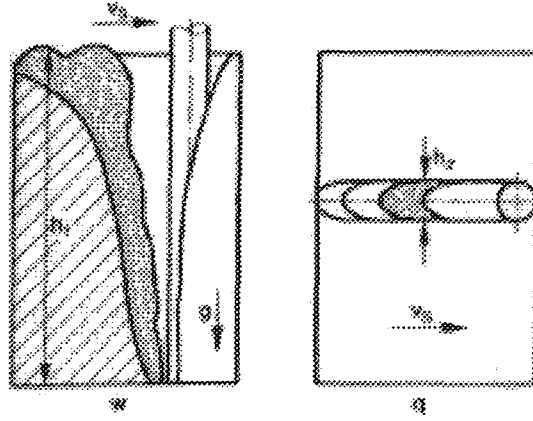


Şekil 3.28 Elektron ışın kaynağı için kullanılan çeşitli pozisyonlar

a) Yatay (normal); b) Yatay (eğik); c) d) Yatay; e) f) Dikey yukarı; g) h) Dikey aşağı; i) k) Enine

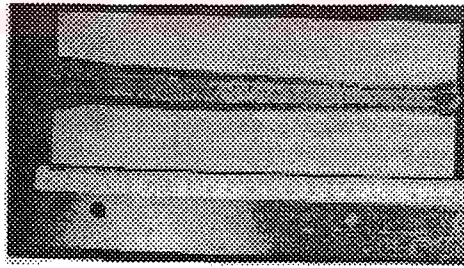
Elektron ışın kaynağı bilindiğinden beri, yapısal nedenler pozisyonel kaynak için kabul edilemez bir durumda idi. İşlenecek parçanın sabit kaldığı çok büyük çalışma kamaralarına takılan hareket edebilir ve dönebilir elektron tabancalarına ihtiyaç duyulmuştur.

Kural olarak, daha kalın işlenecek parçaların elektron ışın kaynağı için yatay olmayan pozisyonlar seçilir. 50 mm'den başlayarak, kaynak aralığını açık tutmak, eriyiğin işlenecek parçanın içine damlamasını önlemek ve hatasız kaynaklar başarmak artarak daha da zorlaşır. Farklı bir yere odaklama, osilasyon, v.b. çeşitli parametreler için farklı farklı seçilen ayarlamalarla, esas malzemeye bağlı olarak, malzemenin kalınlığı 50 mm'den büyük olsa bile, yatay pozisyonda kaynak işlemini kontrol altına almak mümkün olur. Daha kalın kaynaklar için sadece düşey aşağı veya çapraz pozisyonda bir değişim mümkündür (çevresel kaynak durumunda saat kadranı 9'u gösterirkenki gibi).



Şekil 3.29 Farklı pozisyonlarda kaynak banyosunun boyutları

Şekil 3.29 yatay-düşey bir pozisyonda kaynak banyosu derinliğinin nasıl azaltılabileceğini ve stabil bir kaynak aralığının oluşturulabileceğini göstermektedir. Ayrıntılı araştırmalar bu mütalaaları onaylamaktadır. Bugün imalat endüstrisinde, kalın kenarlı malzemelerde yatay-düşey pozisyonda sayısız kaynak başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Aynı zamanda, kök yüzeyinden kaynak banyosunu destekleyen yivli bir arka şerit kullanımı da avantajlarını ıspatlamıştır. Örneğin şekil 3.30'da, yatay-düzey pozisyondaki kaynakta hafifçe kavisli birleşme bölgesinin tipik oluşumu, 10 CrMo 9 10'dan 200 mm kalınlığında bir çelik plaka içinden bir kesit gösterilmiştir.



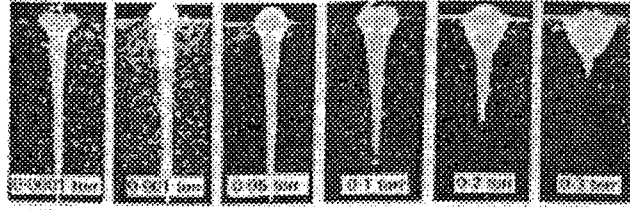
Şekil 3.30 200 mm kalınlıktaki bir elektron ışın kaynaklı parçanın makroskopik kesiti. Malzeme: 10.CrMo 9 10, $U_s=160$ kV, $I_s=400$ mA, $v_s=1,1$ mm.s⁻¹, kaynak pozisyonu: enine

3.9 Çalışma Basıncı

Bir elektron ışını üretmek ve hizalamak için kesin bir vakumun gerekli olduğu aşikardır. Başka nedenlerden dolayı yeterli bir basınç istense de, elektron tabancasından işlenecek parçaya kadar olan yol vakumsuz düşünülemez. Elektron ışınının civarında artık gazlar:

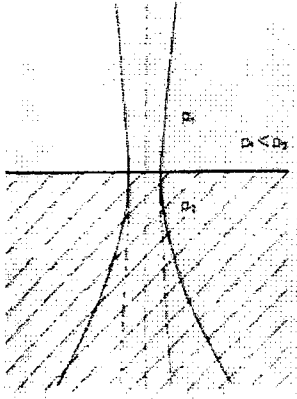
- Herhangi bir kimyasal reaksiyon başlatmamalı, örneğin kaynak noktasında oksidasyon ve işlenecek parça bölgelerinin ısınması gibi.
- Elektron ışınındaki güç yoğunluğunu etkilememeli, diğer bir deyişle herhangi bir saçılma etkisine sebep olmamalıdır.

Şekil 3.31’de erime bölgesinin geometrisinin kamara içindeki basınçtan nasıl etkilendiği görülmektedir [2].



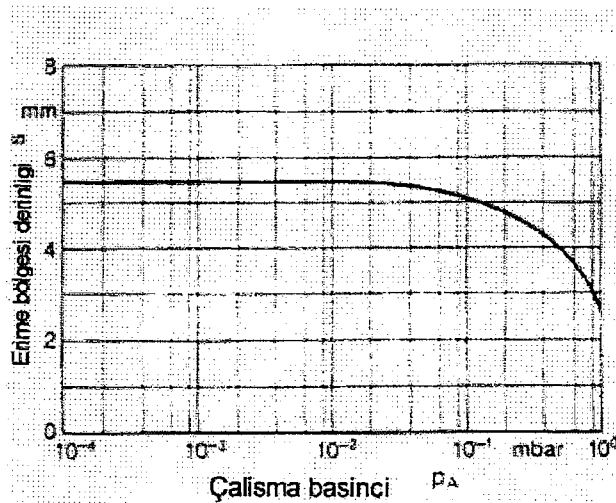
Şekil 3.31 Dikiş geometrisi üzerinde gaz basıncının etkisi

Bir çok araştırmada görüldüğü gibi, bu gereksinimleri karşılamak için $P_A=5 \cdot 10^{-4}$ mbar kadar düşük bir vakum gerekli değildir. Çünkü daha yüksek basınçlarla da bu gereksinimler karşılanabilecektir. Çalışma kamarası için daha yüksek bir basınca karar verirken baskın bir kriter olarak işlenecek parçanın ve kaynak oksidasyonunun önlenmesi seçilirse, o zaman karşılaştırılabilir bir ölçüm olarak çeliğin TIG kaynağında kullanılan korumalı bir gaz kaplamasının saflığı seçilebilir. Örneğin, %99,99 saf argon kaynağı, kalan %0,01 katışkının hangi gazlarda oluştuğuna bakılmaksızın, $P_A=10^{-1}$ mbar bir vakum aynı derecede saflık sağlar. TIG prosesindeki gibi, bu vakumla çelik, aynı saflık şartları altında elektron ışın kaynağı edilebilir. Titanyum ve Zirkonyum gibi gaz hassasiyeti olan malzemeler için, iki kaynak metodu daha yüksek derecede bir saflığı karşılamalıdır. Böylece, elektron ışın kaynağı durumunda, $P_A=10^{-4}$ mbar bir çalışma basıncı veya daha azı gereklidir.



Şekil 3.32 Bir yüksek basınç ($P_2 > 10^{-2}$ mbar) ortamına giren elektron ışınının saçılması

Saçılma etkilerinden sakınma olan ikinci ölçüt, hafif elektronların gittikçe artan bir şekilde havadaki ağır gaz molekülleriyle çarpışması ve böylece sapması ve saçılması basıncı artırır gerçeği üzerine temellendirilir (Şekil 3.32). Direk sonuç, odaklama noktasının çapı artırılması ve böylece güç yoğunluğunun azaltılmasıdır. Birleşme bölgesinin derinliği sadece $P_A = 10^{-1}$ mbar bir basınca kadar hafifçe değiştiği Şekil 3.33'de görülmektedir. Sadece basınç artırılarak, birleşme bölgesinin derinliği önemli bir derecede ve hızla azalmaya başlar. Bu eğilim pratik olarak malzeme ve kaynak parametrelerinden bağımsızdır. Bununla birlikte, başka türlü benzer durumlarla, kaynaşma bölgesinin derinliği bütün durumlardaki basınçlarda $P_A = 10^{-2}$ mbar'dan daha fazla azalmaya başlar, kaynak teknolojisi açısından, bu değer vakum kamarasında tolere edilebilen mutlak maksimum olarak görülebilir, veyahut diğer bir deyişle (çelik v.b) normal malzemelerin elektron ışın kaynağı için izin verilebilen maksimum basınç olarak.

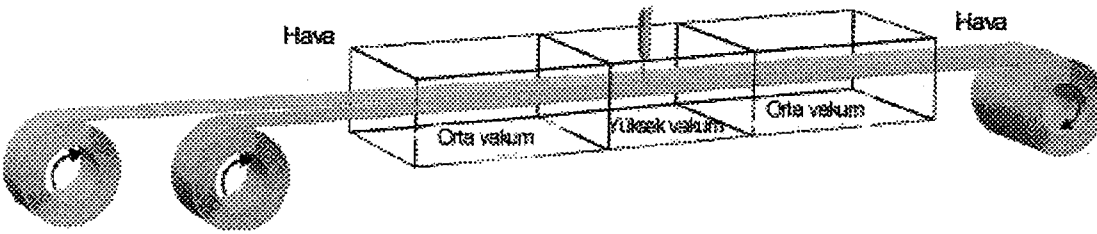


Şekil 3.33 Birleşme bölgesinin derinliği s ve çalışma basıncı P_A arasındaki ilişki

Pratik olarak, bu basınçlarda kaynak tatbik edilebilsin diye, enerji ışın tabancası ve çalışma kamarası arasında farklı basınç olması için, elektron ışın tabancası bir basınç kademesi oluşacak şekilde techiz edilmelidir. Elektron ışın kaynağı için, birleşme bölgesi profilinin çok benzerini üretmek gereklidir. Aynı zamanda, kaynağı her zaman aynı çalışma basıncında tatbik edilmesini sağlamak için, diğer düzenek parçalarını bir araya getirmek kullanışlıdır.

Başlangıçta, bir elektron ışını üretmek için gerekli vakumdan dolayı, aynı zamanda her nasılsa çaresini bulup, vakum kamarasından tahliye etme ihtiyacı olup olmadığı sonucu doğmuştur. O zamandan beri normal atmosferik basınçta havadaki elektron ışın kaynağı teşkil etmek için nasıl ve hangi ekipmana mal olacağı tecrübe ile izah edilmiştir. İlk gereksinim, ışını tabancanın dışına yönlendirmek için güçlü vakum pompalarıyla donatılmış belli sayıda basınç kademesidir. Şimdiye kadar verilen açıklamalardan anlaşıldığı gibi, elektron ışını havada oldukça büyük bir miktarda saçılır, öyle ki sadece yüksek ışın gücüyle bile, küçük kaynak kalınlıklarına ulaşılır. Ekonomik sebeplerden dolayı, atmosferik basınçta elektron ışının kaynağı Avrupa'da benimsenmediğini anlamak zor değildir. Basınç kademeleri ve ek gerekli vakum pompaları bir vakum kamarası, istenmese bile, epeyce bir yatırım istemektedir. Aynı zamanda, radyasyon koruması gereklidir. Kaynak çevresindekiler ek gaz korumalarıyla oksidasyondan korumak zorundadır ve küçük kalınlık durumlarında bile oldukça yüksek ışın güçleri gereklidir.

Şekil 3.34'de farklı vakum kademelerinden geçen malzemelerin elektron ışın kaynak prosesi gösterilmiştir.



Şekil 3.34 Hava – vakum – hava elektron ışın kaynağı prosesi.

3.10 Parametrelerin Optimizasyonu

Yeni bir kaynak işlemine başlamadan önce, optimum parametrelerin belirlenmesi çok geniş bir mütalaa aralığı ile ilgilidir. Sadece parçaların beklenen ve yükleme ve

fonksiyonlarını başarabilemesi için, uygun kalınlıktaki bir kaynak oluşturulması değil, aynı zamanda bunlar iç ve dış hatasız olmalıdır. Eğer önceki parametreler aynı tipteki kaynaklar için mevcut değilse, böylece bunu başarmak için gerekli ayarlamalar, en iyi iki kademede kullanılır. İvmelendirme voltajı ilk olarak U_{Bmax} 'a ayarlanılır ve bundan sonra sabit tutulmalıdır. Aynı zamanda, ilk olarak bir mercek akımı I_L seçilirki hafifçe alt-odaklama oluşturması tavsiye edilir. Bundan başka, ışın akımı I_s 'de, şimdilik bilinmeyen kaynak hızı v_s 'ye bağlı olarak belirlenmelidir. Bu parametrelerinin herbirinin kaynak işlemi üzerinde ve böylece kaynağın kendisine oldukça karmaşık bir etkisi olmuştur. Örneğin, bazı durumlarda optimum ışın akımı "aşağı" ve "yukarı" olan kaynak arasında çok yakın limitler içinde bulunur.

Bunun sonucu olarak diğer imalat toleransları ve makina ayarları, örneğin normal kalınlık toleransı, boşluk genişliğindeki değişimler, kaynak hızındaki sapmalar v.b., kaynak kalitesi ve tekrar üretilebilirliği üzerinde oldukça büyük bir ters etkisi olabilir. Bir yandan, ışın akımı ayarlamaları üzerindeki tolerans, kaynak hızı veya ışın osilasyonu yükseltilecek artırılabilirken, diğer yandan şaşırtıcı olarak aynı kaynak hızında ışın akımındaki daha fazla bir artış, belirgin bir şekilde kapalı bir kökte saçılmaya maruz kalmasına ve hataların eliminasyonunda yardımcı olabilir. Bu girilen eylemin başarısı büyük bir ölçüde malzemeye, kaynak kalınlığına ve kaynak hızına v.b. bağlıdır. Diğer bir deyişle, daha önceden herhangi bir benzer tecrübe yokluğunda çözüm sadece bir dizi kaynak denemesi yaparak belirlenir.

Kaynak denemeleri yapmaktansa hesaplama yaparak kaynak için parametreleri belirlemenin mümkün olup olmadığı sıklıkla sorulur. Ancak, yayınlanan matematik formüller iki sebepten dolayı herhangi bir yardım gösteremezler. Bu hesaplamaların amacı, verilen bir kaynak işlemi için istenilen ayarlamaları tahmin etmek değildir. Bu tip hesaplamaların amacı; elektron ışınının nüfuz ederken ki davranışı hakkında yapılan tahminleri veya eriyen zarf ve kaynak aralığında oluşan doğrulanabilen fiziksel prosesler ve enerji dönüşümünü saptamaktır. Tecrübeyle kazanılanlarla hesaplanmış sonuçlar karşılaştırılarak bu başılır. Böyle yaparak, yalnızca göz önünde bulundurulmuş birleşme bölgesinin derinliği ölçütü ile çoğunlukla kısmi olarak nüfuz etmiş kaynak üretimi şeklinde sadece bir çok kaynak operasyonlarından biri seçilecektir.

Bütün bu matematik hesaplamalar oluşan işlemlerin belli bir derecede basitleştirmesiyle ilgili olduğundan, nihai olarak sadece uygulamacıya değerlerin

kabaca bir tahminini sağlar. Parçanın geometrisi, kaynak dikişinin şekli, farklı bir yere odaklama ve odaklama mesafesi gibi etkiler sadece kısmi olarak göz önünde bulundurulur. Böylece ayarlamalar karşılaştırılırken, "ışın akımı" teriminin yanlış anlama ve hatalardan sakınmak için çok daha düzgün bir şekilde tanımlanması gerekir. Bir kaç istisna ile ışın akımı terimi, yüksek voltaj devresindeki kalibre edilen dirençlerin kullanımıyla ölçülen, kaynak makinasının kumanda panosunda okunan değere karşılık gelir. Bu değerler, katottaki emisyon akımının yeterli doğrulukta bir ölçümünü verir, ama kaynak işleminde çok büyük bir önemi olan işlenecek parçanın üzerine çarpan her akımı değil. Gerçek ölçümlerden gösterilebileceği gibi, çarpan akım bir dereceye kadar emisyon akımından daha düşüktür.

Işın akımı kaybının büyüklüğü bir çok faktöre bağlıdır. Örneğin makinaya bağlı etkiler. Aynı ışın akımı olduğunu göstermesine rağmen, dağılan malzeme üzerine çarpan akım, farklı imalatçılar tarafından üretilen kaynak makinalarıyla aslında farklı farklıdır. Böylece, bütün elektron ışın kaynağı makinalarının hesapla ve tecrübeyle dahi belirlenen ışın akımı değerlerinin transferinin oldukça sınırlı olduğu görülebilir. Tam aksine, böyle verilerin tekrar üretilebilirliği, ayarlandığında kaynakların yüksek kalite ve birbirine benzerliğiyle sonuçlanan prosesin çok büyük avantajlarından biridir.

Kaynak parametrelerinin optimizasyonundaki ikinci kademe, herhangi bir dış (alttan kesme) ve iç (gözenekler) hatayı elimine etmek şeklinde tanımlanabilir, ilk olarak bu ışın osilasyonu ile ana ışın akımı parametresi veya mercek akımını değiştirerek veyahut kaynak hızını değiştirerek başarılabılır. Bu şu yollarla yapılır: herhangi bir alt kesme olmadan kaynak başının katılaşmasını sağlamak; kaynak banyosunun büyüklüğünü arttırmak; gözeneklerin ya yukarı çıkması ya da kapanması için yeterli zamana izin vermek. Farklı durumlardaki ışın parametrelerinin ve malzeme özelliklerinin karmaşık birbirine bağlılığı başlangıça şaşırtıcı görünebilir. Bununla birlikte, mükemmel bir kaynak oluşumu için gerekli adımların artan tecrübe ile hızla azalacağını deneyimler göstermiştir [1].

BÖLÜM 4 METALİK MALZEMELERİN KAYNAK KABİLİYETİ

4.1 Kaynağa Uygunluk

Güvenilir ve ekonomik kaynağın ana şartlardan biri, malzeme özellikleri hakkında ve oluşan ısı işlemlerden nasıl etkilendiği hakkında bilgi sahibi olmaktır. Çoğu durumda, malzemenin kaynağa uygun olup olmadığı ve karakteristik malzeme özelliklerinin ne dereceye kadar değiştirilebilip değiştirilemeyeceği tam manası ile değerlendirilemeyeceğinden genel bir enformasyona dayalı sayısız faktöre bağlıdır. Spesifik malzeme gruplarında bile, kaynak edilebilirlik sorusuna açık bir evet veya hayır cevabı vermek zor olduğu gibi, kaynaktaki dinamik malzeme özelliklerinde oluşabilecek değişiklikleri ölçmek de zordur. Parçanın önemine ve fonksiyonuna bağlı olarak, bilinmeyen bir malzeme ile, elektron ışın kaynağı süresince malzemenin metalurjik davranışı hakkında yeterli bilginin mevcut olup olmadığı veya kaynak denemelerine ihtiyaç olup olmadığına karar verilmelidir. Dayanım ve kaynak edilebilirlik hakkında genel bilgi edinebilmek için, esas parça üzerinde veya benzer bir numune üzerinde bunlar teşekkül ettirilir. Herbiri ayrı bir konu ile ilgili referans araştırmalarda, takib eden bölümler, elektron ışın kaynağındaki ilgili işlemler bakımından seçilmiş bazı malzemelerin genel davranışlarını tarif eder.

Bu noktada şunu belirtmek gerekir ki, verilen bir parçanın kaynak edilebilirliğine, malzemesinin kaynak kabiliyetinden yalnızca sınırlı bir dereceye kadar hüküm verilebilir.

4.2 Prosese Bağlı Etkiler

4.2.1 Sıvı ve Buhar Fazları

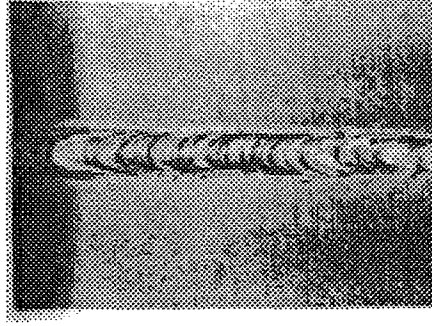
Kaynak işlemi sırasında, bir malzemenin erimesi ve buharlaşması milisaniyeler mertebesinde ölçülür. Bu hızlı ısıtma işlemi, malzemenin davranışı üzerinde çoğunlukla dolaylı bir etki oluşturur. Böylesine yüksek sıcaklığa maruz kalan ilgili malzeme hacmi için zaman çok kısadır. Elektron ışınının çarpma noktasındaki

sıcaklık ölçümleri, yaklaşık 2800° K sıcaklıkları gösterir ki böylece hala buharlaşmanın altındadır. 1300–2200° K yüzey sıcaklıkları olarak ölçülen, Alüminyum temelli malzemeler üzerindeki araştırmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çeliklerde, kaynak aralığının altında yaklaşık 3800° K sıcaklıklar oluştuğu tahmin edilmektedir. Bu sıcaklık aralıklarında kısa uygulama zamanlarına maruz kalmalarına rağmen, kural olarak ve metalin kimyasal bileşimine bağlı olarak, mevcut gaz halindeki elementler, katılma başlamadan önce kaçmak için yeterli zamana sahiptir. Öte yandan, gözenek oluşumuna hassas malzemelerin durumunda, bu gaz giderme fazı, ışıını başka bir yere odaklayarak, osilasyonla veya tekrarlı kaynakla yapılmaktadır.

4.3 Vakum Etkisi

Genelde, elektron ışın kaynağı bir vakumda gerçekleştirilir. Vakum bahsedilen sıvı ve buhar fazları süresince oluşan gaz giderme fazını kuvvetlendirir. Bu, çoğunlukla malzeme özelliklerini geliştirir ki, endüstride geniş bir şekilde belirli malzemelerin için vakumla gaz giderme uygulandığını açıklar. Ancak, elektron ışın kaynağı prosesi vakumun tasfiye edilmesiyle bir metalin kaynaşma bölgesini iyileştiren en kullanışlı yol değildir. Bir yandan, belirli özel çelik, nikel ve kobalt alaşımları durumunda gözeneksiz ve çatlaksız elektron ışın kaynağı sağlamak için, bu malzemelerin üretiminde vakumla eritme bir gereksinimdir. Bu durumda kaynak süresince oluşan vakum etkisi; kısa sıvı ve buhar fazları boyunca yeterli bir gaz gidermeye izin vermek için yetersizdir. Diğer yandan, magnezyum, çinko gibi alaşım ekleriyle, belli alüminyum ve bakır malzemeleri yüksek buhar basıncı muhteva eder. Bunlar, elektron ışın kaynağı süresince büyük miktarlarda kaçarlar. Teknik sebeplerden dolayı, daha önce bahsedilen ışıını farklı bir yere odaklama, gaz giderme işlemini önlemek için yetersiz kalır.

Oldukça az ihtimam gösterilen, vakum etkisinin özel bir durumundan bahsedilmelidir. Genel olarak, koruyucu bir gaz altında tungsten elektronlarla yapılan kaynaktan, argon'a %1-3 oksijen ilavesi, kaynak banyosunun yüzey gerilimini önemli bir derecede azaltır. Bu etki, aynı zamanda elektron ışın kaynağında da fark edilir. Tamamen oksijen yokluğu, kaynak banyosunun oldukça viskoz olmasına sebep olur. Kaynak banyosu içindeki şiddetli hareketlerle ve yüksek soğuma oranlarıyla birlikte, alttan kesme ve katılma da kaynak başının çok farklı üst üste yığılan kabuk "scalloping" izine sebep olur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Üst üste yığılan kabuklarla bir elektron ışın kaynağı (8:1, 0.6 X)

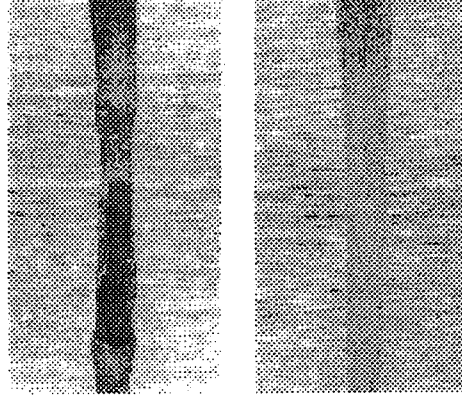
4.4 Katılaşma

Oldukça hızlı ve belli bir bölgeyi (lokal olarak) ısıtan elektron ışını, malzemeyi nerdeyse ısı olarak etkilemeden kaynağa bitiştirerek terk eder. Böylece bu malzeme birleşme bölgesindeki ısıyı düşük sıcaklığın bir sonucu olarak, herhangi bir kendinden kaynak veya ark kaynağı prosesinden çok daha kısa bir zamanda iletebilir. Soğuma oranları için en fazla açıklanan değerler, 10^3 - 10^5 K.s⁻¹ aralığındadır. Birleşen parçaları içeren eriyik, aşırı ince taneli bir yapıyı şekillendirerek katılaşır. Yüksek başlangıç sıcaklıklarına rağmen, aşırı sıcaklıktan dolayı yüksek alaşım çeliklerinde gevrek kırılma durumunu gösteren bir delil yoktur.

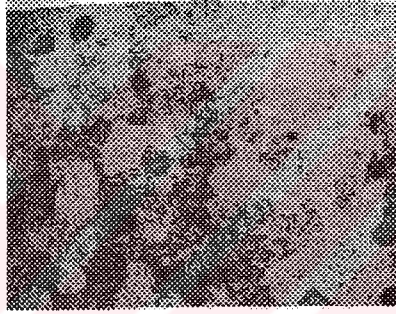
Aşırı hızlı katılaşma, dar kaynak aralığı ve eriyiğin gaz gidermesi üzerinde çok zararlı bir şekilde etkili olabilir. Özellikle malzemenin tüm kalınlığına nüfuz etmeyen kaynak dikişlerinde, kaynak aralığının alt kısmında stabil olmayan prosesler oluşur. Zaman ve enerji noksanlığından dolayı, elektron ışını tarafından yeniden açılmayacak olan eriyikteki boşlukları bu stabil olmayan durumlar tuzağa düşürür. Eğer bu anda küçülen boşluğu takip etmek için yeterli eriyik zarfıda mevcut değilse, katılaşmada oluşan büzülmeden dolayı malzeme hareket ederken, düzensiz ve sıklıkla keskin kenarlı boşluklar şekillenir. Malzeme dayanımı, göz önüne alındığında, bu tip boşluklar, tehlikeli iç çatlakları ve gerilme artmalarını gösterir (Şekil 4.2).

Aksine, çoğunlukla yuvarlak ve eliptik kesit alanına sahip olduğundan dolayı gözenekler çok kritik bir şekilde değerlendirilmemelidir. Bu gözenekler ya metalurjik gaz halindeki reaksiyonlar sonucunda (örneğin alaşımlı parçaların kaynağındaki yüksek buhar basıncı gibi) ya da soğuma sırasında gazların çözünürlüğünün

azalmasının bir sonucu olarak eriyikte şekillenir. Eriyiğin hızlı soğumasından ötürü, gazlar kaçamayabilir (Şekil 4.3).

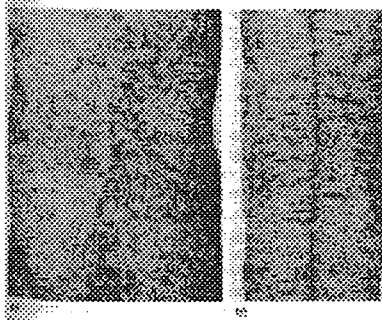


Şekil 4.2 Yüksek alaşımlı çeliklerdeki kaynakların kesit alanları (8.5:1) a) Katılma boşluğu ile b) Işın osilasyonu sayesinde boşluksuz.



Şekil 4.3 Gözenekleri gözüken TiAl 6 V 4 malzemesinin kaynağının mikro kesiti (200:1; 0.6X)

Makrokesitler malzeme yüzeyine paralel alınır, belirli malzeme gruplarına bağlı olarak, aşağı yukarı diğerlerinden ayrı, eriyiğin soğuma yönünü belirten katılma halkaları ortaya çıkar (Şekil 4.4a).

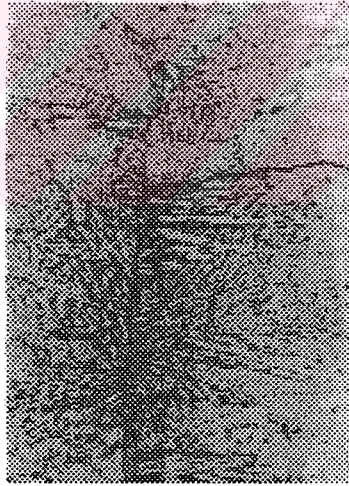


Şekil 4.4 X 2 NiCoMo 18 9 5 de kaynakların içinden kesitler (80:1; 0.6 X) a) $v_s = 10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ hızında katılma halkaları şekillenir. B) $v_s = 30 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ hızında düzlemsel katılma şekillenir.

Eş zamanlı olarak katılaşma yönü değişirken, soğuma, malzeme çiftlerinin sınırlarında başlar ve kaynağın ortasında biter. Detaylı araştırmalar göstermiştir ki, ışın akımı artırıldığında halkalar birbirinden daha uzaklaşmış ve kaynak hızı artırıldığında birbirine daha yakındırlar.

Katılaşma halkaları ve işlenecek parçadaki herhangi bir mekanik titreşim arasında veya kaynak boyunca ısı girişiindeki düzensizlikler arasında birincil bir ilişki yoktur. Katılaşma halkaları, aşırı soğumaya sebep olan katışkılar ve alaşım elementlerinin bir sonucudur. Veyahut, farklılaşan dentritik yapı bölgelerini oluşturan birleşme ısısı lokal olarak eriyiğin katılaşmasını geciktirir. Böylece, halkalar periyodik olarak değişen katılaşma oranlarının bir sonucudur. Katılaşma halkaları boyunca oluşan küçük bölgelerin katışkı ve alaşım elementleriyle zenginleştirilmesi önemlidir.

Zenginleştirilmiş olanlar daha belirli olursa veya birlikte birleşirse, örneğin kaynağın ortasında sürekli bir çizgi oluşması (Şekil 4.4b), o zaman bu malzemenin dayanım ve korozyon direncini ters olarak etkileyecektir (Şekil 4.5). Eriyiğin ek bir hareketi (ışın osilasyonu) ile bu oldukça zararlı katılaşma tipi bastırılır.

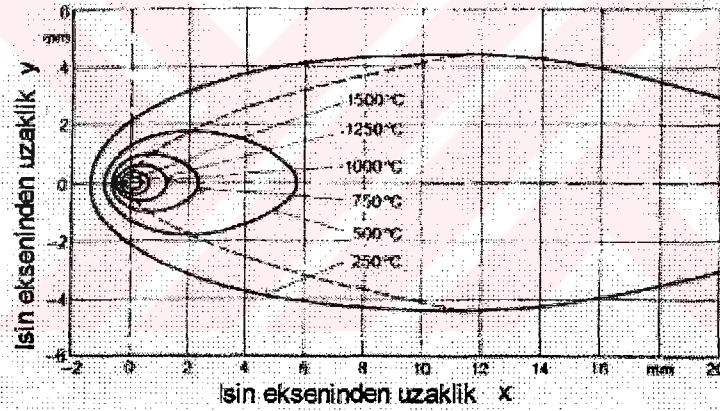


Şekil 4.5 Ostenitik bir çelikte yatay kaynak kesiti (50:1 ; 0.5 X)

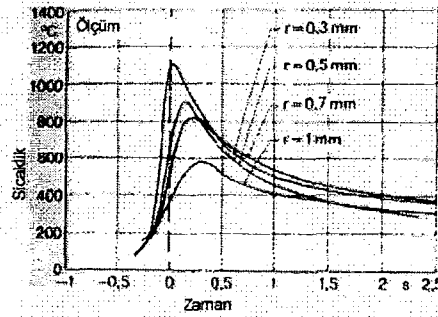
4.5 Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)

Kaynak sırasında katı durumda kalan malzeme bölgeleri, en yüksek sıcaklık ve sıcaklık gradyanları, birleşme bölgesindekilerden oldukça farklı bir ısınma ve soğuma çevrimine maruz kalır. Katı malzemede ulaşılan maksimum sıcaklık, birleşme bölgesinden uzaklaştıkça düşer (Şekil 4.6-4.7). Katı malzemede aşırı hızlı

ısı çevriminin bir sonucu olarak oluşan mikro yapı değişiklikleri aynı zamanda, iri taneli yapı oluşmaması anlamına gelir. Yüksek alaşımlı çeliklerde bu, malzemenin korozyon dayanımı özellikleri açısından oldukça faydalı olabilir. Daha da soğutarak, 800° C'den 500° C sıcaklık aralığına ulaşılır ve bunun yapı çeliklerinin sertliği göz önüne alındığı müddetçe belirli bir önemi vardır. Sonraki sıcaklık aralıkları, çökeltme sertleşmesiyle dayanımı etkiler. Isı tesiri altındaki bölgeler ve kaynaşma bölgelerinin bütün değerlendirmelerinde, unutulmamalı ki, oluşan mikro yapı ve dayanım değişiklikleri, diğer kaynak metodlarına kıyasla malzemenin çok ince bir şeridiyle sınırlandırılmıştır. Bir birleşme bölgesinin mikro yapı oluşumu ve en yüksek sertlik noktaları veya kaynaktaki boşluklar (oluklar) ve ısı tesiri altındaki bölgeler bağlantının dayanım ve uzamasını, özellikle statik yükleme koşulları altında, yalnızca hafifçe etkileyebilir. Eğer kaynak dinamik olarak yüklenirse, ancak o zaman diğer kaynak metodlarıyla ve genelde ısı uygulamalarıyla da birleşme bölgesinin mikro yapısının (metalurjik çatlak etkisi) dayanımında bir kayıp beklenmelidir.



Şekil 4.6 St 42'nin elektron ışın kaynağında sıcaklık alanı $t = 8 \text{ mm}$, $v_s = 6.4 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$



Şekil 4.7 St 52'nin kaynak merkezinden çeşitli mesafelerde sıcaklık - zaman eğrileri $t = 8 \text{ mm}$, $v_s = 6.4 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

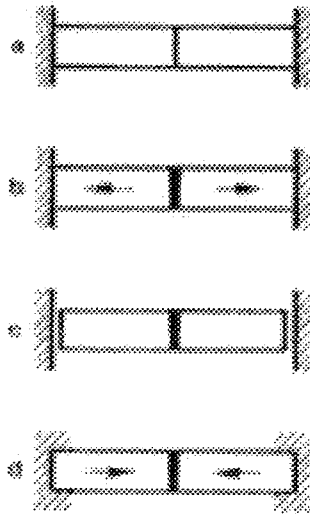
4.6 İç Kaynak Gerilmeleri

Kaynakta oluşan ısınma ve soğuma boyunca gerilmeler oluşur. Oda sıcaklığına kadar soğumadan sonra, iç kaynak gerilmeleri parçaların kaynaklı bölgelerinde kalır. Kaynak gerilmeleri ve iç kaynak gerilmeleri, farklı çatlak tipleri (sıcak çatlaklar, büzülme çatlakları, v.b.) oluşumuna sebep olabilir ve tüm durumlarda parça distorsiyonunun ana sebepleridir. Böylece, bu gerilme tiplerinin neden olduğunun bilinmesi, kaynak hatalarını önlemesine ve kaynaktaki tamamlanmış parçaların toleranslarının korunmasına yardımcı olacaktır.

İç kaynak gerilmelerinin büyüklüğü sadece kaynak işlemine ve böylece kaynak parametrelerine ve kaynağın şekline bağlı değil aynı zamanda;

- Parçanın geometri ve sertliği gibi yapısal faktörlere
- Isıl genleşme sabiti, metalurjik davranış, akma noktası v.b. gibi malzeme faktörlerine bağlıdır.

Kaynak gerilmeleri; yerel ısıtmanın ve herhangi bir eritme kaynağı prosesinde tipik olarak gözüken kılma ve genişleme işlemlerinin önlenmesinin bir sonucudur. Şekil 4.8 bu işlemlerin nasıl hareket ettiğini göstermektedir.



Şekil 4.8 Kaynakta iç çekme gerilmeleri ve enine çekme oluşumu a) Kaynaktan önce b) Kaynak sırasında genişleme c) Kontrolsüz çekme d) Çekme önlenmiş

Elektron ışın kaynağında, kaynak dikişi metal çiftinin katı malzemesinin ısı genleşmesine sebep olur. Daha soğuk bitişik malzeme çiftinin plastik olarak bastırılmasına neden olur çünkü parça geometrisinin bir sonucu olarak, bu gerilmeler yalnızca sınırlı bir dereceye kadar serbest kalır (Şekil 4.8b). Kaynak işlemi sırasında ısıtılmayan bastırılmış malzeme çifti basılı kalırken, kaynaktan sonra ısıtılmış malzeme çifti soğur ve kısalır (Şekil 4.8c). Eğer parça engellenmeden küçülebilirse, o zaman kısalacaktır ki bu kaynak distorsiyonunun en basit şeklidir. Şekil 4.8 enine çekme işlemini gösterirken, bu aynı zamanda oldukça büyük bir derecede kaynak boyunca ve daha az bir derecede kaynak kalınlığı içinde oluşabilir.

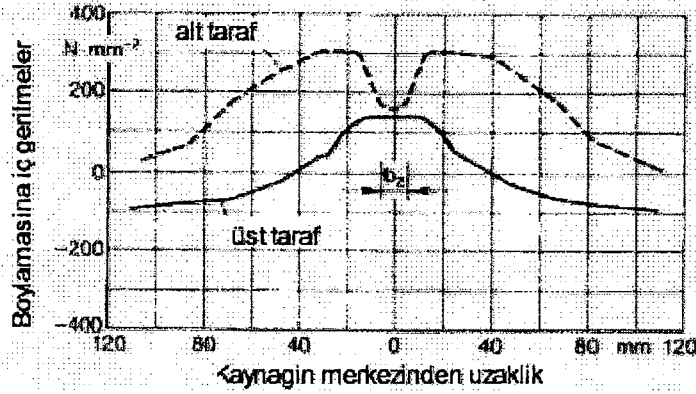
Aynı zamanda eğer kısalma parça geometrisiyle de önlenebilirse (Şekil 4.8d), iç kısalma gerilmeleri oluşacaktır ki, iç kaynak gerilmelerinin bütün şekillerinin parçasıda biçimlenecektir.

İç çekme gerilmeleri ve çoğunlukla hemen açığa çıkmadan oluşan distorsiyon arasında bir ilişki oluşur. Kısalma önlendiğinde veya (elektron ışın kaynağı açısından) iç gerilmeler düşükse, küçük distorsiyonlar oluşur. Ne zaman kısalma engellenmezse örneğin kaynak hacmi küçükse, düşük iç çekme gerilmeleri oluşur. Böylece, düşük distorsiyon gösteren bir komponent, ya çok yüksek iç çekme gerilmeleri (yüksek komponent rijitliği kısaltmayı önler) veya düşük çekme gerilmeleri (dar elektron ışın kaynaklı bağlantılar) içerebilir. Tersine, kaynaktan sonra çok çarpıtılmış bir komponent her zaman düşük iç çekme gerilmeleriyle karakterize edilir.

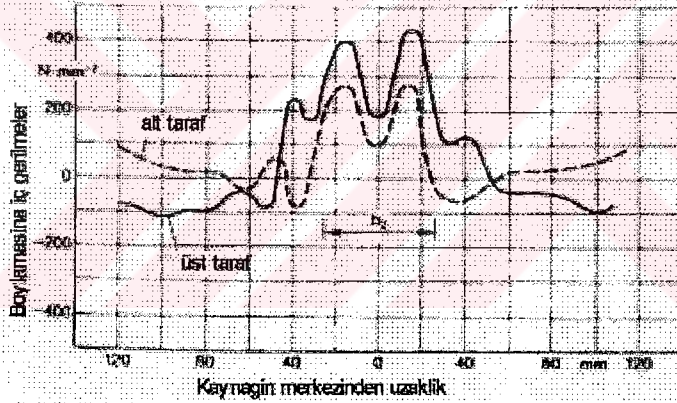
Çoğu durumda oluşan gerçek ilişkiler epeyce karmaşıktır. Tahmin edilebileceği gibi, kaynak uniform bir şekilde soğumaz. Ancak yüzeyde, içeriden daha hızlı soğuyacağı hatırlanmalıdır. Düzensiz iç gerilmeler oluşması sonucunda, iç su verme (hızlı soğuma) gerilmeleri olarak adlandırılan, yerel olarak malzemenin akma noktasını aşan plastik deformasyon işlemlerinin oluşmasına sebep olur. Ayrıca, belli malzemelerin faz dönüşümleriyle ilgili durumundaki değişiklikler de rol oynaya bilir. Ne zaman martenzitik veya ara dönüşümler yeteri derecede düşük sıcaklıklarda oluşursa, çeliklerde bu tarz dönüşümü gerilimi oluşur.

Bu üç işlem birbiri üzerine tatbik edilse, iç gerilmenin çok farklı yerel değerlerine yol gösterir. Diğer kaynak işlemlerinde yalnızca tecrübi olarak farklı ölçme metodları

kullanımıyla belirlenebilirken, elektron ışın kaynağının çok basit kaynak geometrisinde bu gerilmeler kolayca hesaplanabilir [1].



Şekil 4.9 Daldırma ark kaynağında boylamasına iç gerilmeler. Malzeme 22 MnMoNi 55. Numune boyutları 220 x 250 mm, t = 75 mm, DY dikişi



Şekil 4.10 I – alın profilinin elektron ışın kaynağındaki boylamasına iç gerilmeleri (Şartlar şekil 86'daki ile aynı)

Şekil 4.9 ve 4.10, elektron ışın kaynağı ile yapılmış 20 MnMoNi 55 malzemeli plakayla, yine aynı malzemeli plakanın daldırma ark kaynağı kullanılarak yapılmış kaynak karşılaştırarak, iç gerilme ölçümlerinin sonucu gözükmemektedir. Özellikle, kaynak mesafesi (kaynaktan uzaklığına) ve işlenecek parçanın kalınlığına iç gerilmelerin kuvvetli bağıllığı açıktır. Özellikle de çekmenin önlenmesi ve yüksek soğuma hızı nedeniyle oluşan daha kalın parçalarda, iç gerilmeler ($R_{P0,2}=460 \text{ Nmm}^{-2}$ tavlınmış durumlarda) malzemenin akma noktasına yakın oluşabilir. Çekmenin önlenmesi aynı zamanda çevresel kaynaklarda ve rijit olarak kenetlenmiş işlenecek parçalarda oluşur ki böyle bazı malzemelerin sıcak çatlaklara eğilimini açıklar. Bir

malzemenin elektron ışın kaynağında sıcak çatlaklara eğiliminin test edilebilmesi için bir çok sayıda test metodu geliştirilmiştir. Bununla birlikte, su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerde iç dönüşüm gerilmeleri ağır basar. Eğer aynı malzeme için elektron ışın kaynakları, daldırma ark kaynaklarıyla karşılaştırılırsa, dar birleşme bölgeleri ve yüksek kaynak hızlarının iç gerilmeleri minimize edeceği kolaylıkla görülür. Bu araştırmaların sahası içinde, geniş kapsamlı ortaya konulan elektron ışın kaynakları boylamasına ve enine gerilmeler, daha küçük iç gerilme farklılıklarıyla birlikte, bu faktörlerin her biri gözlenen en düşük distorsiyondan sorumludur.

4.7 Kaynak Kabiliyeti Sınıflandırması

Kolay kaynak edilebilir bir malzemede, malzemenin kaynağının “hatasız” özelliklerinin olacağı (çatlaksız, gözeneksiz v.b.) düşünülebilir. Çünkü malzeme esaslı olmayan diğer kaynak hataları nedenlerinden dolayı, yalnız başına malzeme hatasız bir kaynağı garanti edemez. Kaynak kabiliyeti, açıktır ki, malzemenin kimyasal bileşimlerini, üretim metodunun (gazı alınmamış, gazı alınmış, vakum eritmeli), geçirdiği deformasyon prosesinin ve ısı uygulamaların v.b. sonucu olarak farklı malzeme özelliklerinin bir etkileşim aralığıdır.

Bu faktörlerin hepsi; belirli karakteristikler ve oluşan kaynak bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için birlikte uyumlu olmalıdır. Malzemenin kaynak için uygun olup olmadığı, kaynaktan sonra karakteristik özellikleri ve mekanik dayanım değerleriyle esas olarak belirlenebilir.

Eğer test sonuçları gerçek şartlar açısından uygunluk sağlamazsa, o zaman teknik değişiklikler (örneğin dikişin genişletilmesi) kaynağa uygulanabilir ve/veya seçilen mekanik araçlar kaynağı iyileştirmek için kullanılabilir (örneğin, ışın sapması oluşturmak için jeneratör kullanımı ve dolgu malzemesiyle veya katkı maddesiyle kaynak). Bundan, kaynak kabiliyetinin temel olarak bir malzeme özelliği olduğu açıktır ama elektron ışın kaynağında her iki değişiklik yani kaynak metodu ve gerekli ekipmanlar aynı zamanda göz önüne alınmalıdır.

Çeşitli metalik malzemelerin kaynak kabiliyetleri DVS 3024'e göre şu şekilde sınıflandırılır [1].

A. Normal uygulamayla kaynak edilebilenler

Normal uygulamalar: ışını başka bir yere odaklamak, ışın salınımı, ışın dengelenmesi kaynağa çok yakın gerilme azaltan yarıkların kullanımı

B. Özel tekniklerle kaynak edilebilenler

Özel teknikler: kaynak öncesi ve sonrası ısıtma, katkı maddesi veya dolgu malzemesi kullanarak kaynak yapma v.b.

C. Sınırlı kaynak edilebilir

Bu malzemelerde kaynaklar DIN 8563/11 göre değerlendirilemez ve yalnızca sınırlı uygulamalarda kullanılır.

Tablo 4.1 bir çok metalik malzemenin elektron ışın kaynak kabiliyetinin detayları listelenmiştir.

Tablo 4.1 Metallerin bağıl elektron ışın kaynak kabiliyeti (DVS 3024)

Malzeme No.	Malzeme	Kaynak kabiliyeti	Denenmiş kaynak derinliği, mm
1. Çelik			
1.0038	R St 37-2	A	20
1.0060	St 60-2	B	10
1.0401	C 15	A	10
1.0460	C 22.8	B	50
1.0526	C 45	B	5
1.0570	St 52-3	A	20
1.1191	Ck 45	B	10
1.2241	51 CrV 4	A	2
1.4006	X 10 Cr 13	A	20
1.4057	X 22 CrNi 17	A	10
1.4303	X 5 CrNi 18 12	A	5
1.4404	X 2 CrNiMo 17 13 2	B	50
1.4541	X 6 CrNiTi 18 10	A	50
1.4580	X CrNiMoNb 17 12 2	B	50
1.4923	G-X 14 CrCoMo 12 10	A	10
1.4980	X 5 NiCrTi 26 15	A	5
1.5920	18 CrNi 8	A	10
1.6358	X 2 NiCoMo 18 9 5	A	10
1.7131	16 MnCr 5	A	10
1.7335	13 CrMo 4 4	A	50
1.8902	StE 420	A	20
2. Bakır malzemeler			
2.0040	OF-Cu	A	25
2.0070	SE-Cu	B	25
2.0090	SF-Cu	B	25
2.0916	AlBz 5	A	18
2.1030	SnBz 8	A	5
3. Nikel malzemeler			
2.4375	NiCu 30 Al	A	5
2.4858	NiCr 21 Mo	A	30
2.4951	NiCr 20 Ti	A	10
2.4969	NiCr 20 Co 18 Ti	B	10

4. Alüminyum malzemeler			
3.0255	Al 99,5	A	5
3.0515	AlMn 1	A	5
3.1355	AlCuMg 2	A	10
3.2315	AlMgSi 1	A	12
3.2581	G-AlSi 12	A	40
3.3535	AlMg 3	B	5
3.3547	AlMg 4.5 Mn	A	1,5
3.3555	AlMg 5	A	10
5. Titanyum malzemeler			
3.7035	Ti 2	A	50
3.7165	TiAl6 V 4	A	50
3.7175	TiAl6 V 6 Sn 2	B	25
3.7255	Ti 3 Pd	A	50
6. Malzeme kombinasyonları			
1.0401 ile 1.1173	C 15 ile Ck 34	B	7
1.0570 ile 1.7321	St 52-3 ile 20 MoCr 4	A	6
1.2003 ile 1.3342	75 Cr 1 ile SC 6-5-2	A	2,5
1.4006 ile 1.7335	X 10 Cr 13 ile 13 CrMo 4 4	A	20
1.4303 ile 2.4668	X 5 CrNi 18 12 ile NiCr 19	A	5
1.5919 ile 1.7147	NbMo	A	2
	15 CrNi 6 ile 20 MnCr 5		
7. Özel metaller ve metal kombinasyonları			
	Mo (döküm)	B	3,5
	Mo ile Ta	B	1,6
	Mo 0.5 Ti	A	2,5
	TZM (Mo-alaşımı)	A	8
	Nb	A	1
	Nb ile Ta	A	0,2
	Nb ile Ti	A	3
	Nb 1 Zr	A	3
	Ta	A	3
	T	B	3,8
	Zirkaloy-2	A	15

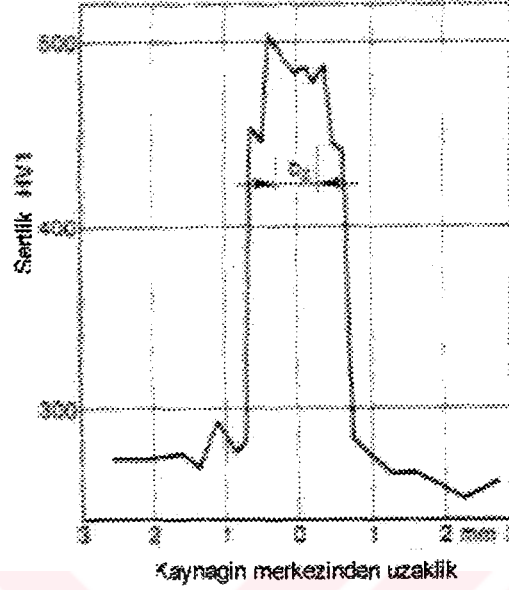
4.8 Farklı Malzeme Gruplarının Kaynak Kabiliyeti

4.8.1 Demir ve Çelikler

Çoğu demir ve çelik malzeme kaynak için oldukça uygundur ve burada sadece belirli noktalar ele alınacaktır.

Sınırlı sayıda hala kullanımda olan gazı alınmamış çelik, elektron ışın kaynağı için uygun değildir. Kural olarak bunlar, yokluğunda kaynak banyosunda oluşacak gaz halindeki reaksiyonları bastırmak için gereken katkı maddelerinden yoksundurlar. Yüksek sülfür içerdiğinden dolayı takım çelikleri uygun değildir. Çeliklerin sertleştirme ve nitratlama durumunda, önceden yüzey işlemleri yapmak veya makinayla işlemeden sonra kaynak alanında yüzey işlemleri bölgeler, başarılı bir şekilde elektron ışın kaynağı yapılabilir. Karbon içeriği artarken, aynı zamanda sertleşme eğilimi artar. Tecrübe edilen yüksek soğuma hızının sonucu olarak elektron ışın kaynağı sırasında sertleşme yaklaşık %0,2 karbon içerenlerde önemli

olur (daha yüksek karbon içerenlerle, 700 HV'ye kadar olan sertlikler tecrübe edilmiştir).



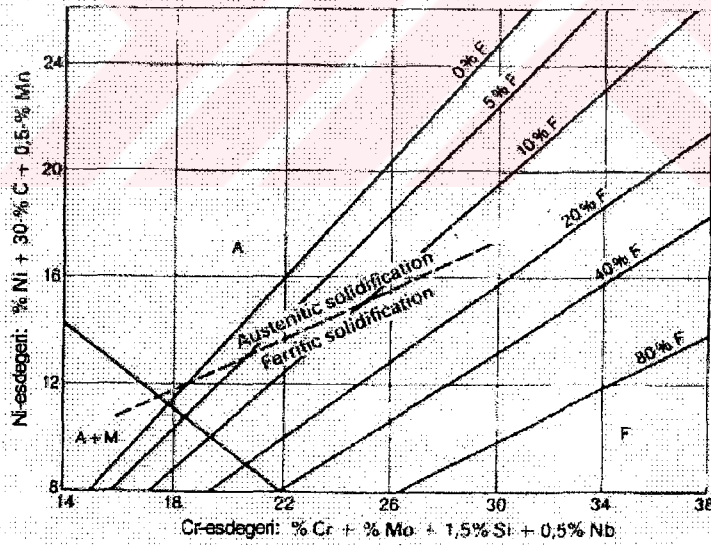
Şekil 4.11 21 CrMo V 5 11 de kaynak boyunca sertlik değişimi $t=2.5$ mm, $v_s = 150$ mm $\cdot$ s⁻¹ (Kaynak sonrası ısıtıl işlem görmemiş).

Ancak, diğer kaynak yöntemlerinde aynı şekilde muhakeme edilemeyen dar birleşme ve ITAB'la, yüksek sertlik bölgeleri sınırlandırılmıştır (Şekil 4.11). Sertleşen bölgeler öyle bir dereceye kadar sünek malzeme tarafından kuşatılır ki mesela bir enine bükme testi kaynak boyunca ve 180° derecelik bir açı başaracak şekilde tatbik edilebilir. Böylece, 3. değerlendirme grubuna tabi olan kaynaklı parçalar durumunda genel kural olarak metalografik değerlendirmeye birlikte yorulma ve iç basınç testleri veya bükme testleriyle yer değiştirebilenlerin bütün sertlikleri 350 HV'nin altında olmalıdır. Eğer çelikler özellikle soğuk çatlak riski olan yüksek karbon içerenler kaynak edilirse, o zaman ön ısıtma ve kaynak sonrası ısıtıl uygulamalar tatbik edilmelidir. Parçanın geometrisine ve kalınlığına bağlı olarak, yeri değiştirilmiş bir elektron ışını uygun bir şekilde ayarlanmış ışın gücüyle bu ısıtıl işlemleri tatbik etmek için kullanılabilir.

Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde, sıcak çatlak tehlikesini karşılayabilsin diye düşük fosfor ve sülfür içeriği sağlamak için belirli bir özen göstermelidir. Spesifik vakalarda, imalatçılarla uygun eriyik analizi üzerinde mutabık olmak gerekli olabilir.

Bu tip davranışın tipik bir örneği 15 Mo 3 malzemesidir. 50 mm kaynak kalınlıklarıyla sıcak çatlaklara eğilim sadece her durumda %0,01'in altına azaltılmış fosfor ve sülfür içerikleriyle bastırılabilir.

Yüksek alaşımlı çelikler bile genel olarak kaynak için uygundur. Ancak, bazı durumlarda sıcak çatlaklara eğilim özel bir durumdur. Bu malzeme grubunda sıcak çatlaklar iç çekme gerilmelerinin etkileşimi ve ostenit tane sınırlarındaki düşük erime noktalı ötektoidlerin varlığı sonucu olarak şekillenir. Çatlaklar kristaller arasındadır ve yeniden eritilen çatlaklar olarak (kaynak-altı çatlağı) ve elektron ışın kaynağında temelde katılaşma çatlakları olarak görülebilir. Genel olarak kabul edilmiştir ki, bir çok kırılma tetkiklerine dayanarak, sıcak çatlaklar, yalnızca az miktarda δ -ferrit yüzdesinin varlığı ile önlenemez. Eriyiğin katılaşma şeklinin artık daha da önemli olduğu görülmektedir. Çelik alaşımların bileşimine bağlı olarak, ya birincil ferritik olarak ve sıcak çatlaklara karşı yüksek bir derecede direnç göstererek ya da birincil ostenit olarak ve sıcak çatlaklara eğilimi artmış olarak katılaşacaktır. Katılaşmanın iki tipi arasındaki bu sınır, demir, krom, nikel faz diyagramında % 72 Fe, % 15 Cr ve % 13 Ni için ötektik düzleme karşılık gelir ve Schaeffler diyagramı üzerinde çizilebilir.



Şekil 4.12 Shaeffler diagramında ostenitik ve ferritik katılaşmanın ifadesi

Burada, (bu çizginin) % 0 δ -ferrit çizgisine karşılık gelmediği görülür (Şekil 4.12). Buradan genelde şu şekilde bir yol takip edilir: Yüksek alaşımlı çeliklerin, malzemelerin ve bütün sarfiyatın üstündekilerin kaynağı için birbirine bağlı olarak, eriyikte % 0'dan % 15'e kadar bir δ -ferrit parçası oluşan ve birincil ferrit olarak

katılaşımlar seçilmelidir. Öte yandan, % 15'den daha yüksek bir δ -ferrit parçası zararlı olacaktır ve sakınılmalıdır. Böyle bir durumda bir ferrit ağı çelikte biçimlenecektir öyle ki ısıtılmalarda karpitlere ve ostenite (sigma fazı) ayrılacaktır ve kristaller arası korozyona karşı hassas olacaktır.

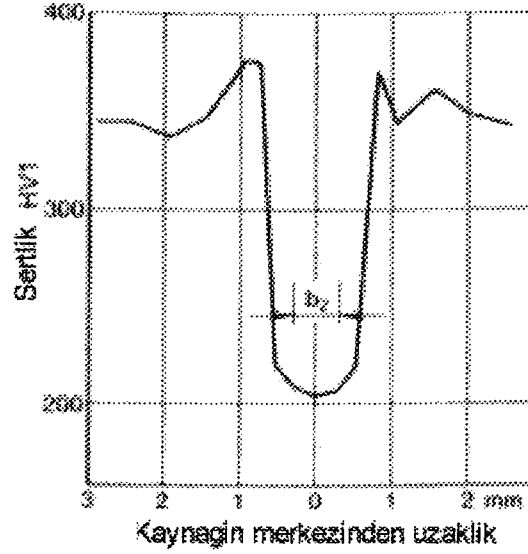
Elektron ışın kaynağında, bu ilişkiler üzerine diğer faktörler koyulur. Birkaç istisna ile katkı maddeleri kullanılmadan kaynak tatbik edilir ve kaynak metalinin bileşiminin kontrolünün imkanı yoktur ve böylece birincil katılma tipini ve biçimlenen δ -ferrit oranını göz önünde bulundurmaya ihtiyaç vardır. Bundan başka, çok yüksek soğuma oranları eriyikte metalurjik bir denge kurulmasını engeller. Böylece, elektron ışın kaynağı için lokalleştirilmiş iç gerilmelerle birlikte bazen Schaffler diyagramında sıcak çatlaklara eğilimin sınır durumunu değiştirmek gereklidir. Ancak, araştırılan malzemeler üzerinde, güvenilir sonuçlar oluşmasına izin verilebilir diye henüz yeterli derecede istatistiki olarak onaylanmış dayanakalar yoktur.

Elektron ışın kaynağı süresince sıcak çatlaklara eğilimdeki azalış, sertleştirilmiş çeliklerin kaynağı sırasında yapılan gözlemler tarafından onaylanmıştır. X 5 NiCrTi 26 15 alaşım çeliği üzerinde tatbik edilen testler gösterildiğinde, sıcak çatlaklara eğilim, ışın osilasyonu ve beklenmeyen bir şekilde daha düşük kaynak hızları kullanarak bastırılabilir. Sertleştirilmiş çeliklerde, tane sınırları çökmesi işlemleri aşırı doymuş katı çözeltilerden ötürü sıcak çatlak oluşumunda önemli rol oynar.

Açıktır ki, düşürülen kaynak hızı sonucunda, ışın osilasyonu ve düşük iç gerilmeler sebebiyle şiddetli kaynaşmış eriyikte baş gösteren olaylar etkileşirler ve böylece belirli kaynak ayarlarıyla sıcak çatlaklar için oluşan şartlarla karşılaşmaz.

Şekil 4.13 sertleştirilmiş bir çelikte, bir elektron ışın kaynağı boyunca tipik bir enlemesine sertlik profilini göstermektedir. Etkilenmemiş malzeme çiftine geçişte su verme ve yaşlanma etkisinden dolayı ilk değerler üste çıkarken, sertlik eriyikte ve ısı tesiri altındaki bölgede, tavlama malzeme çözeltisinin seviyesine düşer. Sertleştirilmiş çeliklerde bile sertlik çukurunun oldukça küçük bir ölçünün sonucu olarak statik dayanım özellikleri üzerinde göze çarpan herhangi bir etki görünmez. Ancak, dinamik yükleme için çeliği kaynak sonrası ısıtılmalara tabi tutmak gereklidir. Bütün kaynaklı konstrüksiyonlarda, bu olay metalurjik bir çentik olarak

davranan kaynaşma bölgesinin düşük dayanımlı mikroyapı tipini uzaklaştıramayacaktır.



Şekil 4.13 X 5 NiCrTi 26 15 de kaynak boyunca sertlik değişimi $t = 3 \text{ mm}$, $v_s = 83 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

Son olarak şundan bahsedilmelidir ki, yüksek alaşımlı CrNi-çeliklerinde, bir çok örnekte kaynak kabiliyeti metalin hem oksijen hemde nitrojen içeriklerine bağlıdır. Aynı pekiştiren elementler niobyum ve titanyum da olduğu gibi. Böylece belli alaşım çelikleri, özellikle yüksek sıcaklık çelikleri, eğer vakumla eritilirse, başarılı bir elektron ışın kaynağı için uyulması gerekli gereksinimler karşılanacaktır. Niobyum ve Titanyum içeren çeliklerin durumunda, aşırı pekiştirmeden de sakınımalıdır. Başka bir deyişle, yalnızca minimum pekiştirici element şartnameleri karşılanmalı, aynı zamanda maksimum içerik aşılmamalıdır. Bir çok sayıda araştırmalar, bu çeliklerin pekiştirici element içerikleri için uygun limitler ortaya koymak amacıyla devam etmektedir.

Ledeburitik ve yüksek hız çelikleri, kaynak edilebilir olarak kabul edilir. Su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin aksine, yüksek karbon içeriği sertlikte bir artışa neden olmaz. Çünkü eriyiğin ve ısı tesiri altındaki bölgenin yüksek soğuma oranı sonucunda, bu çelikler tutulan ostenitin büyük bir oranını içerir.

Aynı yumuşak dökme demirdeki gibi, lamel ve küresel grafit içeren dökme demir kullanılan elektron ışın tekniği için yalnızca sınırlı bir dereceye kadar kaynak için uygundur. Bu malzemelerde kaynak çatlaklara oldukça hassas olan, gevrek ve sert

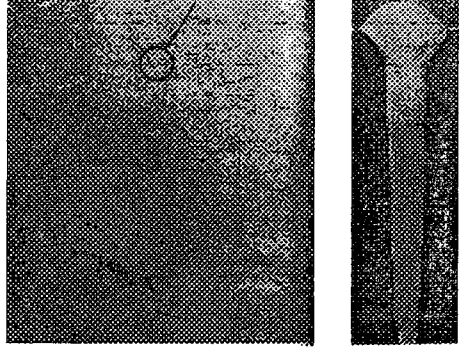
beyaz dökme demir mikroyapısı sekillenerek katılaşır. Ancak kaynak sonrası ısı işlemlerle iyileştirilebilir.

4.8.2 Bakır Malzemeler

Bakırın yüksek ısı iletkenliğı eriyen metalin çok hızlı katılaşmasına sebep olur. Böylece kaynak aralığının kapanmasına ve gaz halindeki elementlerin kaçmasına engel olur. Ayrıca bakırın ortalama ısı genleşmesinin daha da büyük olması iç çekme gerilmeleri eğiliminde bir artışla sonuçlanır. OF-Bakırlar, deoksidan araçlar kullanmadan ve içerikleri 5 ppm'den az olan fosfor ve oksijenle eritilir. Bununla beraber kaynak için oldukça uygundur. SE-Bakır fosfor kullanarak deokside edilir ve böylece çoğunlukla 30 ppm'e kadar bir oksijene sahiptir. Kaynak sırasında oksijen ve fosfor bileşimi erir ayrılır ve grafit katışkılarla birlikte eriyikte epeyce gaz reaksiyonları oluşmasına neden olur. Bunlar bastırılması güç olan yoğun gözenek ve boşluk oluşumuna neden olur. Işını ayrı bir yere odaklama, ışın salınımı ve ışın darbesi bile kullanılsa bunlar oluşabilecektir. Diğer bakır esaslı malzemeler örneğın CuCrZr, bakır nikel alaşımları ve alüminyum ve kalay bronzlarının hepsi kaynak için uygundur. Ancak pirinç, çinko içeriğinden dolayı elektron ışın kaynağı için uygun değildir.

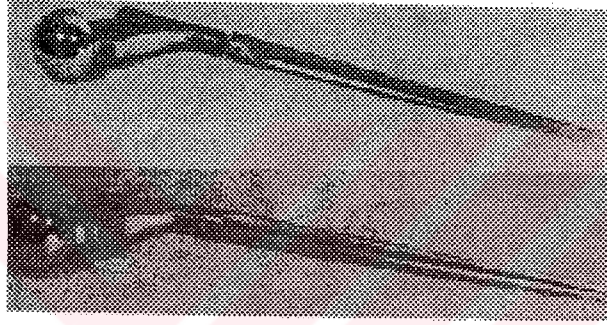
4.8.3 Nikel ve Kobalt Malzemeler

Saf nikel ve düşük alaşım içerikli nikel malzemeleri kaynak için uygundur. İyi bilinen % 35 Cu içeren "Monel" alaşımı da buna dahildir. Elektron ışın kaynağı yüksek dayanımlı nikel alaşımları imalatında motor ve türbin konstrüksiyonu için oldukça önemli bir işlemdir. Özellikle alüminyum ve titanyum alaşım içeriğinin artırılmasıyla eriyikte ve ITAB'da sıcak çatlak eğilimi artar. Bu malzemelerin kaynak kabiliyeti yalnızca işlenecek esas parçaların dizaynında benzer numuneler ve hemen hemen aynı alaşımlar kullanarak kaynak denemeleriyle güvenilir bir şekilde oluşturulabilir. Meydana gelen iç gerilmelerin de hesaplanması gerekmektedir. Aynı zamanda nikel alaşımlarla da kaynak hızındaki azalış sıcak çatlakları önlemek de yardımcı olabilir. Ayrıca yüksek hızlarda kaynak, gözenekliliğe neden olabilir. Çünkü çözünmeye vakit bulamayan gazlar kaynak banyosunun üzerine çıkamayabilirler [7]. Kalın metalde dar ITAB'lar soğuma sırasında yüksek gerilmeler oluşturabilir.(Şekil 4.14)



Şekil 4.14 45mm kalınlığında Ni 19Cr 19Fe 5Nb 3Mo alaşımlarının makro resimleri (sağ:3x,sol:50x)

Yüksek sıcaklık, korozyon ve aşınma dayanımlı kobalt alaşımlarının ekseriyeti başarılı bir şekilde elektron ışını ile kaynak edilebilir (Şekil 4.15).

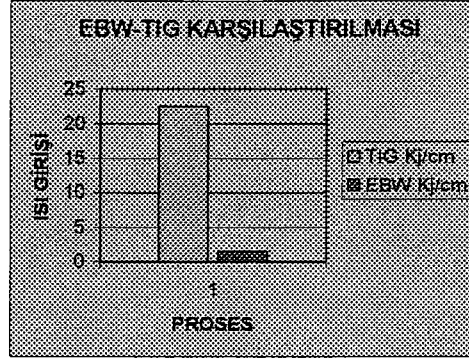


Şekil 4.15 Kobalt alaşımında yapılmış bir kalça protezi. Üstte: parçalar, Altta: elektron ışın kaynağından sonra

Uydular bağlı sertlik dereceleri karbid içeriklerine bağlı olan kobalt alaşımlarının özel bir grubudur – kaynak edilebilirlik sınırı 45 HRC sertliğindedir.

4.8.4 Alüminyum Malzemeler

Genelde alüminyum kaynağında direngen oksit tabakası, oksit (2050° C) ve esas malzeme (660° C) arasındaki yüksek erime noktası farkı ve atmosferik gazlara özellikle hidrojen için kaynak banyosunun yüksek affinitesi göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer kaynak yöntemleri, malzemenin bu özel karakteristiğini alternatif akım arkları, koruyucu gazlar v.b. kullanarak aşmıştır. Şekil 4.16'da, 1.27 mm kalınlığındaki alüminyum 2219 malzemesinin ısı girişinin bir kıyası yapılmıştır [8].



Şekil 4.16 Elektron ışın ve TİG yönteminin ısı girişi açısından karşılaştırılması

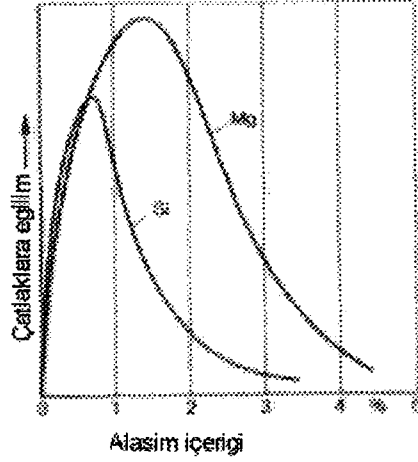
Aksine elektron ışın kaynağıyla ek bir aşamaya ihtiyaç yoktur. Vakum kaynak banyosunu herhangi bir zararlı gazdan korurken, elektron ışını oksit tabakasını kolayca geçer ve eritir. Böylece elektron ışın kaynağı mükemmel bir şekilde alüminyum kaynağına uygun düşer ve oluşan metalurjik işlemler üzerinde yalnızca bir kaç yorum gereklidir.

Çeşitli önemli alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyetinin ek detayları tablo 4.2 ve tablo 4.3'de listelenmiştir. Sertleştirilemeyen dövme malzemelerde magnezyum içeriği artarken sıcak çatlaklara eğilimde dikkati çeken bir artış oluşur. Sonunda magnezyum buharlaşması ve gözenek tehlikesi artmasına müsadde edilir.

Tablo 4.2 Çeşitli alüminyum alaşımların bağlı kaynak kabiliyeti

Alaşım grubu	Örnek malzeme	Kaynak kabiliyeti
Sertleştirilemeyen dövme malzemeler	Al 99.5 AlMn 1 AlMg 3 AlMg 5	İyi İyi Sıcak çatlaklara eğilim İyi, Mg buharlaşması, gözeneklilik eğilimi
Sertleştirilebilir dövme alaşımlar	AlMgSi 1 AlCuMg 2 AlZnMgCu	Sıcak çatlaklara eğilim İyi Uygun değil, Zn ve Mg buharlaşması, gözeneklilik, sıcak çatlaklar
Sertleştirilemeyen dövme alaşımlar	G-AlSi 12 G-AlSi 9 Cu 3 G-AlMg 5	İyi İyi İyi, Mg buharlaşması, gözeneklilik eğilimi
Sertleştirilebilir dövme alaşımlar	G-AlSi 7 Mg G-AlMg 5 Si G-AlCu 4 Ti GD-AlSi 8 Cu 3	İyi İyi, Mg buharlaşması, gözeneklilik eğilimi Sıcak çatlaklara eğilim Gözeneklilik

Aslında, % 1 ve % 2 arasında magnezyum içerikleriyle sıcak çatlaklara maksimum eğilim oluşur (Şekil 4.17 ve tablo 4.3) öyle ki, bir koruyucu gaz kullanılan kaynak metodlarıyla yalnızca miktarı artırılmış bir alaşıma (S-ALMg 5) yardımcı olabilir.



Şekil 4.17 Alüminyumda alaşımlı parçaların çatlaklara göreceli eğilimi

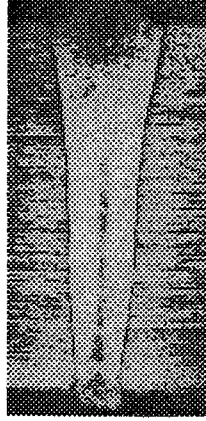
Bundan başka eş zamanlı gözenek oluşumuna eğilim, katkı maddeleriyle ek işlem ve ekipman geresinimleri kaynak için önemlidir. Mesela G-ALMg 3 ve ALMg 3 gibi malzemelerin kaynak uygulamalarında sakınılmalıdır. Alüminyum kaynağında, bakır ve silikon açısından da çatlaklara benzer eğilimler görülür (tablo 4.3). Sertleştirilen işlenmiş alaşımlar arasında, AlCuMg 2'nin mükemmel kaynak kabiliyetinden bahsedilebilir (Şekil 4.18). Diğer kaynak yöntemleri için yüksek ısı girdisiyle, bu alaşım kaynak için elverişsiz olarak göz önünde tutulur. Alüminyum elektron ışın kaynağında, çinkoya özellikle istenmeyen bir alaşım elementi olarak bakılır.

Tablo 4.3 Alüminyum alaşımlı parçaların çatlaklara bağlı hassasiyeti

Alaşım grubu	En yüksek çatlak hassasiyeti	Minimum pratik içerik	Kritik sıcaklık aralığı
AlSi	0.75 % Si	2 % Si	660-577
AlCu	3 % Cu	5 % Cu	660-547
ALMg	1.2 % Mg	3.5 % Mg	660-449
AlSiMg	0.5-0.8 % Si 0.2-1.2 % Mg	2 % Si	

Yüksek buharlaşma basıncı eriyikte epeyce gözenek oluşumuna neden olduğu gibi sıcak çatlaklara hassasiyet de artar. Diğer malzemelerle ve özellikle alüminyum alaşımlarıyla ışıını ayrı bir yere odaklama ve osilasyon kullanımı çinko içeren alüminyum alaşımlarında kaynak sırasında gözenek oluşumunu önlemek için yeterli

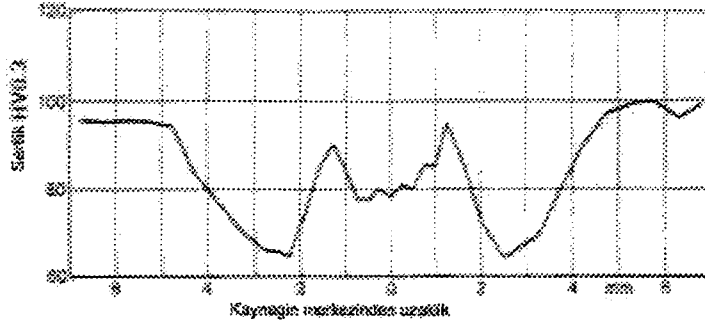
değildir. Uluslararası ortak araştırmalar da, AlZn malzeme gruplarının düşük kaynak kabiliyetini onaylamıştır.



Şekil 4.18 AlCuMg 2 de bir elektron ışın kaynağı kesiti. Levhe kalınlığı : 7.5 mm

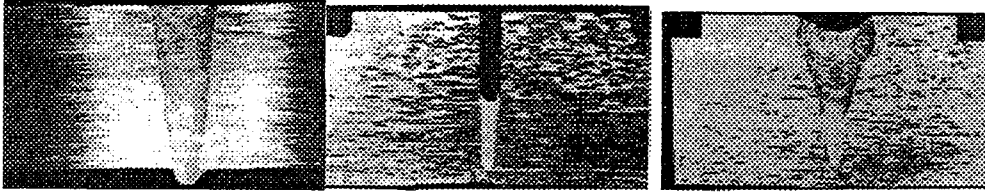
Dökme alüminyum malzemelerin büyük bir oranı da kaynak için uygundur (Tablo 4.1 ve 4.2). Bunun enteresan bir örneği alüminyum pistonlarda soğutma kanallarının elektron ışın kaynağıdır (Şekil 3.27). İstenilen döküm özelliklerini elde etmek için alüminyum malzemeler silikonla alaşımlandırılır. Daha yüksek Si içerikleriyle çatlaklara eğilim artarken, % 13 Si'a kadar (ötektik nokta) alaşımların kaynak kabiliyeti iyidir. Ayrıca, bütün dökme alüminyum malzemelerde belli bir gözenek derecesi/düzeyi yaygındır ve elektron ışın kaynağı süresince kaynaşma bölgesinde daha az bir dereceye kadar bu aktarılır. Basınçlı döküm alaşımlarında buna belirli bir özen gösterilmelidir, gözeneklilik çoğunlukla döküm parçada önceki katılaşma prosesine bağlıdır.

İşlenerek sertleşmiş ve sertleştirilebilen alüminyum dar birleşme bölgesinde belli bir miktarda sertliğini kaybeder. Soğuk yaşlandırılan alaşımlarda tekrar kaynaktan sonra sertlikte bir artış tecrübe edilir. Ama doğal esas malzemenin orjinal sertliğini tekrar kazanamaz. Bununla beraber, ısı tesiri altındaki bölgede diğer etkileşimler oluşur. Bir tür "sıcak" yaşlandırma sebebiyle çözeltinin tavlama sıcaklığı aralığı içinde sertlik artar ve bu bölgeler çözelti tavlaması ve yaşlanma sıcaklıkları arasındaki sıcaklıklara kadar ısıtılır aşırı yaşlanma meydana gelir ve sertlikte bir kayıp olarak kolaylıkla görülür (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 AlMgSi 1 de kaynak boyunca sertlik değişimi.

Alimünyum bağlantılarda tam bir nüfuziyet için normal olarak dörtköşe-oyuk bağlantı ağızları kullanıldığı şekil 4.20’de gösterilmiştir [7].

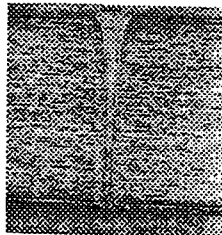


Şekil 4.20 Alüminyum bağlantı şekilleri. Solda , tek pasolu 7049-T73/4.1 mm/ 10x ; ortada, kök dikişi 5083/7.9mm/7x ; sağda, çok pasolu 5083/7.9 mm/7x

4.8.5 Magnezyum Malzemeler

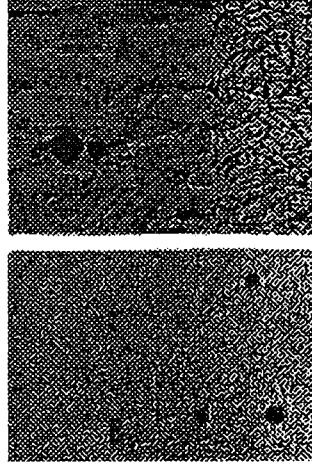
Genel olarak ark kaynağı yapılabilen magnezyum alaşımları aynı zamanda elektron ışın kaynağı edilebilir. İki prosese de aynı kaynak öncesi ve sonrası işlemler uygulanabilir.

Aşırı ısıtma ve kaynak kökündeki gözenekliliği önlemek için, elektron ışınının işletim değişkenlerinin kontrol edilmesi gerekir. Magnezyumun vakumdaki yüksek buharlaşma basıncı ve alaşımdaki çinko bu problemlerin oluşmasına yardımcı olur. %1’den fazla çinko içeren magnezyum alaşımlarında sağlam bir kaynak üretmek oldukça zordur. Işın manipulasyonları gözenek oluşumunu aşmaya yardımcı olabilir. Şekil 4.21’de bir magnezyum alaşımının elektron ışın kaynağı gösterilmiştir [7].



Şekil 4.21 6.4mm kalınlığında HM31A-T5 magnezyum alaşımının elektron ışın kaynağı

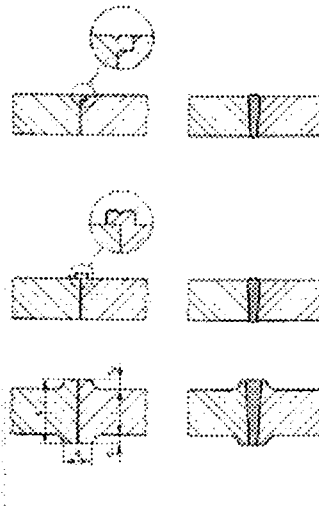
Şekil 4.22’de HM31A-T5 alaşımının kaynak bölgesi ve birleşme çizgisi net bir şekilde görülmektedir [9].



Şekil 4.22 7.62 mm kalınlığında HM31 A-T5 alaşımının kaynak bölgesinin mikroyapıları, 250x

4.8.6 Titanyum Malzemeler

Titanyum düşük yoğunluğu ($\rho = 4,9 \text{ g.cm}^{-3}$) ve yüksek dayanım ($R_{P0,2} > 1200 \text{ N.mm}^{-2}$) dolayı oldukça kıymetlidir ve halihazırda 260 mm’ye kadar kalınlıklar elektron ışın kaynağı edilmiştir. Elektron ışını ile kaynağı, uzay araçları, uydular ve özel tanklarda başarılı bir şekilde gerçekleşmektedir [10]. Titanyum alaşımları, yüksek dinamik yüklemeye ilgili uygulamalarda kullanılmaya meyillidir ve böylece kaynakta hataların tamamen yokluğunu sağlamak için, işlenecek parça çok fazla bir hazırlık gerektirmektedir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 I – Alın kaynağı bağlantı şekilleri

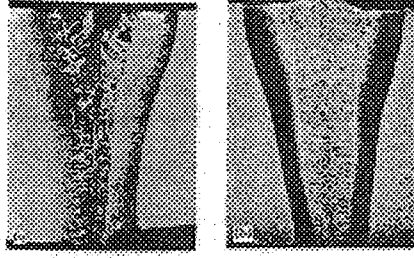
Titanyum gazlara hassas malzeme gruplarından biridir. Atmosferik gazlar, oksijen, nitrojen ve hidrojenle yaklaşık 250° C gibi oldukça düşük sıcaklıklarda tepkimeye girer ve sünekliğini kaybeder. Gazlara bu hassasiyetinin sonucu olarak, gaz korumalı kaynak yöntemleri ek özel aparat kullanımı, genişletilmiş gaz korumaları veya argonla doldurulmuş vakum kamaraları v.b. gereksinmektedir. Tersine elektron ışın kaynağında, $P_A = 7 \cdot 10^{-4}$ mbar'lık bir basınç nerdeyse artık gazları olmayan bir çevre sağlar ve herhangi bir temperleme renginin oluşumunu önler.

Bir kaç istisna dışında, bütün titanyum alaşımları elektron ışın kaynağı için uygundur. Ayrıca colombiyum ve alaşımlarıyla, titanyum ve alaşımları arasında çok iyi bir kaynak kabiliyeti vardır [11]. Yalnızca, metalurjik etkilerden dolayı ısı tesiri altındaki bölgede gevrekliğe eğilimi olan β -alaşımları hariç. Titanyum düşük ısı iletimi, kaynaşma ve ısı tesiri altındaki bölgede göze çarpan bir tane büyümesine neden olur. Böylelikle elektron ışın kaynağı sırasında yüksek hızlar tercih edilir. Ayrıca gazların çözünürlüğündeki keskin bir azalış, özellikle hidrojenle, gözenekliliğe eğilimi daha da arttırdığı için katılaşma sırasında göz önüne alınmalıdır. Gözenekliliği azaltma için bilinen metodlara ilave olarak, örneğin kaynak banyosunun büyüklüğünü arttırmak ve gaz gidermeyi kolaylaştırmak (ışını ayrı bir yere odaklama, ışın osilasyonu, v.b.), özellikle yüzeylerin dikkatli temizlenmesi, tercihan asit ile temizleme de porozitenin önlenmesine yardımcı olur (Tablo 4.5). Titanyum alaşımları aynı derecede çözelti işlemlerinde veya yaşlandırma şartlarında kaynak edilebilir – iç gerilmeleri azaltmak için parçalar bir vakum ocağında tavlınır (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 Titanyum malzemelerin gerilme giderme tavlı (DVS 2713)

Malzeme	Gerilme giderme tavlı	
	Sıcaklık °C	Zaman
Ti 1; Ti 2; Ti 3; Ti 4 Ti 1 Pd; Ti 2 Pd; Ti 3 Pd TiAl 6 V 4	450-550/L	15 dak.-2 saat
TiAl 6 V 6 Sn 2 TiAl 4 Mo 4 Sn 2	500-600/L	3 dak./mm, min. 30 dak. maks. 4 saat 3 dak./mm; min. 60' dak. maks. 4 saat

Şekil 4.24a'da elektron ışın kaynağından önce alüminyumoksit ile aşındırılıp, aseton ile yıkanarak sathı temizlenen bir titanyum alaşımının kesiti gözükmemektedir. Porozite oluşumu hayli yüksektir. Şekil 4.24b'de kimyasal asitle dağlamadan sonra aynı kaynak tatbik edildiğinde porozitenin tamamen elimine edildiği göze çarpmaktadır [2].



Şekil 4.24 Titanyum alaşımlarının elektron ışın kaynağı a) sathı temizlenmiş ,x8 b) kimyasal asitle temizlenmiş x11

4.8.7 Özel Metaller

Özel malzemeler arasından, berilyum, molibden, tantal, vanadyum, tungsten ve zirkonyum gibi malzemeler titanyum gibi hepsi endüstrinin belirli branşlarında özel bir öneme sahiptir. Ama çelik ve alüminyum gibi normal metallere kıyasla sıklıkla kaynak edilemezler. Bu özel malzemeler bir çok bakımdan kaynak sırasında benzer bir şekilde davranırlar ve böylece genel bir malzeme grubu olarak işlem görürler. Yaklaşık 300° C'nin altındaki oldukça düşük sıcaklıklarda bile atmosferik gazların absorpsiyonu sonucunda, bunların hepsinde göze çarpan gevreyerek çatlama eğilimi vardır. Böylece bunların bir vakumda elektron ışın kaynağı yapılabilmesi imkanı özellikle çekici görünmektedir. Bütün özel metallerin karbid formları olduğu ve böylece neredeyse yağ olmaya bir vakum gereksinimi olduğu kaynak işleminde hatırlanmalıdır. Bu sebeple turbomoleküler ve cryogenic pompalar, yağ difüzyon pompalarına tercih edilir. Ayrıca yeterli ama fazla aşırı uzun olmayan asitle temizleme işlemi (hidrojen absorpsiyonu tehlikesi) kaynak edilecek yüzeyi temizlemek için tatbik edilmelidir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 Elektron ışın kaynağı yapılan çeşitli malzemeler için önerilen temizleme metodları

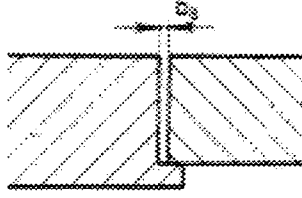
Malzeme grubu	Temizleme işlemi	Asit ile temizleme sıcaklığı
Al	Frezeleme, planyalama, tornamalama v.b. soğutucu olmadan, veya Asitle dağlama 50 % H ₂ O 38 % HNO ₃ 12 % HF	Tavsiye edilen sıcaklık
Be	Asitle dağlama 75 % H ₃ PO ₄ 20 % H ₂ O 5 % H ₂ SO ₄ 7 g CrO ₃ (100 g asit için)	Kaynama
Cu	Asitle dağlama 93 % H ₂ O 7 % HNO ₃ müteakiben, 80 % H ₂ O 10 % K ₂ Cr ₂ O ₄ 10 % H ₂ SO ₄ veya, 100 % HNO ₃	Kaynama Tavsiye edilen sıcaklık

Mo	Asitle daşlama 95 % H ₂ SO ₄ 18 g/l Cr ₂ O ₃ 4.5 % HNO ₃ 0.5 % HF	Tavsiye edilen sıcaklık
Nb	Asitle daşlama 55 % H ₂ O 22 % HF 15 % H ₂ SO ₄ 8 % HNO ₃	Tavsiye edilen sıcaklık
Ni	Asitle daşlama 47 % HNO ₃ 32 % H ₂ SO ₄ 21 % H ₂ O	Tavsiye edilen sıcaklık
Ta	Asitle daşlama 90 % HF 10 % HNO ₃	Tavsiye edilen sıcaklık
Ti	Aseton ve alkol ile yağını gidermek, çözelti içermeyen klorin Asitle daşlama 70 % H ₂ O 29 % HNO ₃ 1 % HF	< 50 ° C
X6CrNiTi 18 10	Frezeleme, planyalama, tornamalama v.b.	
Zr	Aseton ve alkol ile yağını gidermek, çözelti içermeyen klorin Asitle daşlama 62 % H ₂ O 32 % HNO ₃ 6 % HF	Tavsiye edilen sıcaklık

Berilyum kaynak kabiliyeti, oksijene olan affinitesi tarafından belirlenmez ama onun metal buharının aşırı derecede toksik özelliği ile belirlenebilir. Elektron ışın kaynağı sırasında çalışma kamarasına ve vakum pompa ünitesine yayılan toksit berilyum buharına temas eden, kurala uygun birleştirilmemiş ve üniform olmayan şartlar bugüne kadar yayımlanmıştır. Yakın çalışmanın sağlıklı ve emniyetle yürütölmesine bağlı bir ilişki ve diğer sorumlu otoriteler, gerekli güvenlik şartlarını oluşturmak için esastır. Ayrıca bir kaç kayma yüzeyi ile, berilyumun hekzagonal kafes yapısı, kaynağın ısı tesiri altındaki ve birleşme bölgesindeki sünekliği düşük iri taneli oluşumlarla sonuçlanır. Kaynak hızının arttırılmasıyla, tane irileşmesi azalır ama alttan kesmeye ve gözeneklere eğilim artar. Böylece 1 mm kalınlığından daha büyük berilyum parçalara yaklaşık 400°C bir ön ısıtma uygulanmalıdır ve farklı bir yere odaklamayla veya ışın osilasyonuyla kaynak edilmelidir.



şekil 4.25 Molibden levhalar arasında bindirme bağlantılı elektron ışın kaynağı



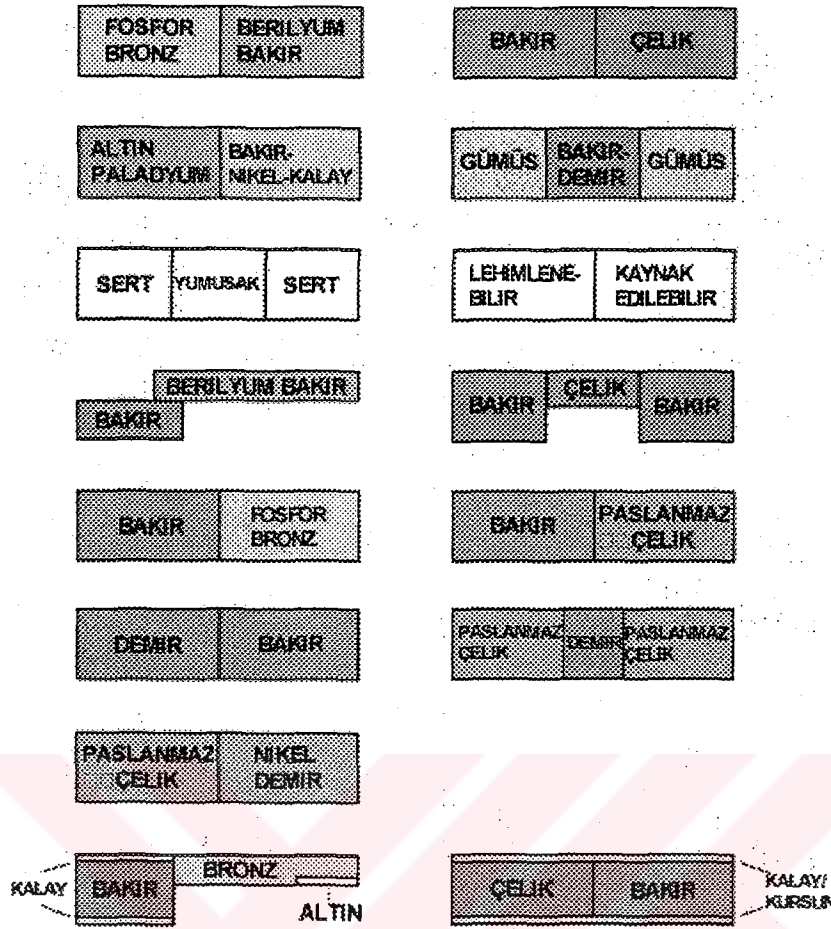
Şekil 4.26 Molibden parçaların elektron ışın kaynağına hazırlık olarak, genişletilmiş kaynak boşluğu ve merkezleme kenarı olan I – alın kaynağı

Molibden ve tungstende de kaynakta tane irileşmesi şekillenir ve böylece gevreyerek çatlamaya bir eğilim vardır (Şekil 4.25). Molibdenin kaynağında çatlaklardan sakınmak için bir merkezleme kenarıyla I-alın bağlantısı sağlanması (Şekil 4.26), kaynak aralığı genişliği b'nin artırılması ve kaynaktan önce işlenecek parçayı enerji az 1000°C ön ısıtma uygulaması tavsiye edilir. Bu yüksek ön ısıtma sıcaklığı özellikle seramik tuğlalarla korunmuş fırınların kullanımını gerektirir ve aynı zamanda kaynaklı parçanın çok hızlı soğumasını önler. Buna ilaveten, molibdenin kaynak kabiliyeti, renyum (Mo41Re), titanyum ve zirkonyum (TZM) gibi alaşım araçları katılmasıyla epeyce artar. Bu elementler düşük tane büyümesi oranı ve iyi sünekliğe sahip olarak katı çözeltiliyi şekillendirir. Ancak tungstende kaynağın kaba ve gevrek mikro yapısı, yalnızca yaklaşık 1000° C de vakum altında döverek veya haddeleyerek ıslah edilebilir. Tabi bunun gerçek imalatı uygulaması çok nadirdir. Böyle bir durumda, kaynağın sadece oldukça düşük yüklere maruz kalmasını sağlamak için yapısal dizayna özel bir ilgi gösterilmelidir.

Zirkonyum ve enerji iyi bilinen alaşımları Zirkaloy-2 ve Zirkaloy-4, titanyum kadar iyi bir kaynak kabiliyeti sergiler. Standart elektron ışın kaynağı teknolojisinin ve $P_A < 2 \cdot 10^{-4}$ mbar çalışma basıncıyla gözeneksiz kaynaklar, alaşımın korozyona direnci özelliklerini yitirmeden oluşturabilir. Niobyum, tantal ve vanadyumda elektron ışın kaynağı için oldukça uygundur.

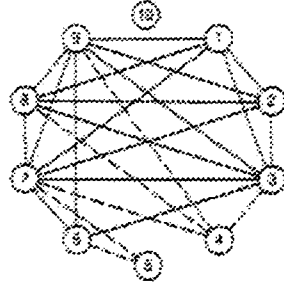
4.8.8 Farklı Malzemelerin kombinasyonu

Elektron ışın kaynağı diğer yöntemlerle birleştirilmesi oldukça zor olduğu düşünülen farklı malzeme tiplerini birleştirebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 4.27 Çeşitli elektron ısı kaynağı kombinasyonları

Farklı malzemeler üzerinde değişik araştırma ve yaklaşımlar mevcuttur. Bunlardan bazıları üzerinde ayrıntılı incelemeler yapılmıştır. Bakır-nikel, bakır-gümüş, bakır-aliminyum, gümüş-nikel üzerinde yapılan incelemeler (Şekil 4.27) faz diagramlarındaki denge durumlarının kolay kolay oluşmadığını göstermektedir [12]. Kaynak kabiliyetleri bakımından iki farklı malzeme tanınsa bile, birlikte kaynak edilirken nasıl davranacakları hala tahmin edilememektedir. Sadece ergime noktaları, ısı iletim ve ısıl genleşme katsayıları gibi farklılaşan fiziksel özellikleri önemli bir rol oynamamakta, aynı zamanda malzeme çiftinin metalurjik davranışı kaynaşma bölgesinde ikili alaşım olarak hareket eder. Literatürde çok sayıda tablo malzemelerin farklı kombinasyonlarının kaynak kabiliyetini basitleştirilmiş bir formda göstermektedir. Denenmemiş kombinasyon sayısında oldukça fazladır [13]. Şekil 4.28 kaynak kabiliyeti 3 seviyeye bölen ve değerlendirilen malzemelerin ayrıntılı açıklamalarını veren daha kesin bir temsili göstermektedir.



Şekil 4.28 Çeşitli malzeme kombinasyonlarının elektron ışın kaynağına uygunluğu

Bir çok erimiş karışımla, epeyce metaller arası fazların oluşumu esas zorluktur. Malzemelerin bir kombinasyonunda metaller arası fazların şekillenip şekillenmeyeceği, periyodik tablodaki ana elementlerin pozisyonuna bağlıdır. Tahmin yapabilmek için, periyodik tablodaki elementlerden metalleri iki yarı gruba bölüp yeniden düzenlemek gerekir (Şekil 4.29). A grubundaki metaller birlikte kusursuz katı çözeltiler şekillendirecek ve böylece kolayca kaynak edilebilir kombinasyonları kaynaştıracaktır. B grubundaki metaller için ise yalnızca kısmen gerçekleştirilebilir. A grubu metalleri, B grubu metalleriyle metaller arası fazlar oluşturur ve böylece birlikte bu gruplar kaynak için elverişli değildir.

Grup B

22 Ti	40 Zr	72 Hf	90 Th
23 V	41 Nb	73 Ta	91 Pa
24 Cr	42 Mo	74 W	92 U

Grup A

25 Mn	43 Tc	75 Re	93 Np
26 Fe	44 Ru	76 Os	94 Pu
27 Co	45 Rh	77 Ir	95 Am
28 Ni	46 Pd	78 Pt	96 Cm
29 Cu	47 Ag	79 Au	97 Bk

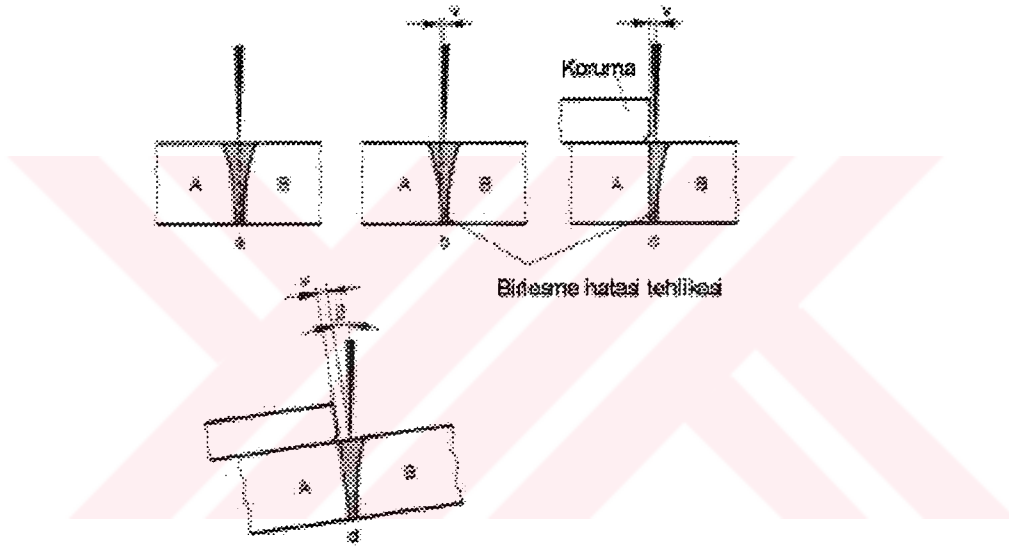
N O P Q

Dış elektron yörüngeleri

Şekil 4.29 Kombinasyonda birbirleriyle kaynak için bağıl uygunluklarını belirlemek amacıyla elektron dağılımlarına göre elementlerin listelenmesi.

A veya B metal gruplarının diğer metallerle kombinasyonlarının durumu, bu iki grup içinde listelenmemiştir. Örneğin, alüminyum, berilyum, magnezyum, v.b. Bu şemada en önemli 46 metalin ayrıntıları, 1000'in üzerinde potansiyel malzeme kombinasyonları kaynak kabiliyeti ile birlikte bir bilgisayar veri tabanında depolanmıştır.

Metallerden biri tamamen erirken ki diğerinin yüzeyi sadece hafifçe erir, elektron ışınıda bir dereceye kadar başka bir yere yön değiştirebilir. Bu durumda, eriyen parçalardan erimiş metalin katılmasıyla ilavesiyle birleşen bir bağlantı yapılır. Bu çözüm özellikle çok farklı ergime noktalarına sahip malzeme çiftlerinin ve elektron ışınının daha düşük ergime noktalı metale yakın yerleştirildiğinde avantajlıdır. Kaynaşma bölgesinin daha geniş üst parçasında bile, kısmi erimeye tercihan uniform hafifçe erime sağlamak için, elektron ışınının sapmasıyla birlikte koruyucu kullanımı veya işlenecek parçanın eğilmesi tavsiye edilir (Şekil 4.31). Bu teknik kullanılarak oluşturan bir çok başarılı deneme kaynakları, metaller arası gevrek fazların oluşumunu böylece çok sayıda farklı malzeme kombinasyonlarının önüne geçilebileceğini gösterir.



Şekil 4.31 İşlenecek parçanın eğilmesi ve korunması ile bir malzeme kombinasyonunun elektron ışın kaynağı.

Katkı maddeleri kullanarak da farklı malzemelerin başarılı bir şekilde kaynağı mümkündür. Bunlar kaynakta üçüncü parça olurlar: Ya diğer parçalardan ayrı olarak kaynak edilen bir tampon katmanının oluşumunda ya da diğer iki parçayla birlikte eritilen sürekli bir şekilde tel veya folyo beslemeli bir orta katman formunda eklenirler. Katkı maddeleriyle elektron ışın kaynağının en enteresan görüşlerinden biri, kaynaşma bölgesindeki metalurjik etki olmasına rağmen, bu konu üzerinde tatbik edilen temel araştırmalar üzerinde fazla durulmamaktadır. Bu araştırmalardan biri, katkı maddeleri kullanarak ferritik ile ostenitik çeliklerin kaynağı ile ilgilidir. Bu durumda da, ışın sapmasıyla kaynak tatbik edilmiştir ama krom karbidleri oluşumu, aynı anda sadece kromdan ayrılmış alanlarla, katkı maddeleri içeren yüksek bir nikel

ilavesiyle bastırılabilir. Kaynaşma bölgesinde oluşan segregasyonları önlemek için sapmasının gerekli olduğu da gösterilmiştir [1].

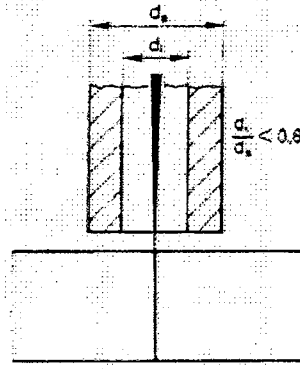
4.9 Malzeme Işın Sapması İlişkisi

Elektron ışınları hem elektrik hem de manyetik alanlardan etkilenir. Özellikle beklenmeyen ve bozulmuş ışın sapması örnekleriyle sonuçlanabilir.

Böylece, örneğin bağlama düzenekleri ve kaynak pozisyonuna yakın kullanılan diğer kaynak destekleri ya manyetik olmayan malzemelerden yapılmalıdır (alüminyum, ostenitik çelikler, bronz v.b.) ya da ferritik çelikler halinde kullanılmadan önce demanyetize edilmelidir. Bu özellikle kaynaktan önce makinayla işleme sırasında manyetik olarak kalıba sıkıştırılmış işlenecek parçayla ilgili durumdur. Ayrıca, elektrik motorları ve mıknatısları (güvenlik şalterleri) ışın yolu yakınına yerleştirilmemelidir. Metalik olmayan malzemeler (örneğin plastikler) bir toprak hatlı metal folyo ile (örneğin alüminyum) statik yük artışını önlemek için kaplanmalıdır.

Bu faktörlere ilave olarak, kalın ferritik çelik işlenecek parçalarda, hali hazırda kalan manyetizma, elektron ışınının beklenmeyen bir şekilde saptırılmasına da neden olabilir. Fazlaca kalan manyetizma yalnızca kimyasal bileşiminden ve malzemenin ısı işlemlerinden arta kalmaz aynı zamanda kullanılan makinayla işlem metodundan da arta kalır. Kalan manyetizma, kaynak bölgesinde bir manyetik yoğunluk dağılım değişimine sebep olur. Öyle ki, farklı yönlerde gelişi güzel bir şekilde ışını saptırır ve kaynak işlemi sırasında değiştirir. Ölçümler göstermiştir ki, işlenecek parça üzerindeki manyetik alan değişiminin elektron ışını üzerinde işlenecek parçanın içindekinden daha büyük bir etkisi vardır. İşlenecek parçanın yanından sapan ışını önlemek için, bu sonuçlardan iki tavsiye çıkarılır:

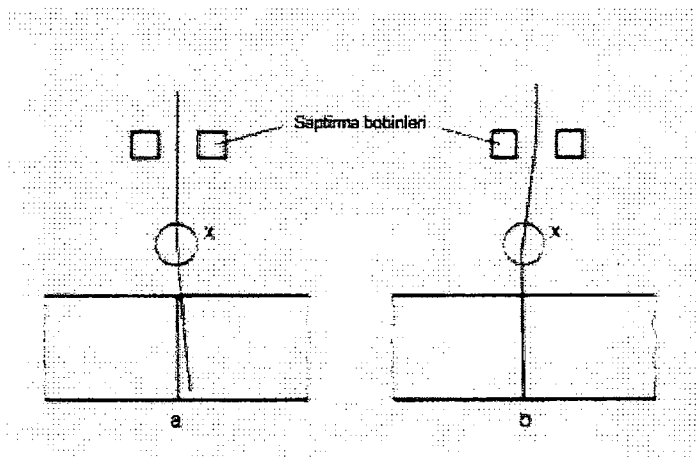
- İşlenecek parça $\pm 1 \text{ A.cm}^{-2} \approx 1,25 \text{ Oersted}$ 'in altına bir değere demanyetize edilmelidir.
- İşlenecek parçanın yüzeyi üstünde, bir metal tüp elektron ışınını manyetik olarak korur (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 Kaynak edilen malzemeye ayarlanan, sapan voltajlara karşı elektron ışın muhafazası.

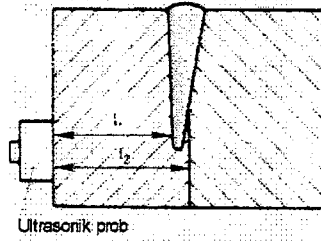
Tüb içinden geçirgenliği yüksek bir malzemeden yapılmalıdır ve optik gözlem gereksinimi hesaba katılmalıdır. İç ve dış çap oranı 0,6'dan az olmalıdır. Daha büyük çeper kalınlıklarıyla, mıknatıslığının giderilmesi, koruma tübünün kullanımıyla birleştirilmelidir.

Sonuç olarak, farklı metal kombinasyonlarının kaynağı sırasında da ışın sapması oluşabilir. Buna, farklı malzemeler ve farklılaşan sıcaklıklar arasındaki ısıl gerilmeler neden olur. Burada elektron ışını işlenecek parçanın üzerinde normal ekseninden sapar ama bu durumda kaynak düzleminin gerisine uygun bir şekilde yönlendirilir (Şekil 4.33). Malzeme çifti içindeki sapmalar, ek dış manyetik alanlar uygulayarak kompanse edilebilir. Ancak yüksek maliyet, pratikte çok nadir kullanılmasına sebebiyet verir.



Şekil 4.33 Bir karşı saptırma voltajı uygulayarak işlenecek parçanın X noktasındaki ışın sapmasının kompose edilmesi.

Bu bakımdan ışın sapmasından sonuçlanan, birleşme hataları ve yanlış yerde oluşan kaynak mevcudiyetini test için kaynak sırasında ultrasonik test tatbik edilmesi tavsiye edilir. Örneğin, bu teknik kullanılarak, birleşme sınırı ve alın hazırlaması (Şekil 4.34, l_1 - l_2) arasındaki sapmalar 30 mm'lik bir birleşme derinliğinde 0,6 mm'ye kadar ölçülebilir. Ancak ultrasonik prob elektron ışınını saptırabileceğinden, bu test metodunun yalnızca sınırlı bir kullanımı vardır. Ayrıca eğer köke kadar kaynak edilirse test etmek mümkün olmayacaktır [1].



Şekil 4.34 Birleşme hatalarının mümkün olabilecek şekillerinin yerini öğrenmek için elektron ışın kaynağı sırasında ultrasonik test.

BÖLÜM 5 ATMOSFERİK BASINÇTA ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI

Çoğu elektron ışın kaynağı makinasında, işlenecek parça vakum ortamındadır. Bunun iki önemli avantajı vardır.

1. Vakum ortamı kimyasal olarak saftır. Kimyasal kirlenme problemi olmadan yüksek reaktif malzemelerin kaynağı mümkündür.
2. Uzun çalışma mesafesine sahip elektron ışını sisteminin çalıştırılması mümkündür. Bu da ulaşılması güç bölgelerin kaynağına izin verir ve kaynak için büyük esneklik sağlar.

Ancak, kaynak edilecek parçanın bir vakum kamarası içinde bulunması, parça büyüklüğüne ve yüksek kaynak hızına sınırlamalar getirir ayrıca seri üretime ve otomasyona güçlükler çıkarır. Böylece, kaynak edilecek parçanın atmosferik basınçta bulunmasına imkan verecek pratik çözümler ve teknikler aranmıştır. Bunun için iki temel teknik problemler halledilmelidir. Birincisi, önemli bir güç kaybı olmadan atmosferik basınçta kontrollü bir gaz ortamının şekillendirilmesi ve bunun elektron ışınının vakum ortamından kaçmasına izin vermesidir. İkincisi de, güç yoğunluğunu azaltan saçılmalardan önce makul bir çalışma mesafesinin sağlanmasıdır [14].

Birinci problemin çözülmesi daha zordur. Elektron ışın kaynağı için yüksek güç yoğunluğu gerekli olduğundan, düşük güç yoğunluklu elektron ışınlarının nakli pratik değildir. Daha pratik olarak, elektron ışının geçebileceği çok kısa boylu bir orifis sistemi kullanarak vakumu kademelendirme tekniğinden yararlanılır. Bu orifis sistemi önemli bir güç kaybı olmadan elektron ışınını nakledecek büyüklükte olmalıdır. Her orifis de makul basınç düşüşü için pompalama şartları ayarlanmalıdır ve daha uzun kaynak operasyonları sırasında tıkanıklıkları önlemek amacıyla techizatlar içermelidir. İkinci problem oldukça yüksek hızdaki elektronlarla oluşan bir ışın kullanılarak (yani yüksek voltajda bir ışın üretimi ile) güçlük çekmeden çözülebilir.

Atmosferik basınçta bir gaz geçerken, düşük ivmelendirme voltajlarında elektron ışını daha hızlı saçılır. Böylece voltaj artırılarak, daha büyük mesafelerde anlamlı güç yoğunlukları buluşturmak mümkün olacaktır. Pratik bir çalışma mesafesi en azından 120 kV bir güç istemektedir. Makul ve pratik aralık 120 ile 200 kV'dur.

5.1 İşlemin Mekanizma ve Prensipleri

Pratik ve teorik problemler genel olarak üç gruba ayrılabilir.

1. Elektron saçılması. Atmosferik basınçlarda elektron ışını saçılarak azalır.
2. Işın transfer ünitesi. Elektron ışını yüksek bir vakumda üretilmek zorundadır. Kaynak edilecek parçaya atmosferik basınç çarpmaktadır. Basınç farklılıkları boyunca ışını transfer edecek bir takım mekanizmalara ihtiyaç vardır.
3. Elektron ışını üretimi. Elektron ışını, ışın transfer ünitesinden geçebilecek, saçılarak azalmaya maruz kalacak ve parçaya ulaştığında, kaynak yapabilecek yeterli bir güç yoğunluğuna sahip olacak şekilde üretilmelidir.

Doğal olarak bu problemler birbirleriyle ilgilidir ve birini tamamen çözmek için hepsi çözülmelidir [14].

5.2 Atomlar Ve Hızlı Elektron Arasındaki Etkileşim

Klasik saçılma teorisi, gaz halindeki malzemeden geçerken ışında bir değişim öngörür. Değişimin derecesi gazın atomik numarasına, gaz yoğunluğuna ve içinden geçilen mesafeye bağlıdır.

Bir elektron ışını için küçük bağıl bir aralıkta, gaz ile etkileşim iki şekilde ağır basar.

1. Enerji kaybıyla çarpan ışıdan, esnek olmayacak saçılan elektronlar dağılır.
2. Enerji kaybı olmadan elastik olarak saçılan elektronlar dağılır.

Esnek olmayan çarpışma, uyarma ya da iyonizasyon yoluyla atoma enerji transferi ile sonuçlanır. Bu çarpan elektronlar oldukça yoğun çekirdeğe nazaran daha fazla atomun elektronlarıyla ağır basan bir şekilde etkileştiklerinden, genel olarak saçılma açısı küçüktür. Diğer yandan, esnek saçılmada etkileşim çoğunlukla çekirdeğin colomb alanı ile ve genellikle büyük bir saçılma açısı ile sonuçlanır [14].

Elektron gazın içinden geçerken birbirini takip eden çeşitli etkileşimler tecrübe edilebilir. Ortalama serbest yol olarak tanımlanan bir etkileşim oluşmadan önce, gelen bir elektron tarafından ortalama mesafe içinden geçilir. Bu mesafe çarpan elektronun momentumu, gaz yoğunluğu ve gazın atomik numarası gibi parametrelerin bir fonksiyonudur. Bir çok elektron için bu istatistikler bir ortalamadır. Tek tek elektronların serbest yol uzunluğu rastgele bir şekilde çeşitlendirilebilir ama genelde ortalamaya yakındır.

5.3 Saçılma Dağılımı

Etkileşim çeşitleriyle sınıflandırmaya ilave olarak, saçılma teorisi etkileşim miktarıyla kategorize edilir.

1. Tek saçılma - ortalama serbest yol
2. Çoğul saçılma - bir kaç ortalama serbest yol
3. Çoklu saçılma - fazla sayıda ortalama serbest yollar

Elektron ışın kaynağı için gaz kalınlıkları ve yoğunlukları tek saçılmada çoklu saçılmaya kadar olan bir aralığı kaplamalıdır. Ama özellikle çoğul saçılma belirgin bir problem olarak etkisini göstermektedir. Paradoksal bir şekilde, çoğul saçılma teorisi en karmaşığı ve üç tip arasından en az araştırılmıştır.

5.4 Yaklaşımlar

Yapılabilecek özel yaklaşımlar şu şekildedir:

1. Dairesel bir memba, ışın çapına denktir.
2. Kaynak yüzeyindeki güç yoğunluğunun ifadesi, kaynak alanını tanımlamak için en yüksek dereceye çıkarılmıştır.
3. Uygun bir çoklu saçılma dağılımı alınarak bu daireseleli membadan tek saçılma, çoğul saçılmayı hesaplamak için kullanılmıştır.
4. Bir yol uzunluğu, tahmini gaz kalınlığına denktir.
5. Enerji kayıplarının hesabı eksiktir.

5.5 Işın Transferi

Atmosferik basınçta veya bu basınç yakınında bir gaz ortamı isteyen kaynak edilecek parçalar için, ışının içinden geçtiği kaynak ortamı ve tabanca kamarasının yüksek vakumu arasında bazı bağlantı hatları bulunmalıdır. Yüksek enerjili ışınlar normal olarak ince alüminyum veya berilyum folyoların içinden, kamara duvarındaki genişletilmiş bir açıklığın ortasına çıkarılır. Bu uygulamada folyolar tatmin edici değildir. Çünkü bunlar ışın sapmasına neden olurlar ve folyodaki ısı etkiler sonucu olası güç yoğunluklarını keserek sınırlar. Işın vakum kamarasında atmosfere getirmenin diğer bir alternatif metodu farklı pompa kanalları kullanımını sağlamaktır. Bu sistem yüksek vakum bölgesine gaz akışını, gaz taşımalarını kısıtlayan küçük orifislerle ve ikincil vakum pompa sistemleriyle sınırlar. Beklenen basınçlar nomogramlar yardım ile elde edilir. Bu sistemin sınırları vardır. Çünkü ışın çapına kıyasla büyükçe bir mesafe boyunca farklılaşan kamaralardan ışın geçmek zorundadır. Bu içinden geçilen mesafenin azaltılmasındaki sınırlama da, farklı kamaralara yeterli vakum pompalaması için, kanallar arasındaki kesit alanları yeterli derecede, büyük bir iletim yoluna izin vermelidir. Işın yolunun uzunluğu boyunca gaz yoğunluğunu düşürerek de saçılım azaltılabilir.

5.6 Kontrollü Atmosfer Ünitesi

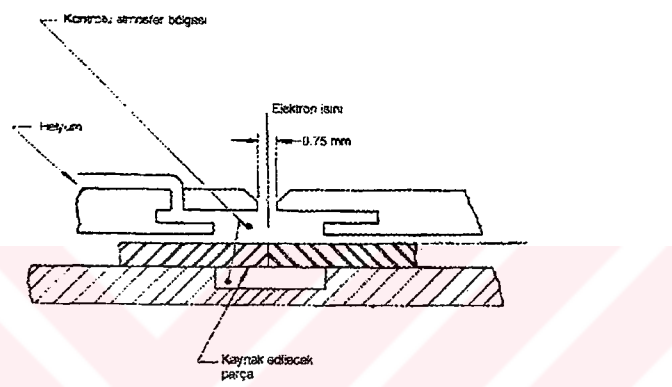
Bir kontrollü atmosfer ünitesi farklı pompalama sistemine dışardan uygun bir şekilde katılır.

Işın açısından bu ünite, erişebilecek maksimum güç yoğunluğu eldesi için gereklidir. Gaz saçılma etkileyici bir faktördür ve ışının içinden geçtiği gaz sadece helyum alınarak minimize edilir. Bu helyum ortamı elde edilebilsin diye diğer gazlar üniteden uzak tutulur. Ancak kimi malzemeler kaynak edilirken bir gaz sızdırmazlığı gerektirir (çünkü bunların özellikleri proses tarafından değiştirilemez).

Kaynak edilecek parça tarafından biçimlenen bir muhafaza kaynak yerindeki gaz içeren alanı kontrol eder. Böylece farklı pompalama odalarının (ilk) orifisiyle kamara birleştirilir. Gaz saçılması minimize edildiğinden, ışın eksenine boyunca olan uzunluk kısa tutulur.

Şekil 5.1'de gösterilen sistemde, kontrollü atmosfer odası kuşatılan atmosfer bakımından hemen hemen pozitif bir basınçta kalır. Elektron saçılması olasılığını azaltmak için kamara dar yapılır ve toplam gaz tüketimini azaltmak için çap düşürülür. Daha küçük bir çap gaz tüketimini azaltmasına rağmen, kamarayı kaplayan alanın dışındaki olası kirli atmosferle kaynaktaki katı malzeme korumasız kalmasın diye muhafaza edilmelidir.

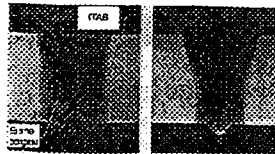
Ayrıca; ısı distorsiyonlardan sakınmak için ünitelerden oluşan malzeme direk olarak eriyen malzeme üzerine konulmaz [14].



Şekil 5.1 Kontrollü atmosfer ünitesinin detayları

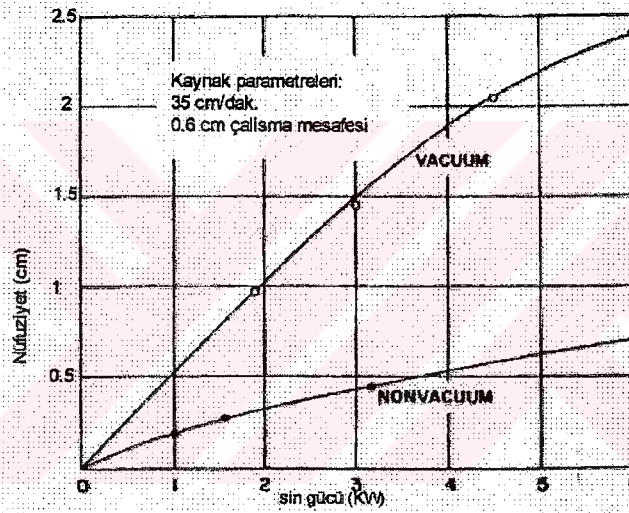
5.7 Kaynak Parametreleri

En önemli değişken ve kaynak parametresi kaynak nüfuziyetidir. Sırası ile kaynak hızı, voltajı, amperajı, atmosferi (gaz veya hava) ve çalışma mesafesidir. Pratik, vakumsuz (NV-EBW) elektron ışın kaynağı; önemli bir güç kaybı olmadan atmosferik basınçta, vakum ortamından bir gaz bölgesine dönüşen ortamdan elektron ışınının kaçmasına izin veren iyi tasarlanmış bir ekipman ile başarılıdır. Böylece, kaynak edilecek parça vakumla kuşatılan ortamın dışına yerleştirilir. Bu teknik, vakum pompalama şartlarının minimize etmek için özel olarak dizayn edilmiş orifis sistemler kullanarak çok kısa bir uzunluk boyunca olan vakum kademeleriyle, oldukça yüksek voltajlı bir elektron ışınının kombinasyonunu içermektedir.



Şekil 5.2 Atmosfer altında elektron ışınıyla yapılan alın kaynakları. Malzeme: AISI 4340. Sağdaki şekilde atmosfer hava, solda atmosfer 3 He + 1 A

Şekil 5.2'de, AISI 4340 çeliğinde bu yöntemle yapılan kaynak gözükmemektedir. Bu kaynak, yüksek ve orta seviyedeki vakumlu kaynakta karşılaşılanlara göre daha geniş olmasına rağmen, diğer eritme kaynağı tekniklerine kıyasla hala oldukça derin ve dardır. Açıkça ki, atmosferik basınçlarda olan elektron saçılması, düşük basınçlardakinden daha fazladır. Testler; çalışma mesafesi nedeniyle nüfuziyetin hızlıca düştüğünü göstermektedir ve böylece anlamlı kaynak derinlikleri olan kaynaklar üretebilmek için, kaynak edilecek parçanın en son basınç kademeli orifise mümkün olduğunca yakın olması gereklidir. Ancak 12-13 mm'ye kadar olan çalışma mesafeleri pratik sonuçlar vermektedir. Aynı zamanda, nüfuziyet derinliğinin ivmelendirme voltajına kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu bulunmuştur. Kaynak hızının da nüfuziyet derinliği üzerinde bir etkisi vardır.



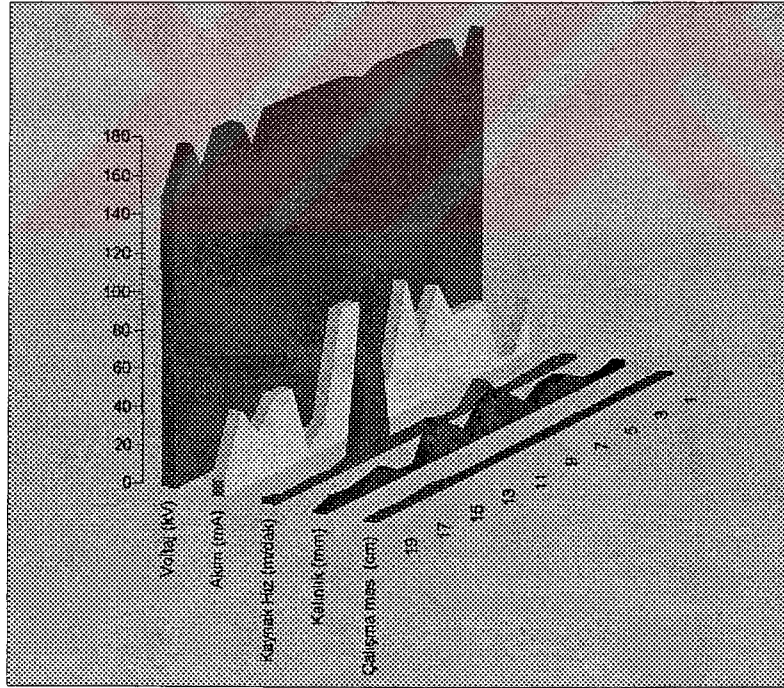
Şekil 5.3 AISI 4340 paslanmaz çeliğinde vakum ve non-vakum kaynak nüfuziyeti ve gücü karşılaştırılması.

Şekil 5.3'de vakumla yapılan kaynakla, vakumsuz olanının aynı güç ve kaynak hızı koşullarında, kaynak derinliği ve güç arasındaki 18-8 ostenitik paslanmaz çeliğin verileri karşılaştırılmıştır. Nüfuziyet derinliğinin vakumlu ortamda olandan daha az olduğu görülebilir. Atmosferik elektron ışın kaynağı yöntemiyle daha büyük ışın kesit alanları tecrübe edildiğinden muhtemelen bu ışın gücü yoğunluğunda bir azalışı göstermektedir.

Şekil 5.2'de; 6,35 mm kalınlıklı bir AISI 4340 çeliğinin atmosferik basınçta kaynağı gösterilmiştir.. Biri 69 cm/dak. hızında ve havada; diğeri 153 cm/dak. hızda ve 1argon 3 helyumdan oluşmuş gaz ortamında yapılmıştır. İkiside iyi durumdadır ama helyum-argon karışımında yapılanın daha dar olduğu göze çarpmaktadır.

Şekil 5.4 Farklı kalınlıklardaki çeşitli malzemelerin, tipik vakumsuz ortamda yapılan kaynaklarının parametrelerini göstermektedir.

ESAS MALZEME	KALINLIK (mm)	VOLTAJ (KV)	AKIM (mA)	KAYNAK HIZI(m/dak)	ÇALIŞMA MESAFESİ(cm)	ATMOS FER
Gazı alınmış çelik	3,2	175	30	2,2	0,6	Hava
SAE 1010 çelik	0,3	150	2,5	3,7	0,6	Hava
AISI 4130	0,6	175	4	2,0	0,6	4He-1A
AISI 4340	6,4	175	40	1,5	1,3	3He-1A
AISI 4340 çelik	10,9	175	40	0,4	0,5	4He-1A
AISI 4620 çelik	10,2	175	40	0,7	0,5	Hava
AISI 304 paslanmaz çelik	3,0	175	60	12,2	1,0	He
AISI 304 paslanmaz çelik	10,2	170	35	0,3	0,6	Hava
AISI 304 paslanmaz çelik	19,1	175	70	0,3	1,0	Hava
AISI 321 paslanmaz çelik	15,2	175	20,5	3,3	0,6	Hava
17-7 PH paslanmaz çelik	2,5	175	25	2,7	0,6	Hava
2219 alüminyum	12,7	175	70	3,2	0,3	He
2219 alüminyum	19,1	175	70	0,7	0,3	He
3003 alüminyum	0,3	175	15	88,9	0,6	He
5052 alüminyum	0,2	150	3	3,7	0,6	Hava
Rene 41 süper alaşımı	7,0	175	40	0,4	2,5	4He-1A
Udimet 500 ila A-286	5,1	175	40	1,3	1,3	Hava
Inconel X	3,2	150	25	0,5	0,5	Hava
TZM Molibden	4,7	175	40	0,4	1,3	He
Bakır	0,2	150	8	3,7	0,6	Hava



Şekil 5.4 Tipik atmosferik elektron ışın kaynağı parametreleri ve bunlar arasında genel bir karşılaştırma

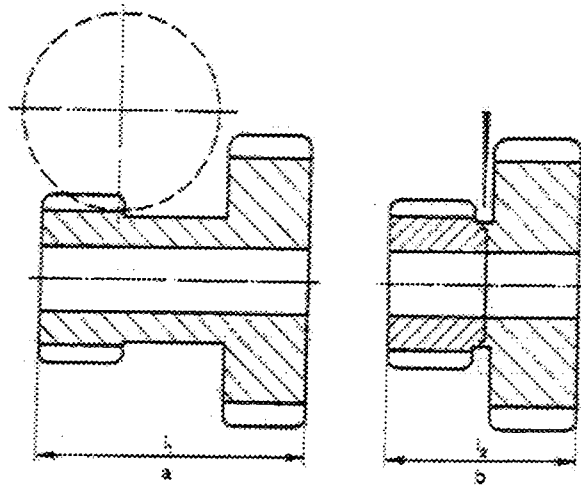
BÖLÜM 6 OTOMOBİL ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMALAR

6.1 Yüksek Vakum İle Yapılan Uygulamalar

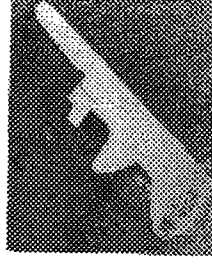
Endüstri de elektron ışın kaynağının başka bir büyük kullanım sahası otomobil dişli kutularının dişli mekanizmasıdır. Şekil 6.1’de görüldüğü gibi elektron ışın kaynağı çoğunlukla sessiz kavrama halkasını dişliye birleştirmek için kullanılır. Bu komponentlerin herbirini ayrı ayrı işleyebilmek için, işçilikten tasarrufun önemine dayanarak, malzemeler ve özellikle ehemmiyetli mamul parçalar elde edilmelidir (Şekil 6.2). Diğer parça dizayn edilirken kaynaklar uygun bir şekilde yerleştirilirse, kaynak sonrası işlemler gerekmez (Şekil 6.3 ve 6.4).



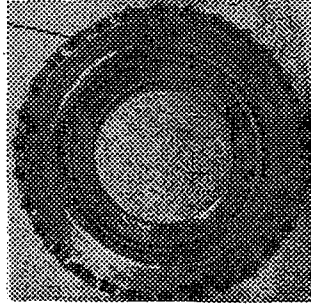
Şekil 6.1 Elektron ışın kaynağı için hazırlanmış dişliler.



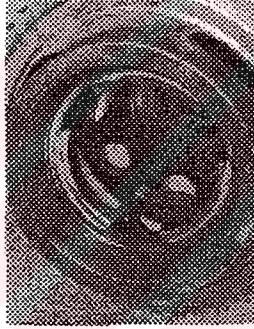
Şekil 6.2 Dişli çarkların boyutları üzerindeki imalat metodların etkisi. a) Yalnızca makinayla işlenerek üretilmiş b) Makina ile işlenerek üretilen iki ayrı parça birlikte elektron ışın kaynağı yapılmış.



Şekil 6.3 Senkronize çalışan bir dişlinin elektron ışın kaynağının içinden makro kesit.

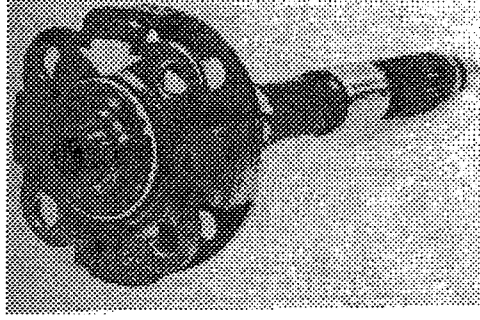


Şekil 6.4 Elektron ışın kaynağı yapılmış dişli çark

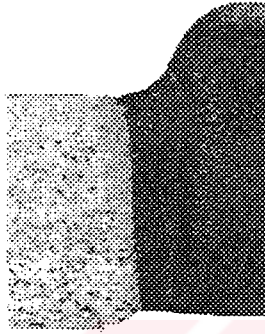


Şekil 6.5 Elektron ışın kaynağı yapılmış dişli çarkda kesikli aksenal kaynak

Bu tip dişli kutusu parçaların çok kısa bir sürede kaynak yapabilmek için özel zaman çevrimli makinalarda mevcuttur. Parçanın çevresi etrafındaki pozisyona göre, aralıklı kaynaklar hassas bir şekilde kontrol edilebilir (Şekil 6.5). Diğer dişli kutusu parçalarının kaynağı içinde çoğunlukla elektron ışın yöntemi kullanılmıştır. Şekil 6.6 bir otomatik dişli kutusu tahrik şaftını göstermektedir. 20 MnCr 4 şaft çeliği ve RRS44 planet dişli gövdesi çeliği arasındaki bağlantı (Şekil 6.7) elektron ışın kaynağı edilmiştir. Kaynak kalınlığı 4 mm'dir ve kaynak hızı yaklaşık 35 mm.s^{-1} 'dir.

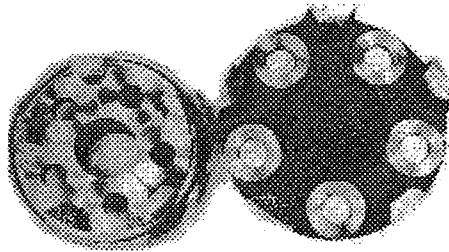


Şekil 6.6 Elektron ışını ile kaynak edilmiş planet dişli kafesi ile tahrik şaftı

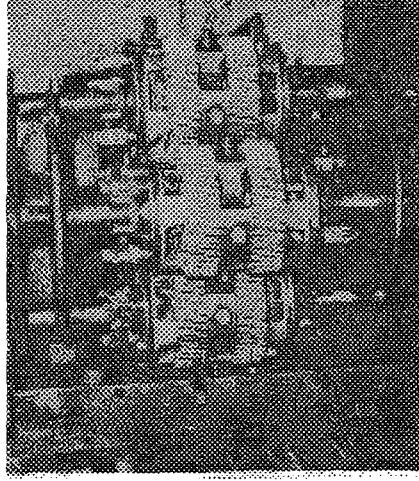


Şekil 6.7 Şekil 6.6'daki resmin kaynağın içinden makro kesit. Solda planet dişli kafesi (RRSt 4), Sağda tahrik şaftı (20 MnCr 4), (40 : 1, 0.3 x)

Ticari araçlar için planet dişli gövdesi üzerindeki yamuk şeklindeki pabuçlar da elektron ışın kaynağı edilir (Şekil 6.8, altta, capraz taralı). Sayıdan dolayı gerekli universal bir kaynak makinası kullanılır, dönen bir kasnak düzeneğiyle donatılmıştır (Şekil 6.9). Bir tahrik motoru işlenecek parçayı kaynak pozisyonuna çevirir ve aynı zamanda asıl kaynak işlemi boyunca onu döndürür. Bu örnekte, tek tek pabuçlar arasında olduğu gibi planet dişli gövdesi, pabuç genişliği boyunca yüksek boyutsal doğruluk isteyen bir dövme işlemiyle oluşmuştur.

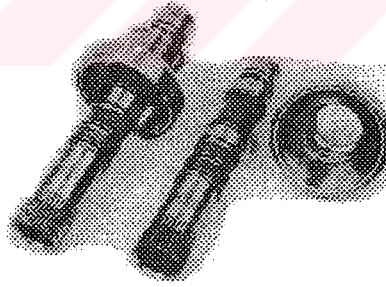


Şekil 6.8 Elektron ışın kaynağı için hazırlanmış bir planet dişli kafesi. Yamuk bir şekilde biçimlendirilen pabuçlar birlikte kaynak edilir.

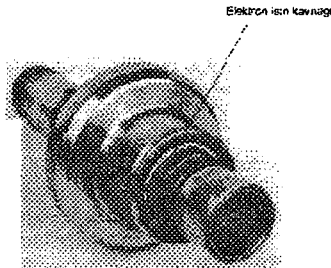


Şekil 6.9 Sadece bir tahliye zamanı süresince, birçok sayıda planet dişli kafesinin elektron ışın kaynağı için döner tabla mekanizması.

Şekil 6.10'da gösterilen dişli kutusu tahrik şaftı, elektron ışın kaynağı kullanılmasıyla malzeme ve imalat maliyetinden tasarruf etme imkanının ilginç bir örneğidir. Şekil 6.11'de gösterilen eksenel çevresel bir dikişsiz şaft: ya tek katı bir parça halinde ya da şafta kamalanarak işlenir (muhtemelen şaftın uzatılmasını gerektirir). Herhangi bir olası eksenel kuvveti transfer edebilmek için diğer ek aşamalarda göz önüne alınmalıdır. Fotoğraflar mamül parçaların elektron ışın kaynağı edilebileceğini göstermektedir.

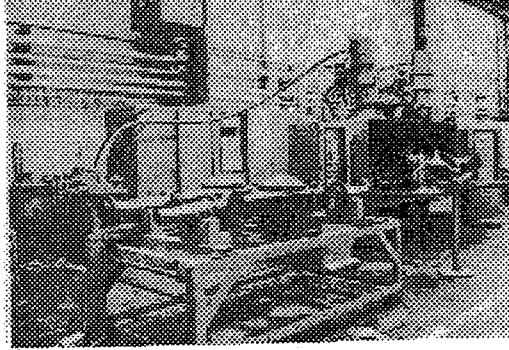


Şekil 6.10 Elektron ışın kaynağı için makineyle işlenerek hazırlanmış tahrik şaftı (Şaft uzunluğu 200 mm).



Şekil 6.11 Son eksenel çevresel kaynağı gösteren tahrik şaftı.

Elektron ışın kaynağı otomobil endüstrisinde aksların kaynağında da kullanılır. Şekil 6.12'de gösterilen özel makina fren flanşları ve aks eşiklerinin her birini ve parça üzerindeki geçitleri kaynak etmek için iki elektron ışın tabancası kullanılır ve 7 dakikadan daha az bir sürede bu işlem gerçekleştirilir.



Şekil 6.12 İki elektron tabancasına sahip makina, güçleri $P_{maks} = 8.5 \text{ kW}$, otomobillerin arka aksların kaynağında kullanılır.

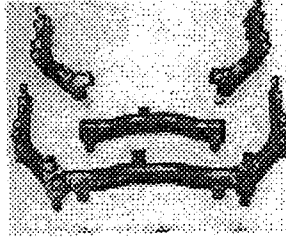
Buna ait kaynak dikişi formu şekil 6.13'de verilmiştir



Şekil 6.13 Şekil 6.12'deki makinayla yapılan radyal dolgu kaynağı içinden makro kesit (yuvarlak köşe kaynağı) (10 : 1, 0.45 x)

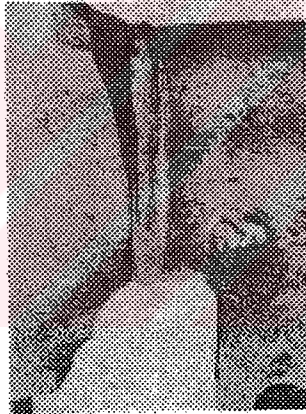
Fren flanşlarının kaynak dikişine özellikle dikkat edilmelidir. Bu bağlantı istenilen dayanımı sağlamak için, gerekli bir kademe bağlantısıdır ve kaynak başı açısıyla birlikte, kaynak içinde mümkün olduğunca üniform bir gerilme dağılımı oluşur. Gerçek bir tek boyutlu bindirme kaynağının kaynak edilmesi sadece oldukça büyük bir ışın sapmasının kullanımı ile mümkündür. Bunu elde etmek için iki elektron ışın tabancası işlenecek parçanın eksenine üzerindeki bir açıda ayarlanır [1].

Benzer bir makina arabaların ön aksların çevresel dikişlerinin kaynağında da kullanılmaktadır. Bu durumda, su verilmiş veya temperlenmiş çelikten iki dövülmüş yüz, merkezi bir göbek boruya birleştirilir (Şekil 6.14).



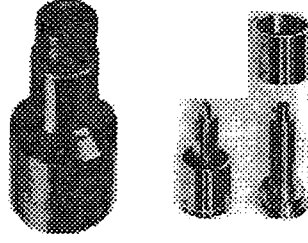
Şekil 6.14 İki radyal çevresel kaynaklı ön tekerlek süspansiyonu ve bağlantı parçaları.

Dinamik gerilmeye maruz parçalar için, elektron ışın kaynakları keskin bir alttan kesme olmadan oldukça düzgün bir yüzeye sahip olmalıdır (Şekil 6.15).



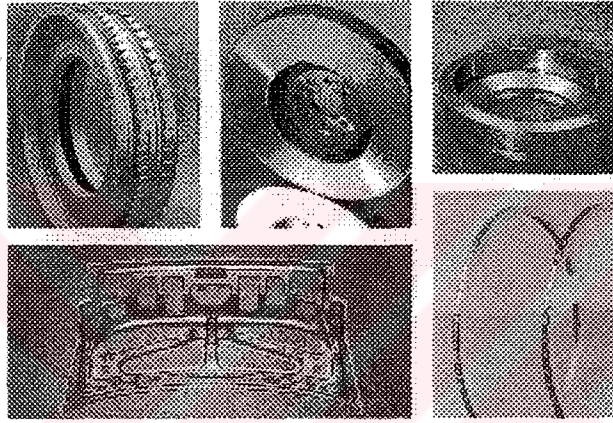
Şekil 6.15 Soldaki dövülmüş yüzey ve sağdaki boru şeklinde bağlantı arasındaki radyal çevresel kaynaklardan biri. (Bir önceki şekil)

İndüksiyonlu bir ön ısıtma çevriminin kullanılmasıyla toplam kaynak işlemi 2 dakikadan daha az bir süre alır. Dizel motorların ön yanma odalarında farklı metallerin birleştirilmesine ihtiyaç vardır. Şekil 6.16'da sol resme ait alttaki parça X 10Cr 13 çeliği iken, üstteki parça yüksek dayanımlı bir nikel alaşımıdır. Ön yanma odaları oldukça büyük bir sayıda, basınç kademeli emniyet sistemleriyle uygun bir şekilde donatılan sürekli kaynak makinalarıyla kaynak edilir [1].

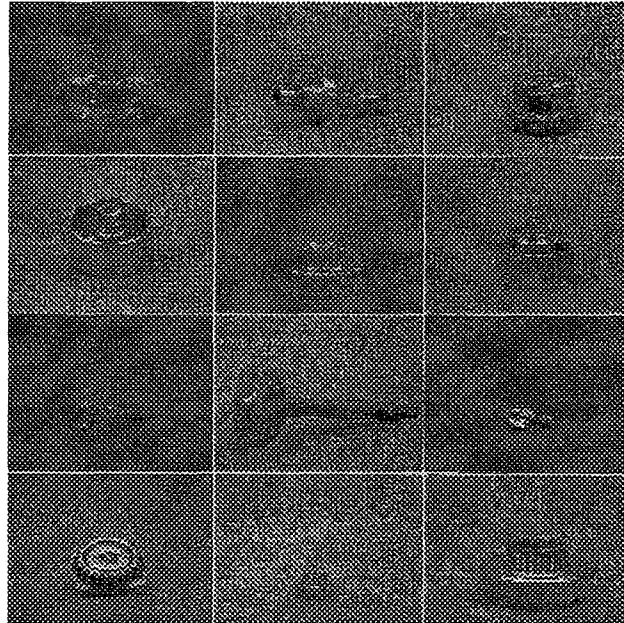


Şekil 6.16 Bir dizel motorun ön yanma odasının elektron ışın kaynağı (solda) ve montajdan önce elektron ışın kaynağı yapılan şok absorberi pistonları (sağda).

Otomobil endüstrisinde seri üretim için uygun elektron ışın kaynağı makinalarıyla çok farklı parçalar kaynak edilebilmektedir [15]. Şekil 6.17 ve 6.18'de bu parçalardan bazıları gösterilmiştir



Şekil 6.17 Elektron ışın teknolojisinin kullanılabildiği parçalar



Şekil 6.18 Seri üretime uygun parçalar

6.2 Atmosferik Basınç Altında Elektron Işın Kaynağı

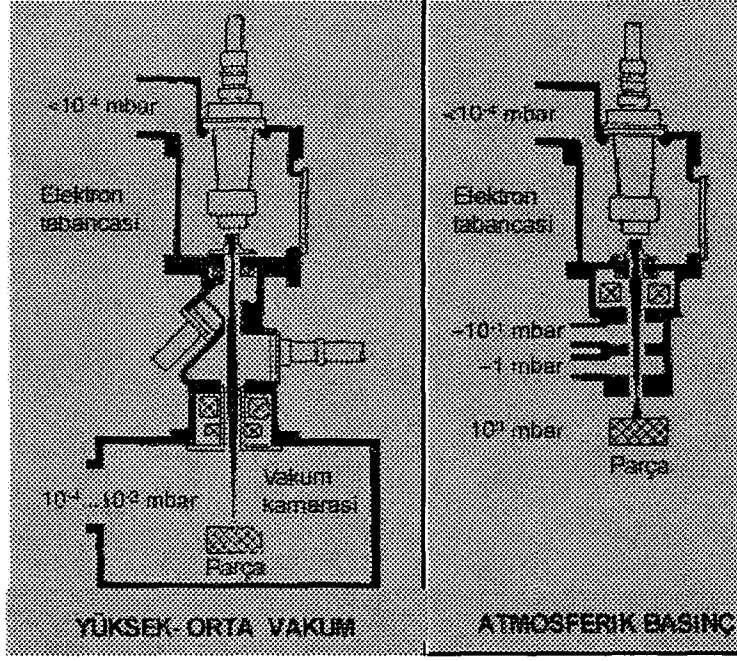
Vakum altında elektron ışın kaynağı uzun zamandan beri yapılmaktadır. Avantajları olarak, yüksek kaynak kalınlıkları ve dar kaynak genişlikleri, minimum ısı girişi ve dolgu malzemesi bulunmaması, kaynağın tekrarlanabilirliği ve yüksek hassasiyet örnek verilebilir. Prosesin bu karakteristiklerinden dolayı bugün havacılık ve uzay endüstrisinde, yüksek ısı ve mekanik yük taşıma kapasitesine sahip malzemelerin kaynağı için ve makina mühendisliği dalında cihaz imalatında ve otomotiv endüstrisinde işlenmiş mamul parçaların birleştirilmesinde de kullanılmaktadır.

Esas olarak otomotiv endüstrisinde ve diğer seri üretim usullerinde neredeyse 30 yıldır başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. İşlemin sağlam yapısından başka, yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilir. Optimum tesis dizaynı ve tahliye ihtiyacı olmayan bir çalışma kamarası çok kısa işleme zamanlarını mümkün kılar. İşlemin lehinde ikna edici argümanlar uygun ısı girişi, iyi kök ve kaynak yüzeyi oluşumu ve müsait boşluk tolerans sınırlarıdır.

Çok fazla sayıda kaynak edilen tipik parçalar; otomatik dişli kutuları için tork konvertörleri, egsoz gazı katalitik konvertörleri için muhafazalar, dişli çarklar, kavrama parçaları, direksiyon milleri, döküm alüminyum motor parçaları ve düz metal sac parçalarıdır. NV-EBW kullanımının diğer bir avantajı "yeniden biçim verilen düz parçaların" kaynağıdır, örnek olarak çelik imalatçıları tarafından, otomobil, vagon ve alet-edevat imalatçıları tarafından bugün yoğun şekilde kullanılmaktadır [16].

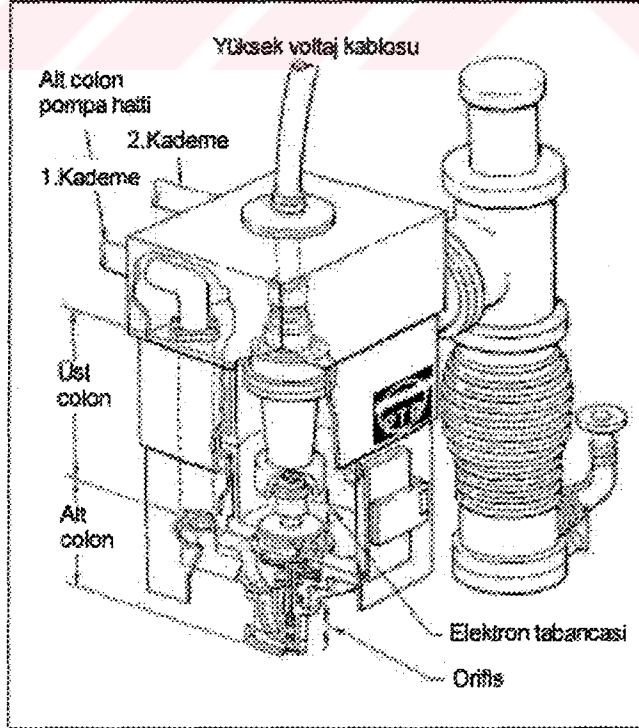
6.2.1 NV-EBW Kaynak Yönteminin Prensipleri ve Ek Özellikleri

Elektron ışını yüksek bir vakumda üretilir (Şekil 6.19). Elektron ışınına izin versin diye, 175 kV'a kadar hızlandırılır ve tabancanın için odaklanır ve atmosfere çıkar. Bu yüksek vakumu, basınç kademeleri olarak adlandırılan, ışının geçebilmesi için ayrı bir şekilde tahliye edilen hassas difüzyon memeleriyle küçük kamaralar takip eder. İşlenecek parça normal çevre basıncındadır.



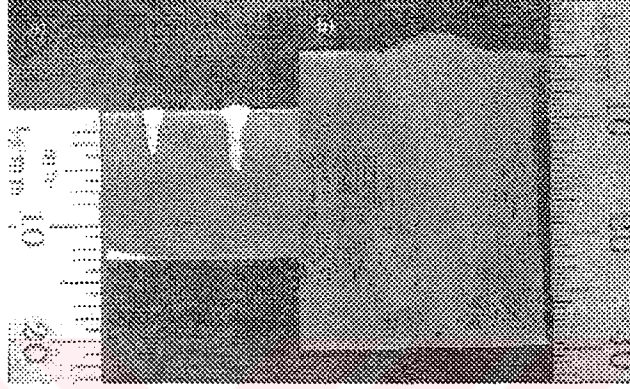
Şekil 6.19 Elektron ışın kaynağı için değişik makine dizayn prensipleri

Saçılma etkisi azaldıkça, gaz partikülleri hafifler (bu yüzden helyum, havadan daha fazla tercih edilir; argon çok daha az tercih edilir) ve partikül yoğunluğu düşer. Bu sebeple pratik olarak bütün ticari NV-EBW makinaları, tabancanın içine kurulan bir mekanizmaya sahiptir (Şekil 6.20).



Şekil 6.20 Atmosferik basınçta yapılan kaynak için elektron ışın tabancasının yapısı.

Elektron ışın kaynağı için koruyucu gaz olarak helyumla (belli bir dereceye kadar kaynak banyosu içinde de) 2 ila 3 mm genişliğinde oldukça dar kaynaklar oluşturabilir. Şekil 6.21 ilgili parametrelerle düşük alaşımlı çelikte deneme kaynakların makro kestilerini göstermektedir. Atmosferik basınca rağmen, kaynağın yüksek derinlik/genişlik oranı kayda değerdir. Kaynak sırasında metal buharı plazması oluşur aynı zamanda kaynak banyosu için epeyce bir koruma sağlar çünkü vakum altındayken hemen çıkarılamaz, lazer kaynağı halindeki dağılım etkisi gibi gerekli değildir[16].



Şekil 6.21 Atmosferik basınçta yapılan deneme elektron ışın kaynaklarının makro kesitleri. (175 kV yüksek voltaj)

Bir çok kaynak işleminde hazırlık sorunu çıkmamasına rağmen, vakum elektron ışın kaynağı (dolgu malzemesiz) yüksek hassasiyetli bir bağlantı hazırlığı gerektirir. NV-EBW'nin (atmosferik elektron ışın kaynağı) ışını bir dereceye kadar genişledikçe, büyük boşlukların üstesinden gelinir. Sonuç olarak kaynak hazırlığı maliyeti düşük tutulabilir. Lazer kaynağında hassas kesme gerekli olmasına rağmen, yeni biçim verilen düz parçalar halinde örneğin normal kesme işlemi yeterlidir. Ancak aşırı durumlarda boşlukları doldurmak için yeterli malzemenin eritilebilmesini dizayn sağlamalıdır. Genel olarak flanşlı kaynaklar, kenar bağlantılı kaynaklar veya köşe kaynaklarında bir problem yaşanmaz.

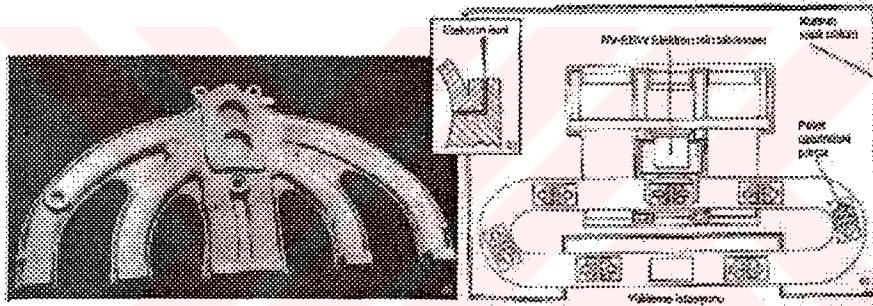
Elektronların kinetik enerjilerinin küçük bir oranı, işlenecek parça üzerine çarparak yayılan X-ışını radyasyonuna çevrilir. Ama bu bir problem teşkil etmez. Kaynak işlemine bağlı olarak çalışılan alan, ayrı ama aynı zamanda kesinlikle güvenli radyasyon geçirmez bir şekilde ekranda gösterilebilir. Diğer tehlikeli radyasyon oluşumlarıyla çalışırken geleneksel prosedür de izlenir.

6.2.2 Yaygın Uygulama ve Deneyimler

Otomotiv sektöründe en çok kullanılan parçaların kaynağından bahsedilmiştir.

6.2.3 Emme Manifoldu

Bir çok otomobil imalatçısı 4 ve 6 silindirli motorları için ağırlık sebebiyle alüminyum dökümünden emme manifoldu imal etmek istemiştir. İki döküm yarı parça, (kabuk şeklinde) NV-EBW aracılığı ile çevresel bir hat boyunca birlikte kaynak edildiler. Şekil 6.22'de gösterilen birleştirme şekline göre imalat sonucu oluşan 1,5 mm'ye kadar boşluklar hava geçirmez bir şekilde kapanması mümkündür. 5 ve 10 m/dak. arasındaki kaynak hızlarıyla (esas malzeme üzerindeki kaplı alana bağlı olarak) ve maksimum 17,5 kW ışı ışın güçleriyle, saatte 200 parçaya kadar gerekli üretim oranlarına ulaşılır[16].



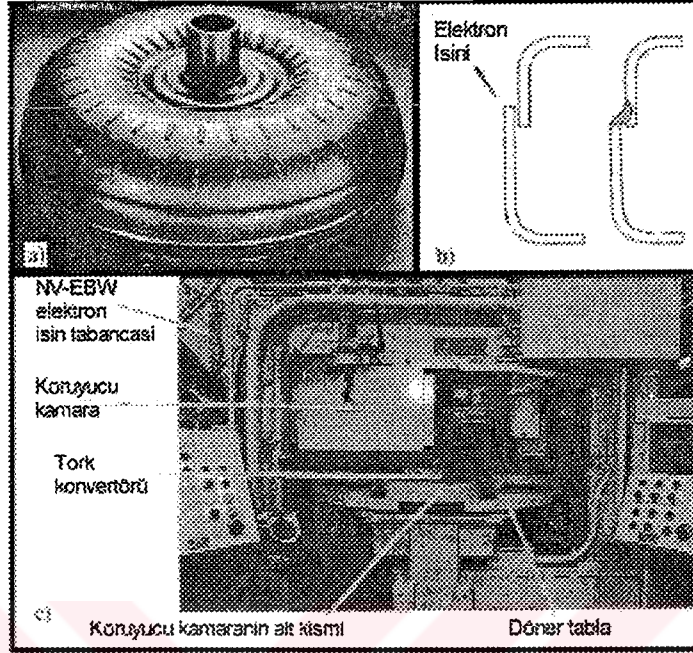
Şekil 6.22 Alüminyum dökümünden yapılan emme manifoldunun atmosferik basınçta yapılan elektron ışın kaynağı.

Üretim tesislerinde, birleştirilen montaj ve bağlama parçaları paletlerin üzerine bindirilir ve bir konveyör bandında radyasyon geçirmeyen kurşun kaplı kaynak odasının içine taşınır. Kaynak istasyonunda, paletler kısıkaçlarla banddan kaldırılır ve programlanmış bir x-y eksen hareketiyle elektron ışınının altına taşınır. Şekil 6.22'de gösterilen parça için 2,54 m kaynak uzunluğu, yalnızca 20 saniyelik bir kaynak zamanı ve 24 saniyelik bir çevrim zamanıyla bitirilir.

6.2.4 Tork Konvertörü

Yapı çeliğın AISI 1010 (Ck10'a karşılık gelir) tork konvertörü imalatı için (Şekil 6.23) çeşitli bağlama sorunlarını halledilebilsin diye, bir kaç büyük otomobil firması NV-EBW işlemini kullanılmaktadır. Örneğın bir yarı kapaktaki içi boş flanşın kaynağına veya iki yarı kapağı hava geçirmez bir şekilde bağlanmasında. Kaynak

makinaları 4 kılavuzlama tablasına sahiptir(Şekil 6.23c) ve genellikle tam otomatik üretim hatlarıyla birleştirilir[16].



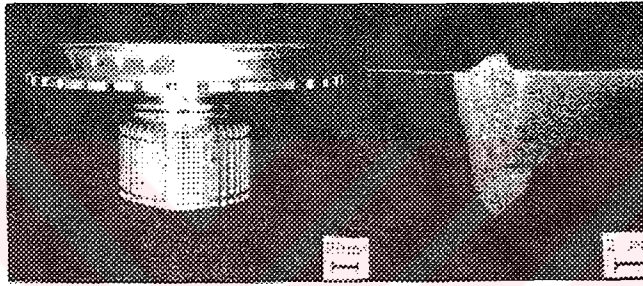
Şekil 6.23 AISI 1010 sertleştirilmiş çeliğinden yapılan tork konvertörünün atmosferik basınçta yapılan elektron ışırl kaynağı.

İki yarı kapağın kaynağı için dış kapağın ağızını eritebilsin diye (Şekil 6.23b) elektron tabancası 40° düşeyden yatırılır ve 0,5 mm genişliğine kadar boşlukların kapanması için sıra ile malzeme beslenir. 1 mm'ye kadar boşluklar dolgu teli kullanılmasıyla kapanabilir bu dış kaynak için 6 ila 7 m/dak. arasındaki kaynak hızları ve konvertör büyüklüğüne bağlı olarak 15 ila 9 sn arasındaki çevrim zamanları bulunur. 2 milyon hava geçirmez parçadan sadece 12 tanesi helyum sızıntı testinden olumsuz sonuç almıştır.

Tungsten inert gazla tutturulan dış yarı kapaklarla tamamen montajı bitmiş konvertör NV-EBW tesisine götürülür ve konveyör bandı üzerinde ve kılavuzlama tablasının çalışma yerindeki bağlama düzeneğinde yerleştirilir. Çalışma yerindeki bağlama düzeneği parçaya uydurulur. Konvertörü merkezler ve aynı anda radyasondan koruma kamarasının alt tarafında tertib edilir. Parça kaynak pozisyonuna kılavuzlandıktan sonra, bağlama düzeneği kaldırılır ve elektron ışırl tabancasına bağlı kamaranın tepesine bastırılır. Kaynak sırasında parça düşey bir eksen etrafında kamarada döndürülür. İşlem tamamlandığında, kamaranın alt tarafı ve konvertör indirilir ve tabla tekrar ileriye hareket eder.

6.2.5 Transmisyon Parçaları

Bir çok firmada dişli çarklar ve diğer transmisyon parçaları vakumlu elektron ışın kaynağı makinalarında ve/veya lazer ışın kaynağı makinalarında kaynak edilebilir. Ancak, otobüs ve kamyonların transmisyon parçaları halinde, 30 kW NV-EBW makinası kullanılmasına karar verilebilir. Çünkü böylece 12 mm'ye kadar gerekli kaynak kalınlıklarına ve istenen işlenecek miktarla saatte 150 parçaya ulaşılır. Kaynak istasyonu tamamen otomatik makinaların merkezinde yer alır; parçalar iki taraftan da (bazen farklı) beslenir. Seri üretime rağmen, otomatik olarak parça tanınmasıyla ve kaynak parametrelerinin değişmesiyle belli bir esneklik elde edilir. (Şekil 6.24)



Şekil 6.24 AISI 4130'dan yapılan vidalı başlık ve malzemesi düşük karbonlu çelik olan bir diskten oluşan iletişim parçasının atmosferik basınçta yapılan elektron ışın kaynağı.

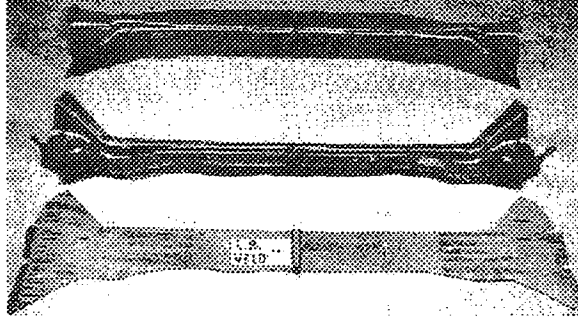
Işın gücü 24.5 kW , Kaynak hızı 85 mm/s , Kaynak kalınlığı 10 mm

6.2.6 Otomobil İskeleti İçin Düz Sac Parçalar:

Malzeme kullanımını en yüksek dereceye çıkarmak için açıktır ki, "uygun" düz sac parçalar birlikte kaynak edilmelidir ve tamamlanmış parçalar başka bir işleme tabi tutulmalıdır. 3 ila 4,8 mm aralığındaki kalınlıklarda düz sac lar kaynak edilebilir diye, 1960'ların başında vakum altında elektron ışın kaynağı kullanılmıştır. Kaynak bölgesinde bile ortaya çıkan şekillerin çatlaksız oluşması sonucunda özellikle düşük ısı girdisi olmuştur. Ancak, 70'lerin başında itibaren mükemmelleştirilen NV-EBW işlemi teknolojik bir sıçrama oluşturmuştur[16].

Bir motor imalatçısı, vakum altında saatte 240 parça kaynak yapma kapasitesine rağmen, 4 makinasından biriyle yalnız başına saatte toplam 800 parçayı 5,1 m/dak. kaynak hızıyla kaynak edebilmiştir. Pay verilmiş kenarlar arasında 0,25 mm²'ye kadar boşlukların birleştirilebilme imkanını da iyileştirmek için bu metodun kullanılması gereklidir. Bu makina ve yöntemin teknolojisinin güvenilirliği, 20 yıldır

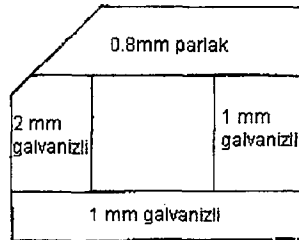
100 milyonun üzerinde düz sac parçanın NV-EBW yöntemiyle kaynak edilmesiyle açıkça görülebilir (Şekil 6.25).



Şekil 6.25 Yapı çeliği AISI 1010'dan 3.5 mm kalınlığındaki düz sac parçalarının otomobil iskeletindeki bölümlerinin atmosferik basınçta yapılan elektron ışın kaynağı ve sonradan şekillendirilmiş hali.

6.2.7 Yeniden Biçimlendirilen Düz Sac lar

Ağırlıktan tasarruf, dayanım değerlerine uygunluk, optimize edilen korozyon koruması ve maksimum malzeme kullanımı farklı endüstriyel sektörlerde (ilk olarak otomotiv endüstrisinde) kuvvetli ve giderek artan bir ilgi nedenidir ve “yeniden biçimlendirilen düz sac lar” olarak adlandırılırlar. Şekil 6.26 bu kavramın temel örneklerinden birinin gösterimini vermektedir. İmalatındaki kritik noktalar: ortaya çıkan şekillerin, çatlak olmadan dayanması ve aynı zamanda görünür yüzeylerde mekanik pürüzleri gidermeye gerek olmamasıdır. Bununla beraber, yüksek kaynak hızlarına ve aynı zamanda kaynak hazırlama zamanının düşük tutmasına izin verecek bir birleştirme metodu gerekmektedir.



Şekil 6.26 Yeniden biçimlendirilen düz parçaların prensip şeması : farklı kalınlık, aç ve yüzeydeki düz sac parçaların bağlantısı.

Daha kalın plakaların kaynak edilmesi tecrübesi esas alınarak, kaplanmış ve galvanize edilmiş aynı ve farklı kalınlıktaki düz sac lar (0,8 ila 2,5mm) NV-EBW yöntemiyle kaynak edilmiştir. Numune uzunluğu 500 mm'dir. Mevcut laboratuvar ekipmanıyla 9 m/dak. hızlarda çok iyi kaynaklar elde etmek mümkündür (Şekil 6.27).

Gelişen tutturma teknolojisiyle 12 m/dak.'ya kadar kaynak hızlarının bahsedilen aralıklar da tümüyle gerçekçi olması beklenir.



Şekil 6.27 Farklı kalınlıktaki St14'den düz sacların NV-EBW kaynağının makro kesitleri.

- a) 1.1 mm kalınlığındaki parlak çelik ve 0.8 mm kalınlığındaki elektrolitik olarak galvanizlenmiş sacın kaynağı ; elektron ışın gücü : 3.4 kW, kaynak hızı : 8.9 m/ dak.
- b) sıcak galvanizlenmiş 2.5 ve 0.8 mm kalınlığındaki sacların kaynağı elektron ışın gücü : 6.5 kW ; kaynak hızı : 8.9 m/dak.

Kaynak hazırlığının (birleşme kenarlarının) etkisini tetkik etmek için, hem hassas ve hemde normal olarak kesilmiş kenarlar bütün düz sac kombinasyonlarında kaynak edilmiştir. Sonuç büyük ölçekli endüstriyel seri üretim için oldukça umut vericidir. Bütün durumlarda normal kesme yeterlidir. Örneğin, 1 mm kalınlıklı düz bir saca, 0,13mm genişliğinde bir boşluk yetersiz bir doldurma olmadan birleştirilebilir. Burada tekrar proses, kendisinin ekonomik ve aynı zamanda yüksek kaliteli imalatının yüksek potansiyelini göstermektedir.

6.2.8 Sonuçlar

Elektron ışın prosesinin genel avantajları benzer bir şekilde NV-EBW yöntemine tatbik edilebilir.

- Enerji dönüşümünün çok yüksek verimi makul limitler içinde asıl miktardaki yükü korur. (Gerçek ışın üretiminin % 95'den fazlasını ve 30 kW ışın gücüyle eksiksiz bir makina için yaklaşık % 65)
- Elektron ışını -işlenecek parça enerji bağlantısı, pratik olarak malzeme ve yüzey özelliklerinden bağımsızdır ve daima maksimumdur: ışın enerjisinin yaklaşık olarak % 99'u ısıya çevrilir.

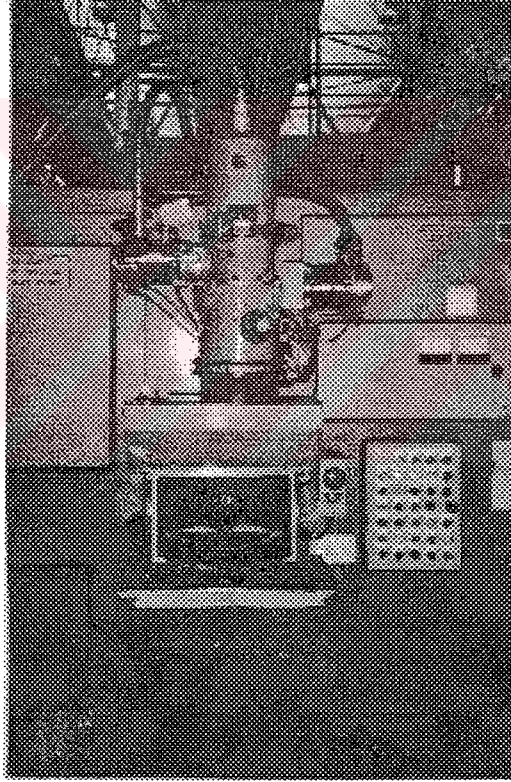
- Elektron ışınının yüksek parlaklığı (aralık açısı başına enerji yoğunluğu) küçük bir açısal açıklıkla sınırlanır. NV-EBW yöntemiyle bile işlenecek parça ve elektron ışın tabancası mesafesi kaynağın sonucu itibarıyla çok önemli kritik bir parça değildir.
- Yüksek ışın gücü mevcudiyeti (endüstriyel NV-EBW tesisi için 30 kW) yayılan ışınla bile, çok yüksek ışın güçleriyle sonuçlanır ve bu yüzden yüksek kaynak hızlarını mümkün kılar.

NV-EBW; vakum altındaki kaynaktan ayrı bir şekilde düşünülemez ama ona önemli bir ilavedir. Çalışma kamarasından tahliye “yapmadan” işleme zamanında büyük bir azalmaya sebep olur ve bu yüzden produktiviteyi artırır. Zaman içinde ayrıntıların iyileştirilmesi ve sürekli optimizasyonların yapılması bugün NV-EBW yöntemini yalnızca güçlü değil aynı zamanda çok güvenilir bir kaynak metodu yapmakta ve kolayca otomatize edilmiş bir düzene entegre olabilmektedir. Katot ve memeler gibi aşınan parçaların çeşitli değişik kullanım süreleri vardır ve herhangi bir zorlukla karşılaşılmadan değiştirilebilirler. Tutturma düzeneği tertibatı gerekli olduğunda ve yoğunlukla komponentler 3-boyutlu karışık bir şekilde olsa bile, orifis ile bağlama mesafesi ve meme geometrisi güvenli çalışmaya izin verir [16].

BÖLÜM 7 YAPILAN ARAŞTIRMA VE İNCELEMELER

7.1 Üzerinde Çalışılan Elektron Işın Kaynak Makinası

Bu çalışmada, 45 kV'da çalışan bir yüksek vakum elektron ışın kaynağı makinesi (Şekil 7.1 ve 7.2) üzerinde vites kutusu içerisindeki vites millerinin elektron ışın kaynağı incelenmiştir. Makinanın çalışma aralığı, parametreleri ve önemli parçaları hakkında prosesi açıklayan bilgileri verildikten sonra kaynak yapılan numunenin metalurjik ve mekanik özellikleri test edilmiştir [17].

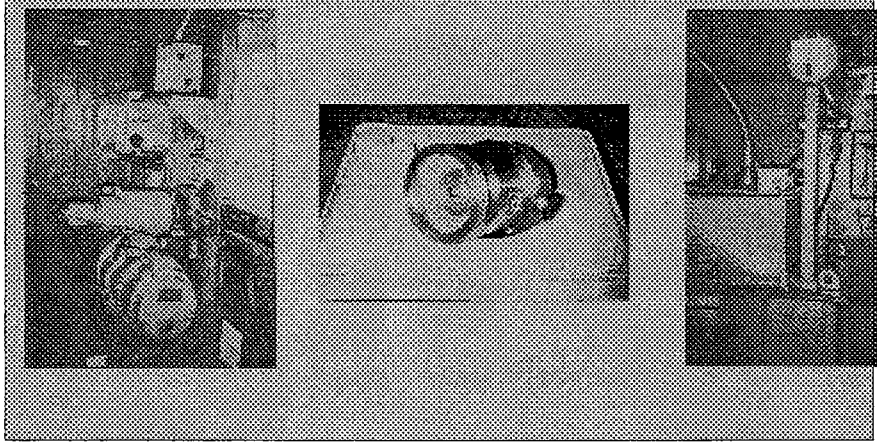


Şekil 7.1 Üzerinde çalışılan elektron ışın kaynağı makinası

Parçanın mekanik özellikleri çalışma şartlarına göre dinamik yükleme altında test edilmiştir ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Özellikle kaynak bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge ve esas malzemenin mikro yapısı mümkün olduğunca geniş bir şekilde açıklanmış ve oluşan yapıların normal özellikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Farklı hatlar üzerinde alınan sertlik ölçümleri soncundaki, kaynak bölgesinde belli bir sertlik artışı gözlemlenmiştir.

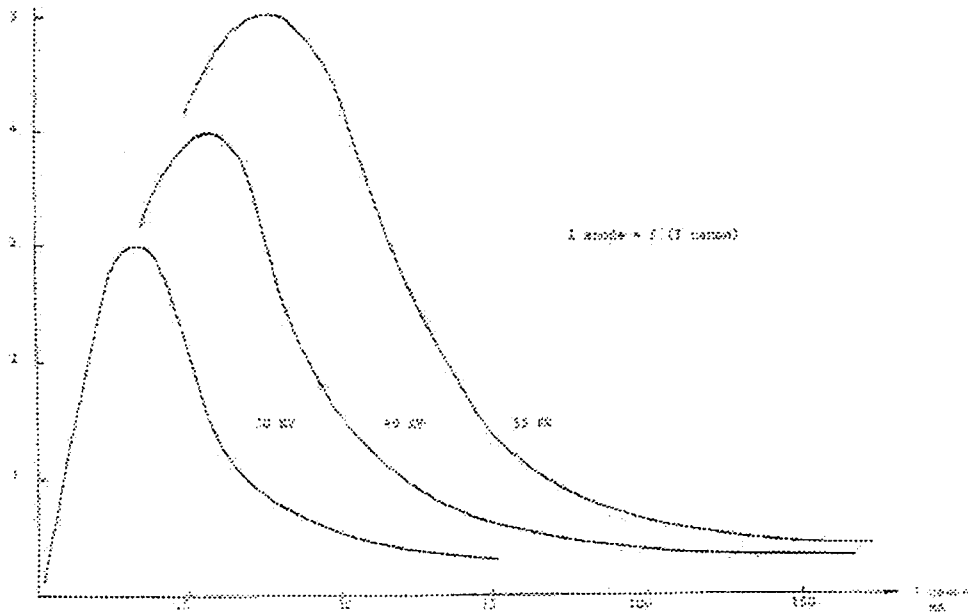
Makina, yüksek vakumda ve 30,45 ve 55 kV da çalıştırılabilecek durumdadır.



Şekil 7.2 Elektron ışın kaynağı makinasının ünite ve parçaları

7.2 Elektron Tabancası Ve Özellikleri

- Elektron tabancası çalışma sırasında 10^{-7} m.bar'a kadar bir vakuma ulaştırılabilir.
- Flaman vasıtası ile katod $700-800^{\circ}$ C dereceye kadar ısıtılır.
- Katot ile gövde arasında 30 kV, 45 kV veya 55 kV'luk yüksek gerilim potansiyeli uygulanabilir. (Şekil 7.3)



Şekil 7.3 Elektron tabancasının çalışma gerilimi ve buradaki akımın değerinin anot akımı üzerindeki etkisi

7.3 Katot

- Katot malzemesi (La B6) Lantan Exaborür'dür toz şeklinde sıkıştırılarak elde edilmiştir.
- Bu elementi tutan kılıf tantal (Ta)'dan yapılmıştır.
- Katodun ömrü yaklaşık 400-800 saat arasında, kullanma şartlarına göre değişir.
- Katodun belli bir çalışma süresi sonunda performansı düşer. Bu durum iki şekilde hissedilir.

1) Katotdan çıkan hüzmeye dağınık çıkar ve bir kısmı anot üzerine düşerek devresini bu yoldan tamamlar. Bu durum anot akımının yükselmesi, ışın tabancası akımının düşmesiyle hissedilir.

2) Katotdan çıkan hüzmeye dağınık çıkar, bu nedenle iyi bir odaklanma yapılamaz. Bunun sonucu ışın tabancası akımı yeterli değerde olmasına rağmen odaklama iyi yapılamayacağından hüzmelerin ısı etkisi zayıf olur [17].

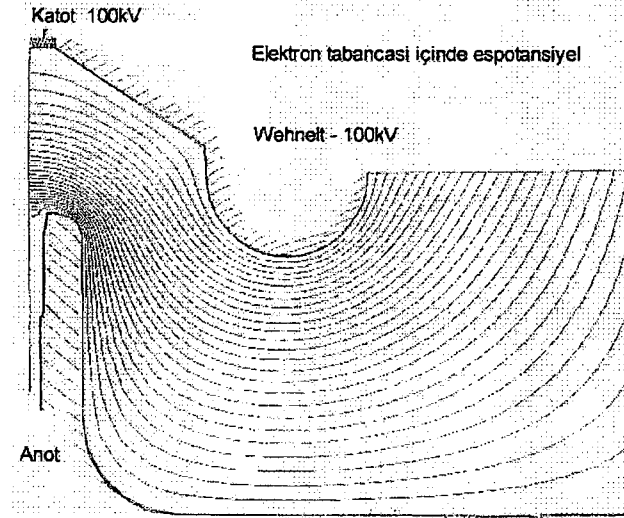
7.4 Flaman

- Katoddun elektron emisyonu sağlaması için "800° C'ye kadar ısıtılmasını sağlar.
- 5-10 V arası gerilim veren bir transformatör ile beslenir.
- İki katot değişimi süresi içerisinde bir seferde flaman değiştirmek gerekir.
- Flamanı düşük vakum değerinde ısıtmak veya yüksek değerde ısıtmak ömrünü azaltır.
- Flamanın çevresi oldukça sıcaktır. Bu nedenle izolasyonuna özen gösterilmelidir.

7.5 Wehnelt

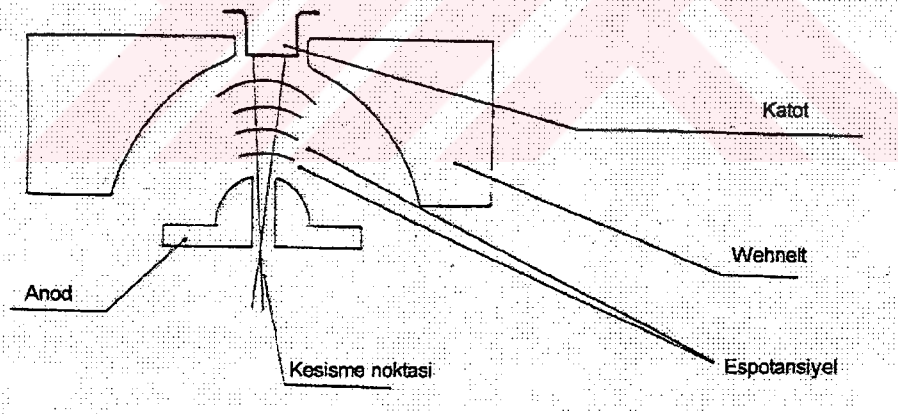
Emisyon durumundaki katot elektronlarının kendi izni olmadan katoddan kopmalarına engel olur. Eşpotansiyel eğrilerinin belirlenmesinde ve ışının anot – katot arasındaki hareketinin oluşmasında Wehnelt'in büyük önemi vardır. (Şekil 7.4 ve 7.6)

- Wehnelt, özel bir malzemeden (Z2.CN 18.10)'dan yapılmıştır.



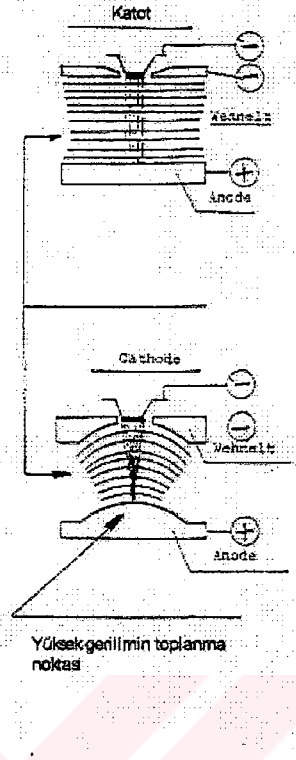
Şekil 7.4 Wehnelt'teki eşpotansiyel çizgileri

- Katoda nazaren $-3000V$ 'luk bir potansiyel ile, emisyon halindeki elektronları katoda iterek elektron akışını engeller.
- Wehnelt'in (-) potansiyel değeri azaltılırsa, katoddan kopan elektronlar kaynak parçası üzerine düşerek elektron akışı başlar. (Şekil 7.5)
- Wehnelt potansiyeli (0) voltaj düştüğünde elektron akışına hiç direnç göstermez [17].



Şekil 7.5 Eşpotansiyel çizgileri ve elektron ışınının hareketi

- Wehnelt'in çevresindeki elemanlar ve gövde arasındaki izolasyonuna çok özen gösterilmelidir.



Şekil 7.6 Elektronların anoda akışında Wehnelt'in etkisi

7.6 Anot

Yüksek geriliminin (+) ucuna bağlanmıştır. Katodun serbest elektronlarını çekerek onlara yüksek bir hız kazandırır.

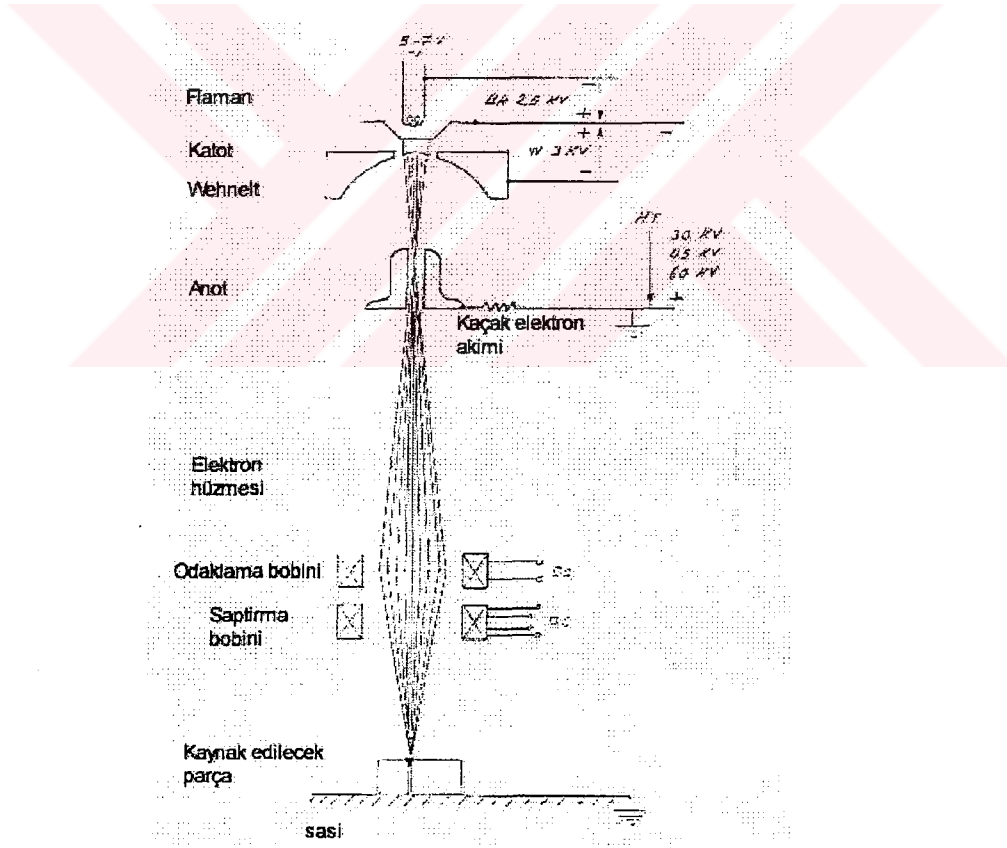
- Genel olarak bakırdan yapılmıştır. İki parçalıdır (anot taşıyıcı parça ve anot).
- Anodun ortası yaklaşık 3 mm deliktir. Delik tam katot ekseninde bulunur.
- Katoddaki serbest elektronları, Wehnelt'in de mücadele ettiği oranda anodun pozitif potansiyeli çeker ve elektronlara çok yüksek bir hız (140 000 km/sn) kazandırır. Bu hızda ve anot deliği çapından daha ince bir çapta (≈ 0.6 mm) odaklanmış hüzmeye anotta tutunamıyarak anod deliğinden ve kaynak anında açılan ışın tabancası deliğinden geçerek pozitif potansiyelli kaynak parçası üzerine düşer.
- Anot, gövde ile yalıtılmıştır.

7.7 Odaklama Bobini

Manyetik olarak elektron hüzmesinin odaklanmasını gerçekleştirir.

- Anotdan çıkan hüzme, elektronların doğrultuları ve birbirlerini de itmeleri nedeniyle açılmaya başlar. Bu kaynak yönteminde amaç, hüzmeyi parça üzerinde çok küçük bir noktaya uygulamak olduğundan, hüzmeyi odaklamak gerekir.
- Odaklama bobininin manyetik alan değeri değiştikçe hüzmenin odaklama noktası da değişir. Manyetik alan kuvvetlendirildikçe odak noktası parçanın üzerinde oluşur. Manyetik alan zayıfladıkça odak noktası parçanın içinde oluşur. Yüksek gerilimin değişmesi de odak noktasını değiştirir [17].

7.8 Saptırma Bobinleri

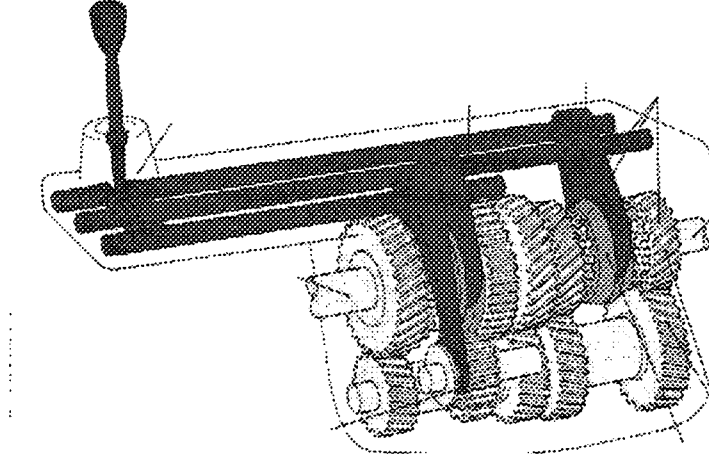


Şekil 7.7 Elektron ışın kaynağının prensip şeması ve saptırma bobinleri

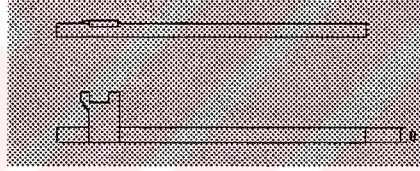
Manyetik olarak, elektron hüzmesinin parça düzlemi üzerinde istenilen şekilde gezdirilmesini sağlar.(Şekil 7.7)

7.9 Kaynak edilen parça

Vites kutusu içersindeki ileri ve geri vites milleri(Şekil 7.8) kaynak edilmiştir [18].

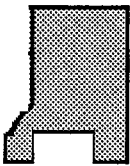
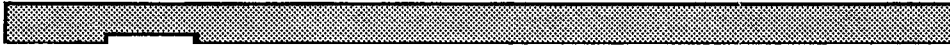


Şekil 7.8 Vites kutusu içersinde ileri ve geri vites milleri



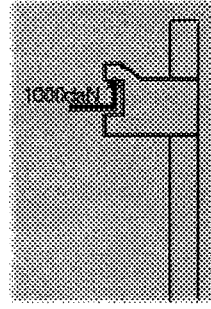
Şekil 7.9 Test edilen vites mili rneği.

Test edilen vites mili (atalı) resmi ve parçaları Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da görülmektedir



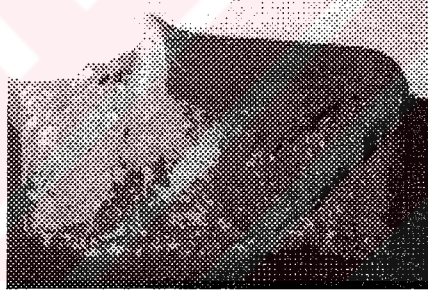
Şekil 7.10 Kaynak edilecek parçalar (stte) silindirik parça , (altta) düz parça.

7.10 Mekanik Testler



Şekil 7.11 Parçanın dayanım testi.

Parçanın çalışma yerindeki, üzerine gelen kuvvetlerin dinamik etkileri göz önüne alınarak kaynak bölgesini kesmeye zorlayacak biçimde (Şekil 7.11) ileri vites milleri için 1000 daN, geri vites milleri için 1200 daN yük uygulanmıştır [17]. Bu yükler altında kaynak bölgesinde herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır. Daha büyük yükler uygulanması halinde de kaynak bölgesinde oluşan kesme kuvvetlerine karşı dayanım göze çarpmaktadır.(Şekil 7.12)



Şekil 7.12 Deformasyona uğramış numune.

7.11 Malzeme ve Kaynak Kabiliyeti

Kimyasal analiz sonuçları tablo 7.1, tablo 7.2 ve tablo 7.3’de görülmektedir:

Tablo 7.1 Geri vites mili düz parça kimyasal analiz sonuçları

Fe2	C	Si	Mn1	P	S	Cr1	Mo	Ni3	Al	Cu1
98,08	0,385	0,154	0,601	0,0245	0,0118	0,287	0,003	0,007	0,049	0,005
Nb	Pb1	Sn1	Ti	V	W					
0,0134	0,0002	0	0,008	0	0,001					

Tablo 7.2 Geri vites mili silindirik parça kimyasal analiz sonuçları

Fe2	C	Si	Mn1	P	S	Cr1	Mo	Ni3	Al	Cu1
97,06	0,386	0,477	1,39	0,0007	0,0247	0,144	0,022	0,052	0,027	0,07
Nb	Pb1	Sn1	Ti	V	W					
0,0177	0,0009	0	0,012	0,089	0,004					

Tablo 7.3 İleri vites mili düz parça kimyasal analiz sonuçları

Fe2	C	Si	Mn1	P	S	Cr1	Mo	Ni3	Al	Cu1
98,3	0,363	0,17	0,552	0,0169	0,0112	0,276	0,004	0,009	0,042	0,017
N	Nb	Pb1	Sn1	Ti	V	W				
0,0075	0,0142	0,0002	0	0,008	0	0,001				

Karbon eşdeğeri milletlerarası kaynak enstitüsüne göre:

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

İleri vites mili düz parça için karbon eşdeğeri:

$$C_{eş} = 0,363 + 0,552/6 + 0,276/5 + 0,004/5 + 0,009/15 + 0,017/15$$

$$C_{eş} = 0,51$$

Geri vites mili silindirik parça için karbon eşdeğeri:

$$C_{eş} = 0,677$$

Geri vites mili düz parça için karbon eşdeğeri:

$$C_{eş} = 0,544$$

Karbon eşdeğerlerinden görüldüğü üzere çelikler, orta derecede kaynak kabiliyetine sahip olan gruba girmektedirler. Bu gruba giren çeliklerde emniyetli bağlantılar elde edebilmek için kaynak yöntemi özenle seçilmeli; uygun bir ön tavlama ve gerekli hallerde kaynak sonra gerilme giderme tavlaması göz önünde bulundurulmalıdır [19].

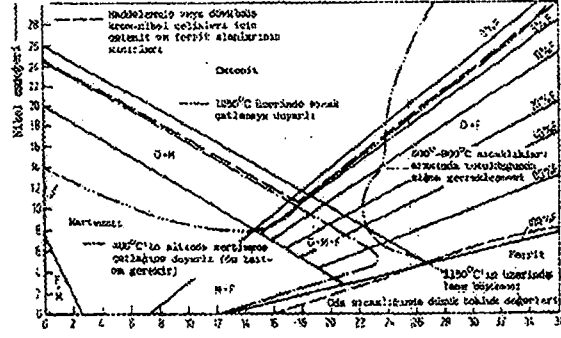
Kaynak metalinin iç yapısı hakkında tahmin yürütebilmek için Schaffler diagramından faydalanılmıştır. (Şekil 7.13)

$$\text{Krom eşdeğeri} = \% Cr + \% Mo + 1,5 \cdot \% Si + 0,5 \cdot \% Nb$$

$$\text{Nikel eşdeğeri} = \% Ni + 30 \cdot \% C + 0,5 \cdot \% Mn$$

Tablo 7.4 Geri vites mili parçalarının $Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerleri

	Geri vites mili düz parça	Geri vitesi mili silindirik parça
$Cr_{eş}$	0,528	0,89
$Ni_{eş}$	11,86	12,33



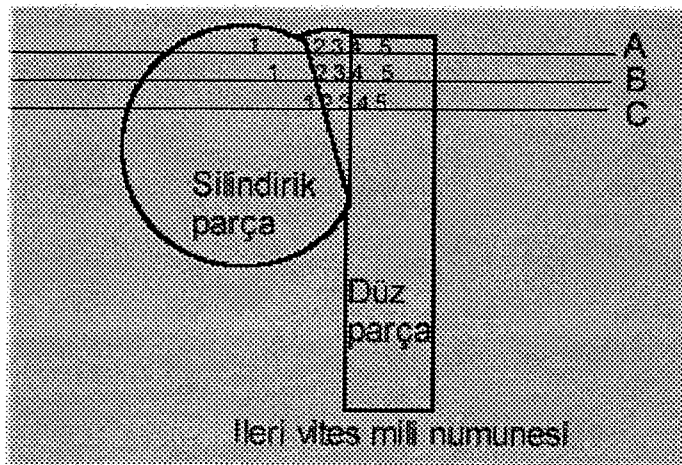
Şekil 7.13 Schaeffler diagramı.

Krom ve nikel eşdeğerleri belirlenen malzemeleri temsil eden noktalar Schaeffler diagramına taşındığında, kaynak bölgesinin %100 bir martenzitik bir iç yapıya sahip olacağı gözükmemektedir [20].

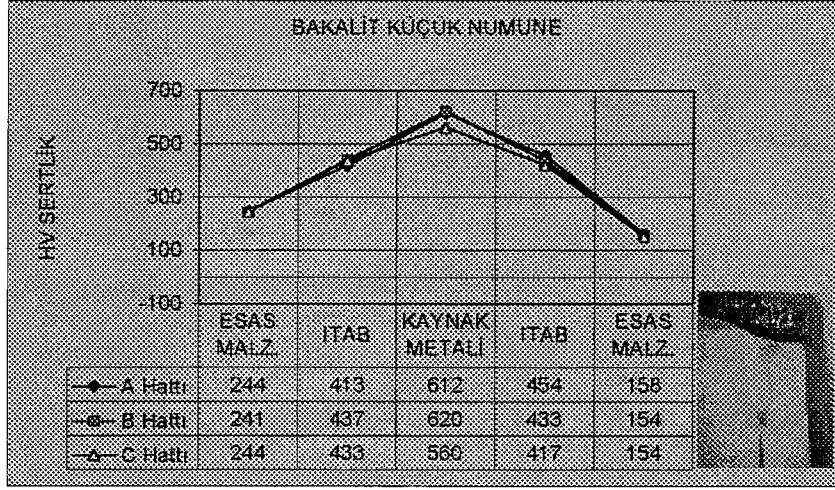
Kaynak bölgesinin mikroyapı analizleride bu sonucu doğrulamaktadır. Martenzit çok sert ve kırılgandır, sertliği ise içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Uygulamada en yüksek sertlik %0.7 – 0.8 C içeren çeliklerde gözükmemektedir. Martenzitik yapının gelişmesinde karbonun yanısıra en önemli etken soğuma hızıdır [19].

7.12 Sertlik Ölçümleri

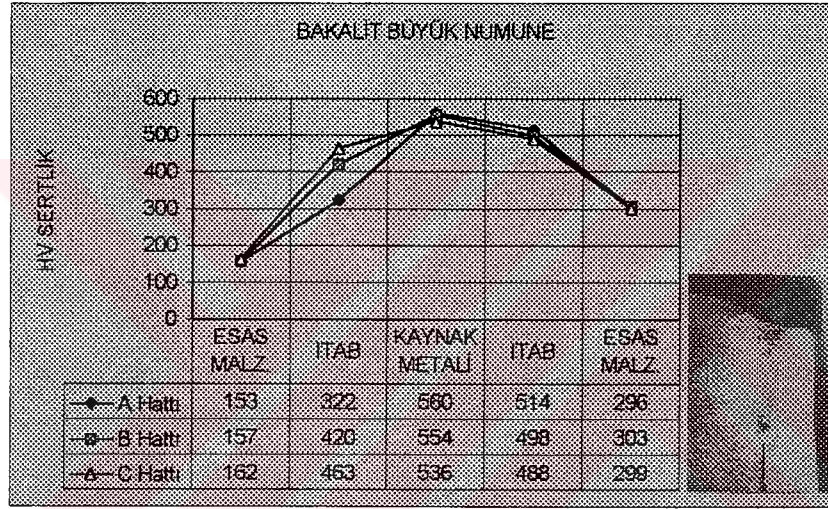
Numune üzerindeki üç ayrı hattan (Şekil 7.14) esas malzeme, geçiş bölgesi ve kaynak bölgesini içeren sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaynak bölgesindeki oluşan metalurjik yapıya uygun olarak bu bölgede belirgin bir sertlik artışı tespit edilmiştir. (Şekil 7.15 ve 7.16)



Şekil 7.14 Sertlik ölçümleri alınan numune



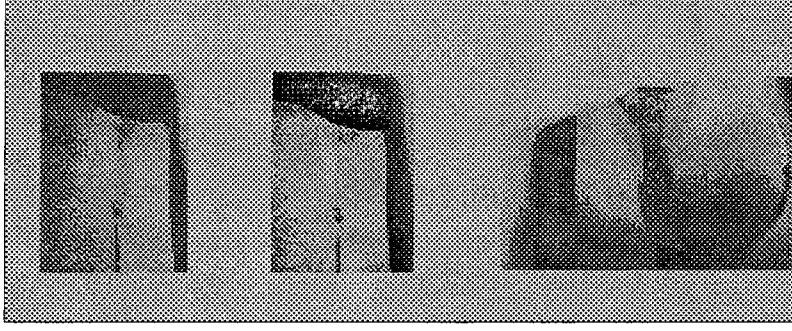
Şekil 7.15 İleri vites milinden alınan örneğin, sertlik ölçümleri.



Şekil 7.16 Geri vites milinden alınan örneğin, sertlik ölçümleri.

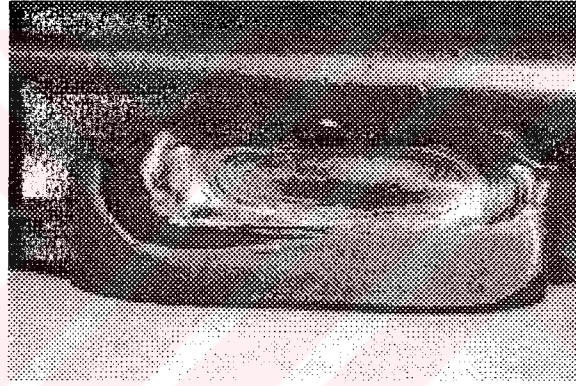
7.13 Metalurjik Yapı

Kaynak kesitinin 3,25 kez büyütülmüş hali şekilde 7.17'de görülmektedir. Makroskopik gözlemler ile dikişin oldukça dar olduğu ve nüfuziyetin hemen hemen üniform olduğu teşhis edilmiştir. Mekanik testlerden de görüleceği gibi kaynak sağlamdır. Hatalardan ve metal olmayan gayrisafiyetlerden arındırılmıştır. Kaynak banyosu ile ana metali ayıran çizgide süreksizlik veya boşluk yoktur. Kaynak bölgesine yakın bölgelerden alınan çeşitli numunelerde metalin yapısının aynı olduğu görülmektedir.

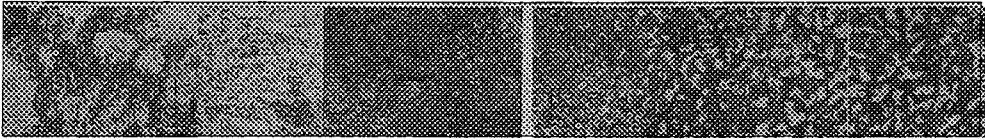


Şekil 7.17 Yapılan kaynakların makro kesitleri, 3.25 x.

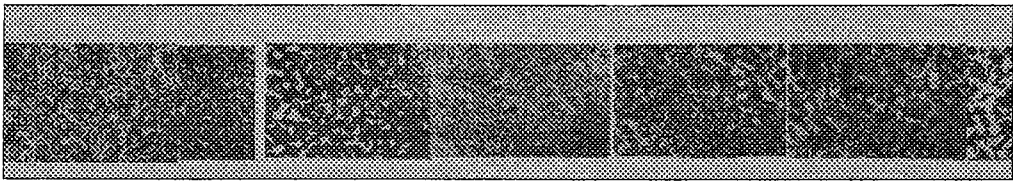
Yüksek vakum altında oksijen yokluğu kaynak banyosunun viskoz olmasına sebebiyet vereceğinden kaynak banyosu içindeki şiddetli hareketlerle ve yüksek soğuma oranlarıyla birlikte kaynak başında üst üste yığılan kabuk izleri görülmektedir (Şekil 7.18).



Şekil 7.18 Dikişin üstünde üst üste yığılan kabuk izleri.



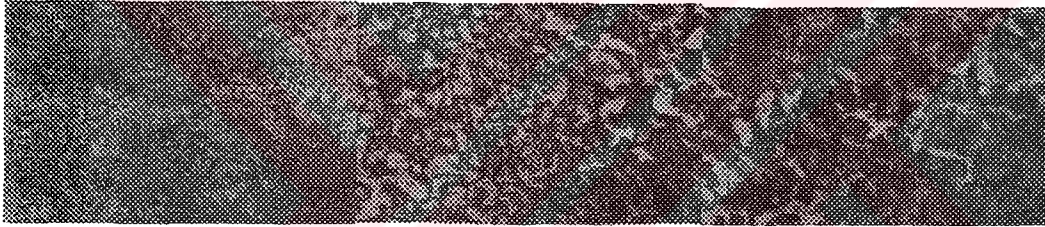
Şekil 7.19 Geri vites milinden alınan örneğin kaynak bölgesinin iç yapı dağılımı, 250x.



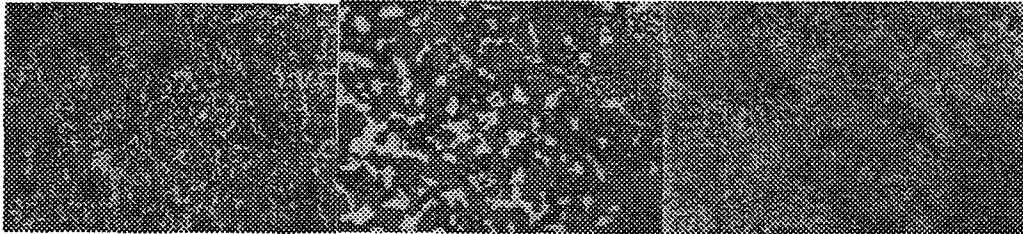
Şekil 7.20 İleri vites milinden alınan örneğin kaynak bölgesinin iç yapı dağılımı, 250x.



Şekil 7.21 Kaynak dikişindeki geçiş bölgeleri, 80x.



Şekil 7.22 İleri vites milinden alınan örneğin üç farklı yapıdaki geçiş bölgeleri , 250x.



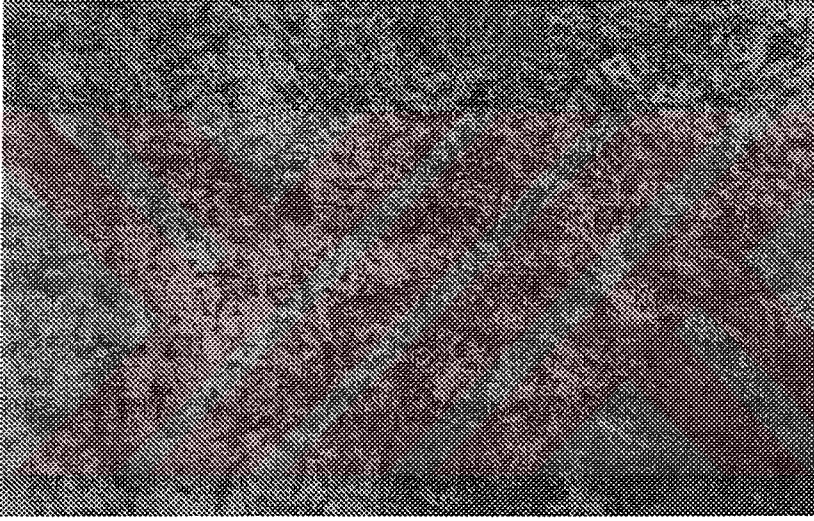
Şekil 7.23 İleri vites milinden alınan örneğin üç farklı yapıdaki geçiş bölgeleri, 250x.



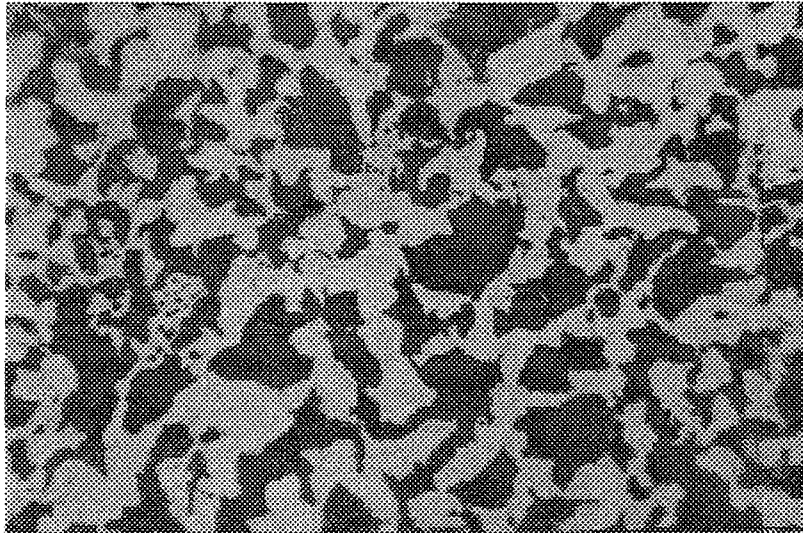
Şekil 7.24 Geri vites milinden alınan örneğin üç farklı yapıdaki geçiş bölgeleri, 250x



Şekil 7.25 Geri vites mili kaynak dikişinin geçiş bölgesindeki görünümü, 400x.



Şekil 7.26 Kaynak bölgesindeki martenzitik yapı. 250 x



Şekil 7.27 Esas malzemenin iç yapısı (ferrit-perlit) 250 x

Çeliklerde iç yapı ve dönüşüm sıcaklıkların demir-karbon diagramına tam uyması ancak yavaş soğuma halinde mümkündür. Çoğunluk uygulamada olduğu gibi burada da yüksek soğuma hızı ve kuvvetli aşırı soğuma nedeniyle dönüşümler daha alçak sıcaklıklarda gerçekleşir. Dolayısıyla elde edilen iç yapı büyük ölçüde dönüşüm sıcaklığına yani karbonun (ve diğer alaşım elementlerinin) yayınma koşullarına bağlı olur. Söz konusu sıcaklık düştükçe karbon atomlarının hareketliliği azalır, öncelikle karbürlerin biçim, büyüklük ve dağılımları değişir. Alaşım elementleri de karbonun yayınması yanında ferrit oluşumu için gerekli olan demirin öz yayınmasını ayrıca dönüşüm süresi ve dolayısıyla dönüşüm iç yapısını etkilerler [20].

Şekil 7.19 ve 7.20’de kaynak dikişinin genel durumu resmedilmiştir. Şekil 7.21’deki tek resimde kaynak dikişindeki dönüşümler belirginleştirilmiş. Şekil 7.22 ve 7.23’de geri vites milinin ve şekil 7.24’de ileri vites milinin kaynak yerindeki transformasyonlar ferrit-perlit yapısından martenzite dönüşümü belirgin bir şekilde göstermektedir.

Şekil 7.25’de tam ITAB üzerindeki değişim görülmektedir. Bu değişim şekil 7.26’daki martenzitik iç yapıyla sonuçlanır. Bu, elektron ışın kaynağında esas malzemenin (Şekil 7.27) uğradığı dönüşümün tipik karakteristiğidir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektron ışın kaynağı yöntemi ülkemizde pek tanınmamakla birlikte, uçak ve otomotiv sektöründe dünyada gelişerek kullanılmaktadır. Uçak ve helikopterlerin kompozit malzemelerinin birleştirilmesi problemine çok başarılı alternatif bir çözüm olacak bu yöntem, atmosferik basınç altındaki uygulamalarının artmasıyla birlikte büyük otomobil imalatçılarının özellikle seri üretime uygun parçaların imalinde ki kullanımı dikkatlerini çekmiştir.

Aluminyum ve titanyumun kaynağındaki üstün performansı bu malzemelerle imalat yapan değişik sektörler tarafından değerlendirilmelidir.

Özellikle otomotiv sektöründe seri üretime uygun mamul ve yarı mamul parçaların kaynağında, diğer yöntemlerle güçlükle başarılabilen uygulamalar için çok önemli bir alternatif teşkil etmektedir.

Yatırım masraflarının yüksekliğine rağmen ilk etapta seri üretim yapan otomobil, uçak ve helikopter imalatçıların üzerinde önemle durması gereken bir sahadır. Ayrıca nükleer santral yapımı ve tıp alanında protezler için kullanılan özel malzemelerinin bu yöntemle yapılan kaynaklarında başarılı denemeler vardır.

Yöntemin diğer bir dikkat çekici özelliği, farklı metallerin kaynağındaki geniş uygulama alanıdır ki bu konu üzerinde çalışılması gereken büyük bir potansiyele sahiptir. Fiziksel prensipleri, metal üzerindeki davranışları ve nüfuziyet şartları hala bir çok araştırmaya açıktır ve giderek artan bir şekilde yayınlar yapılmaktadır.

Çok sayıda parametre ve bunların birbirleriyle etkileşimi ve optimum çözümler aranması ayrı çalışmaları gerektirmektedir. Bunun için son yıllarda gelişen bilgisayarla veri işleme teknikleri, ışının malzeme yüzeyindeki geometrik haritalarını çıkarabilmekte, optimizasyon için "Fuzzy Logic" gibi teknikler de kullanılmaktadır.

Son olarak, üzerinde bir hayli uzmanlaşmayı gerektiren bu konunun yetişmiş elemana ve üzerinde çalışma yapacak uzman kaynak mühendislerine ihtiyacından bahsedilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] SCHULTZ , H. Electron Beam Welding , Woodhead Publishing Ltd., England, (1993)
- [2] MELEKA , A. H. Electron Beam Welding : Principles and Practice , McGraw-Hill , New York, (1971)
- [3] OLSON , D.L., DIXON , R., LIBY , A.L. Welding Theory and Practice , Elsevier Science Publishers B.V., The Netherlands. pp. 247, (1990)
- [4] BAKISH , R. Introduction to Electron Beam Technology, (1962)
- [5] RIBTON , C. TWI Bulletines, (1993)
- [6] SCHILLER , S., HEISIG , U., PANZER , S. Electron Beam Technology, VEB Verlag Technik , Berlin, (1982)
- [7] OATES , R. W. Amerikan Welding Society Handbook , 8. Edition , pp. 64-271, (1996)
- [8] PATTON , W.J. The Science and Practice of Welding , pp.356, (1967)
- [9] WELDING HANDBOOK, Metals and Their Weldebility ,pp.70.39, (1972)
- [10] PATTERSON, A., MAHIN , K.W. Weldebility of Materials , ASM International , Ohio . pp. 341-351, (1990)
- [11] METZGER , G., LISON , R. Electron Beam Welding of Dissimilar Metals , Welding Journal, pp. 230s-240s, (1976)
- [12] EICHHORN , F., KOCH , H., MATTING, A. Elektronenstrahlschweißen, DVS, Düsseldorf . pp. 68-101, (1967)
- [13] DANCE , B. An Introduction to Electron Beam Welding Metallurgy , Welding & Metal Fabrication, pp. 216-221, (1994)
- [14] SCHWARTZ , M.M., Modern Metal Joining Techniques , Wiley Interscience , New York. pp.121-141, (1968)
- [15] STEIGERWALD STRAHLTECHNIK BROSCHÜREN , (1996)
- [16] SCHULZE , R., SCHUBERT , G. Atmosphärisches Elektronenstrahlschweißen , Schweißen und Schneiden , Vol. 12, pp.46, (1994)
- [17] ERGİN , N. Elektron Hüzmesi ile Kaynak Eğitim Notları, RENAULT, (1990)

- [18] DAS GROSSE ADAC AUTOBUCH, Das Beste GmbH., Stuttgart. pp.82,
(1976)
- [19] ANIK , S., ANIK , E.S., VURAL , M. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı,
Birsen Yayınevi, İstanbul, (1993)
- [20] GÜLEÇ , Ş., ARAN , A. Malzeme Bilgisi Cilt 2 , MBEAE Matbaası , Gebze.
pp.99, (1987)



ÖZGEÇMİŞ

E. Ercan CİHAN 1970 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini Beylerbeyi İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini Beylerbeyi Lisesi'nde okul ikinciliği ile tamamladıktan sonra, İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliğinden 1993 yılında mezun olarak lisans diplomasını aldı. 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Fakültesindeki yüksek lisans eğitimine bir yıl İngilizce hazırlıktan sonra başladı. Bir yıl Hidropak A.Ş. firmasında çalıştı. Enjeksiyon makinası hidroliği ve merkezi yağlama sistemleri üzerine çalışma ve makaleleri mevcuttur.



Yazın ve İncelemler
2023-2024
2023-2024