



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**S355J2+N MALZEMELERİN ELEKTROCURUF KAYNAK
YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

UMUT DEMİRBAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERKAN APAY**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ BAŞLIĞI BURAYA YAZILMALIDIR

Umut DEMİRBAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Behçet GÜLENÇ

Gazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 06/08/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

06 Ağustos 2019

Umut DEMİRBAŞ

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca deneyimlerinden ve bilgilerinden faydalandığım, Akça İskele A.Ş.'den Hüseyin AKÇA beye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP- 2019.07.04.916 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

06 Ağustos 2019

Umut DEMİRBAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇELİK VE ÜRETİMİ.....	3
2.1. ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	9
3. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELER VE TOZALTI KAYNAK YÖNTEMİ	11
3.1. KAYNAĞIN TARİHİ.....	11
3.2. TOZALTI ARK KAYNAĞI	14
3.2.1. Tozaltı Ark Kaynağının Genel Özellikleri.....	15
3.2.2. Tozaltı Ark Kaynağının Avantajları	16
3.2.3. Tozaltı Ark Kaynağının Donanımları	17
3.2.4. Tozaltı Ark Kaynağının Parametreleri.....	17
3.2.5. Tozaltı Ark Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri.....	18
3.2.6. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları.....	18
3.2.7. Tozaltı Kaynağında Ark Tutuşturma	19
3.2.8. Tozaltı Kaynağında Dikişin Formu ve Tesir Eden Faktörler.....	20
3.2.9. Tozaltı Kaynak Usulleri.....	22
4. ELEKTROCURUF KAYNAĞI.....	24
4.1. ELEKTROCURUF KAYNAĞININ ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	24
4.1.1. Elektrocüruf Kaynağının Avantajları.....	27
4.1.2. Elektrocüruf Kaynağının Dezavantajları	29
4.1.3. Elektrocüruf Kaynağının Gelişimi Ve Kullanıldığı Yerler	29
4.1.4. Elektrocüruf Kaynağının Sınıflandırılması.....	33
4.1.5. Tel Elektrot Metodu.....	34
4.1.6. Eriyebilen Sevk Kanalı Metodu	35
4.1.7. Levhasal elektrot metodu	36
4.1.8. Yüksek Hız Elektrocüruf Kaynağı Metodu	37
4.2. ELEKTROCÜRUF KAYNAĞI DONANIMI	39
4.2.1. Elektrocüruf Makinalarının Karakteristik Özellikleri	39

4.3. ELEKTROCÜRUF KAYNAK PARAMETRELERİ.....	43
4.3.1. Şekil Faktörü	43
4.3.2. Kaynak Gerilimi.....	44
4.3.3. Kuru Elektrot Mesafesi	45
4.4. ELEKTROCÜRUF KAYNAĞINDA KULLANILAN ELEKTROTLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	45
4.5. ELEKTROCÜRUF KAYNAĞINDA KULLANILAN TOZLAR	47
4.6. ELEKTROCÜRUF KAYNAĞINDA ISININ ETKİSİ.....	48
4.7. ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ	50
4.7.1. Ergiyen Bölge.....	53
4.7.2. Isının Tesiri Altında Kalan Bölge	54
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
5.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER	56
5.2. DENEY DONANIMI	57
5.3. KAYNAK DİKİŞİNİN OLUŞTURULMASI	57
5.4. KAYNAKLI PARÇALARDAN DENEY NUMUNELERİNİN ÇIKARILMASI	58
5.5. DENEYLERİN YAPILIŞI	60
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	61
6.1. ULTRASONİK KONTROL	61
6.2. MANYETİK KONTROL.....	61
6.3. MİKROYAPI DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	62
6.4. ÇEKME DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	69
6.5. DARBE ÇENTİK DENEYİ SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	71
6.6. EĞME DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	73
6.7. SERTLİK DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	75
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
7.1. SONUÇLAR.....	77
7.2. ÖNERİLER.....	78
8. KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Döküm işlemi [43].....	4
Şekil 2.2. Haddelenmiş çelik [43].....	4
Şekil 2.3. Çelik ürünlerin haddelenmesi [56].	5
Şekil 2.4. Silisyum cevheri [1].....	5
Şekil 2.5. Alüminyum cevheri [2].	6
Şekil 2.6. Manganez cevheri [3].	6
Şekil 2.7. Bakır cevheri [4].	6
Şekil 2.8. Krom cevheri [5].	7
Şekil 2.9. Nikel cevheri [6].	7
Şekil 2.10. Molibden cevheri [7].	7
Şekil 2.11. Vanadyum cevheri [8].	8
Şekil 2.12. Kükürt cevheri [9].	8
Şekil 2.13. Fosfor cevheri [10].	9
Şekil 2.14. Azot cevheri [11].	9
Şekil 3.1. Toz altı kaynak yöntemi [37].....	15
Şekil 3.2. İç ve dış dikiş formu şematik olarak gösterilişi [16].	20
Şekil 4.1. Elektrocüruf metodunun şematik görünüşü [42].	25
Şekil 4.2. Kalın kesitli malzemenin elektrocüruf kaynağı ile birleştirilmesi.....	32
Şekil 4.3. Bir döküm gemi kasnağının elektrocüruf yöntemiyle birleştirilmesi [56].	33
Şekil 4.4. Elektrocüruf kaynak yöntemi gösterimi	35
Şekil 4.5. Eriyebilen sevk kanalı kaynak metodunun şematik görünüşü [52].	36
Şekil 4.6. Eriyebilen sevk kanalı kaynak metodunun görünüşü.	37
Şekil 4.7. Elektrotla birlikte metal tozlar kullanılarak yapılan yüksek yük elektrocüruf kaynağı; 1- Su soğulma 2-Metal tozu akış 3-Magncük saha 4- Elektrot içi 5- Bakır ayak 6-Cüruf banyosu 7-Erimiş banyo 8-Ana metal 9-Kaynak metali [52].	39
Şekil 4.8. Elektrocüruf kaynağı donanımı.	40
Şekil 4.9. Elektrocüruf kaynağının kaynak banyosu şekli [56].	44
Şekil 4.10. Kaynak geriliminin kaynak banyosuna etkisi ve toz iletkenliğinin kaynak banyosuna şekline etkisi [52].	45
Şekil 4.11. Elektrocüruf kaynağında ısı membasının görünüşü [56].	49
Şekil 4.12. 25 mm kalınlığında bir C-Mn çeliğinde C eş ile dikiş altı sertliği arasındaki ilişki [52].	52
Şekil 4.13. Kaynak bölgesi (Şematik) [52].	52
Şekil 4.14. Alın ve iç köşe dikişlerinde segregasyon bölgeleri [44].....	53
Şekil 4.15. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgedeki Tane Yapısı Değişimi [44].	55
Şekil 5.1. Deney donanım ünitesi.	57
Şekil 5.2. Kaynak plakası.	58
Şekil 5.3. Deney numunesinin hazırlanışı.	58
Şekil 5.4. Çekme testi numuneleri.	59
Şekil 5.5. Darbe çentik testi numuneleri.	59
Şekil 5.6. Eğme testi numuneleri.	59
Şekil 6.1. Ultrasonik kontrol cihazı ile testlerin gerçekleştirilmesi.	61

Şekil 6.2. Manyetik kontrol cihazı ile testlerin gerçekleştirilmesi.	62
Şekil 6.3. Kaynak ve ITAB bölgesinin makro görüntüsü.	63
Şekil 6.4. Kaynak ve ITAB bölgesinin mikro görüntüsü.	63
Şekil 6.5. Ana malzemeden iri taneli bölgeye geçiş (x70).	64
Şekil 6.6. İri taneli bölgeden kaynak metaline geçiş (x70).	65
Şekil 6.7. Makro yapı fotoğrafı üzerindeki mikroyapı bölgelerin gösterimi. a)Ana malzeme S355J2+N, b)Ana malzeme + ITAB S355J2+N, c)ITAB S355J2+N, d)ITAB + kaynak S355J2+N, e)Kaynak S355J2+N.	66
Şekil 6.8. Ana metalin mikro yapısı (x70).	67
Şekil 6.9. İnce taneli bölgenin mikro yapısı (x70).	67
Şekil 6.10. İnce tane-ITAB'ın mikro yapısı (x70).	68
Şekil 6.11. Kaynak metalindeki iri taneli bölgesinin Widmanstatten ferrit mikro yapısı (x70).	68
Şekil 6.12. Kaynak metalinde asiküler ferrit yapı (x70).	69
Şekil 6.13. 1 Numaralı deney numunesi çekme grafiği.	69
Şekil 6.14. 2 Numaralı deney numunesi çekme grafiği.	70
Şekil 6.15. Çekme testi sonrası 1 nolu deney numunesi.	70
Şekil 6.16. Çekme testi sonrası 2 nolu deney numunesi.	70
Şekil 6.17. Darbe çentik deney cihazı.	72
Şekil 6.18. Darbe çentik numuneleri.	72
Şekil 6.19. Eğme testlerinin gerçekleştirilmesi.	74
Şekil 6.20. Eğme testi sonrası numuneler.	74
Şekil 6.21. Sertlik deney sonuçları.	76

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Tozaltı kaynağında dikişin formu üzerine tesir eden faktörlerin tesir şiddetleri.	22
Çizelge 4.1. S2Si elektrotunun konsantrasyonu	46
Çizelge 4.2. Çelik cinsine göre tercih edilen elektrod türleri.	46
Çizelge 5.1. Ana malzemenin spektrumları.	56
Çizelge 5.2. GEKA S2Si 4 mm kaynak teli kimyasal bileşimi (% ağırlık) ve kaynak dikişi mekanik özellikleri.	56
Çizelge 5.3. GEKA ELIFLUX ESW Elektrocuruf kaynak tozu (% ağırlık).	57
Çizelge 6.1. AWS' ye göre enine çekme deney sonuçları.	70
Çizelge 6.2. Darbe çentik deney tablosu.	73
Çizelge 6.3. AWS' ye göre eğme deney sonuçları.	75
Çizelge 6.4. Sertlik deney sonuçları (HV 10).	76

KISALTMALAR

AWS	American Welding Society
ESW	Electroslag Welding
FHWA	Federal Highway Administration
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
HMK	Hacim merkezli kübik yapı
HSP	Hegzagonal sıkı paket
HV	Vickers sertlik değeri
IIW	International Institute of Welding
ITAB	Isı tesiri altında kalan bölge
MN	Mega Newton
PAW	Plasma Welding
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
YMK	Yüzey merkezli kübik yapı

SİMGELER

Ψ	Şekil etkeni
I	Kaynak amperi
Q	Kaynak banyosundaki ısı
U	Kaynak gerilimi
σ_E	Elastiklik sınır gerilmesi
σ_F	Akma sınırı



ÖZET

S355J2+N MALZEMELERİN ELEKTROCURUF KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Umut DEMİRBAŞ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Ağustos 2019, 81 sayfa

Günümüz metal işleri endüstrisinde kaynak hayati bir öge olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelişen teknoloji ile beraber daha efektif, ekonomik ve uygulanması kolay kaynak metotları ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemlerden birisi olan elektrocuruf kaynağı özellikle iri ve kalın cidara sahip malzemelerde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Elektrocuruf yöntemiyle yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilebilmektedir. Kontrollü katılma yapısal bütünlüğü arttırmaktadır. Bu yüzden elektrocuruf kaynak yöntemi yüksek teknoloji gereken yüksek performanslı malzemelerin birleştirilmesinde tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Bu kaynağın uygulanması, yapılan kaynak sırasında ortaya çıkan cürufun, verilen elektrik akımına karşı direnç göstermesi ile yüksek ısıya ulaşması ve bu ısının kaynakta kullanılması prensibine dayanır. Kaynak sırasında ortaya çıkan ısının efektif bir biçimde kullanılması, ana metale aktarılan ısının oldukça yüksek olması gibi olgular nedeniyle özellikle kalın kesitli malzemelerin kaynatılmasında kullanılan bir yöntemdir. Çelik içerisine karışan inklüzyonlar şekil, bileşim, yoğunluk ve boyutlarına bağlı olarak çeliğin yüzey özellikleri, derin çekme, yorulma, darbe dayanımı ve kopma dayanımı gibi mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilerler. Bu olumsuz etkileri gidermek için kullanılan yöntemlerinin başında elektrocuruf ergitme yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada S355J2+N malzemelerin elektrocuruf kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliği çeliğinin çekme, sertlik ve mikro yapıları tahribatlı, tahribatsız muayene yöntemleriyle incelenmiştir. Isı etkisine maruz kalan bölgede ergime ve katılma sürecinin diğer kaynak yöntemlerinden farklı olmasından dolayı tane yapısı kaynak metali ve ITAB da farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Daha çok döküm işlemini andıran bu olay mikro ve makro yapı olarak incelenmiştir. Diğer kaynak yöntemlerinde soğumaya bağlı oluşan balık kılçığı yapı yerine kaynak merkezinde bütünleşen aynı eksene sahip yapılar ortaya çıkmıştır. Tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri sonucu elektrocuruf kaynak yöntemi uygulanabilir hızlı ve dayanıklı bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır.

Anahtar sözcükler: Elektrocuruf kaynağı, S355J2+N, ESW.

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF WELDABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF S355J2+N MATERIALS BY ELECTROSLAG WELDING METHOD

Umut DEMİRBAŞ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan APAY

August 2019, 81 pages

In today's metalworking industry, welding is a vital element. With the developing technology, more effective, economical and easy to apply welding methods are emerging. One of these methods, electroslag welding, is used effectively especially in coarse and thick-walled materials. High quality product can be obtained by electrosurgical method. Controlled solidification increases structural integrity. Therefore, electroslag welding is a preferred method for the production of high-performance materials used in industry branches where high technology is required. The application of this welding is based on the principle that the slag produced during the welding is resistant to the given electrical current and reaches high temperature and that this heat is used in welding. It is a method used especially for welding thick section materials due to the fact that the heat generated during welding is used effectively and the heat transferred to the base metal is quite high. Inclusions mixed into steel in any way adversely affect the mechanical properties of the steel such as surface properties, deep drawing, fatigue, impact strength and tensile strength depending on the shape, composition, density and dimensions. The main methods used to eliminate these negative effects are electrosurgical melting. In this study, the tensile, hardness and microstructures of the weldability of S355J2 + N materials by electrosurgical welding were investigated by destructive and non-destructive testing methods. Since the melting and solidification process is different from other welding methods in the area exposed to the effect of heat, the grain structure weld metal and ITAB have different results. This event, which is more reminiscent of the casting process, has been examined as micro and macro structure. In the other welding methods, instead of cooling fishbone structure, structures with the same axis were integrated in the welding center. As a result of destructive and non-destructive testing methods, electrosurgical welding method has proved to be a fast and durable method applicable.

Keywords: Electroslag welding, ESW, S355J2+N.

1. GİRİŞ

Kaynak, sanayi sektöründe vazgeçilmez bir birleştirme yöntemidir. Gün geçtikçe daha hızlı, daha kaliteli ve daha ekonomik kaynak yöntemleri gelişim göstermiştir. 2000’li yılların başında ağır konstrüksiyonların imalatında toz altı kaynak yöntemi vazgeçilmez bir yöntem olarak karşımıza çıkmıştır. Toz altı kaynak yöntemiyle malzemede meydana gelen yapısal bozukluklar, boyut değişimi ve ekonomik kaynak yöntemi arayışı alternatif kaynak yöntemi bulunmasına neden olmuştur. Bu arayışlar sonucu elektrocuruf kaynak yöntemi bulunmuştur. Demir yolları, çelik köprüler ve otoyollar gibi kalın kesitli malzemelerin kullanıldığı yapılar başta ABD olmak üzere Rusya ve İngiltere’de elektrocuruf kaynak yöntemiyle imal edilmeye başlanmıştır.

Elektrocuruf kaynak yönteminde işlem, curufun elektrik akımına gösterdiği direncin oluşturduğu ısıyla ergime sağlamasıdır. Günümüzde kalın kesitli malzemelerin dik pozisyonda kaynatılması için kullanılan direnç ergitme kaynak yöntemidir. Kaynaktan çok dökümü andıran bir yöntemdir. Bu yapılan işlemle elektrocuruf kaynağında tek pasoda kalın kesitlerin kaynatılması, kalifiyeli personel ihtiyacı duyulmaması, yüzey temizliğinin kolay olması avantaj olarak görülmektedir.

Elektrocuruf kaynağı yönteminde curuf içinde geçen elektrik akımına karşı bir direnç gösterir. Gösterilen bu direnç sonucunda bir ısı meydana gelir. Meydana gelen ısı hem curufu ergiyik halde tutar hem de dolgu metali elektrot ve birleştirilecek olan malzeme ergitilerek kaynak işlemi gerçekleştirilmiş olur. Ergiyik curuf kaynak banyosunu da korumuş olur. Ergiyik curuf, birleştirme boyunca kaynak banyosuyla beraber hareket eder. Sıvı curuf, dolgu metali ve ana malzeme arasında geçen elektrik akımına karşı oluşturduğu direnç neticesinde çıkan ısı sayesinde sıvı halde kalır.

Elektrocuruf kaynağında iki tür uygulama yöntemi vardır. İlk yöntem ergimeyen spiral boru içerisinden tel elektrot sürülerek doğrudan ergimiş curuf banyosuna daldırılır. İkinci yöntem ise ilkinе benzer şekilde kaynak boyu kadar ergiyen boru seçilir ve bu boru içerisinden kaynak teli sürülür, kaynak teli ve spiral boru beraber curuf banyosunda ergir. Elektrocuruf yönteminde kaynatılacak olan plakaların arası su ile soğutulan bakır pabuçlarla kapatılarak, kaynak banyosu için dört yanı kapalı alan oluşturulur. Plakaların altına bakır veya seramik altlıklar konur. Altlık üzerine bir miktar kaynak tozu dökülür.

Ark oluştuktan sonra kaynak tozu ve kaynak teli ergitilerek kaynak işlemi başlamış olur. Tozun ergimesi ile curuf banyosu meydana gelir. Curuf banyosunun elektrik direnci arkın elektrik direncinden daha büyük olduğundan ark söner. Bu direnç hem sıvı curufun ısını koruyarak katılaşmasını engeller hem de dolgu metali ve ana malzemenin ergimesini sağlayarak kaynak işlemini başlatmış olur.

Kaynak sırasında sıcaklık yaklaşık olarak 2000 °C ye kadar çıkar. Kaynak işlemi sürerken tel sürme mekanizması ve bakır papuçlar aynı hızla yukarı doğru hareket eder. Curuf banyosunun sıcaklığı, ana metal ve dolgu metalinin sıcaklığını aşmamalıdır. Ergiyen metal ile dolgu metali curuf altında toplanarak kaynayacak malzemenin şekline göre katılaşır. Ergime ilerledikçe elektrotta küçülür. Elektrocuruf kaynağı yatay pozisyonlarda elverişli değildir. Bu yüzden elektrocuruf kaynağı dikey pozisyonda daha elverişlidir. Elektrocuruf kaynağında curuf tabakasının fazla kalın olunması istenmez. Curuf tabakası ne kadar kalın olursa direnci azalır bu nedenle banyo sıcaklığı düşer. Elektrocuruf kaynağı yönteminde 100 kg kaynak metali için yaklaşık olarak 5 kg kaynak tozuna ihtiyaç vardır. Özlü tel kullanıldığında curuf için toza ihtiyaç duyulmaz, gerekli tozu telin özünden alır. Elektrocuruf kaynağı hem zaman açısından önemli hem de kalite açısından kalın kesitli malzemeleri tek pasoda sağlam kaynak oluşturması nedeniyle önemlidir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak elektrocuruf kaynak yöntemiyle S355J2+N çeliğinin kaynaklanabilirliği incelenmiş ve sonucu sunulmuştur.

2. ÇELİK VE ÜRETİMİ

Demir cevheri dünya üzerinde en çok bulunan metaldir. Demir elementi yalın halde bulunmaz, içerisinde silisyum oksit bulundurur. Birçok demir cevheri az miktarda olsa Fosfor, Alüminyum, Kükürt, Bakır, vb. elementleri içermektedir.

Demir cevheri;

- Oksitler [magnetit (Fe_3O_4) ve hematit (Fe_2O_3)],
- Hidroksitler [geotit ($\text{FeO}(\text{OH})$) ve limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$)],
- Karbonatlar [siderit(Fe_2CO_3)] halinde bulunur.

Demir cevherleri magnetit, hematit, geotit, limonit ve siderit yüksek fırınlarda kok kömürüyle birlikte yakılıp ergiterek ham demir elde edilir. Kok kömürü yüksek fırında önemli iki görev üstlenir. Bunlar;

- Sıcaklık,
- Reaksiyon.

Kok kömüründeki karbon demir metali ile tepkimeye girerek alaşım oluşturur. Bu alaşım kükürt, silisyum ve alüminyum barındırır. Reaksiyon sonrasında curuf ve yüksek fırın gazı meydana gelir. Curufun yoğunluğu demirin yoğunluğundan daha az olduğundan ham demir üzerinde toplanarak yüksek fırından dışarı atılır. Yüksek fırında elde edilen demirin karbon oranı yüksek olduğu için şekil değiştirmeye ve kaynaklanabilmeye elverişli değildir. Bu sebeplerden dolayı ham demir işlem görerek, kullanılan bazı metotlar ve ilavelerle çelik ya da dökme demir üretilebilir. Dökme demir içerisinde %2~4 karbon bulunduracak şekilde kupol fırınında üretilir. Çelik ise Oksijen Üfleme, Elektrik Arkı, Siemens-Martin, gibi metotlarla üretilir. Dövme çelik, dökme çelik ve hadde çelikleri bu yöntemlerle üretilir. Eriyik halde bulunan çeliklerin içinde hava kabarcıkları bulunur. Bu tür çelikler gazı alınmamış çeliktir. Bu çeliklere kalsiyum, magnezyum, silisyum eklenerek çeliğin içinde bulunan oksijenler bağlanır ve kabarcıkların oluşumu engellenmiş olur. Gazı alınan çelikte kükürt ve fosfor yoğunluğu az olduğundan kaynaklanabilirliği, şekillendirilebilirliği artar imalata elverişli hale gelir. Üretilen çelik haddeleme işlemiyle istenilen şekil verilebilir. Haddeleme yüksek ve düşük sıcaklıkta yapılarak soğuk haddeleme, sıcak haddeleme olarak adlandırılır. Sıcak haddelemede;

elik kalıplara dökölerek (Şekil 2.1) slab, kütük, blum denilen mamuller merdanelerden geçirilerek (Şekil 2.2) istenilen şekil verilebilir. Soğuk haddelemede ise düşük sıcaklıkta yapılan plastik şekil değiştirme çeliğin mekanik özelliklerini değiştirir. Bu yüzden soğuk haddelemede belirli bir sıcaklığın altında yapılması tavsiye edilmez.



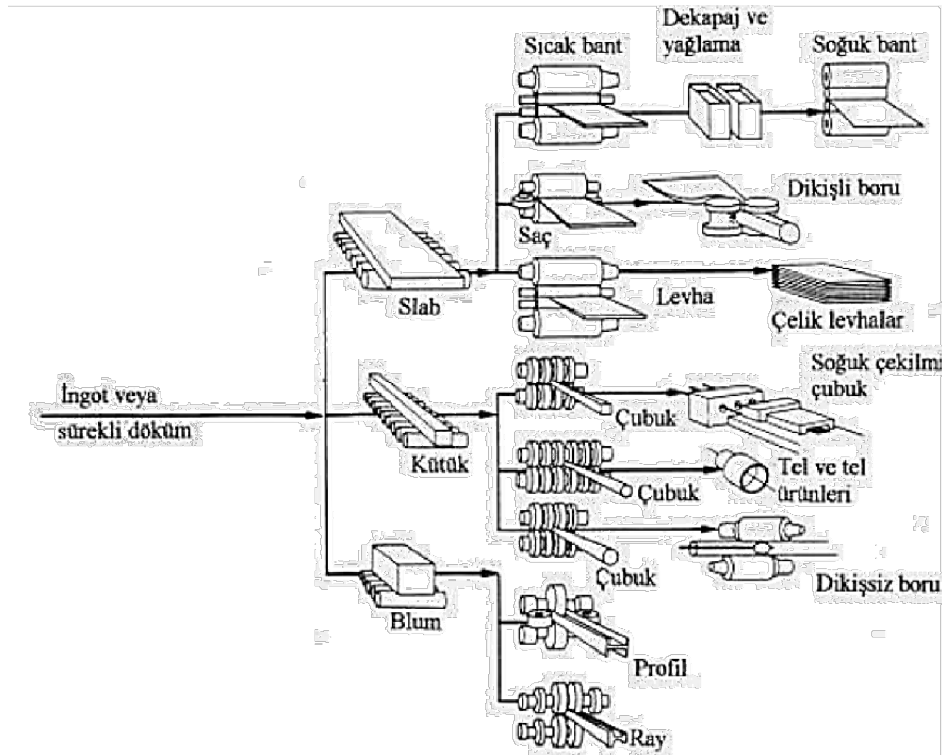
Şekil 2.1. Döküm işlemi [43].



Şekil 2.2. Haddelenmiş elik [43].

Yapısal elik; demirin karbon, silisyum, mangan, manganez, kobalt, alüminyum, bakır, krom, nikel, molibden, vanadyum, vb. gibi elementleri içinde barındıran alaşımdır. Bu elementlerin çeşidi oranı çeliğin cinsine göre farklılık göstermektedir. Bu elementlerden en önemlisi karbondur. Karbon eliğin sertliğini ve mukavemetini artırdığı gibi aynı zamanda işlenebilirliği ve kaynaklanabilirliğini azaltır, bu yüzden belli bir oranı geçmemesi gerekir. İşlemden geçmeden dövülebilen işlenebilen çeliklerde karbon oranı %1,7'yi geçmemektedir. İnşaat sektöründe kullanılan çeliklerde karbon oranı %0,16-%0,22 civarındadır. Üretim esnasında kullanılan mamullerin (demir cevheri ve diğer elementler) kimyasal yapısı ham demirin birleşmesinde etki teşkil eder. elik üretiminde

kullanılan hurda demir ve kullanılan yöntem çeliğin kimyasal yapısını etkiler. Çelik üretimi sürecinde önlem alınmasına rağmen bazı zararlı bileşenler (fazla olamamak şartıyla) çeliğin içerisinde uzaklaştırılmamaktadır. Çelik ve bileşenlerinin özellikleri aşağıda verilmiştir:



Şekil 2.3. Çelik ürünlerin haddelenmesi [56].

Silisyum, kaynaklanabilirliği, mukavemeti ve paslanmaya karşı direncini artırır, silisyum oranı %0,55'i geçmemelidir, işlenebilirliği azaltır.



Şekil 2.4. Silisyum cevheri [1].

Alüminyum, çelik için zararlı olan fosforun etkisini azaltır. Dayanıklılığı artırır.



Şekil 2.5. Alüminyum cevheri [2].

Manganez, mukavemeti artırır çeliğin dövülebilme ve kaynaklanabilme özelliğini olumlu yönde etkiler. Paslanmaya, aşınmaya ısıya karşı direncini de olumlu yönde etkiler.



Şekil 2.6. Manganez cevheri [3].

Bakır, korozyona karşı direncini ve süneklığe artıran elementtir.



Şekil 2.7. Bakır cevheri [4].

Krom, mukavemeti artırdığı gibi, sürtünmeye ve korozyona karşı dayanımını artırır.



Şekil 2.8. Krom cevheri [5].

Nikel, mukavemeti ve esnekliği artırır.



Şekil 2.9. Nikel cevheri [6].

Molibden, mukavemeti ve plastikliği artırır. Kalın kesitli yüksek mukavemetli çeliklerin üretiminde büyük rol oynar.



Şekil 2.10. Molibden cevheri [7].

Vanadyum, aşınmaya karşı direnci artırır.



Şekil 2.11. Vanadyum cevheri [8].

Faydalı elementlerin yanında istenmeyen elementler kükürt, fosfor ve azottur. Kükürt, çeliğin gevrekliğini ve kırılganlığını artıran zararlı elementtir.



Şekil 2.12. Kükürt cevheri [9].

Fosfor, çeliğin gevrekliğini ve kırılganlığını artırır. Çeliğin çabuk kırılmasına neden olur; % 0,2 fosfor barındıran çelik sert bir zemine çarptığı zaman cam gibi kırılır ve parçalanır. Genellikle istenilen miktar % 0,04' ü geçmemeli ve kesinlikle % 0,05'den fazla olmamalıdır.



Şekil 2.13. Fosfor cevheri [10].

Azot, çeliği gevrekleştirir; çelik cinsine göre % 0,007 veya % 0,009'u aşmamalıdır.



Şekil 2.14. Azot cevheri [11].

2.1. ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Çeliğin mekanik özellikleri tahribatlı muayene yöntemlerinden çekme deneyiyle belirlenir. Mekanik özelliklerine bakılacak çelikten numune alınır, çubuk şekline getirilen numune giderek artan çekme kuvvetine maruz kalır. Bu sırada artan kuvvetin etkisiyle numune boy olarak uzamaya, en kesiti ise giderek incelmeye başlar. Bu süreç numune kopana kadar devam eder. Çekme deneyi sürecinde numunenin boyundaki gerçekleşen değişim ve gerilme değeri ölçülür, grafiğe aktarılır. Çubuğa uygulanan kuvvet devam ettikçe şekil değiştirme devam eder, elastiklik sınırına ulaşıncaya kadar şekil değiştirmeler elastiktir; elastik sınırında etki eden kuvvet kaldırılırsa çubuk eski şekline döner. Elastiklik sınırı aşıldıktan sonra çubukta deformeler başlar artık plastik şekil değişimleri meydana gelmeye başlamıştır. Elastik bölgenin dışında kuvvet arttırılarak devam ederse numune akma sınırına ulaşır. Akma sınırı sabit gerilim altındaki numunede

meydana gelen şekil değişimindeki artış olarak adlandırılır.

Gerilme değeri maksimum noktaya vardıktan sonra numune boyun verme sınırına ulaşır, artık numune kopma eğilimi göstermeye başlar, bu nedenle de mühendislik gerilmesinde azalma meydana gelir. Akma gerilimi ve numunedeki uzama miktarı numunenin mekanik özellikleri hakkında bilgi verir. Çeliğin üstün özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Çeliğin homojen ve izotrop olması doğrultu boyunca mekanik özelliklerinde değişiklik göstermez.
- Elastiklik modülü çelikte diğer malzemelere göre daha yüksektir. Bu nedenle mukavemeti yüksek olan çelik yapıda kullanılan hacmi küçüktür. Bu çelik yapılar diğer malzemelere göre daha hafiftir.
- Çeliğin çekme dayanımı, burkulma olmadan basınç dayanımına eşittir. Oldukça sünek bir malzemedir.
- Şekil değişimleri fazladır, plastik hesaba uygundur, doğal afetlerde zemine oturmaları için maksimum çözüm üretir.
- Çelik taşıyıcı malzemeler, çoğunlukta atölyelerde kolay hazırlanır.
- Şantiyede sadece montaj işleri yapılır. Bu nedenle imalat süresi kısadır, hava koşullarında bağımsızlık gösterir.
- Çelik yapılarda bağlantı ekipmanlarının ve takviye malzemelerinin değişimi kolaydır. Çelik yapılar sökülüp tekrardan montajda kullanılabilir.

Çeliğin olumsuz özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Yanıcı bir malzeme değildir, iyi bir iletken olduğu için çok yüksek sıcaklıkta mukavemetinde hızlı bir şekilde düşüş meydana gelir.
- Çok yüksek sıcaklıklarda (6000 °C') kullanılmaz hale gelir.
- Paslanmaya karşı dayanımı düşüktür devamlı bakım gerektirir.
- Kimyasallara karşı (Asit, baz, tuz vb.) dayanıksızdırlar.
- Isı iletkeni, ses ve elektrik iletkeni yüksek olduğundan yalıtım gerektirir.

Çeliğin tüm olumsuzluklara karşı alınacak önlemler maliyeti artırır.

3. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELER VE TOZALTI KAYNAK YÖNTEMİ

Kaynak genellikle metal veya termoplastik malzemelerin birleştirmesinde kullanılan bir yöntemdir. Kaynak yöntemi malzemelerin kaynak yapılacak kısmı eritilir ve bu kısma ilave dolgu malzemesi eklenir, daha sonra soğumasıyla sertleşir, bazı hâllerde ısı ile birleştirme işlemi basınç altında yapılır. Kaynak yöntemi lehimlemeye benzese de farklılık gösterir. Lehim ve sert lehim yöntemlerinde birleştirme daha çok düşük sıcaklık noktalarında gerçekleşir ve malzemeler erimeden ilave dolgu malzemesi ile birleştirir. Gaz alevi, elektrik arkı, lazer, elektron ışını, sürtme, ultra ses dalgaları gibi birçok farklı enerji kaynakları kullanılabilir. Endüstriyel sektöründe kaynak, kapalı ortam, açık hava, su altı, uzay gibi birçok ortamda yapılabilir. Kaynak nerede yapılırsa yapılsın çeşitli tehlikeler barındırır. Alev, elektrik çarpması, zehirli dumanlar ve ultraviyole ışınlarla karşı önlem almak gereklidir.

19. yüzyılın sonlarına doğru, demircilerin kullandığı yöntemden sadece ısıtma ve dövme yolu ile malzemelerin birleştirilmesi biliniyordu. 20. Yüzyılın başlarına doğru elektrik ark kaynağı ve oksî-gaz kaynağı geliştirilen kaynak yöntemleri olmuştur. Kaynak teknolojisi 20. yüzyılda (I. Dünya Savaşı ve II. Dünya Savaşı sonlarında) fazla olan talebi karşılayabilmek için hızla gelişerek güvenilir ve ucuz yöntemler arasına katılmıştır. Savaşlardan sonra, manuel metotlar (manuel metal ark kaynağı), yarı-otomatik ve otomatik yöntemleri (gazaltı metal ark kaynağı vb.), içeren çeşitli modern, hızlı ve maliyeti düşük kaynak teknikleri gelişmiştir. Gelişmeler, 20. yüzyılın ikinci yarısında da lazer ışın kaynağı ve elektron ışın kaynağının bulunması ile devam etmiştir. Hâlen bilim, gelişimi devam ettirmektedir. Robot kaynağı, endüstride yaygın bir yer edinmiştir, yeni metotların ve kalite ve özelliklerinin geliştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi için araştırma ve geliştirme çabaları devam etmektedir.

3.1. KAYNAĞIN TARİHİ

MÖ. 3000’li yıllarda bronz çağında Sümerler sert lehimleme ile savunma silahları yapmıştır. Ayrıca yapılan kazılarda kraliçe mezarında sert lehimleme ile yapılmış altın kadehler bulunmuştur.

MÖ. 1000’li yıllarda, Mısır piramitlerinde yapılan arkeolojik kazılarda ocak kaynağıyla yapılmış demir ve bronz parçalar bulunmuştur.

MÖ. 1000-500 arasında, İrlanda’da Roscommon köyünün yakınlarında yapılan kazılarda bulunan metal kutuların yaprakları basınçla (çekilerek) kaynatıldığı belirlenmiştir.

MS. 60’lı yıllarda, Pliny altının kaynak esnasında tuzun etkisini açıklayan yazılar yazmıştır. Açıklamalarda, metalin renkleri(oksitleri) ve kaynağın kolay mı, zor mu olduğu hakkında açıklamalar yapılmıştır.

MS. 310-400 arasında, Hindistan’da Delhi’nin sütunları demir çubuklar çekilerek yapılmış bir yapıttır. Sütun uzunluğu 701-762 cm (23-25 feet) yükseldiğinde ve ağırlığı 6 tondur. Bu yapıtlara benzer parçalar Roma, İskandinavya ve İngiltere’de de rastlanmaktadır.

MS. 1100’lü yıllarda, Alman keşiş olan Theophilus, “De Diversis Artibus” isimli el yazmasında yaklaşık % 66 oranında gümüş-bakır alaşımı ile potasyum tarpat ve sodyum klorid kullanan gümüş kaynağını karıştıran bir metottan bahsetmiştir.

1540’da İtalya’da Vannoccio Biringuccio, kitabında çanların imalatında mekanik işlerde dövme ve fırınlama işlemlerinden bahsetmiştir.

1900’ de örtülü elektrotları bulan İngiliz Strohmenger’dir. Arkın devamlılığını sağlamak için kil ve kireçle kaplamıştır. Fransa oksit asetilen alevini keşfetmiştir.

1903 yılında, termit kaynağını ise Alman Hans Goldschmid bulmuştur. Termit kaynağı alüminyum tozu ile metal oksit arasında reaksiyon sonucu oluşmaktadır. Bu kaynak yöntemi tren yolu ray yapımında kullanılmıştır.

1907’de Amerika’da iki Alman kaynakçı Siemund-Wienzell Electric Welding Şirketini kurarak metal ark patentini aldılar. Aynı zamanda başka bir Alman firması Enderlein Elektrik Kaynak Şirketi’ni kurdu ve kaynak endüstrisi Amerika’da başlamış oldu.

Lincoln elektrik şirketi 1907’te ilk değişken voltajlı DC kaynak makinesini yaptı. Başlatılan deneylerden sonra ilk kaynak makinelerini piyasaya sunmuştur.

1920 yılında çeşitli kaynak metotların geliştirildiği dönemdir. %0.20’den daha az karbonlu çelikleri birleştirmek için yumuşak çelik elektrotları; daha yüksek karbon ve alaşımlı elektrotları ve bakır alaşım çubukları kullanılmıştır. Araştırmalar sonucu, ergiyik

metalle temas eden oksijen ve azotun kaynağı kırılğan ve gözenekli yaptığı ortaya çıkmıştır. General Electric Şirketinden Alexandre ve Langmuir kaynak yapmak için kapalı bölmelerde hidrojeni kullanılmıştır. Ark oluşumu için önce çift karbonlu elektrodlar kullanılmış ve sonra tungsten elektrodların kullanımı başlamıştır. Otomotiv endüstrisi, otomobilin değişik parçalarının üretiminde çıplak tel beslemesiyle otomatik kaynak yapmaya başlamıştır. Her yeri kaynakla imal edilmiş olan Poughkeepsie Socony ilk tanker Amerika Birleşik Devletlerinde yapılmıştır.

1930 yılında kaynak elektrotları hakkında spesifikasyonlar yazılmaya başlandı. Tel beslemeli ark kaynağı gaz metal ark kaynağı (GMAW) geliştirildi. ABD ve Almanya'daki deneysel verilerin sonucunda termoplastiklerin belirli bir sıcaklıkta bir araya getirilerek ve kalıcı bir yapışma sağladıkları görüldü. Bu yöntem 1938'de "Sıcak Gaz" kaynağına dönüşmüştür. II. Dünya Savaşı, Almanya'yı kaynak konusunda ileri gelişmelere zorlamıştır. Tamamı kaynaklı ilk ticari gemi Güney Carolina'da yapılmıştır. Ülkemizde ise Sümerbank Hereke fabrikasında kaynak atölyesi kurulmuştur.

1932'de toz altı ark kaynağı (Submerged Arc Welding (SAW)), Robinoff tarafından ordu donanma fabrikalarında ve tersanelerde kullanılmaya başlandı.

1940'da tel beslemeli, Toz Altı Ark kaynağı (SAW) boru ve gemi yapımında kullanılmaya başlanmıştır. İngiliz kaynak elektrodu standarttı yazılmaya başlanmıştır.

1938' de ilk kaynak kitabı William Sparagen ve D. S. Jacobus tarafından yazıldı. Otomatik kaynaklamada basınçlı kapların üretimine başlanmıştır. Almanya savaş gemilerinin ağırlığını azaltabilmek için kaynak yapımını ve kullanımını artırmıştır. Bu nedenle kaynak I. Dünya Savaşı'ndan sonra büyük önem kazanmıştır. Havacılık sektöründe alüminyum nokta kaynağı kullanılmaya başlanmıştır. Amerika tarafından uçak ve gemilerin imalatında saplama kaynağı kullanılmaya başlanmıştır. Takım çeliklerinde kullanılmaya başlayan atomik hidrojen ark kaynağı geliştirilmiştir. MIG kaynağı kullanılmıştır. ABD' patlamalı kaynak yöntemi lazer ışık üretilmiştir. Çapı küçük olan elektrotlarda kısa ark yöntemi geliştirmiştir. Darbeli ark kaynağı (Pulsed Arc Welding) geliştirilmiştir. Rusya sürtünme kaynak modelini geliştirmiştir. Robert M. Gage tarafından Plazma ark kaynağı (PAW) geliştirilmiştir. Rusya, İngiltere ve ABD 'de MAG kaynak yönteminde kısa devre transferini geliştirmişlerdir.

1958'de Sovyetler Birliği Belçika'da yapılan Bürüksel Dünya fuarında Elektrocuruf Kaynağını (ESW) tanıtmıştır. ESW ilk olarak Chicago'daki General Motors' da

kullanılmıştır. ABD federal Otoyol idaresi (FHAW) Pittsburgh'taki köprünün kontrolü sırasında çatlak tespit edince ESW yöntemini yasaklamıştır.

1991' de manyetik darbeli kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Bu işlemde 100 mikro saniyeden daha az zaman diliminde iki milyon amperlik bir akıma çıkıldığı için metalürjik olmayan veya mekanik kilitler ortaya çıkarmıştır. Isı tesiri altında kalan bölgede 30°C'lik bir artış olmuştur.

3.2. TOZALTI ARK KAYNAĞI

Tozaltı ark kaynağı ilk olarak A.B.D' de boru fabrikasında kullanılmıştır. Bu yöntem daha hızlı ve sağlam kaynak yapılabilmesi için tasarlanmıştır. Tozaltı ark kaynağının patenti 1930 yılında Robinoff tarafından alınmıştır. Tozaltı ark kaynağı Amerika' da hızlı bir şekilde yayılmış 1937 yılından sonra Avrupa'da uygulanmaya başlanmıştır.

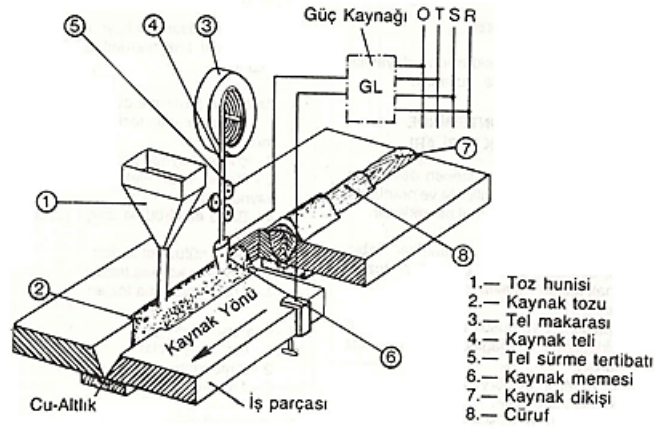
Sıvılaştırılmış petrol gazlarının Türkiye' de kullanılmaya başlamasıyla tozaltı ark kaynağına ihtiyaç duyulmuş ve 1960 yıllarında uygulanmaya başlanmıştır.

Tozaltı ark kaynağı temel olarak elektrik ark kaynağı türüdür. Tozaltı ark kaynağı metodunda ark; sürekli gelen toz altında tel besleme mekanizmasıyla gelen tel ile malzemede oluşur. Ark toz altında olduğu için bu kaynak yöntemine tozaltı ark kaynak yöntemi denir.

Tozaltı ark kaynağında kaynağın oluşabilmesi için gerekli olan ısı, ergiyen tel ve kaynayacak malzeme arasında oluşan arkta alır. Ark bölgesi kaynak tozunun oluşturduğu cüruf tabakasıyla korunur. Tozaltı ark kaynak metodunda elektrik, arkta ergimiş metal ve ergimiş cüruf banyosundan geçer. Kaynak banyosu; elektrod, kaynak tozu ve malzemenin ark ısıyla ergimesi sonucu oluşur. Ayrıca koruyucu görevi de yapan kaynak tozu kaynak banyosuyla reaksiyona girerek kaynak metalini deokside eder. Ayrıca alaşımlı çelikleri kaynak yaparken metalin kimyasal özelliklerini dengeleyici tozlar kullanılmalıdır.

Tozaltı ark kaynak otomatik bir kaynak metodudur. Tozaltı ark yönteminde kaynak ağzına iki veya daha fazla elektrot sürülebilir. Elektrotlar yan yana veya arka arkaya kaynak ağzına sürülebilir. Tozaltı kaynak metodunda makine hareket halindedir kaynayacak malzeme sabittir. Silindir malzemelerde ise kaynayacak malzeme döner kaynak ucu sabittir. Genellikle otomatik makineler raylar üzerinde hareket eder. Tozaltı

ark kaynak metodu yatay kaynak yöntemlerine uygundur son zamanlarda özel mekanizmalarla dik kaynak yönteminde kullanılmaya başlansa da, tavan kaynakları için uygun değildir. Boru kaynağında; boru döndürüldüğü takdirde kaynak yapılabilir öte yandan kısa dikişler ve mekanizmanın ayarlanması için ayrılan zaman göz önünde bulundurulursa ekonomik değildir.



Şekil 3.1. Toz altı kaynak yöntemi [37].

Tozaltı kaynak yönteminde malzemeleri temizliği kolay yapılır, kaynak parametreleri iyi seçilirse kaliteli bir kaynak ürünü elde edilir. Ayrıca kaynak yönteminde yüksek akım kullanılırsa ön ısıtmaya gerek duyulmaz. Tozaltı ark kaynağında elektrot teli diğer ark kaynaklarına göre daha yüksek akım şiddeti yüklenebilir. Yüksek akım şiddeti sayesinde derin nüfuziyet ve geniş banyolu dikişler elde edilmiş olur. Kaynak arkının üzeri tozla kapalı olduğu için elektrik enerjisi kaybı azdır. Bu yöntemde elektrik enerjisinin büyük bölümü kaynak için kullandığından elektrik tasarrufu fazladır.

3.2.1. Tozaltı Ark Kaynağının Genel Özellikleri

Tozaltı kaynağı otomatik bir kaynak olup oldukça güçlü bir kaynak yöntemidir. Tek pasoda yaklaşık 80-90 mm kaynak, iki pasoda yaklaşık olarak 200 mm ve çoklu pasolarda ise 300 mm kadar kalınlığı olan malzemelerin kaynakları rahat ve sağlam bir şekilde yapılabilir. Tozaltı ark kaynak yöntemi ile ince malzemelere de kaynak yapılabilir. Tozaltı ark kaynak yönteminde elektrota yüklenen akım şiddeti elektrik ark kaynağında elektrota yüklenen akım şiddetinden daha yüksektir. Bundan dolayı geniş banyolu derin kaynak dikişleri ortaya çıkar. Örneğin, 4 mm çapında kullanılan elektrotlarda elektrik ark kaynağı ile kaynak yapılırsa 150-200 arası amperle akım yapılabilirken, tozaltı ark kaynağında ise bu akım 450-600 amper arsına çıkmaktadır. [14].

Kaynak parametreleri tozaltı ark kaynağında; ark voltu, kaynak akımı, tel besleme hızı, kaynak hızı kaynak parametreleri uygun şekilde seçilirse hatasız, sağlam ve kaynak görünüşü düzgün olan bir kaynak elde edilir. Tozaltı ark kaynak yöntemi, tam otomatik ve yarı otomatik olarak kullanımlara elverişli olduğu için, gelişmiş sanayisi olan ülkelerde geniş kullanım alanları bulmuştur.

3.2.2. Tozaltı Ark Kaynağının Avantajları

Toz altı ark kaynağının avantajları maddeler haline aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek akım şiddetlerinde büyük ergimiş banyo oluşur ve bu sayede derin bir nüfuziyet sağlanır. Kaynak ağzı açmadan iki paso ile 18 mm ve kaynak ağzı açarak 140 mm kalınlığındaki parçalar kaynatılabilir.
- Tozaltı ark kaynağı yüksek erime gücüne sahiptir. 60 kg/saatlik erime gücüne erişilebilir.
- Yüksek akım şiddetlerinde derin nüfuziyet sağladığı gibi yüksek hızlarda kaynak yapabilme olanağını da sağlar. Yüksek hızlarda bile nüfuziyet çok iyidir.
- Sıçrama olmaz.
- Derin nüfuziyet oluşturduğundan ve sıçrama olmadığından kaynak teli sarfıyatı çok düşüktür.
- Çapaksız, düzgün bir kaynak dikişi elde edilir.
- Parçaya ısı girdisi az olduğundan malzemede çarpılma azdır ve malzemenin ısıdan etkilenen bölgesi küçüktür.
- Ultraviyole ışınları toz altında olduğu için ekstra bir koruyucu ve emniyet tertibatına ihtiyaç yoktur.
- Isıyı arktan aldığı için normal elektrik ark kaynağına göre elektrik sarfıyatı düşüktür.
- Devamlı, kesinti olmadan kaynak yapılabilir.
- Elektro-mekanik mekanizması kurulduğunda, kalifiyeli personel gerektirmez.
- Kaynak yerini düzgün ve iyi bir şekilde cüruflla örtülmesi, emniyetli bir katılaşma ve kaynak banyosunun degazajı sayesinde minimum kaynak hatasına sahip, yüksek kaliteli kaynak dikişleri elde edilir.

- Kaynak dikişinin mekanik özelliklerini etkileyecek şekilde kaynak tozu alaşımlandırılabilir.
- Dış ortamda kaynak yapılsa da havanın kaynağa etkisi azdır.
- Sert yüzey dolgu kaynaklarında rahatlıkla kullanılabilir.
- Tam otomatik olarak ya da manuel olarak kullanılabilir.

3.2.3. Tozaltı Ark Kaynağının Donanımları

Toz altı ark kaynağının donanımları aşağıdaki gibidir:

- Güç kaynağı: Doğru akıma pozitif kutba bağlanan elektrotla yapılan tozaltı ark kaynağı ayrıca alternatif akımla da yapılabilir. Dolgu ve kaplama işleminde ise elektrot negatif kutba bağlanır. Tozaltı ark kaynağı, gerilimi değişken doğru akım kaynak makineleri, genellikle çevre kaynağında kullanılır. Gerilimi sabit olan doğru akım ve alternatif akım makinelerde kullanılabilir.
- Tel Sürme Mekanizması: Tam otomatik veya yarı otomatik tel sürme mekanizması kullanılabilir. Tel sürme mekanizması kaynak işlemi süresince sabit bir hızda tel sürmeli ve kolay ayarlanabilmeli.

3.2.4. Tozaltı Ark Kaynağının Parametreleri

Toz altı ark kaynağı için uygun parametreler aşağıdaki gibidir:

- Akım şiddeti: 200-5000 arası akım şiddeti kullanılır. Akım şiddeti artırıldığında ergime gücü ve nüfuziyet artar. Akım şiddetinin çok yüksek veya çok düşük olması düzensiz ark oluşturmaya sebep olur.
- Gerilim: Bu kaynak yönteminde kaynak 25-50 voltluk bir gerilimde yapılır. Gerilim artırıp değişkenler sabit tutulduğunda daha düzgün bir kaynak dikişi elde edilir. Yüksek gerilim curuf miktarının artmasına, düşük gerilim ise nüfuziyetin artmasına neden olur.
- Kaynak hızı: Tozaltı kaynağında kaynak hızı 6-300 m/saat arasında uygulanır. Kaynak hızı kaynak dikişinin eni, yüksekliği ve nüfuziyetine göre uygun seçilmelidir. Yüksek kaynak hızlarında gözenekler, yanma olukları ve arkın üflemesine neden olur. Düşük kaynak hızlarında ise sıçrantılara ve yoğun cürufa neden olur.

- Kutup durumu: Doğru akımda elektrodun negatif kutba bağlandığı durum nüfuziyetin iyi olmasına ve düzgün bir kaynak dikişi oluşturur. Elektrodun pozitif kutba bağlandığı durumda ise erime gücünü % 30 artırır, nüfuziyet azalır, kaynak dikişinin de alaşımlanmasına neden olur. Alternatif akım kullanılırsa da nüfuziyet azalır.
- Kök pasosu: Kök pasosu iyi yapılmazsa, ark üflemesi olur bundan dolayı gözenekli ve kötü bir kaynak dikişi oluşur.
- Kaynak tozu miktarı: Kullanılacak kaynak tozu, meydana gelen arkı tamamen örtecek miktarda olmalıdır. Çok fazla kaynak tozu, kaynak dikişinin dar bir aralıkta oluşmasına, az miktarda kaynak tozunun kullanılması ise, ark sırasında oluşacak olan ultraviyole ışınların kaynakçıya zarar vermesine ve kaynak dikişinin havadan etkilenmesi sonucunda gözenekli bir yapı olmasına neden olur.
- Temizlik: Kullanılan elektrotların yüzeylerinin temiz olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca kaynak tozunun da bir elekten geçirilerek içerisindeki curuf ve diğer kalıntılardan arınması sağlanmalıdır. Kaynak bölgesindeki pas, toz, yağ, nem, vb. maddeler kaynak yapılmadan önce giderilmelidir.

3.2.5. Tozaltı Ark Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri

Tozaltı kaynağında kaynak teli olarak, elektrik ark ocaklarında üretilen yüksek kaliteli çelik teller kullanılır. Normal tellerden farkı kaynak yerinin metalürjik emniyeti bakımından, manganez miktarının yüksek olmasıdır. Kaynak uygulamalarında genellikle 1,2-12 mm çaplarında kalibre edilmiş kaynak telleri kullanılır. Bu tellerin yüzeylerinin tamamen düz ve pürüzsüz olması, yağ, pislik ve pastan arınmış olması gerekir. Kaynak tellerinin tamamen çıplak kullanılmaları sonucunda memede kontak zorlukları ve memenin çabuk aşınması durumu ortaya çıkar. Bundan dolayı kaynak telleri genellikle bakır veya bronz kaplı olarak üretilirler. Tellerin üzerindeki bakır tabakası memeden daha iyi bir akım geçişini sağlayarak daha kararlı bir ark elde edilmesine imkân verdiği gibi, paslanmaya karşı da telleri korumaktadır. Memeden kaynak teline akım iyi bir şekilde geçmemesi kaynak dikişinin hatalı olmasına neden olur.

3.2.6. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları

Kaynak tozu toz altı ile yapılan kaynaklarda örtülü elektrotla yapılan kaynağın örtü görevini üstlenir. Kaynak tozu kaynakta fiziksel ve metalürjik olarak etki eder.

Fiziksel olarak;

- Havanın olumsuz etkisini azaltmaktır.
- Uygun bir dikiş formu oluşturmastır.
- Hızlı soğumayı engellemektir.

Metalürjik olarak etkisi ise ilave ettiği alaşım elemanlarıyla yanmadan oluşan kaybı azaltıp alaşım dengesini sağlamaktır. Malzeme ve kaynak telinin metalürjik etkisi vardır. Esas metal, kaynak teli ve kaynak tozunun bileşimi, dikişin kimyasal bileşimine etki eden üç önemli faktördür. Kaynak tozundan istenen özellikler aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Kaynak sırasında arkın kararlılığı olmalıdır.
- Havanın olumsuz etkilerine karşı kaynak banyosunu korumalıdır.
- İstenilen kimyasal bileşime ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi vermelidir.
- Uygun ve temiz bir içyapı sağlamalıdır.
- Parçadan ısıнын dışarıya yayılmasını yavaşlatmalıdır.
- Çeşitli kaynak hatalarına sebep olabilecek organik maddeleri ihtiva etmemelidir.
- Nem çekme miktarı mümkün olduğu kadar az olmalıdır.

Kaynak sırasında katı, sıvı ve gaz fazları arasındaki bütün reaksiyonların, kaynak metali katılaşınca kadar geçecek olan kısa zaman içerisinde meydana gelmesini sağlamalıdır.

3.2.7. Tozaltı Kaynağında Ark Tutuşturma

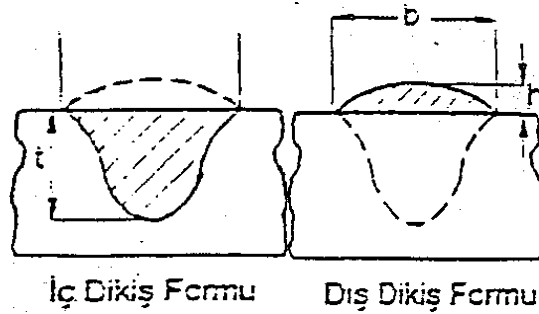
Tozaltı arka kaynağı yönteminde kaynak işlemi başlamadan önce kaynak makinesi üreticisinin prosedürüne uygun ark oluşturulmalıdır. Arkın daha kolay ve rahat oluşabilmesi için makine üretici firmasının makine üzerine tertibatı monte edileceği gibi sonradan da bu tertibat kullanıcı firma tarafında monte edilir. Kullanımda arkın oluşmasını olumsuz etkileyen faktör; arkın kesilmesi ve yeniden ark oluşturmak istenildiği durumlarda tel elektrotun ucunda cürufun katılaşarak iletkenliği azalması sonucu arkın tekrardan oluşmasını engeller. Sanayinin gelişmesiyle arkın tutuşmasını kolaylaştırmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

- **Elektrot ucu sivrilterek ark oluşumu:** Elektrotun ucu sivriltilerek bu bölgede akımın toplanması ve yoğunluğunun artırılması prensibine dayanan bir yöntemdir.

- **Sürtme ile ark oluşturulması:** Elektrot malzemeye temas ettiği anda hareketli mekanizma ve kaynak akımı aynı zaman içinde devreye alınır. Elektrot ve kaynakacak olan malzeme arasında sürtünme başlar sürtünmeyle beraber devre kapatılır ark oluşur.
- **Çelik yünü ile ark oluşturulması:** elektrot ile kaynakacak ana malzeme arasına ufak küre halinde 12 mm çapında çelik yünler yerleştirilir. Akım kesildiğinde çelik yün küre ergiyerek ark oluşur.
- **Özel tel besleme mekanizması ile ark oluşturulması:** Mekanizma teli kaynakacak ana malzemeye temas ettirilir ve kaynak akımı kesilir. Kumda kısa devre oluşur ve mekanizma teli geri çekerek arkın oluşmasını sağlar. Ark oluşturduktan sonra mekanizma tel beslemesini sabit hızla devam ettirir.
- **Yüksek frekans ile ark oluşturulması:** Tozaltı kaynağında kaynak işlemi başlatıldığında devreye yüksek frekans akımı verilir ve ark oluşturulduktan sonra yüksek frekans akımı devreden kesilerek kaynak işlemi devam eder.

3.2.8. Tozaltı Kaynağında Dikişin Formu ve Tesir Eden Faktörler

Tozaltı kaynağında dikişin formu çok geniş sınırlar arasında değişir. Kaynak dikişinin kesiti incelendiğinde bir iç ve bir de dış dikiş formu olmak üzere iki farklı formun mevcut olduğu görülür. Dikiş formu nüfus derinliği, erime genişliği ve dikiş yüksekliği ile karakterize edilir.



Şekil 3.2. İç ve dış dikiş formu şematik olarak gösterilişi [16].

Dikiş formuna tesir eden başlıca faktörler şunlardır:

- Akım şiddeti
- Akım yoğunluğu (tel çapı)
- Ark gerilimi

- Kaynak hızı
- Kaynak ağızı açısının dikişin formu üzerine tesiri
- Ağızlar arasındaki ark
- Kaynak yapılan parçaya bulunduğu düzlemdeki eğimi.
- Akımın cinsi ve kutup durumu,
- Kaynak kablosunun bağlantı yeridir.
- Kaynak tozunun tane büyüklüğü ve yığılma yüksekliği.
- Kaynak telinin memenin dışında kalan kısmının uzunluğudur.



Çizelge 3.1.Tozaltı kaynağında dikişin formu üzerine tesir eden faktörlerin tesir şiddetleri [9].

Kaynak Faktörleri		Nüfuziyet	Dikişin Eni	Dikişin Yüksekliği
Akım Şiddeti (Amper)		Fazla miktarda artar.	Artar.	Fazla miktarda artar.
Ark Gerilimi(Volt)		Azalıır.	Fazla miktarda artar.	Azalıır.
Kaynak Hızı (cm/dak)		Önce artar, sonra sabit kalır. Yüksek hızlarda sistematik olarak azalıır.	Fazla miktarda azalıır.	60 a kadar azalıır, 60 dan sonra artar.
Kaynak Teli Çapı (mm)		Fazla miktarda azalıır.	Fazla miktarda artar.	Azalıır.
Parçanın Meyli	Aşağıya doğru	Fazla miktarda azalıır.	Artar.	Azalıır.
	Yukarıya doğru	Fazla miktarda azalıır.	Azalıır.	Fazla miktarda artar.
Kaynak Telinin Kaynak Yönündeki Meyli (<°)		Fazla miktarda azalıır.	Artar.	Azalıır.
Meme Mesafesi (mm)		Az miktarda azalıır.	Artar.	Azalıır veya artar.
Ağız Meyli (<°)		Değişmez.	Artar.	Fazla miktarda azalıır.
İki parça arasındaki aralık (mm)		Fazla miktarda artar.	Artar.	Fazla miktarda azalıır.
Kaynak Tozunun Tane Büyüklüğü (mm)		Az miktarda azalıır.	Az miktarda artar.	Az miktarda azalıır.

3.2.9. Tozaltı Kaynak Usulleri

Tozaltı kaynağı günümüzde, hızla gelişen endüstrinin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde gelişmiş ve otomatikleşmiştir. El ile hareket eden donanımlardan tam otomatik, çift ve çok telli donanımlar ile bantlı otomatlara kadar çeşitli tiplerde cihazlar mevcuttur. Tam otomatik makineler ya özel raylar üzerinde veya paletlerle tekerlek üzerinde hareket eder. Birinci tip makineler daha ziyade seri imalatla, ikinci tip makineler ise özel imalatla ve

bilhassa büyük sacların yatay pozisyonunda yapılan kaynak işlemlerinde kullanılır. Yalnız çevresel dikişlerin kaynağında parça döner ve kaynak kafası sabit kalır. Mesela sıvılaştırılmış gazların (LPG) konulduğu tüplerin çevresel dikişleri gibi [5]-[13].

Kaynak esnasında erime gücünü artırmak için çeşitli tiplerde ve birden fazla kaynak telinin kullanıldığı tozaltı kaynak donanımları geliştirilmiştir [5].

- Tandem tozaltı kaynak usulü
- Paralel tozaltı kaynak usulü
- Seri tozaltı kaynak usulü
- Korniş tozaltı (Saat 3) kaynak usulü
- Band elektrodla tozaltı kaynak usulü
- Tozaltı ark kaynağının sıcak tel metotları.

4. ELEKTROCURUF KAYNAĞI

Erimiş curuf içerisinde elektrik akımına karşı bir direnç gösterilir. Bu direnç sonucunda çıkan ısıнын kullanılmasıyla yapılan kaynağa Elektrocuruf kaynağı yöntemi denir. Bu ısı ile hem curuf eriyik halde tutulur, hem dolgu metali (elektrot) ergitilir. Hem de birleştirilecek ana parçanın birleşme kenarları ergitilerek kaynak işlemi yapılır. Bu eriyik curuf kaynak banyosunun da korur. Kaynak birleştirme süresince eriyik curuf kaynak banyosuyla beraber hareket eder. Sıvı curuf, birleştirilecek malzeme ve elektrot arasından elektrik akımı geçerken, curufun akıma karşı gösterdiği direnç karşısında ortaya çıkan ısı ile sıvı halde muhafaza edilir. Kaynatılacak malzeme kalınlığı dikkate alınmadan tek pasoda kaynatılır.

Elektrocuruf kaynağı kalın kesitli malzemelerin tek pasoda kaynatılması arzusu sonucu ortaya çıkan bir kaynak yöntemidir. Bu arzu doğrultusunda 1900’lerden önce grafit modeller kullanılarak, dikey plakalar arasındaki bir boşluğa, grafit elektrotlar tarafından oluşturulan ergimiş metal yerleştirmek suretiyle birleştirme işlemleri yapılmıyordu. Grafit modeller, yerini bakır veya seramik modellere bıraktılar. Daha sonra alışlagelmiş kaynak arkları, gaz torçları veya termit karışımları, birleştirme işlemi için gerekli olan yüksek ısıyı elde etmek için geliştirilmişlerdir. Erimiş metallerin yüzeyindeki ısıyı kontrol altına almak için elektriksel cüruf lar keşfedilmiştir. 1950’nin ilk yıllarında, Paton Institute of Electric Welding’deki Rus bilim adamları, dikey pozisyonundaki kaynakları, tek pasoda iletken bir curuf kullanarak yaptıklarını açıkladılar. Amerika’da ise ilk Elektros lag (Elektrocuruf) ünitesi 1959 yıllarında imal edilmiştir.

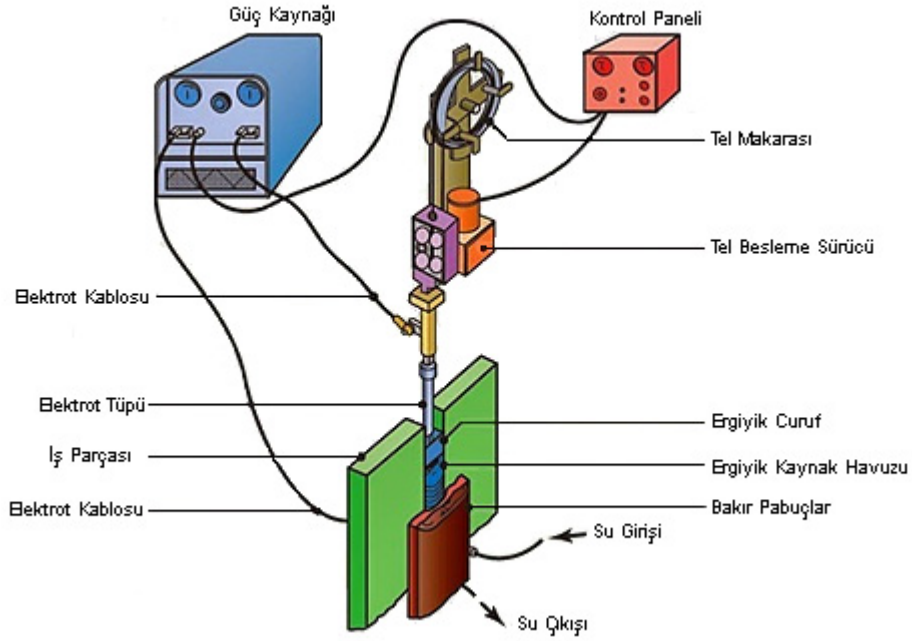
4.1. ELEKTROCURUF KAYNAĞININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Kaynatılacak malzemelerin arası dikdörtgen boşluk haline getirilerek kenarlara su soğutmalı bakır pabuçlar yerleştirilir. Elektriğe karşı gösterilen direnç erimiş curuf banyosunu gerekli ısıda tutarak malzemeyi ve elektrotu eritir.

Elektrot kaynatılacak malzemeye ulaşmadan eritilir. Kesiciden çıkan yüzeyler pabuçlar arasına konarak direkt olarak kaynatılırlar. Arkın başlama ve kaynağın bitiş noktalarına altlıklar konur.

Cüruf banyosunun derinliği 40-60 mm arasındadır. 100 kg kaynak metali için yaklaşık 5

kg toza ihtiyaç vardır. Masif elektrot yerine özlü elektrotlar kullanılırsa kaynak tozuna ihtiyaç duyulmaz. Gerekli toz telin özünden elde edilir. Şekil 4.1’de yöntemin şematik resmi görünmektedir.



Şekil 4.1. Elektrocuruf metodunun şematik görünüşü [42].

Kaynağa başlamadan önce elektrotla kaynak malzemesi arasında bir ark oluşturularak sıvı curuf elde edilir. Sıvı curuf elde edildikten sonra ark kesilir. Sıvı cürufun elektrik akımına karşı oluşturduğu direnç sonucunda açığa çıkan ısı ile elektrot, kaynak tozu ve malzeme ergitilerek kaynak banyosu oluşturulur. Bu direnç hem gerekli olan ısıyı korur hem de eriycek olan malzeme ve teli eritir. Oluşan curuf banyosunun sıcaklığı eriycek malzemenin ve elektrotun sıcaklığını aşmamalıdır. Kaynayacak malzemeler arasına curuf banyosu içine elektrot daldırılır. Ergiyen malzeme ve dolgu metali curuf altında toplanarak şekle göre katılaşır. Ergime oldukça, elektrot da küçülür.

Kaynak malzemesini eritmek ve derin bir curuf banyosunu oluşturmak için ideal olan, kaynak ekseninin dik olmasıdır. Elektrocuruf kaynak yöntemi yatay pozisyonda daha verimsizdir. Özel durumlar dışında yatay kaynak yöntemine başvurulmaz. Elektrocuruf kaynağında, kaynak banyosunun etrafını çevreleyen su soğutmalı bakır ayaklar kullanılır.

Elektrocuruf kaynağında cürufun temel görevi, termik enerji içinde elektrik dönüşümünü sağlamaktır. Bu nedenle Elektrocuruf kaynağında curufun en önemli özeliği elektriksel iletkenliğidir. Curufun iletkenliği sıcaklık artışında iletkenlik artar, belirli bir sıcaklığın altında ise curuf iletkenlikli olur. Cürufta iletkenliği TiO_2 sağlar bu nedenle cürufta TiO_2

bulunmasına önem verilmelidir. TiO_2 oda sıcaklığında bile yüksek iletkenliğe sahiptir.

Elektrocuruf kaynağının Tozaltı kaynağında farkı elektrik enerjisinin tümü curuf banyosu içerisinde geçmesidir. Yöntemin kararlılığı, sabit bir cüruf banyosu sıcaklığına bağlı olması ve ısı alma, ısı kaybetme arasındaki dengedir.

Düşük sıcaklıklarda, ısı transfer eğrisi daima ısı oluşumu eğrisi üstünde uzanır. Çevre ısısının üzerindeki tüm ısılarda ısı transferi olur. Curuf içerisinde ise önemli ısı transferi $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşir.

Isı transfer eğrisinin şekli, kaynak boşluğunun geometrik çarpma; özellikle cüruf banyosu yüzeyine; soğuma tertibatları, ana metal ve curuf arasındaki ısı transfer katsayılarına; cüruf banyosunun derinliğine ve eriyen ana metalin tipine; buharlaşabilen cüruf elemanlarını buharlaştırmak için sarf edilen güce, kaynak bölgesini besleyen dolgu malzemesi miktarına vs. bağlıdır.

Elektrocuruf kaynağından kullanılan curufun başlıca özelliği, yüksek bir buharlaşma noktasının olması ve yüksek sıcaklıklarda gaz oluşturmamasıdır. Sıcaklık artışından ortaya çıkan fazla enerji, banyo sıcaklığının mükemmel bir şekilde düzenlenmesine tesir edecektir.

Elektrocuruf kaynağından ortaya çıkan zorluklardan birisi de, curuf banyosunun serbest yüzeyi ve elektrot arasında bir ark çıkışı meydana gelmesidir. Çok daha sık olan kaynak banyosu ve elektrot arasındaki cüruf banyosunun büyüklüğüdür. Bu şekilde oluşan banyo düzgün değildir ve Elektrocuruf kaynağında, kaynak hatalarının oluşmasına neden olabilir. Örnek olarak vermek gerekirse; derin bir curuf banyosu, AC akım, düşük açık devre gerilimi ve düşük denge özellikli curuflardır. Ark çıkışını önlemek ve sabit bir Elektrocuruf yöntemi elde edebilmek için bu durumları yerine getirmek gerekir.

Curuf banyosunu düzeltmek için, banyo sığ iken oldukça düzgün bir ark çıkışına ihtiyaç vardır ve banyo derinliği düzgün bir şekilde hızlıca artmalıdır. Küçük çaplı elektrot kullanmakla bu etki oluşturulabilir. Ayrıca yüzeyler arası açıklığın artırılmasıyla veya kaynak transformatörünün yüksüz gerilimini düzenli değiştirme ile de sağlanabilir. Kaynak ağzı açıklığının artışı ekonomik açıdan pratik değildir.

Kalsiyum florür esasına dayanan yüksek iletkenli cüruflarda, Elektrocuruf yöntemindeki arkın değişmesi için gerekli olan zaman oldukça azalır. Ana metal yüzeylerinin kaynak banyosu yüzeyinden oldukça yüksek bir seviyede ergimeye başladığı durumlarda, havuz üzerine en yakın yüzeyler ergime noktasının altında soğuyabilir. Fiziksel olarak bilindiği

gibi tam bir erime meydana gelmez. Ergimeyip olduğu gibi kalan yüzeyler ile ergime eksikliği karıştırılmamalıdır. Ergime yetersizliğinde yüzeyler ergir fakat kaynak metali ile beraber ergimezler.

Kaynak gerilimi çok yüksek olduğu zaman ergime yetersizliği meydana gelir. Curuf banyosu çok derin olduğu zaman veya curufların sıcaklığa göre iletkenlik-viskozite ortam çok dar olduğu zaman da ergime yetersizliği meydana gelir [14]. Curuf içerisinde oluşan sıcaklığın en büyük kısmı dolgu metali ile banyoya aktarılır. Tüm ısı banyo yüzeyinden ana metale nakledilir.

Elektrocuruf kaynağı, kaynak tozları tabakası altında elektrik arkı ile başlayan Tozaltı kaynak yöntemine çok benzer. Sıcak ergimiş curuf, yeterli bir kalınlığa ulaşır ulaşmaz tüm ark faaliyeti durur. İletken curuf vasıtasıyla elektrottan iş parçası kenarlarına akım geçer. İşte bu noktada işlem tamamen Elektrocuruf kaynağıdır. Sıvı curufun akıma karşı gösterdiği dirençle oluşan ısı, elektrotu ve iş parçası kenarlarını eritir. Ark mevcut değildir, kaynak faaliyeti sessiz ve sıçrama yoktur. Banyo içerisindeki sıcaklık 1925  C'ye yakındır. Elektrottan ergiyen metal ile ergiyen iş parçasının kenarları curuf altındaki bir kaynak banyosunda toplanarak, kaynak şekli, biçiminde yavaşca katılaşır [14].

İş parçası ve curufun hacimsel büyüklüğü nedeniyle, genellikle dikey pozisyonda kullanılır. Birleştirilecek parçalar arasındaki kaynak ağzı genişliği 20 - 50 mm arasındadır. Kaynak işleminde, belirli bir seviyede curuf derinliği elde etmek için, birleştirilecek parçaların alttan da bir altlık yerleştirilir. Kaynak sonunda da, parçalar ile kaynak dikişinin aynı seviyede olmasını sağlayacak bir kaynak bitiş  stl ğ  kullanılır.

4.1.1. Elektrocuruf Kaynağının Avantajları

Elektrocuruf kaynağı kalın kesitli metallerin kaynatılması için özel olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu nedenle benzer yanları olan tozaltı kaynağı ile karşılaştırıldığında Elektrocuruf kaynak yönteminin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Elektrocuruf kaynağının metal yığma (depozito) oranı diğer bütün kaynak yöntemlerinden yüksektir. 600 A 'de tozaltı kaynak yönteminde 10 kg/saat iken Elektrocuruf kaynak yönteminde 15 kg/saat metal tüketilir.
- Erimiş curuf içerisinden elektrik akımı geçirilerek oluşturulan ısı, curufun elektrik akımına gösterdiği dirence paralel olarak artar. Dolayısıyla yüksek ısı sayesinde

kalın parçaların kaynağının yapılmasında kullanılır.

- Düşük soğuma hızına sahip olduğu için çok kalın parçalarda bile ön ısıtmaya gerek yoktur.
- Isı kaybı çok düşüktür. Isı, kaynak banyosuna doğru akar. Dolayısıyla daha verimli ve daha kararlı bir kaynak banyosu elde edilir.
- Sıçrama ve koçan olayı olmadığı için, elektrot metali transferi % 100'dür. Toz sarfiyatı ise, telin yaklaşık % 5'i kadardır.
- Pasolar arası temizlik yoktur.
- Dikey pozisyonda kaynak yapabilme imkânını sağlar.
- Kaynak süresince, kalın parçalarda ısı dağılımı üniform olduğu için Elektrocüruf kaynağında hemen hemen distorsiyon olmaz.
- Kaynak işleminde, nüfuziyet derinliği oldukça fazladır.
- Birleştirme hazırlığı kolay, yüzey oksitleri kaynağı fazla etkilemez. Kaynak ağzı açmadan birleştirme imkânı sağlar. Hatta levhasal elektrot kullanılarak, tek pasolu kaynak işlemi tamamlanabilir.
- Bu yöntem, özel maksadı dökümlerin kullanımına da elverişlidir.
- Çok pasolu kaynak işlemini, otomatik olarak yapma imkânı sağlar.
- Elektrocüruf kaynağıyla, imal edilen büyük parçalarda metal tasarrufu, talaşlı imalata nazaran daha azdır.
- Büyük parçaların imaline imkân vermeyen imal usulleri durumunda, Elektrocüruf kaynağıyla yapmak mümkün olur.
- Uzun süre kaynak metali ergiyik kaldığı için gazlar ve cüruf kaynak metalini terk eder ve kaynak kalitesi artar.
- Birleştirme yerleri daha ucuza hazırlanır.
- Randıman yüksek olup, levha kalınlığıyla artar.
- Cüruf tabakası ince olduğu için kaldırması çok kolaydır.
- Kaynak makinaları hafif ve pratik imal edilebileceğinden bir sonraki kaynağı yapmak için taşımak oldukça kolaydır.

- Kaynak makinaları hem AC, hem de DC akımda kullanılabilir.
- Isısal randımanlar karşılaştırıldığında % 80 Elektrocuruf kaynağı % 50 Tozaltı kaynağı ve % 25 elektrik ark kaynağı olarak belirlenir.
- Kalifiye eleman ihtiyacı azdır.

4.1.2. Elektrocuruf Kaynağının Dezavantajları

Elektrocuruf kaynağının dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Aşırı yükseklikteki ısı girdisi ve bunun sonucunda çok düşük soğuma hızı ters metalürjik reaksiyonları beraberinde getirir. Bu şunları ortaya çıkarır;
- Kaynakta anizotropik metalürjik özellikleri olan kaba bir yapı
- Segregasyonlara bağlı olarak katılaşma anında sıcak çatlaklar meydana gelir.
- Isı tesiri alfandaki (ITAB) iri taneli bölge ana malzemeye göre daha kırılgandır.
- Bazı ısıya hassas malzemeler Elektrocuruf kaynağında bulunan yüksek ısı girdisi yüzünden kaynak edilemezler.
- 19 mm ‘den (4/3 inçlik) daha ince malzemelerde Elektrocuruf kaynağı uygun değildir.
- Birleştirme dikey veya dikeye yakın bir pozisyonda olmalıdır.
- Elektrocuruf kaynağında aralık doldurma oranı (40 mm ‘de) nispeten ince plakaların kaynaklanmasında en yakın rakibi olan toz altı kaynağından daha düşüktür.
- Kaynak başladığında sonuna kadar devam ettirilmelidir. Çünkü her kesintide duraklama, alanda kaynak hatalarına sebep olabilir.
- Elektrocuruf kaynak metodunda kaynağın tamiri alternatif bir kaynak metodu ile yapılabilir.

4.1.3. Elektrocuruf Kaynağının Gelişimi Ve Kullanıldığı Yerler

Elektrocuruf kaynağı, Elektrocuruf ergitme tekniğinin keşfi ile sonuçlanan uzun bir uğraşı ile bulunmuştur. Petrokimya tesislerinde kullanılan iri cidarlı basınçlı kapların kaynatılmasında daha etkili bir metodun keşfi için R. K. Hopkins ilk denemelerine 1922’lerde başlamıştır. R. K. Hopkins ilk aşamada Elektrocuruf kaynağına benzer bir

yöntemi Armstrong'un araştırmalarına dayanarak geliştirilmiştir, 1939 yıllarında R. K. Hopkins, günümüzde kullanılan Elektrocuref tekniğine uygun ilk gerçek denemeleri yapmıştır. Hopkins bu denemesine Pluramelt adını vermiştir. Soğutma sistemi dışında metal Elektrocuref kaynağının tüm özelliklerini de içine almaktadır. Hopkins, Pluramelt metodu ile elektrodan sürekli beslemeyi başardığı gibi, tüp şeklinde sabit elektrotlarla pek çok alaşım elementinin kaynak dikişine ilave edilebilmesini başarmıştır. Kaynak bölgesinin git - gel hareketi ile de homojen kalınlıktaki dikişin sağlanması metodun başka bir avantajıdır. Hopkins soğutma sistemini geliştirerek günümüzde uygulanmakta olan Elektrocuref kaynak tekniğinin ilk mucidi kabul edilmektedir. 35 adedi 11 yabancı ülkeden, 92 adedi ABD'den verilen 127 patenti bulunmaktadır

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından Sovyet bilimcilerinden E. O. Paton, Kiev'de kurulu Paton Elektrik Kaynak Enstitüsünde ilk Elektrocuref kaynağı metodu geliştirmeye başlamış ve kısa sürede önemli ölçüde başarı sağlamıştır.

Su soğutmalı ve hareketli bakır yanak plakaları ile geniş kaynak ağızları kolaylıkla doldurulabilmiştir. Paton Enstitüsü 1950'lerden soma hızla Elektrocuref kaynağı araştırmalarının merkezi durumuna gelmiştir. Paton'la başlayan çalışmalar Medovar'la devam etmiş ve geliştirilen yeni tekniklerle beslenen Elektrocuref kaynak tekniğı, adeta Kiev'de yeniden keşfedilmiştir. Metodun Sovyetlerde hızla gelişebilmesi büyük ölçüde basitliğine dayandırılmaktadır. Vakum - ark metodu Elektrocuref metoduna göre oldukça yüksek ilk tesis masrafını gerektirmektedir. Vakum-ark tekniğinde pahalı DC (Doğru Akım) ve vakum tesislerinin yaranda, ucuz AC (Alternatif Akım) gücü, metodun Sovyetlerde incelenmesine yol açan başlıca etken olmuştur.

Bilindiğı gibi Elektrocuref kaynağı, dikey pozisyondaki parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Yöntemin yüksek randımanlı olması sebebiyle, kaynaktan hariç diğerk uygulamalar alanları da gelişmektedir. Kalın parçaların kaynağında ise temel bir metod durumuna gelmiştir [21].

şu anda Elektrocuref yöntemi sadece kaynak işleminde ve yüzey doldurma işlemlerinde değıl, özel maksatlı dökümlerin üretimi için de kullanılmaktadır.

Elektrocuref kaynak yöntemi ile çok paso gerektiren kaynak işlemlerini tek pasoda otomatik olarak gerçekteşirmiştir. Yüksek basınca maruz kalan kapların ve buhar kazanlarının imalatında elektrocuref kaynağı kullanılmaktadır.

Büyük gövdeli mekanik preslerin imalatında, makinaların büyük zeminlerinin imalatında,

şahmerdan ve preslerin hidrolik silindirlerinin imalatında, su türbinlerinde ve türbinlerin dinamo, şaft gibi kalın kesitli malzemelerin imalatında, merdane mili, gemi ve çubuk ana gövdeleri imalatında, gemilerin kalın kesitli çok paso gerektiren arka iskeleti imalatında, büyük elektrik makinaları gövdesi imalatında, dizel lokomotif gövdeleri yapımında, açık ocaklı fırınların takviyesi yapımında, krank milleri ve büyük yanlıklar yapımında ve de pek çok ürünlerin imalinde Elektrocuruf yöntemi kullanılmaktadır.

Elektrocuruf kaynak yöntemi, büyük döküm parçaların çoğunda, türbin millerinde, dinamoda benimsenmiş bir yöntemdir.

Elektrocuruf kaynağında takviye malzemesi olarak ilave edilen çubuklar alın kaynağında kullanılır. Bu metot diğer tekniklere göre daha etkili ve daha sağlıklıdır.

Kaynaklı konstrüksiyonlarda ki örneklerde elektrocuruf kaynak yönteminin metal tasarrufunda etkili olduğu ispatlanmıştır. Mesela, Varvarinski Hydroelektrik donanımında kaynaklanmış şaftların ingotları 59 ton ağırlığında olmasına rağmen, talaşlı imalatla yapılan şaft ünitesi için 100 tondur. 400 tonluk mekaniksel bir presin kaynaklanmış iskeleti, bir döküm iskeletine göre 24 ton daha hafiftir.

Dinepropetrovsk Mühendislik Şirketlerinde, açık kapaklı fırın takviyesi için Elektrocuruf kaynak yöntemi kullanıldığı için, büyük çubuk kesitlerinde malzeme sarfiyatının azalması sebebiyle önemli bir tasarruf sağlanmıştır.

Elektrocuruf kaynağının avantajları sadece ekonomik olarak sınırlandırılmamalıdır. Elektrocuruf kaynağı kullanımı geniş bir alan olmakla beraber mühendislikte teknikleri değiştiren bir yöntemdir. İmalat sektöründe gelişen teknolojiyle beraber son dönemlerde ihtiyaç doğrultusunda ağır ve büyük malzemelerin imal edilmesi kaçınılmaz olmuştur, bu nedenle elektrocuruf kaynağı bu yönde büyük katkı ve kolaylıklar sağlamıştır.

Çoğunlukla parça çaplarını, dökümde erimiş metal ağırlığı ve ingot ağırlığı belirler. Bu ağırlık makina ve besleme kafası içerisindeki israf sebebiyle bitmiş parçanın ağırlığını oldukça geçer. Maksimum ingot ağırlığı, döküm çukuru vinçlerinin kaldırma kapasitesi ve ergitme fırınlarının kapasitesine bağlıdır. Ayrıca metalin kalitesi ingot büyüdükçe de bozular. Parçaların büyüklüğü arttıkça, başka problemler ortaya çıkar. Mesela, talaşlı imalatın ve presle dövme işleminin kapasitesi, ısıl işlem fırınlarının büyüklüğü ve metal iş makinalarının çapları göz önünde bulundurulması gerekir. Elektrocuruf kaynağı, bu gibi problemlerle karşılaşmadan, parçaların imalinde kullanılması mümkündür. Birleştirme kapasitesini ingot ağırlığının büyütürerek arttırmaya gerek yoktur. Çünkü

Elektrocuruf kaynağı ile iki blok arasında kaynak yapılarak dökümler elde etme imkânı vardır.

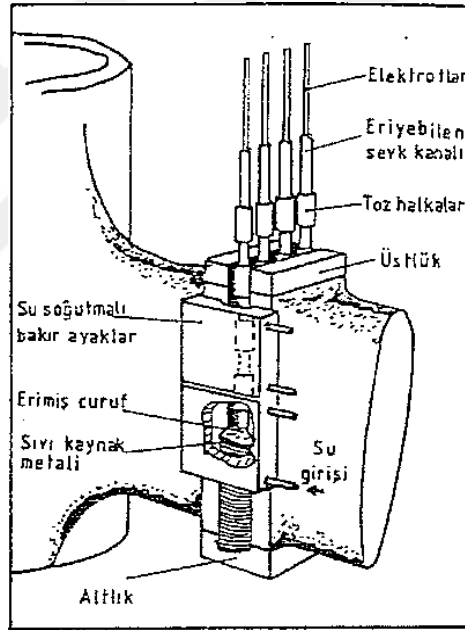
Özellikle kusursuz makina parçalama gereksinim duyulduğu zaman en önemli problem parçayı ısıtma işlemi fırınlarına koyabilmektedir. Eğer kaynak kalitesini düzeltmek için ısıtma işlemi gereksinim duyulursa, yerel ısıtma işlemi uygulanabilir. Şu anda yerel ısıtma işlemi uygun şekildeki parçalara uygulanabilmektedir. Yerel ısıtma işlemi, iç gerginlikler tam giderilemediği için memnuniyet verici bir sonuç alınamaz. Herhangi bir boyuttaki parçaların talaşlı imalatla ve dövme işlemiyle yapılması nispeten sınırlı olan durumlarda Elektrocuruf kaynağı ile yapmak mümkündür. Parçaların boyutlarındaki belirli bir artış taşıma imkânlarının sınırlayacaktır. Dolayısıyla farklı her durumdaki uygulamaya göre Elektrocuruf kaynağı geliştirilmelidir. Bazı durumlarda, her uygulamaya göre geliştirilen Elektrocuruf kaynağının başarısı, kaynak yapılarını güvenilir yerel ısıtma işlemine bağlıdır.



Şekil 4.2. Kalın kesitli malzemenin elektrocuruf kaynağı ile birleştirilmesi.

Bu yöntem, yüzey doldurma operasyonları sahasını genişletmiştir. Elektrocuruf yöntemiyle yüzey doldurma işlemi, büyük kesitli elektrotlarla yapılır. Bu yöntem, parçaların kaplanması ve kalın cidarlı kapların iç yüzeylerinin kaplanması için kullanılır. Yüzey alanları dikey veya belirli bir eğimde olacağından, Elektrocuruf yöntemi kaynak işlemine benzer olacaktır. Dairesel yüzey alanlarında model kullanılarak kaynak işlemi yapılır. Bu yöntemde küçük çaplı elektrotlar kullanılabilir. Çünkü derin bir curuf banyosuna ihtiyaç yoktur.

Yüzey doldurma ve kaynak işlemlerinden başka Elektrocüruf kaynağı, metalürji ve endüstrisinin diğer dallarında da kullanılır (İngot boşluklarının kaynağı, gelişen döküm şekilleri olan Elektrocüruf dökümü, çelikler ve yüksek alaşımla ingotların eritilmesi gibi) [14]. Farklı çelik cinsleri, Elektrocüruf yöntemiyle kaynaklanabilir. Düşük ve orta karbonlu çeliklere ilaveten, ferritik paslanmaz çelikler, Cr -Ni'li östenitik çelikler ve ısıya dayanıldı Nikel alaşımlarının tümü kaynaklanabilir. Nadiren dökme demirler, Ti ve alaşımları yüksek sertlik çelikleri ve havada sertleşmeye hassas olanlar da Elektrocüruf yöntemiyle kaynaklanabilir. Uzun doğrusal ve dairesel birleştirmeler yapıldığı gibi, kalın metallerde kısa mesafelerde kaynaklanabilir. Elektrocüruf kaynağının en iyi uygulama alanı, 40 - 50 mm kalınlığındaki metallerin olduğu söylenebilir. Şekil 4.3'te gemi sanayi inde oldukça yaygın kullanılan bir gemi kasnağının eriyebilen sevk kanallı Elektrocüruf yöntemiyle kaynak yapılmasının şematik şekli görülmektedir.



Şekil 4.3. Bir döküm gemi kasnağının elektrocüruf yöntemiyle birleştirilmesi [56].

4.1.4. Elektrocüruf Kaynağının Sınıflandırılması

Aşağıdaki şemadan da görüleceği gibi Elektrocüruf kaynağı iki ana gruba ayrılır:

- Kaynak banyosunu kalıp kullanarak biçimlendirmek
- Kaynak banyosunu kalıp kullanılmadan biçimlendirmek

Diğer sınıflandırma işlemi ise; akımın tipine, gücün karakteristiğine ve mekanizasyon durumuna göre yapılabilir.

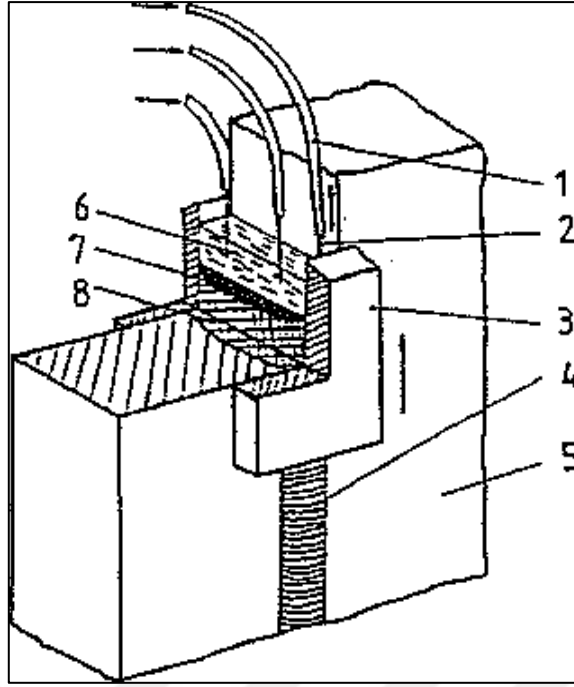
Elektrotun kullanılma durumuna bağılı olarak, kalıp ayakları kullanılarak yapılan kaynak işlemleri de farklı tekniklere ayırabiliriz. Bu teknikler tel elektrotla kaynak, levhasal elektrotlarla kaynak, eriyebilen nozul ile kaynak, Elektro cüruf direnç kaynağı ve yüksek hız Elektrocüruf kaynağı olarak sıralanabilir.

4.1.5. Tel Elektrot Metodu

Kaynak yapılan malzemenin kalınlığına bağılı olarak, bir veya birden fazla elektrot kullanılabilir. Tekli elektrot 50-60 mm kalınlığına kadar parçalar için tercih edilir. Daha büyük kesitli parçaların kaynağında, elektrot sayısı artırılmalı, elektrot kesitleri artırılmalı ve gidip - gelme hareketi uygulanmalıdır. Elektrotların, kaynak ağzı içerisinde, yatay bir şekilde yavaşça gidip - gelme hareketi, eşit sıcaklık dağılımı ve ana metal içinde üniform nüfuziyet sağlamak için uygulanır.

Gidip-gelme hareketli donanımlara, karmaşık yapıya sahip oldukları için üçten fazla tel elektrot kullanılmamalıdır. Cüruf banyosunu ve erimiş metal banyosunu kaynak ağzı içerisinde tutmak için her bir kenarından su ile soğutulan bakır ayaklar kullanılır. Bakır ayaklar, kaynak yüzeyine şeklini veren ve kaynak dikişinin soğumasına yardımcı olan bir modeldir. Bakır ayaklar, otomatik olarak parça yüzeyinde yukarıya doğru kaydırılır. Bakır ayaklar, elektrot besleme mekanizmasıyla birlikte kaynak ilerleme hızına orantılı olarak bir operatör tarafından dikey olarak kaldırılır. Değişik hız kontrolüne sahip motorla istenilen hız seviyesi ayarlanabilir. Kaynak katılaşıp ve ortaya çıkar. Kaynak yüzeyi, kolaylıkla kalkabilen cam gibi bir cüruf tabakası ile kaplıdır. Cüruf tabakasına dönüşerek tükenen cüruf, kaynak süresince cüruf banyosuna ilave edilen tozlarla takviye edilir. Temiz tozlar, elle veya otomatik bir toz yedek sistemi ile ilave edilirler. Yöntemde her bir elektrot, yarım saatlik bir sürede 10 - 20 kg kadar dolgu metali biriktirir. Kullanılan elektrot çapı genellikle 3mm.dir. Elektrottan metal transferleri verimliliği % 100'dür. Toz tüketimi azalır. Toz tüketimi yaklaşık telin % 5'i kadardır.

Kaynak süresince, kaim parçalarda ısı dağılımı üniform olduğu için, Elektrocüruf kaynağında hemen hemen distorsiyon olmaz. Kaynak nüfuziyet şekli; kaynak gerilimi, kaynak akımı ve cüruf banyosu derinliğinin bir fonksiyonudur. Kaynak nüfuziyet, erimiş ana metalin yaklaşık % 30 - 50'sini ihtiva eder. Şekil 4.4'te Elektrocüruf kaynak metodu gösterilmektedir.



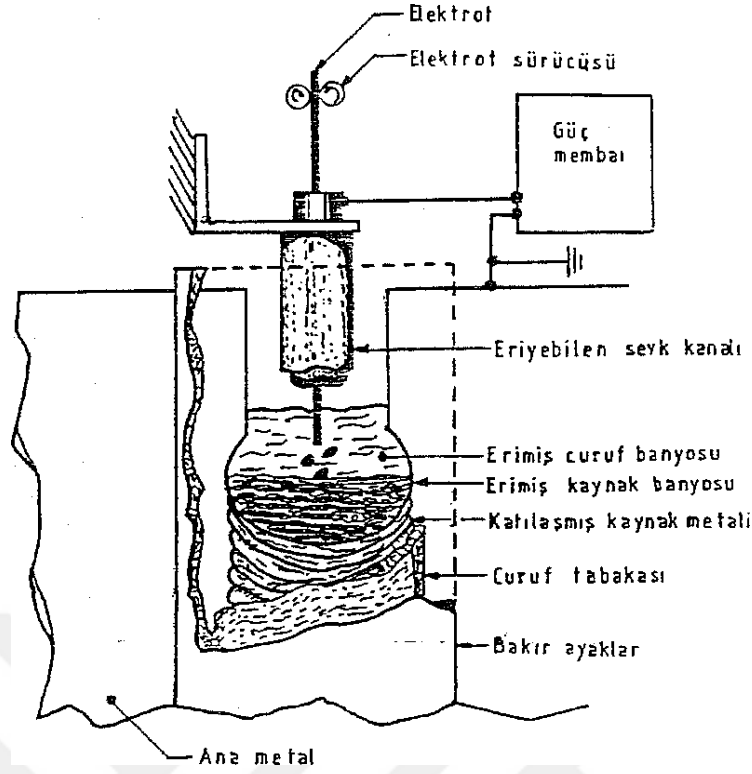
Şekil 4.4. Elektrocuref kaynak yöntemi gösterimi

1-Tel şevki 2-Elektrod teli 3-Su soğutmalı ayaklar 4-Kaynak yüzeyi 5-Ana metal 6-Erimiş curef banyosu 7-Sıvı metal banyosu 8-Katılaşmış kaynak metalı [52].

4.1.6. Eriyebilen Sevk Kanalı Metodu

Eriyebilen sevk kanallı Elektrocuref kaynağı metodu, tel elektrot yönteminin değiştirilmiş bir adaptasyondur. Her iki teknikte de birleştirilecek parçalar, belirli bir açıklık (kaynak ağzı) bırakılarak dikey pozisyonda yerleştirilirler.

Tel elektrot metodunda, bakır ayaklar, elektrot besleme mekanizması ve bu mekanizmaya bağlı diğer kısımlar beraberce yukarıya kaldırılırlar. Eriyebilen sevk kanalı metodunda ise, kaynak bölgesine sevk edilen elektrot, birleştirilecek parçaların boyunca uzanan bir metal tüp içerisinden geçirilerek ulaştırılır. Ayaklar ve tüm besleme mekanizması sabit kalır, sadece elektrot teli hareket eder. Sevk kanalı tüpü, kaynak banyosu içerisinde erir, banyo yükselir ve dolgu metaline ilave olur [14].



Şekil 4.5. Eriyebilen sevk kanalı kaynak metodunun şematik görünüşü [52].

Yeniden toz doldurmamak ve kaynak olacak parçalarla elektriksel temas kurması için, eriyebilen sevk kanalının dışında bir toz örtüsü oluşturulur. Bu toz, bakır ayaklara temas eden kaynak metali yüzeyinde katılaşır. Toz örtüsü, erimiş curufun yeterli seviyede tutulmasını sağlar, ısısal bir direnç oluşturur ve kaynak banyosunu atmosferin etkisinden korur. Eğer sevk kanalının dışında yalıtkanlık özelliğini veren toz örtü kullanılmazsa, birleştirilecek parçaların kenarları ile kontak yapar.

Genellikle belirli fasılalarla curuf banyosuna toz ilave edilmelidir. Eriyebilen sevk kanalının sonundan, erimiş cürufa kaynak akımı transferi olur. Curufun gösterdiği direnç sayesinde sıcaklık meydana gelir. Kaynak teli curuf içerisinde kısa bir mesafe uzatılır ve eriyen damlacıklar halinde kaynak banyosuna geçer.

4.1.7. Levhasal elektrot metodu

Büyük kesitli elektrotlar levhasal ve dairesel kesitli olabilirler. Fakat en çok kullanılan levhasal elektrotlardır. Bu yöntemde, tel elektrot yerine, levhasal elektrotlar kullanılır. Nispeten küçük kesitleri için (100-150 mm kalınlığına kadar) tek bir pasoda levhasal elektrotla kaynak banyosu beslenilebilir. Levhasal elektrot kaynak olan parça genişliği kadardır. Daha kalın kesitler için, birden fazla levhasal elektrot birleştirilecek parçaların bir kenarından diğer kenarına gelecek şekilde kullanılabilir.

Levhasal elektrotların çapları doldurulacak kaynak metali hacminden hesaplanabilir. Tel elektrotlara göre daha düşük gerilim ve daha büyük akım değerleri kullanmak mümkündür. Enine kesiti büyük elektrotlarda 1500 - 2000 Ampere kadar akım kullanılır. Çeşitli elektrotların akım yoğunlukları 0,620 - 1,240 A/mm² arasında değişir [14].

Levhasal elektrotlarda, curuf banyosu yüksekliği daha sığdır. 900 mm daha büyük parçaları birleştirmek zordur. Çünkü levhasal elektrotla, birleştirme işlemini ustalıkla yapmak oldukça güçtür.

Levhasal elektrotların kullanıldığı en yaygın yöntem yüzey kaplama veya doldurma işlemidir. Dolgu oranı levhasal elektrotlarda çok yüksek olduğu için, geniş bir alanı ekonomik bir tarzda doldurma mümkündür.



şekil 4.6. Eriyebilen sevk kanalı kaynak metodunun görünüşü.

4.1.8. Yüksek Hız Elektrocuruf Kaynağı Metodu

Kaynak dikişlerinin dayanıklılığını ve yapısını düzeltmek, dolgu oranını ve kaynak hızını arttırmak ile sağlanabilir. Kaynak hızını arttırmak demek, kaynak boyuna aynı zamanda giren yüzde enerji miktarını arttırmak demektir. Bu olay ısıtma ve soğutma oranlarını

artmasını da etkiler ve hızlı çekirdek büyümesi için kritik sıcaklık oran zamanı azalır. Dolayısıyla kaliteli bir dikiş elde etmek için hem yüksek akım değerleri kullanılır hem de kaynak banyosuna metal tozlar ilavesi yapılır.

Elektrik akımsız ve toz halindeki dolgu metalini tedarik etme dolgunun oranını artırır ve kaynak banyosunun aşırı ısınmasını azaltır. Çekirdekleşmede beraberinde artar. Böylece kaynak banyosunun soğuma durumu, kaynak yapısını değişmesini etkilemiş olur. Kaynak metalinin gerilim ve mukavemet değerleri artar. Böylece daha hızlı kaynak yapma imkânı sağlanmış olur.

Otomatik kaynak sistemi, disk motor - tipi motor ile ve elektrot telini beslemek için sayklo (cyclo) dişlisinden oluşur. Sayklo dişlisi, bir veya çift elektrot kullanımına göre arttırılabilir. Kontak tüpler arasındaki mesafe levhanın kalınlığına göre ayarlanır. Elektrodun gidip - gelme hareketi de tatbik edilebilir. Metal tozları, elektrot teli üzerindeki bakır tüp içerisinden kaynak bölgesine argon gazı ile üflenir. Tozda benzer bir diğer sistemle temin edilir. Kaynak makinası doğru akımda kullanılır ve tel elektrot (+) kutba bağlanır.

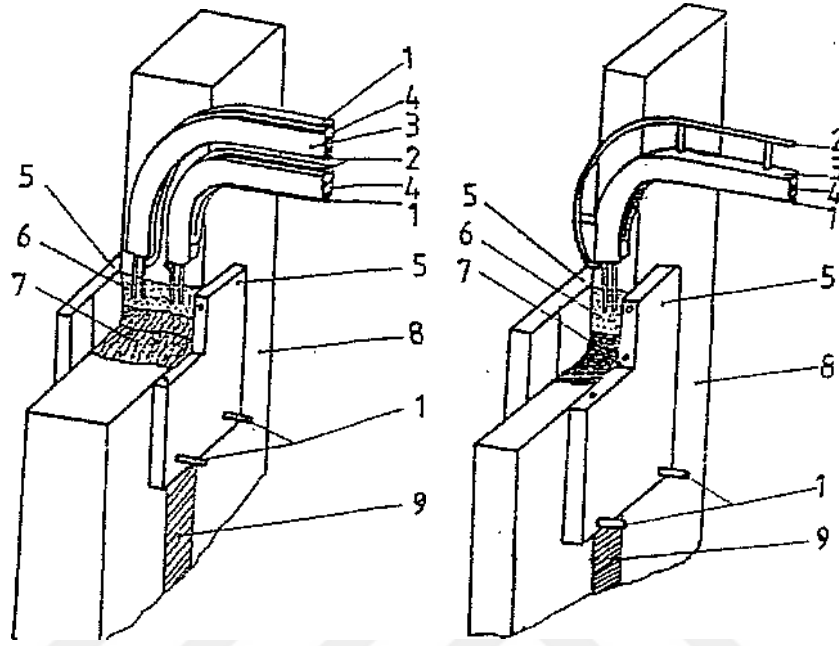
Metal tozu ilaveli yüksek hız Elektrocuruf kaynağında, elektrot ve metal tozu besleme değerleri, farklı levha kalınlıklarına ve farklı birleşme özelliklerine göre geliştirilir. Kalınlıkları 10-40 mm arasında değişen levhalar arasındaki kare kesitli alın birleştirmelerinde çift elektrotlu Elektrocuruf kaynağı kullanılır. Böylece kenardan kenara her taraf tamamen kolaylıkla kaynaklanabilir. Yüksek kaynak hızlarında yetersiz ergime hatalarını önlemek için iki elektrotla kaynak yapılması tercih edilir. Metal tozları, ön taraftan dökülür. Metal tozları tüpü, bakır kontak tüpünden biraz uzak mesafede olmalıdır. Elektromanyetik alandan dolayı metal tozları elektrot tellerine yapışır ve kaynak banyosuna taşınırlar.

Yüksek kaynak akımlarında, metal tozlarının kararlı olması için kontak tüpleri U şeklindeki transformatör kalıplarıyla yalıtılır. Kalınlıklar 40-100 mm arasında değişen levhaların kaynağında iki tane çift elektrotlu besleme mekanizması kullanılır.

Burada da tozun geçişinin başarılı olması için kontak tüpün manyetik izolasyon yapılması gerekir. Elektrotların üstünden metal tozlarının uygulanması kaynak banyosunun aşırı ısınmasını sağlar.

Kaynak banyosunun hacmini arttıran birleştirme şekilleri kullanıldığı zaman, kaynak hızı artar ve kaynak dikişi boyuna yüzde olarak giren enerji miktarı da artar. 38 mm

kalınlığındaki çelik levhaların kaynağı 45-50 derecelik bir açığa sahip çift V - şekli kaynak ağızı kullanılır. Burada iki elektrot beslemesi yapılır. Metal tozlar elektrodun önünden üflenir. Tozlar ise elektrodun ardından kaynak içerisine gönderilir. Bu teknikte de bakır kontak tüpü ve metal toz besleme tüpleri transformatör kalıplarıyla yalıtılır.



Şekil 4.7. Elektrotla birlikte metal tozlar kullanılarak yapılan yüksek yük elektrocüruf kaynağı; 1- Su soğutma 2-Metal tozu akış 3-Magnetik saha 4- Elektrot içi 5- Bakır ayak 6-Cüruf banyosu 7-Erimiş banyo 8-Ana metal 9-Kaynak metal [52].

4.2. ELEKTROCÜRUF KAYNAĞI DONANIMI

4.2.1. Elektrocüruf Makinalarının Karakteristik Özellikleri

Yatay pozisyon için dizayn edilmiş standart otomatik kaynak makinalardan, Elektrocüruf makinalarının farklı belirli özellikleri vardır. Şekil 4.8’de Elektrocüruf kaynağı donanımı gösterilmiştir [27].



Şekil 4.8. Elektrocüruf kaynağı donanımı.

İlk özellik; kaynak dikişinin katılaşıp, şeklini alacak bir model mekanizmasının olması gerekir. Bu mekanizmalar genellikle suyla soğutmalı bakır ayaklardan oluşur. Yüzey kaplama kaynaklarında bu mekanizmalara ihtiyaç yoktur.

İkinci özellik; kaynak boyunca dikey doğrultuda ilerleyebilen özel bir mekanizma gerekir. Yatay pozisyonlar için dizayn edilmiş donanımlarda, donanımın asıl genişliği ve hareketiyle raylarda tekerlekleri tutmak veya iş esnasında kaynak boyunca donanımın kayması (yer değiştirmesi) yeterlidir. Bu durum, dikey pozisyondaki kaynaklar için mümkün değildir. Çünkü sadece genişlik değil, donanım raylarda durdurulamaz; hatta harekete bile karşı direnir. Dikey kaynak dikişlerinin bu donanım problemi özel kaldırma mekanizmaları ile halledilir.

Üçüncü özellik; kaynak banyosunun sabit bir seviyesi, kalıp ayaklarıyla irtibatını sürdüren bir mekanizma gereklidir. Donanımın dizayn ve tipini ayıran en önemli faktör, benimsenmiş metot ve kaynak boyunca hareket için kullanılmış mekanizma olmasına rağmen, donanımının dizaynı daha az ve daha fazla derecede bu özelliklerin her birisini kapsar [14],[27].

Bu temele dayanan Elektrocüruf kaynağı donanımının geçerli tipleri aşağıdaki kategorilere ayrılabilir:

- Dikey raylar boyunca hareket eden veya özel sevk kanalı, kaynağa paralel olarak monte edilmiş raylı tip donanım.
- İş boyunca direk hareket eden ve iş ile mekanik olarak bağlanmış raysız donanım. Bu tipteki her iki donanımda tek veya birden fazla elektrot kullanılabilir ve 40 mm kalınlığındaki kaynak metalleri için dizayn edilmiştir.
- Portatif tipli manyetik kademeli donanım. Bu sistem iş boyunca hareket eder ve elektromanyetik kademeli bir sistemle ayarlanır. Bu donanım 100 mm kalınlığının üzerindeki metallerin kaynağında iki elektrotlu olarak veya daha ince parçalarda tek elektrot kullanılarak yapılabilir.

Elektrocüruf kaynağı donanımı, aşağıdaki operasyonları yapabilir;

- Kaynağın şekline etki etme
- Kaynak banyosunun, bir veya birkaç elektrotla beslenmesi
- Kaynak boyunca donanımının hareket halinde olması
- Dairesel hareket veya ihtiyaç olduğu zaman gidip-gelme hareketini sağlar.
- Standart Elektrocüruf kaynak donanımı, genellikle üç çalışma mekanizmasından oluşur:
- Elektrot telini besleme mekanizması (bir veya birden fazla elektrot olabilir.)
- Su soğutmak veya soğutmasız bakır ayakları kaldırma mekanizması
- İhtiyaç olduğu zaman elektrotun gidip-gelme hareketini sağlayan mekanizma

Bu mekanizmalar, ortak bir motor ile veya donanımın dizaynına ve fonksiyonlarına bağlı olarak birden fazla motorla yapılır. Bağımsız elektrik sürücü sistemi tercih edilmiş olabilir. Çünkü mekanizmaların hızının bağımsız olarak ayarlama imkânı sağlanır. Ortak

bir elektrik sürücüsünün faydası portatif olması özelliği sağlanabildiği gibi, donanımının genişliğinin daraltılması imkânı da elde edilir.

Tüm bu operasyonlar ve ilgili kontrol mekanizmaları, istisnasız tüm kaynaklı donanımı için mecburi değildir. Fonksiyonlara bağlı olan donanım, görevini yerine getirebilmesi için çeşitli kaynak donanım teknikleri ve işleve bağlı olan mekanizmalar seçilir. Bazı operasyonlarda bazı üniteler kullanılmayabilir. Örneğin; Levhasal elektrot kaynağında, uzmanlaşılan düzenlerde, tel besleme mekanizmasına ihtiyaç olmaz ve elektrotun gidip gelme hareketi mekanizmasına ihtiyaç yoktur.

Levhasal elektrotla yapılan yatay kaplama işleminde su soğutmalı bakır ayaklarını hareket ettirme mekanizmasına gerek yoktur. Eriyebilen nozul kullanılan kaynak donanımında, sadece bir mekanizma yeterlidir ki o da elektrot teli besleme mekanizmasıdır. Elektrocuruf makinalarının çalışma mekanizmaları için gerekli değişkenleri göz önünde tutacağız [14],[26],

- Bir mekanizmanın operasyon hızı düzenli bir şekilde olmalıdır ki verilen kaynak hızına göre ayarlanabilsin. Hızlar pürüzsüz bir şekilde veya adım adım değişebilmelidir. İlk durum sürücü motorun değişen hızı ile ilgilidir, ikinci durum ise bir dişli kutusu veya değişebilen dişlilerin vasıtasıyla ilgilidir.
- Dikey hareket hızı, kaynak banyosu seviyesi değişikliklerinin olmayacağı şekilde otomatik ayarlanabilir olmalı. Bunun için pratikte kullanılan iki metot vardır. Bunlar motorun hızını değiştirme ve hareket mekanizmasının başlama ve durma periyodudur. Bu açık-kapama veya başlayıp-durma prensibine göre çalışır.
- Hareket mekanizmasının dizaynı, yüksek hızlara ayarlanabilir durumda olmalıdır. Portatif donanım durumunda, sürücüden mekanizmanın hareket kısmının serbest bırakılmasını tedarik etmek yeterlidir ki el ile kaynak boyunca makina taşınabilsin.
- Mekanizmanın hareket gücünü, çekme kuvveti temeline dayanarak hesaplanmış olunabilir, yalnızca donanımın geçerli genişliğini hesaba katılmaz fakat çok yüksek değerlere ulaşabilen ayakların (her ayak için 100 kg/m üzerinde) sürtünmesinden de netice hasardır.

Çoğu durumlarda, elektrot besleme teli kaynak süresince sabit kalmalıdır. Operasyon boyunca besleme oram değişme imkânına sahip olması istenir ki saptanmış olan

Elektrocuruf yöntemi için ihtiyaç duyulan periyodu kısaltır ve kaynağın başlangıcında bu yöntemi kolaylaştırmak ve da kaynak boyunca curuf banyosu aldığı sağlamak için tercih edilir. Bu sabit akım vasıtasıyla ve değişen hız motorları veya bir dişli kutusu vasıtasıyla etkilenmiş olur.

Kafanın enine git - gel hareketi için mekanizma aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

- Döndürülebilir veya çift taraflı olmalıdır; tersine çevirmenin daha basit sistemi motor üzerindeki otomatik olan sınırlı düğmelerin vasıtasıyladır.
- Hareket hızı, 20-60 m/sn oranında olmalıdır. Bu modem donanımlarda değiştirilebilir hız kesici dişlileri vasıtasıyla yapılır.
- Hareketin başlangıç ve sonunda, gecikme zamanı vermede, kafa üzerinde tersine çevirmek için yapılmalıdır. Bu mekanizma 2-6 saniye arasında ayarlama oranına sahip olmalıdır.

Elektrocuruf kaynak donanımı, kullanılma gayesine göre sınıflandırılabilir [14],[26],

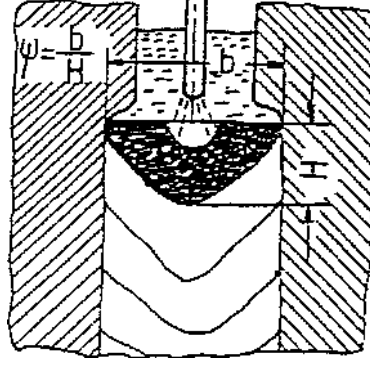
- Ray tipli Elektrocuruf donanımı
- Raysız tip Elektrocuruf donanımı
- Kademeli manyetik donanım
- Dairesel kesitli kaynaklar için donanım

4.3. ELEKTROCÜRUF KAYNAK PARAMETRELERİ

4.3.1. Şekil Faktörü

Katılma esnasında kaynağın çatlamaya karşı direncine, katılma usulleri büyük bir şekilde etki eder. Eğer birleşme kenarından, merkeze doğru dentritik çekirdek büyümesi birikiyorsa, genel olarak geniş bir açı, çatlama direncini azaltacaktır. Kombine açı, dar ise çatlama direnci yüksek olacaktır. Katılma modeli, sırayla, erimiş kaynak banyosunun şekli ile kontrol edilir. Kaynak banyosu şekli, “şekil faktörü” ile çok etkili tarif edilmiş olabilir.

Şekil faktörü ($\backslash/$), kaynak banyosunun toplam geçtiğinin (b), kaynak banyosunun max derinliğine (H) oranıdır.



Şekil 4.9. Elektrocüruf kaynağının kaynak banyosu şekli [56].

Elektrocüruf kaynağında, kaynak şekil faktörü 0,8-10 arasında değişebilir. Bunun ortalama değeri ise 1,5-4 arasındadır. Büyük çapta, kristaller arası çatlaklar için kaynağın direncini, şekil faktörü tayin eder. Yüksek bir şekil faktörüne sahip kaynaklar, mesela yüzeysel derinliğe göre genişlik, dar bir açıda çekirdeklerin toplanması ile katılmaşma yönelir ve böylece çatlamaya karşı yüksek bir dirence sahip olur. Düşük bir şekil faktörüne sahip kaynaklar (mesela; kaynak banyosu derinliğine göre genişlik) geniş bir açıda çekirdeklerin toplanması ile katılmaşma yönelir. Bu kaynaklar, düşük çatlama direncine sahiptirler ve merkezde bir çatlak meydana gelebilir.

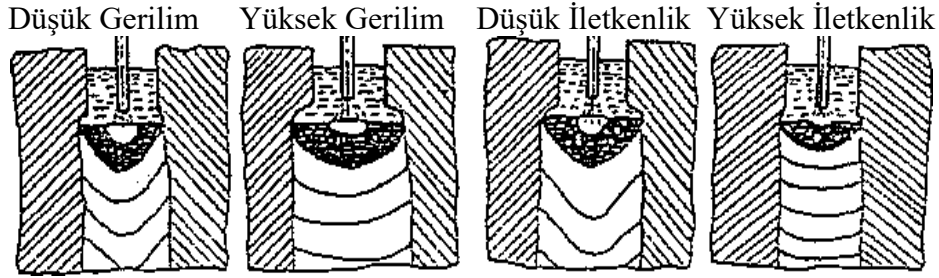
Bileşik şekil faktörü ve kaynak banyosunun şekli, kaynak parametreleri ile büyük bir genişlik için kontrol edilir. Kaynak parametrelerine önem verilmelidir. Çatlama direnci yalnız şekil faktörüyle kontrol edilemez. Çünkü kaynaklanmış olan özel alaşım, çatlama eğilimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

4.3.2. Kaynak Gerilimi

Kaynak gerilimi önemli bir değişken olup, yöntem operasyonlarının işlerliği üzerinde ve ana malzemenin ergime derinliğini büyük bir şekilde etkiler. Kaynak gerilim erime derinliğinin kontrolünde en önemli vasıtasıdır. Gerilimin artışı erime derinliğini ve kaynak genişliğini artırır. Ergimenin derinliği kaynak merkezine göre kenarlardaki ergime daha fazla olmalıdır ki su soğutmalı ayakların soğumaya etkisi üstesinden gelebilmelidir.

Kaynak gerilimindeki artış, kaynak genişliğini arttırdığı için şekil faktöründe ve çatlama direncinde de artış olur. Yöntemin operasyon işlerliğinin olması için gerilim belirli sınırlar içinde tutulmalıdır. Eğer gerilim çok düşük ise, kısa akım veya ark kaynak banyosunda oluşacaktır (Şekil 4.10). Çok yüksek bir gerilimde, curuf sıçraması ve curuf

banyosu üzerinde oluşacak arkla yöntemi operasyonlarının işlevsizliği meydana gelir. 3mm'lik elektrot çapıma genelde 40 - 55Volt'luk gerilim kullanılır. Belirli bir kaynak eki ile diğer faktörlerin birleştirilmesi gibi, işletme gerilimi cürufa bağlıdır.



Şekil 4.10. Kaynak geriliminin kaynak banyosuna etkisi ve toz iletkenliğinin kaynak banyosuna şekline etkisi [52].

4.3.3. Kuru Elektrot Mesafesi

Kuru elektrot mesafesi, elektrot telinin curuf banyosu yüzeyinden kontak meme ucu arasındaki uzaklıktır. Diğer faktörlerin sabit kalmasıyla, kuru elektrot mesafesinin artışıyla; erime ve dolgu oram artar, kaynak genişliği ve şekil faktörü azalır. Bu durum, kaynak akımı ile elektrotun elektriksel direnci (I^2R) vasıtasıyla oluşan ısının değişmesi nedeniyle olur. Yöntemin kararlı olması için bir kuru elektrot mesafesi ayarlanır. Kaynak esnasın da ilave bir artış olması durumunda, curuf içerisinde elektrot kararsız bir halde ergir. Uzun elektrot mesafesi bırakıldığında, kaynak boşluğunda, elektrotu kontak yaptırmadan yerleştirmek oldukça zor olur.

Tel elektrot kullanıldığı takdirde 3mm.lik bir orta karbonlu elektrotta, yaklaşık 75mm.lik bir kuru elektrot mesafesi bırakılmalıdır. Elektrot teli, curuf banyosu içerisine 25 mm kadar girdirilir. Eriyebilen nozulla kaynak işlemi yapıldığı takdirde kuru elektrot mesafesinin kontrol edilmesi gerekmez. Kum elektrot mesafesinin kaynak akımı ve kaynak genişliği üzerinde de oldukça etkilidir. Kuru elektrot mesafesi arttıkça kaynak akımı ve kaynak genişliği azalır.

4.4. ELEKTROCURUF KAYNAĞINDA KULLANILAN ELEKTROTLAR VE ÖZELLİKLERİ

Elektrocuruf kaynağında, yüzey kaplama veya doldurma işleminde genellikle 3 mm çapında elektrot telleri kullanılır. Özel maksadı donanımlar kullanıldığı takdirde farklı

aplarda elektrot telleri kullanılabilir. Örneğin, hortum tipli yan otomatik bir ünitenin kullanılması halinde 2 mm çapında elektrotlar kullanılır veya traktörler ve kaynak kullanılması durumunda 4-6 mm çapında elektrotlar kullanılır. Karbonlu eliklerin kaynağında kullanılan elektrot telinin kimyasal bileşimi izelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. S2Si elektrotunun konsantrasyonu

Elektrot	C	Mn	Si	S	P
GEKA S2Si	0.088	0.018	0.0234	0.004	0.006

Karbon içeriği, karbonlu elik elektrotlarda kaynaklanabilen yapısal çeliklere nazaran daha azdır. Böylece ana metalde belirtilenden aşağı olmamak şartıyla kaynak metalinin gerilim karakteristikleri sağlama, Mn, Si ve diğer alaşım elemanlarının katılmasıyla gerçekleştirilir.

Yukarıda belirtilen elektrot bileşimleri % 0.30-0.35 karbon içeren yapı çeliklerinin kaynağında oldukça yaygın bir tarzda kullanılır. Çizelge 4.2’de gösterilen elektrot cinsi türleri, düşük alaşımdı yapı çeliklerinin ve belirli karbon içerikli eliklerin Elektrocuruf kaynağında AN-8, AN-8 m ve FTs-7 tozlan ile birlikte kullanılması tavsiye edilir.

Çizelge 4.2. elik cinsine göre tercih edilen elektrod türleri.

elik tipi	elik cinsi	Elektrod cinsi
Düşük karbonlu yapı	St.2, St.3, Mst.3	Sv-08A,Sv-08GA
Kazan eliği	20K, 22K	SV-10G2
Orta karbonlu döküm	20L, 25L, 35L	SV-08GA, SV-10G2
Dövülmüş orta karbonlu	Steel 30, Steel 40	SV-08GA, SV-10G2
Düşük alaşımlı Cı-Mn-Si	30KhGSA	Sv-18KhMA

Yüksek karbonlu çeliklerin ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynağında en ideal şart, kaynak metali ile ana metalin bileşimlerinin ve de mekanik özelliklerinin aynı olmasıdır. Yüzey doldurma işlemlerinde alaşımlandırma imkânı kolaylıkla yapılabilen zl elektrotların kullanılması daha yararlıdır.

Seramiklerin üretimi gibi, farklı metal tozlarının sinterlenerek elektrot haline getirilip kullanılması son yıllarda oldukça gelişmiştir. Bu yöntemle, yabancı maddelerin minimum seviye de bulunan bir kaynak metali elde etme imkânı sağlanmıştır,

4.5. ELEKTROCURUF KAYNAĞINDA KULLANILAN TOZLAR

Elektrocuruf kaynağında toz, istenilen yönde metalürji etkenleri sağlama fonksiyonunun yerine getirilir. Kaynak dikişine yoğun metal geçişini temin eder. Tozlar, elektriksel iletkenliğe sahip olmalıdırlar. Curufun özellikleri, Elektrocuruf kaynağı da büyük önem taşır. Çünkü kaynak ısısı curuf vasıtasıyla oluşturulur. Kaynak bölgesi curuf vasıtasıyla korunur. Kaynak dikişini alaşımlandırma yine cürufa katılan katkı maddeleri ile sağlanır [14].

Elektrocuruf kaynağı tozlarının teknik bazı özellikleri şunlardır:

- Tozlar, curuf banyosunun derinliğini ve curuf banyosunun genişliğini istenilen şekilde ayarlamaya uygun teknik özelliklere sahip olmaklar. Kaynak akım ve kaynak gerilimlerini geniş bir aralık içerisinde değiştirip kullanabilme imkânını sağlayacak özellikte olmalıdırlar.
- Tozlar, ana malzeme kenarlarını yeterince ergitebilmelidir. Kaynak dikişleri içerisinde curuf kalıntıları oluşturmayacak akıcılık gibi teknik özelliklere sahip olmalıdırlar.
- Kâtip ve ana malzemenin temas noktalarından dışarıya curuf akmayacak özellikte olmalıdır.
- Curuf kabuğu kolayca kaldırılabilir bilinmelidir. Curuf kaynak dikişi üzerinden tabaka kalkmamalıdır.
- Tozlar, oksijensiz olmalılar. Nadir toprak metalleri (Ca, Na, Sr, Ba ve Li) veya tuz yapan alkaliler içermelidirler.
- Tozlar, düşük nem alma özelliğine sahip olmalıdırlar.
- Kaynak yapılacak malzemenin erime noktasına göre tozların da erime noktası ayarlanmalıdır.
- Tozların teknolojik karakteristikleri kaynağın şeklini kolaylaştırması için elverişli olmalıdır.

Elektrocuruf kaynak tozlarının en önemli özelliğini, ısı ile curufun viskozitesi ve elektrik iletkenliğinin değişip değişmeme oranlarını belirler. Yüksek elektrik iletkenliğine sahip cüruflar, yöntemi daha dengeli ve daha kolay kaynak yapma imkânı sağlarlar. Kaynak bölgesine giren ısı miktarı, elektrot metalinin erime oranı ve yüzeylerin erime nüfuziyet büyük çapta curufun iletkenliği ile belirlenir [14],[15].

Elektrocuruf kaynağında bakır ayaklar kullanıldığı zaman, curufun viskozitesi önemli hale gelir. Eğer çok akıcı tozlar kullanılırsa aralıklarla kolayca curuf girebilmektedir. Curuf, ana malzeme ile bakır ayaklar arasından sızarsa kaynak işlemi hatalı olur. Akıcı curuf kullanılmak zorunluluğu doğarsa ana malzeme yüzeyi ile bakır ayakların çok iyi bir temas etmesi gerekir. Gerekirse aralıklar kapatılmalıdır. Aksi halde yanma olukları denilen kaynak hataları ile karşı karşıya kalınabilir.

Bazı durumlarda düşük viskoziteye müsaade edilebilir. Örneğin; direnç Elektrocuruf kaynağında veya levhasal elektrotlarla yapılan kaynaklarda kullanılabilir. Çünkü burada sızma riski yoktur. Fakat curufun yüksek viskoziteye sahip olması arzu edilir. Yüksek viskoziteli cüruflarla, curuf kalıntılarının olmadığı iyi bir kaynak dikişi elde etmek mümkündür. Cüruflar, kolayca uzaklaştırılabilir olmalıdırlar. Metal yüzeyine sıkıca yapışmış cüruflar, çıkartılırken kuvvetlice fırlayıp cilde veya göze zarar verebilir.

Silikatlı bir curuf ile ana malzemenin yüzeyi arasındaki irtibatı Al_2O_3 , Cr_2O_3 ve diğer oksit filmleri sağlar. Eğer bir curuf kolayca uzaklaştırılabiliyorsa, bu curuf içerisindeki oksit miktarı minimum seviyededir. Curufun elektriksel ve teknik özelliklerini curuf içerisine katılan değişik miktarlardaki kimyasal maddeler belirler. Bilindiği gibi Elektrocuruf kaynağının daha kararlı olmasını temin etmek için yüksek MnO 'li ve düşük SiO_2 'li cüruflar kullanılır [14].

Curufun elektriksel iletkenliğini, CaF_2 ve TiO gibi diğer floritler oldukça fazla artırır. Bu kimyasal maddelerin ilavesi curufun viskozitesini azaltır. Elektrik iletkenliği - sıcaklık ve viskozite - sıcaklık arasındaki ilişkiler, karmaşık sistemlerde ancak deneysel yollarla tespit edilebilir.

4.6. ELEKTROCURUF KAYNAĞINDA ISININ ETKİSİ

Elektrocuruf kaynağında bilindiği gibi ısı, curuf banyosunun içerisinde akımın geçmesi neticesinde oluşur. Cüruf banyosu içerisinde gelişen ısı (Q), joule kanununa göre tanımlanabilir.

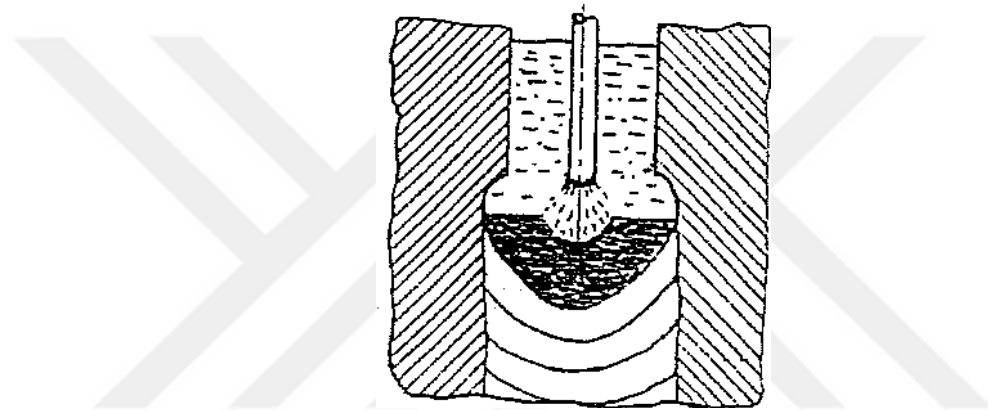
Yani

$$Q = 0.24 U.I \text{ cal/ sn.}$$

Burada;

U: kaynak gerilim (Volt), I: Kaynak akımı (A)

Curuf banyosunda oluşmuş ısı, ısı girdisinin ana etkenini oluşturur. Diğerleri ise, metal ve curuf arasında meydana gelen termokimyasal reaksiyonlar neticesinde oluşan ısıdır. Fakat bu önemsiz olduğu için ihmal edilir. Tüm curuf banyosu, Elektrocuruf kaynağındaki ısıнын temini hususunda rol almaz. Sadece elektrot ucu ile bitişik ısıtılmış curufun sınırlı bir bölgesi rol alır. Bu bölgede elektrik enerjisi, ısı enerjisine çevrilir.



Şekil 4.11. Elektrocuruf kaynağında ısı membasının görünüşü [56].

B. E. Paton'a göre akımın büyük bir kısmı elektrot ucu içerisinde geçer. Curuf direnci banyo derinliği ile ters orantılıdır. Kaynak akımının önemsenmeyen bir oran elektrotun yanal yüzeyine doğru akar. Curuf banyosu içerisindeki elektrotun ucu, kaynak parametrelerine bağlı olarak ısı merkezi pozisyonunu tayin eder [26],

Akım artarsa, elektrot ucu curuf banyosunun daha fazla derinine daldırılacaktır. Kısa bir zaman için kaynak banyosu içerisine elektrot ucu daldırıldığı zaman akım yüksek bir değere ulaşır. Kaynak geriliminin artması, derinlik artışını etkiler. Kaynak parametrelerinin bazıları da curuf banyosu içerisindeki elektrot ucunun pozisyonunu etkiler. Öncelikle curufun elektrik iletkenliği göz önüne alınmalıdır[14].

Curufun iletkenliğinin artışı, Elektrocuruf yönteminin daha kararlı ark olmasını sağlar. Eğer tozun iletkenliği çok yüksekse, curuf banyosu içerisinde gelişen enerji kaynak işlemini sürdürmek için yetersiz durumda olabilir.

Elektrocuruf kaynağında ısı dengesini etkileyen ana faktörler şunlardır:

- Elektrotun eritilmesi için harcanan ısı
- Ana metalin eritilmesi için harcanan ısı
- Tozun eritilmesi için harcanan ısı
- Curuf banyosunun yüzeylerinden, bakır ayaklardan ve ana malzemenin kütlesine yayılan kayıp ısı

4.7. ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

Kaynak esnasında çeliğin yapısında maruz kaldığı ısıнын tesiri ile birçok değişmeler meydana gelir. Bir çeliğin geniş tedbirler almayı gerektirmeden teşekkül eden değişmeler, konstrüksiyon açısından tehlike meydana getirmeden, kısaca; istenen metalürjik, teknolojik ve konstrüktif özellikleri sağlayarak kaynak edilebilme yatkınlığına kaynak kabiliyeti denir. Bir çeliğin iyi bir kaynak kabiliyetine sahip olduğunu söyleyebilmek için şu iki hususu bir arada bulundurması gerekir [35],

- Kaynaktan önce ve sonra iyi bir sünekliğe sahip olmalı.
- Kaynak metali ile ana metal karıştığında gevrek olmayan bir yapı meydana getirmelidir.
- Günümüzde kaynak kabiliyeti üç açıdan incelenmektedir.
- Teknolojik kaynak kabiliyeti: Kaynak usullerine yatkınlığı ifade eder.
- Metalürjik kaynak kabiliyeti: Kaynak esnasında verilen ısıнын tesiri ile meydana gelen fiziki ve kimyasal değişikliklerin müsaitliğini gösterir.
- Konstrüktif kaynak kabiliyeti: kaynaklı bağlantının çatlamaya karşı hassasiyetini gösteren küresel özellikleri ifade eder.

Teknolojik ve metalürjik kaynak kabiliyeti, tesirlerini küresel özellikler üzerinde icra ettiğinden çatlama hadisesi kaynak kıstası olarak ifade edilmektedir. Uygulayacağımız usul elektrik ark kaynağı prensibine dayandığından kaynak kabiliyetine etki eden faktörleri bu usul açısından incelemekte fayda vardır. Çatlama hassasiyetine tesir eden faktörleri beş grupta ele alabiliriz:

- Isı
- Ana metal

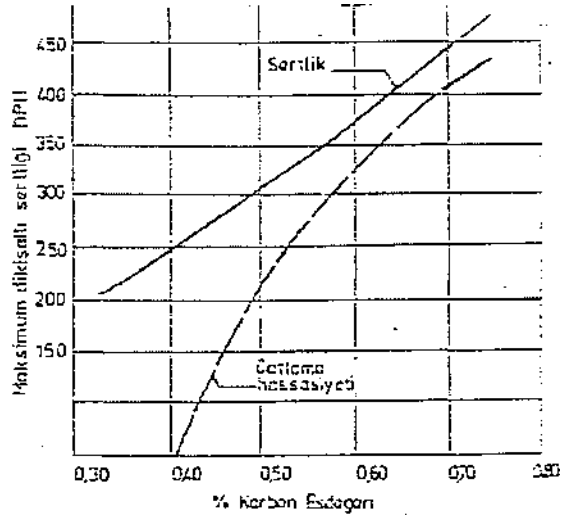
- İlave metal (kaynak metal)
- Kaynak metodu
- Konstrüksiyon

Kaynak esnasında parçaya verilen ısı, erime miktarı, difüzyon, metalürjik dönüşümler, kimyasal reaksiyonlar ve mekanik özelliklere tesir eder. Kaynak esnasında verilen ısı miktarı arttıkça ana metalin eriyen kısmı da artar. Bu esnada ana metaldeki safiyet bozucu elemanlar dikişe geçebilir ve yüksek sıcaklık sebebiyle ortamdaki gazların erime nispeti fazlaşır. Yine ısı miktarı arttıkça kaynak bölgesinde iç gerilmeler teşekkül eder. Bu ise parçanın deformasyonu demektir. Ayrıca, ana metalin yapışma bağlı olarak mekanik özelliklerde değişir. Mesela, sıcaklık arttıkça çekme ve akma mukavemeti azalır, ana metalde tane boyutunda değişimler meydana gelir ki, bu mekanik özellikleri belirleyen başlıca değişimlerden biridir,

Ortamdaki gazlar sıcaklık yükseldikçe ana metal içine kolaylıkla difüze olurlar. Şayet soğuma nispeten hızlı olursa, burada hapis olma ihtimalleri vardır. Gazların ve bilhassa hidrojenin kaynak kabiliyeti üzerine tesiri çoktur ve bu tesir de verilen ısıya bağlı olarak ana metal ve dikişteki difüzyonu ile alakalıdır.

Kaynak esnasında verilen ısı, kaynak bölgesinin soğuma hızını ve dolayısıyla ana metal ve ilave metalin bileşimine bağlı olarak dönüşümü belirler. Bu ise kaynak bölgesinin sertleşme eğilimi ve buna göre çatlama riski üzerinde mühim bir rol oynar. Mesela, çelikte ısıнын tesiri ile azot ve bakır yaşlanmaya sebep olarak malzemeyi gevrekletirebilir, perlitin yapısı değişebilir,

Ana metalin terkibi sertleşme ve dolayısıyla çatlama eğilimi üzerine tesir eden en önemli unsurdur. Havada su alabilen bütün çelikler kaynak bölgesinde çatlamaya karşı çok hassastır. Yani sertleşme eğilimi fazla olan malzemelerde çatlama riski fazladır. Bir çeliğin sertleşme eğilimi kimyasal bileşiminden hareketle tespit edilebilir. Çeliklerde sertliğe sebep olan yapı martenzittir. Dolayısıyla martenzit oluşumuna müsait bir metalürjik dönüşüm kaynak işleminde istenmeyen bir hadisedir.

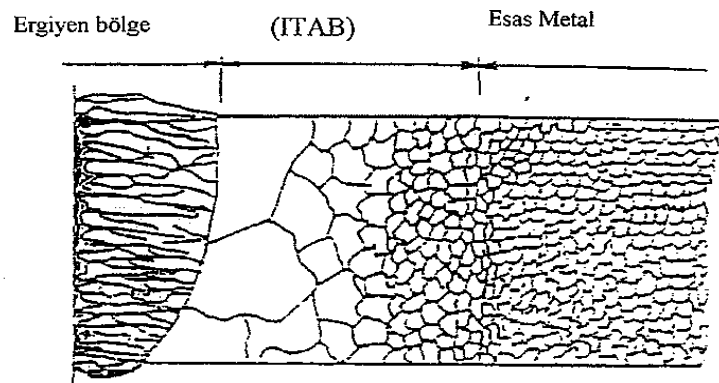


Şekil 4.12. 25 mm kalınlığında bir C-Mn çeliğinde C eş ile dikiş altı sertliği arasındaki ilişki [52].

Çelikte karbon miktarı arttıkça, sürekli soğuma diyagramlarında perlit burnu sağa kaymakta yani martenzitin teşekkül ihtimali fazlalaşmaktadır. Diğer alaşım elemanları da başta Mn olmak üzere bu hadiseye azalan nispette iştirak etmektedir. Bu noktadan hareketle alaşım elemanlarının belirli bir nispet dâhilinde çeliğin bileşimindeki karbon miktarına ilave edilmesiyle bulunan değere karbon eşdeğeri denilmiştir. Karbon eşdeğeri sertleşme meylinde göz önüne alınan başlıca kriter olup, bu değer büyüdükçe çeliğin kaynak kabiliyeti de o oranda azalmaktadır.

$CE = \% C + Mn/6 + (\%Cr + \%Mo + \%V)/5 + \%Ni + \%Cu /15$ olarak verilmektedir.

Kaynak yapılan bir parçada kaynak bölgesini, eriyen ve ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) olarak ikiye ayırabiliriz. Kaynak bölgesinin şematik olarak gösterilişi Şekil 4.13' de verilmiştir.

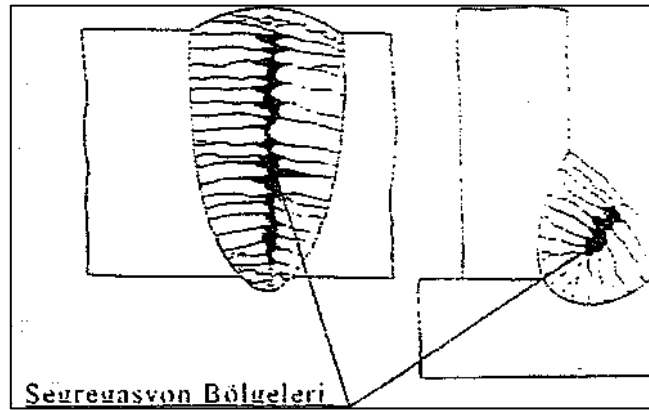


Şekil 4.13. Kaynak bölgesi (Şematik) [52].

4.7.1. Ergiyen Bölge

Eriyen bölge, kaynak bölgesinde meydana gelen türbülans dolaylı katılaşmadan önce iyice birbirine karışmış olan esas metal, kaynak metal ve tozundan ibarettir. Esas metalin kaynak metaline (tel-toz) oranı çeşitli kaynak yöntemlerine bağlı olarak, geniş bir aralık içerisinde değişir. Tozaltı kaynağında bu oran, kaynak parametrelerine göre değişmesine rağmen genellikle 1/2 mertebesinde dir. Belirli bileşim ve miktardaki kaynak metal ve esas metalin karışımından oluşan eriyen bölgenin hesaplanan bileşimi kimyasal analiz sonuçları ile aynı değildir. Bunun sebebi, bazı alaşım elemanlarının kaynak esnasında yanarak kayba uğramasıdır. Yanma derecesi, ısı kaynağına ve kaynak yerini çevreleyen atmosfere göre değişir. Eğer havaya karşı korunma tam değilse, kaynak banyosu oksijen ve azot absorbe eder.

Oksijen, kaynak yerinde önemli bir rol oynar ve telafisi zor olan birçok yanmalara neden olur. Meselâ kaynak banyosunda, erimiş haldeki çeliğin bileşiminde bulunan karbonla birleşerek karbon monoksit oluşturur ve bu gaz, gözenek oluşumuna sebep olabilir. Oksijenin meydana getireceği reaksiyonları kontrol etmek için ilave kaynak metaline (tel veya toz) manganez, silisyum ve bazen de alüminyum, titanyum gibi dezoksidan maddeler katılır.



Şekil 4.14. Alın ve iç köşe dikişlerinde segregasyon bölgeleri [44].

Eriyen bölgenin katılaşması, kendisini çevreleyen esas metale ısı iletimi ile olur ve oldukça iri sütunlar halinde kristaller meydana gelir. Özellikle kalın parçaların derin nüfuziyetli kaynağında bu iri silindirik kristallerin birleştiği yerde, yani ortada segregasyondan dolayı bir boşluk oluşur. Kaynak dikişinin ortasında oluşan bu segregasyon bölgesi kaynaklı bağlantının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Şekil 4.14).

Eğer kaynak metalinin kimyasal bileşimi ve yapısı, esas metalinkinden farklı değilse, kaynak bağlantısının kalitesi iyi olur. Bu isteğin yerine getirilmesi, kaynak işleminde aşağıdaki şartların sağlanmasını gerektirir:

- Esas metalin dezoksidasyonu ve oluşan oksitlerin dikiş içerisinde erimiş metalden uzaklaştırılması.
- Esas metalin, yanan elemanlarının yerini tutan elemanlarla alaşımlandırılması gerekir.
- Bazen kaynak metali, esas metal içerisinde hiç bulunmayan veya çok az bulunan elemanlarla alaşımlandırılır.

Esas metalin dezoksidasyonu; verilen fiziksel ve kimyasal şartlar altında, oksijene karşı ilgisi esas metale ilgisinden daha büyük olan ve bu gaye için katılmış bir elemanla sağlanır. Bu katkı elemanı ile esas metal arasında yer değiştirme reaksiyonu olur,

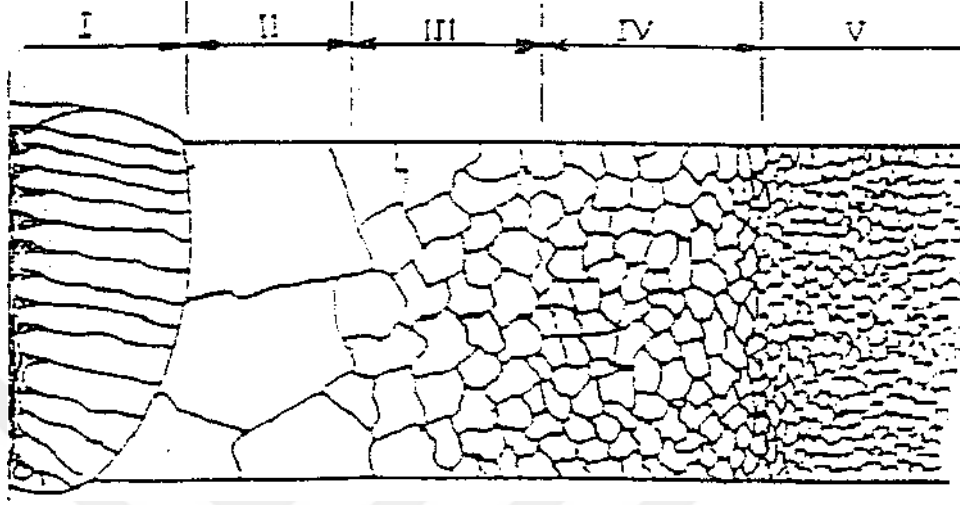
Erimiş metalin alaşımlandırılması için kaynak teline veya tozuna bir takım alaşım elemanları katılır. Dezoksidasyon maddesi olarak oksijene karşı ilgisi, yalnız esas metale olan ilgisinden değil, alaşım elemanına olan ilgisinden de daha yüksek olan bir madde seçilmelidir. Bu durum alaşım işleminin oluşumunu kolaylaştırır. Bütün bu tedbirlere rağmen alaşım elemanı yine de oksitlenir. Bunun için alaşımlandırma derecesi daima T den küçüktür. Bir alaşım elemanının, oksijene karşı ilgisi ne kadar yüksekse bu elemanın alaşımlandırma derecesi de o kadar küçük olur. Dezoksidasyon ve alaşım elemanları kaynak tozuna katılır.

4.7.2. Isının Tesiri Altında Kalan Bölge

Isının tesiri altında kalan bölge, eriyen bölgenin esas metal ile birleştiği kısımdan itibaren yaklaşık olarak 1450 ile 700 °C arasındaki bir sıcaklığa maruz kalan bölgedir. Eğer ısının tesiri altında kalan bölgede erişilen en yüksek sıcaklık, kaynağın merkezine olan mesafenin bir fonksiyonu olarak bilinir ve esas metalin yapısı da tanınırsa, kaynak işlemi sonunda oluşacak yapıyı tahmin etmek mümkündür. Fakat birçok durumda soğuma hızını da hesaba katmak gerekir. Özellikle 900 °C'nin üzerinde tavlanan bölge, kalın parçalarda soğuma daha da hızlı olacağından, bir nevi su verme işlemine tabi tutulmuş sayılır. Sonuç olarak da çeliğin bileşimine göre bu bölgede çok yüksek sertlikler elde edilir ve gevrek bir bölge meydana gelir. Bundan dolayı ısının tesiri altında kalan bölge, kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılma bu bölgede olur. Isının

tesiri altında kalan bölge, iç yapı bakımından dört ayrı bölgeye ayrılabilir.

Kaynak metalinin hemen altında bulunan ve kaynak esnasında 1450 - 1200 °C arasındaki sıcaklıklara maruz kalan iri taneli bölgedir. Çeliğin bileşimine ve soğuma şartlarına göre martenzitik veya temperlenmiş martenzitik bir iç yapıya ve en yüksek sertliğe sahiptir.



Şekil 4.15. Isının Tesiri Altında Kalan Bölgedeki Tane Yapısı Değişimi [44].

Şekil 4.15'deki kaynak metal bölgeyi sıralanacak olursa;

- I. Kaynak metal (Erime bölgesi).
- II. İri taneli bölge (1450-1200 °C arası).
- III. İnce taneli bölge (1200-900 °C arası).
- IV. Kısmen dönüşmüş bölge (A_3 - A_1 noktaları arası).
- V. Değişmeye uğramayan veya Temperlenmiş bölge (A_1 noktasının altı).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kimyasal kompozisyonu verilen S355J2+N çeliğinin Elektrocüruf kaynak yöntemi ile değişik kaynak parametreleri kullanılarak kaynaklanmış ve kaynak parametrelerinin ultrasonik test kontrolleri, manyetik test kontrolleri, mikroyapı, çekme, eğme, darbe çentik ve sertliğe etkisi araştırılmıştır.

5.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

Elektrocüruf kaynak yöntemi ile kaynayacak olan S355J2+N çeliği kullanılmıştır. Ana malzemenin spektrumları verilmiştir. Çizelge 5.1’de ana malzemenin spektrumları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana malzemenin spektrumları.

Elementler(%)	C	Si	Mn	Al	S	Mo	Fe
S355J2+N	0.22	0.55	1.6	0.020	0.35	0.10	Kalan

Kaynak teli olarak GEKA S2Sİ 4 mm kaynak teli kullanılmıştır. Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. GEKA S2Sİ 4 mm kaynak teli kimyasal bileşimi (% ağırlık) ve kaynak dikişi mekanik özellikleri.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
0.088	0.234	0.018	0.006	0.004	0.021	0.070	0.020	0.17	0.008
Kaynak dikişi mekanik değerleri	Akma dayanımı (N/mm2)		Çekme dayanımı (N/mm2)		% Uzama		Çentik darbe (-20 °C)		
	430		530		20-28		80 J		

Kaynak tozu olarak GEKA ELIFLUX ESW Elektrocüruf kaynak tozu kullanılmıştır. Çizelge 5.3’de GEKA ELIFLUX ESW Elektrocüruf kaynak tozu verilmiştir.

Çizelge 5.3. GEKA ELIFLUX ESW Elektrocüruf kaynak tozu (% ağırlık).

%Al ₂ O ₃ +MnO	%CaF ₂	%SiO ₂ +TiO ₂
20	70	10

5.2. DENEY DONANIMI

Deneylerde 1000 amper değerine kadar DC/AC akım üretebilen LINCOLN ELEKTRIC POWERWAVE AC/DC 1000 SD marka Elektrocüruf kaynak makinesi ve teçhizatı kullanılmıştır. Ayrıca makine üzerine monte edilmiş tel hızını 0-28 mm/dak. değerleri arasında ayarlayabilen ve tel hızına göre kaynak voltajını ayarlayabilen bir ünite bulunmaktadır. Bu ünite Şekil 5.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Deney donanım ünitesi.

5.3. KAYNAK DİKİŞİNİN OLUŞTURULMASI

Deney parçaları üzerine dikey pozisyonda, aln birleştirme kaynakları çekilmiştir. Kaynak parametreleri 1: 610 - 650 A, U: 37 V, tel sürüm hızı 12 mm/dak. olarak seçilmiştir. Şekil 5.2’ de bu düzenek verilmiştir.



Şekil 5.2. Kaynak plakası.

5.4. KAYNAKLI PARÇALARDAN DENEY NUMUNELERİNİN ÇIKARILMASI

Kaynak dikişi numunelerinin her iki ucundan 25 mm atılmıştır. Kaynak dikişinin orta bölgesinden mikroyapı, nüfuziyet, çekme, eğme, darbe çentik ve sertlik numuneleri çıkarılmıştır. AWS'ye göre hazırlanmıştır.



Şekil 5.3. Deney numunesinin hazırlanışı.



Şekil 5.4. Çekme testi numuneleri.



Şekil 5.5. Darbe çentik testi numuneleri.



Şekil 5.6. Eğme testi numuneleri.

5.5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Mikroyapı ve nüfuziyet numuneleri ebatları metalografik incelemeye uygun olduğu için doğrudan yüzey hazırlanmıştır. Numunelerin inceleme yapılacak kısımları zımpara taşı kullanılarak kabaca düzeltildikten sonra sırasıyla 180, 220, 320, 500, 800 ve 1200 numaralı SiC su zımparaları ile zımparalanmıştır. Zımparalama esnasında numuneler 90° döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işlemi biten numuneler 600 ve 1200 devirli parlatma cihazında elmas pasta kullanılarak 1 μm 'a kadar parlatılmıştır. Mikroyapı numuneleri % 2'lik Nital ile dağlanmıştır. Dağlanan numuneler optik mikroskopta incelenerek gerekli yerlerden mikroyapı fotoğrafları alınmıştır.



6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. ULTRASONİK KONTROL

Elektrocuruf kaynak yöntemi ile kaynatılan S355J2+N plakası mekanik test öncesinde ultrasonik test ile kontrol edilmiştir. Ultrasonik test kaynak ve malzemede oluşan süreksizlikleri, liner ve liner olmayan hataları tespit eden tahribatsız muayene yöntemidir. Yapılan ultrasonik kontrollerde kaynak bölgesi ve ITAB bölgesi taranmış, kaynakta %100 nüfuziyet sağlandığı tespit edilmiş, ayrıca kaynak içerisinde çatlak, gözenek, yapışma noksanlığı vb. hatalara rastlanmamıştır. Bu nedenden dolayı Elektrocuruf kaynağı muazzam bir kaynak yöntemi olmuştur. Şekil 6.1’de Ultrasonik Kontrol Cihazı verilmiştir.



Şekil 6.1. Ultrasonik kontrol cihazı ile testlerin gerçekleştirilmesi.

6.2. MANYETİK KONTROL

Elektrocuruf kaynağı ile kaynatılan S355J2+N malzemesine yüzeysel hataların tespiti için manyetik test yapılmıştır. Manyetik test malzeme ve kaynakta yüzeyde

olan çatlak, yanma oluğu, gözenek vb. gibi hataları tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. Deney numunesinde yapılan manyetik kontrollerde kaynak ve ITAB bölgesinde hiçbir hataya rastlanmamış, kaynak yüzeyi temiz hatasız olmuştur. Şekil 6.2’de Manyetik Kontrol Cihazı verilmiştir.



Şekil 6.2. Manyetik kontrol cihazı ile testlerin gerçekleştirilmesi.

6.3. MİKROYAPI DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

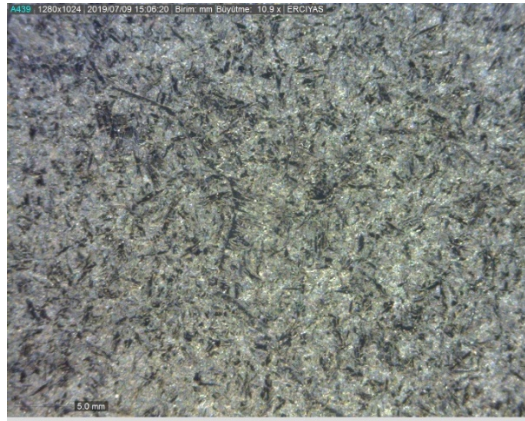
Deneylerde düşük karbonlu çelik kullanılmıştır. Kaynak metali mikro yapısı kaynak sonrası soğuma şartlarına bağlı olarak dönüşümlerin bir sonucu olarak karşımıza çıkmıştır. Düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklerin kaynak metalleri ferritik yapıya sahiptirler, γ - α faz dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak birbirinden farklı birçok ferritik morfolojileri vardır. Bunlar; tane sınırı ferrit, iğneli ferrit, ferrit yan tabakaları ve taneler arası poligonal ferrittir.

Deneylerde elde edilen numunelerin mikroyapı fotoğraflarının makro yapı üzerindeki dağılımı incelenmiştir. Diğer bazı ergitmeli kaynak tekniklerine göre Elektrocuruf kaynağı tekniğinde, kaynak yapılan malzemeye fazla miktarda ısı girdisi uygulandığından, tanelerin çok iri olduğu görülmüştür. Bu olaya sebep olarak ısı girdisinin fazla olmasından dolayı, ısı tesiri altındaki bölgede tanelerin aşırı büyümesi gösterilebilir. Ayrıca ergitmeli kaynaklarda katılaşma, ana metalin mevcut tanelerinden ilk kristallerin teşekkül etmesi olarak tarif edilebildiğinden, kaynak metalinde oluşan taneler mevcut tanelerin birer devamıdır.

Elektrocuruf kaynağı ile kaynatılmış malzemenin kaynak bölgesi klasik ergitmeli kaynak yöntemlerinde görülen ısı tesiri altındaki kalan bölge görüntüsü yerine daha ziyade döküm işlemine benzer bir mikroyapı görüntüsü vermektedir. Bu yöntemde ısı girdisinin yüksek oluşu ve katılaşmanın kapalı bir alanda oluşması tane yapısını dökme demirin mikro yapısına benzer oluşmasını sağlamıştır. Isı girdisinin yüksekliği ITAB'ın diğer yöntemlerden çok daha geniş olmasına neden olmuştur. Şekil 6.3'de kaynaklı metalin makro yapı fotoğrafı verilmiştir.



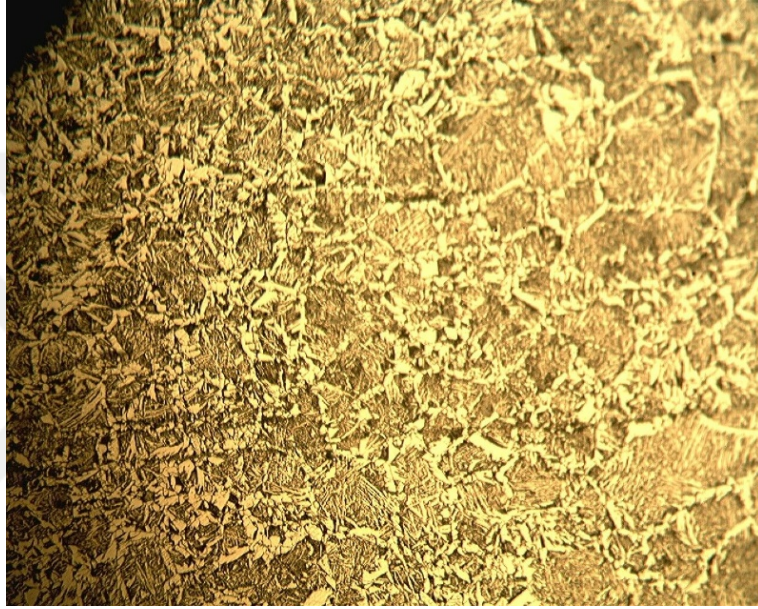
Şekil 6.3. Kaynak ve ITAB bölgesinin makro görüntüsü.



Şekil 6.4. Kaynak ve ITAB bölgesinin mikro görüntüsü.

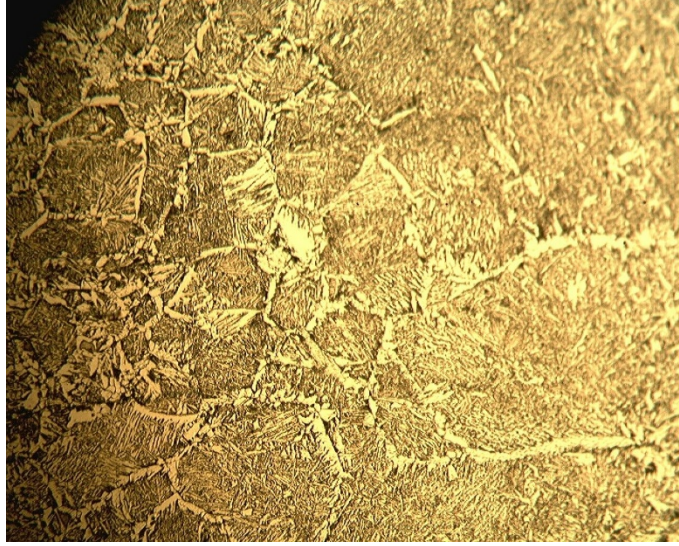
Ana metal incelendiğinde birbirine yakın büyüklükte tanelerden oluşmuş tipik ferrit + perlitik yapı görülmektedir. Diğer kaynaklı yapılarda görülen kısmen dönüşmüş bölge

Elektrocuruf kaynağı numunelerinde görülmemektedir. Şekil 6.5’de ana malzemenin iri taneli bölgesi ile kaynak metali arasında ince taneli bir bölge keskin bir hat ile görmekteyiz. Bu hattın oluşması ergiyik curuf ve ilave metaldeki Mn, Cu ve S’ün γ - α dönüşümü sırasında ferrit içerisinde çözünememesine bağlı olarak tane sınırlarında çökelirler. Katılaşma sırasında segregasyon oluşturan bu durum tane büyümesine engel olur ve keskin hat ergime derecesi düşük elementlerin tane sınırı ergime derecesini düşürmesi ile oluştuğu kanaatine varılmıştır [40]. Burada oluşan yapısal durum çatlamayı teşvik etmektedir.



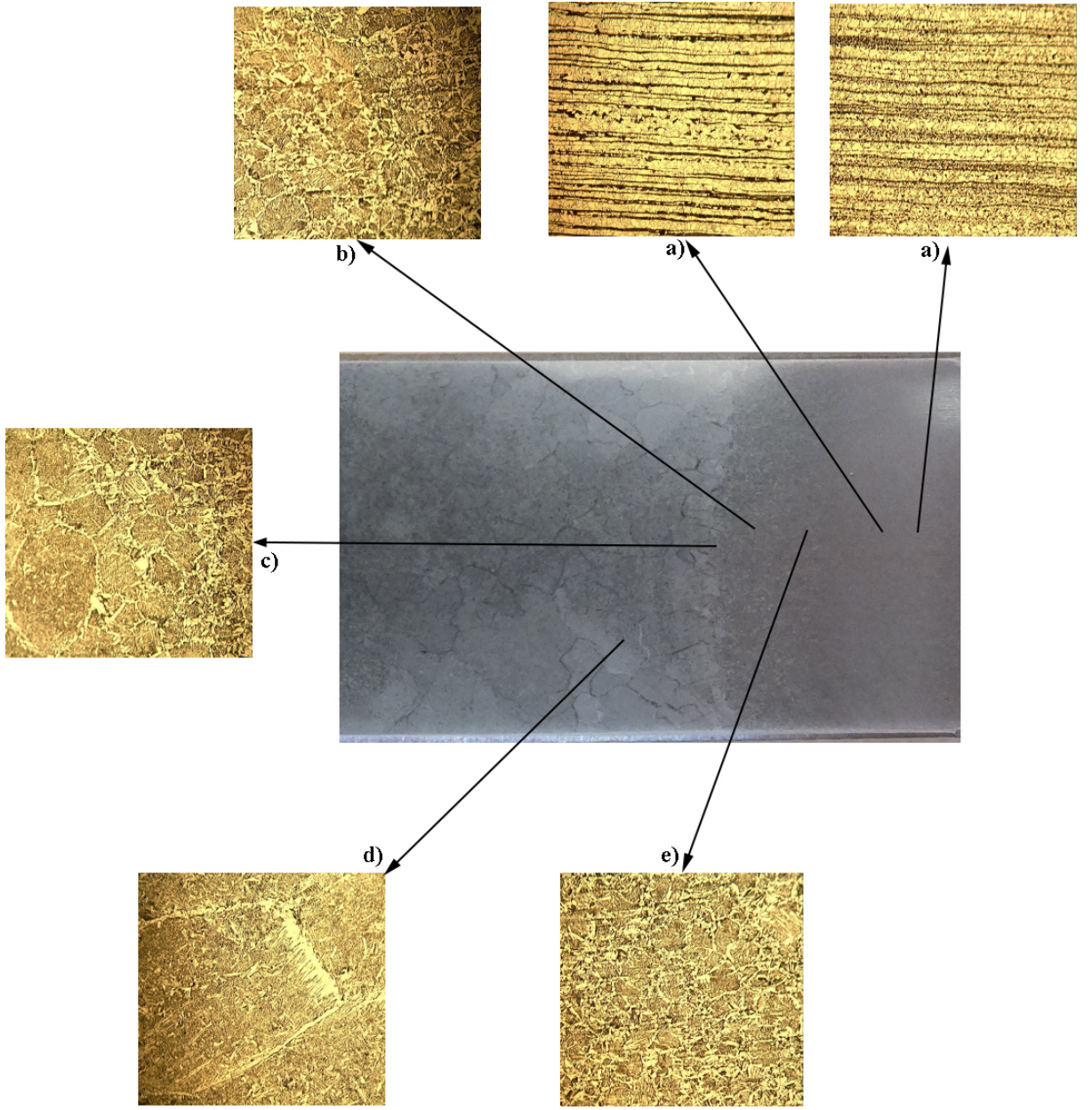
Şekil 6.5. Ana malzemedan iri taneli bölgeye geçiş (x70).

İri taneli bölgeye bakıldığında tane boyutunun arttığı ve düzensiz yapı içine girdiğini görülmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajlı alanı bu bölge olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.6’da geçiş bölgesi görülmektedir. Tane boyutunun aşırı artması tane sınırlarında çatlamayı teşvik edici etkiye sahiptir. İri tanelerin oluşması uzun süreli yüksek sıcaklığa maruz kalmasının bir sonucudur. İri taneli bölgeden kaynak metaline doğru ilerlendiğinde kaynak metali ile iri taneli bölge keskin bir biçimde ayrılmakta olup geçiş bölgesinin düz bir çizgi erime bölgesine yakın kısımda iri tanelerde küçülme başlamış ve kaynak metaline doğru sütunsal taneler oluşmuştur.



Şekil 6.6. İri taneli bölgeden kaynak metaline geçiş (x70).

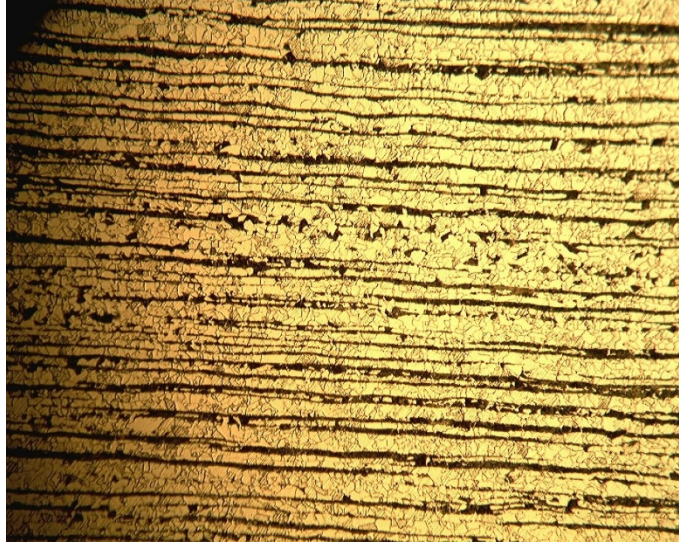
Kaynak metali soğutma pabuçlarının yüzeylerinden itibaren merkeze doğru katılaşma göstermiştir. Kaynak metali merkezine yaklaştıkça sütunsal yapı bozulmakta iri taneli yapılar başlamaktadır. Kaynak metali Şekil 6.11’de tane sınırlarını çevreleyen beyaz renkli tane sınır ferritlerden oluşmuş, tane sınırı ferritten tane içine doğru Widmanstatten ferritler teşekkül etmiştir.



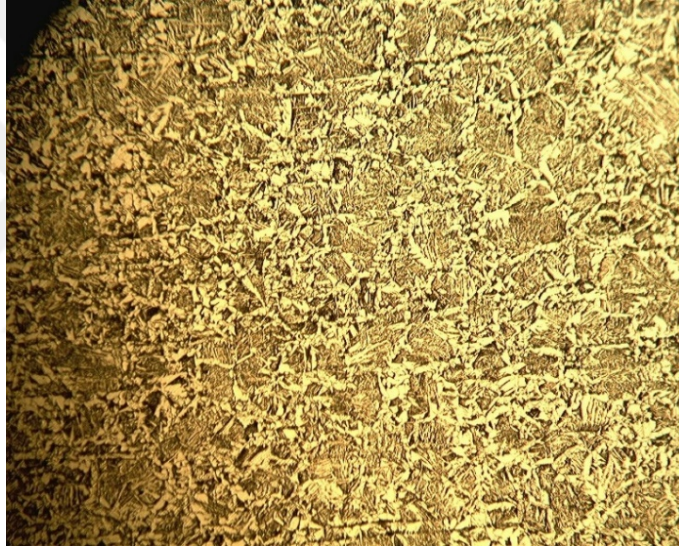
Şekil 6.7. Makro yapı fotoğrafı üzerindeki mikroyapı bölgelerin gösterimi. a)Ana malzeme S355J2+N, b)Ana malzeme + ITAB S355J2+N, c)ITAB S355J2+N, d)ITAB + kaynak S355J2+N, e)Kaynak S355J2+N.

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi ana metalden kaynak metaline geçişte taneler ana metal tanelerinden katılaşmaya başlayarak epitaksiyel bir katılaşma göstererek kaynak metali içinde tamamlanan taneler, yeni tanelerin oluşması ile katılaşmayı gerçekleştirmiştir. Deney numunelerinde kullanılan düşük karbonlu çelik malzeme ferrit ve perlitik yapıda olduğu görülmüştür.

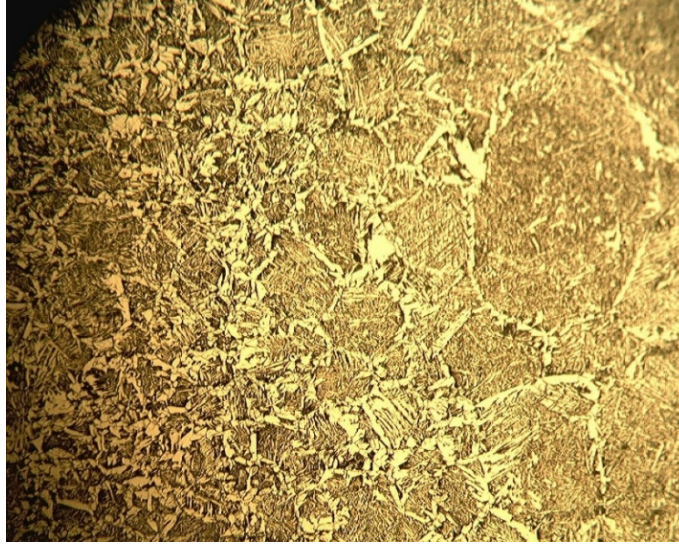




Şekil 6.8. Ana metalin mikro yapısı (x70).

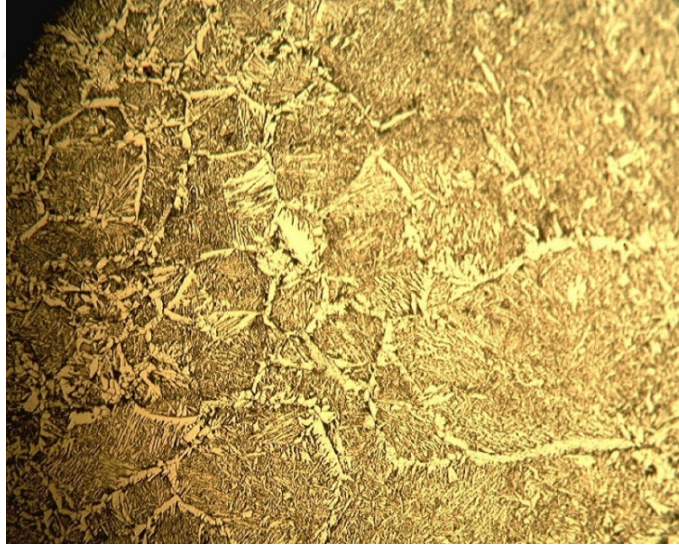


Şekil 6.9. İnce taneli bölgenin mikro yapısı (x70).



Şekil 6.10. İnce tane-ITAB'ın mikro yapısı (x70).

Kaynak metalinin taneleri Şekil 6.11'de görüldüğü gibi tanesinin ferritle çevrelenen tanelerin iç bölgelerinde Widmanstatten ferrit ve asiküler ferritlerden oluşmuştur. Asiküler ferrit Şekil 6.12'de görülmektedir. Asiküler ferrit kaynak metalinin sünekliği ve tokluğunu arttırdığından kaynak metalinde oluşması istenen bir yapıdır.



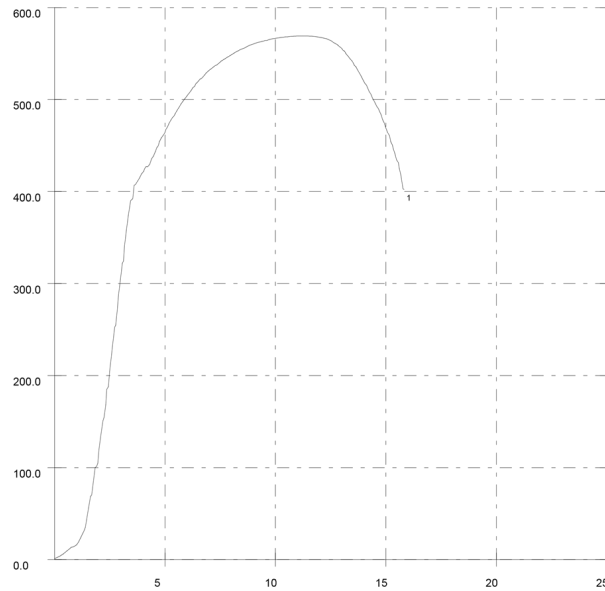
Şekil 6.11. Kaynak metalindeki iri taneli bölgesinin Widmanstatten ferrit mikro yapısı (x70).



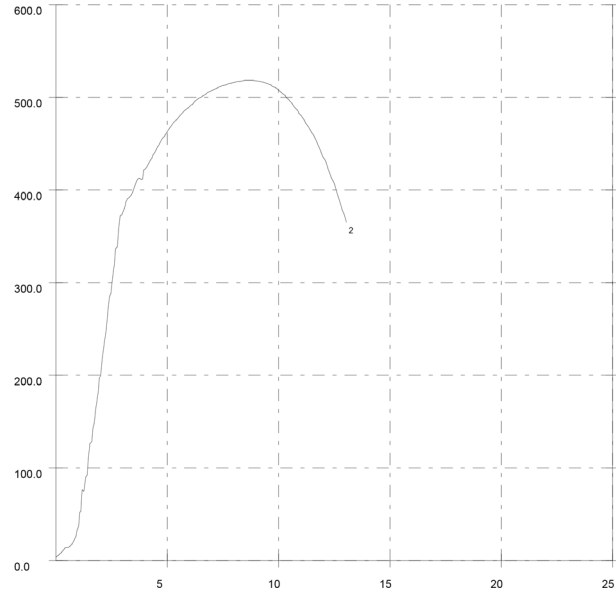
Şekil 6.12. Kaynak metalinde asiküler ferrit yapı (x70).

6.4. ÇEKME DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kaynakla birleştirilmiş numunelerin çekme testi sonucu ortalama çekme dayanımı 546 N/mm² akma dayanımı 452 N/mm² ve % 20'lik uzama göstermiştir. Çekme ve akma mukavemetinin düşük karbonlu çeliğe göre biraz yüksek çıkması malzeme içindeki Mn oranının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak yapılan malzemede Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi ana metalde % 1.6 kaynak telinde % 0.018 Mn içermektedir.



Şekil 6.13. 1 Numaralı deney numunesi çekme grafiği.



Şekil 6.14. 2 Numaralı deney numunesi çekme grafiği.



Şekil 6.15. Çekme testi sonrası 1 nolu deney numunesi.



Şekil 6.16. Çekme testi sonrası 2 nolu deney numunesi.

Çizelge 6.1. AWS' ye göre enine çekme deney sonuçları.

Numune	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama	Kırılma Yeri
ESW 1	546.09	456.4	20	Kaynak
ESW 2	544.23	452.3	20	Ana Malzeme
Ana Malzeme	549.1	452	20	Ana Malzeme

6.5. DARBE ÇENTİK DENEYİ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Darbe deneyi gevrek kırılmaya neden olabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerinin saptanmasında kullanılır. Darbe deneyinin genel olarak amacı, metalik malzemelerin mekanik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığını tespit etmektir. Genelde malzemelerin mekanik özellikleri hakkında fikir edinebilmek için çekme deneyi sonuçları kullanılır. Elde edilen sonuçlar YMK ve HSP sistemlerde sorun olmazken bazı HMK kafes yapısına sahip metallerde çentik darbe testinde farklı sonuçlar elde edilir. Çekme testinde uzama miktarı yüksek olan malzemelerin sünek davranacağı düşünülür. Bu kabul YMK ve HSP kristallerde büyük oranda doğru iken HMK kristalli malzemelerde her zaman doğru sonuç vermez. Çekme deneyinde sünek davranış gösteren malzeme darbe deneyinde gevrek davranış gösterebilir. Oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bu olaya daha çok rastlanır.

Yapılan deney işlemlerinde izlenen adımlar sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- Deney için uygun standartlarda hazırlanmış deney numunesi alınmıştır. Alınan numuneler -20 °C sıcaklığa getirilmiştir.
- Numune çentik kısmı çekicinin vuracağı yönün tersine doğru, çentik mesnetlerin tam ortasına doğru gelecek şekilde yerleştirilmiştir.
- Çekiç düşey konuma getirilecek şekilde en üst noktaya kaldırılmıştır. (150°'ye çıkartıldı, burada cihazın özelliğine bağlı olarak çekicinin kaldırılmasıyla 30 kg'lık bir enerji kazandırılmış oldu)
- Daha sonra çekiç sistemini ayakta tutan mandal çekildi ve çekiç serbest olarak düşmesi sağlanmıştır.



Şekil 6.17. Darbe çentik deney cihazı.



Şekil 6.18. Darbe çentik numuneleri.

Çizelge 6.2. Darbe çentik deney tablosu.

Numune No	Çentiğın yeri	Darbe enerjisi (J)	Hatalar
ESW 1	Kaynak	14,46	Süreksizlik yok
ESW 2	Kaynak	16,07	Süreksizlik yok
ESW 3	Kaynak	17,12	Süreksizlik yok
ESW 4	ITAB	12,21	Süreksizlik yok
ESW 5	ITAB	10,33	Süreksizlik yok
ESW 6	ITAB	10,06	Süreksizlik yok

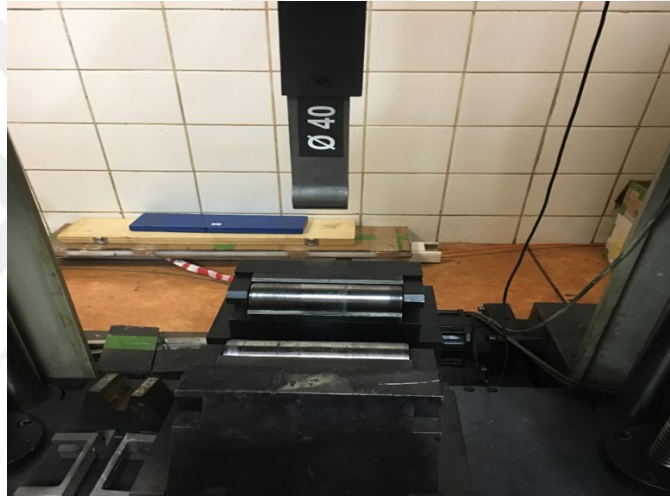
Bir malzemede geçiş sıcaklığının düşük olması istenir. Çünkü o malzemenin kullanıldığı ortam sıcaklığı çok düşük olabilir. Bu durumda oda sıcaklığında normal bir darbe (kırılma) direnci gösterse bile geçiş sıcaklığının altında kırılma riski önemli ölçüde artacaktır.

Metalik malzemelerin geçiş sıcaklıkları ve darbe dirençleri kristal yapılarına göre de değişir. Çoğunlukla YMK yapıli malzemelerin kırılma dirençleri daha fazladır. HMK yapıli malzemelerde daha belirgin bir geçiş sıcaklığı tespit edilebilir. Malzemenin sertlik ve dayanımı yüksek olması o malzemenin kırılma direncinin daha az olabileceğine işaret eder. Kırılma enerjisi(veya direncini) artırılması için o malzemenin yüksek süneklik göstermesi gerekir.

6.6. EĞME DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Eğme, iki desteğe serbest olarak oturtulan daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney Parçasının ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değıştirmedir. Değişik Yöntemlerin hepsinde (ileri–geri eğme hariç) amaç, malzemeyi çatlayıncaya kadar tek yönde eğmektir. Katlama ise eğmenin özel bir durumu olup daire veya dikdörtgen kesitli deney Parçasının iki kolunun birbirine paralel duruma getirilmesi (180° eğme) işlemidir.

Katlama deneyinde sünekliği iyi olan malzemeler 180° katlanmalarına rağmen çatlama göstermezler. Böyle malzemelerin deney sonucunda 180° katlanmaya rağmen çatlamanın görülmediği belirtilir. Ayrıca alternatif (ileri-geri) eğme deneyi bulunmaktadır. Bu deneyde, numune cihaza sağlam bir şekilde oturtturulur ve yarıçapı belli olan mandreller etrafında ileri – geri bükülür. Bu sırada numunenin kesidi alternatif olarak çekme ve basma gerilmelerine uğrar. Burada malzemenin çatlama göstermesi için tatbik edilen eğme sayısı kriter olarak kullanılır. Eğme deneyinde deney yapılacak numuneye bir kuvvet uygulandığında, numune kesitinin bir kısmında basma gerilmesi, kesitin geri kalan kısmında çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Eğilme halindeki numunelerin kesitinde, iç yüzeye yakın bölgede basma gerilmeleri, dış yüzeye yakın bölgede ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir.



Şekil 6.19. Eğme testlerinin gerçekleştirilmesi.



Şekil 6.20. Eğme testi sonrası numuneler.

Çizelge 6.3. AWS'ye göre eğme deney sonuçları.

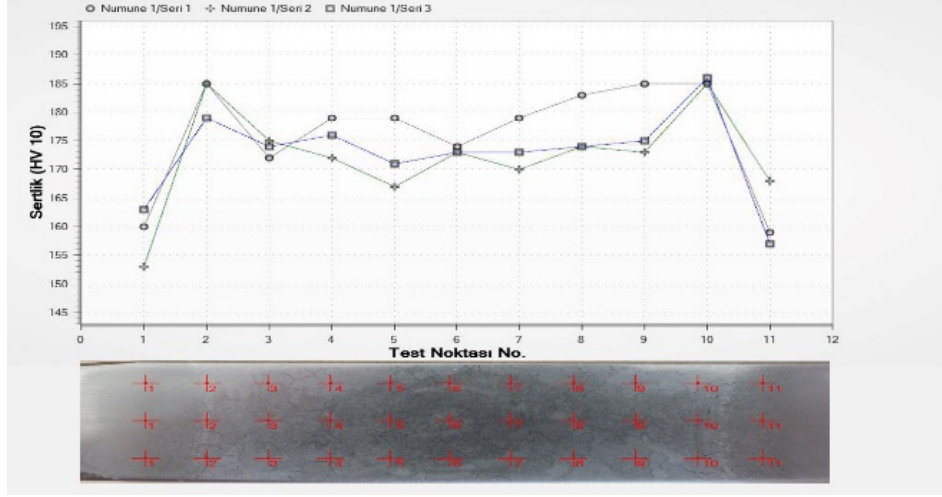
Numune	Mandrel çapı (mm)	Mesnet mesafesi (mm)	Eğme açısı	Hatalar
ESW 1	40	73	180°	Çatlak yok
ESW 2	40	73	180°	Çatlak yok
ESW 3	40	73	180°	Çatlak yok

6.7. SERTLİK DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sertlik testleri kaynak dikişi kesitinin enine ve boyuna olmak üzere iki yönde yapılmıştır. Boyuna sertlik ölçümü yapılan yani ana metalden başlayarak kaynak metaline doğru yapılan ölçümlerde ana metal sertliği 160 HV değerinde olmuş ve kaynak metalinin merkezine doğru artış göstermiştir. Sertlik artışı kaynak metali merkezi ile geçiş hattı arasındaki mesafenin orta noktalarında üst değere ulaşarak 180 HV'ye çıkmakta daha sonra sertlik düşüş göstermektedir. Kaynak metalindeki sertlik 175 HV değerindedir. Ana malzemeye göre kaynak metalindeki sertlik artışı kaynak teli kimyasal bileşiminden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Daha önce ifade edildiği gibi kaynak telinde %1,2 Mn bulunmaktadır. Kaynak metali merkezi kimyasal bileşimi çoğunlukla kaynak ilave telinden oluştuğundan özellik olarak kaynak teli mekanik özelliklerine sahiptir. Kaynak geçiş hattı ile kaynak merkezi arasındaki sertlik artışı kimyasal bileşiminin yanı sıra soğuma hızıyla da ilgilidir. Kaynak metali merkezinde soğuma hızı daha düşük esas metale doğru soğuma hızı artmaktadır.

Enine sertlik ölçümü yapılan yönde kaynak metali duvarını soğutma pabuçları oluşturmaktadır. Katılaşma soğutma pabuçlarından kaynak metali merkezine doğru olmakta ve en son kaynak metali merkezi katılaşmaktadır. Buna bağlı olarak sertlikte soğutma pabuçları tarafından kaynak metali merkezine doğru azalma göstermiştir. Sertlik değeri yaklaşık iki yönde de simetrik özellik göstermiştir. Enine sertlik ölçümü yapılan yönde sertlik 185 HV değerindedir. Soğutma pabuçları da yüzeyleri daha hızlı soğuttuğu için yaklaşık 5 HV fazla sertlik oluşmuştur.



Şekil 6.21. Sertlik deney sonuçları.

Çizelge 6.4. Sertlik deney sonuçları (HV 10).

	Ana malzeme			HAZ			Kaynak Metali			HAZ			Ana malzeme 2		
Nokta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sertlik değeri HV 10	152	160	163	175	182	180	167	175	177	174	180	185	151	158	165

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Bu çalışmada genel yapı çeliği S355J2+N Elektrocuruf kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Ultrasonik test ve manyetik parçacık test sonucunda kaynak dikişinde herhangi bir hataya rastlanmamıştır.
- Kaynak metali mikroyapıları incelendiğinde tozaltı kaynaklarında da sıklıkla görülen widmanstatten ve asiküler ferritik yapı oluştuğu gözlenmiştir.
- Kaynak dikişinin yavaş soğumasından dolayı ısıdan etkilenen bölgede iri taneli yapının oluştuğu gözlenmiştir.
- Yapılan çekme testi sonuçlarına bakıldığında sadece bir numune kaynak dikişinden kırılmıştır. Bu numunede ölçülen çekme dayanımı 546.09 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. Kaynak teline ait mekanik veriler ile karşılaştırıldığında bu değer normalin üstü bir değer olarak görülmüştür.
- Çentik darbe deneyi sonuçları incelendiğinde kaynak metalinde 14-18 J arası değerler elde edilirken ısıdan etkilenen bölgede bu değer 10-12 J arasında olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak yavaş soğuma neticesinde tanelerin irileşmesinin olduğu düşünülmektedir.
- AWS standartlarında yapılan eğme testi sonucunda kaynak dikişi bölgesi 180 derece bükülmüş olup herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır.
- Sertlik sonuçları incelendiğinde 185 HV10 sertlik değeri ile en yüksek sertliğe ısıdan etkilenen bölgede ulaşılmıştır. Sertlik değerinin bu sonucunu çentik darbe deney sonucu da doğrulamaktadır. Ana malzeme sertliği ise yaklaşık 152 HV10 olarak ölçülmüştür.

7.2. ÖNERİLER

- Kaynak bölgesi hakkında daha detaylı bilgi için tane yapılarına göre ITAB taranıp her nokta için ayrı ayrı değerlendirilmeli.
- Pabuç soğutma sistemi değiştirilerek ergiyik havuzun soğuma hızının tane yapısı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmalıdır.
- Aynı parametrelerde tozaltı kaynağı çekilerek mikro yapılar ve mekanik özellikler karşılaştırılmalıdır.



8. KAYNAKLAR

- [1] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Silisyum madeni* [Online]. Erişim: www.wikipedia.org/wiki/silisyum.
- [2] Anonim. (2018, 22 Kasım). Alüminyum cevheri [Online]. Erişim: www.enerjiportali.com/aluminyum-nedir-kullanilir/.
- [3] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Manganez cevheri* [Online]. Erişim: www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/manganez.
- [4] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Bakır cevheri* [Online]. Erişim: www.nkfu.com/bakir-nasil-elde-elde-edilir/.
- [5] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Krom cevheri* [Online]. Erişim: www.kromasmaden.com/index.php?g=ort86.
- [6] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Nikel cevheri* [Online]. Erişim: www.ta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/meden-serisi/nikel.pdf.
- [7] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Molibden cevheri* [Online]. Erişim: www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/molibden.
- [8] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Vanadyum cevheri* [Online]. Erişim: www.makaleler.com/vanadyum-nedir-ozellikleri-kullanimi.
- [9] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Kükürt cevheri* [Online]. Erişim: www.kukurt.gen.tr.
- [10] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Fosfor cevheri* [Online]. Erişim: www.vebders.net/566/Fosfor-nedir-fosforun-saglimiz-acisindan-onemi.html.
- [11] Anonim. (2018, 22 Kasım). *Azot cevheri* [Online]. Erişim: www.wikipedia.org/wiki/azot.
- [12] T. K. Derry, ve T. I. Williams, *A Short History of Technology - From the Earliest Times to A.D. 1900*, USA: Oxford University Press, 1993, ss. 25-27.
- [13] J. O. Pastore, "The loss of the U.S.S. thresher," *Proceedings of the Hearings before the Joint Committee on Atomic Energy Congress*, USA, 1963, ss. 41-42.
- [14] C. Erbay, "Tozaltı ark kaynağında kaynak parametrelerinin mikroyapı ve nüfuziyete etkisinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Metalurji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1999.
- [15] S. Anık, *Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, İstanbul, Türkiye: Ergör Matbaası, 1983, ss. 170-175.
- [16] A. K. Durgutlu, "Ark kaynağında (Manuel, Mig/Mag, Tozaltı) kaynak hızının mikroyapı ve nüfuziyete etkisi," Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1997.
- [17] S. Anık, *Kaynak Tekniği*, İstanbul, Türkiye: İTÜ Matbaası, 1972, ss. 111-112.
- [18] S. Anık, E.S. Anık, ve M. Vural, *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 1993, ss. 66.
- [19] N. Polat, "Spiral kaynaklı boru imalinde tandem tozaltı kaynak usulünün ve özülü

- elektrotlarının kullanılması,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1991.
- [20] Ş. Yiğit, *Tozaltı Ark Kaynak Uygulamaları*, Ankara, Türkiye: Oerlikon Yayınevi, 1988, ss. 51.
- [21] N. Özden, “Tozaltı ark kaynağında kaynak dikişine tesir eden faktörler,” *OERLIKON Kaynak Tekniği*, Sayı 11, 101-107, İstanbul, 1968.
- [22] S. Kılıçer, “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1998.
- [23] S. Anık, *Sual ve Cevaplarla Tozaltıda Kaynak Tekniği*, İstanbul, Türkiye: İlbeyi Matbaası, 1968, ss. 41.
- [24] M. E. Külahlı, *Tozaltı Kaynağı*, 1.baskı İstanbul, Türkiye: Oerlikon Yayınevi, 1998, ss. 77.
- [25] S. Anık, *Kaynak Tekniği El Kitabı*, İstanbul, Türkiye: Gedik Holding Yayınevi, 1991, ss. 241.
- [26] H. Uzun, “Elektro curuf kaynak metodu ve yüzey kaplama,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1991.
- [27] V. Malin, *Process Operational Guide For Narrow-Gap Improved Electroslag Welding*, Washington, USA: FHWA, 1996, ss. 52-56.
- [28] V. Malin, *Proposed Specifications For Narrow-Gap Improved Electroslag Welding*, Washington, USA: FHWA, 1995, ss. 37-39.
- [29] V. Malin, *Simulation Of Electroslag Weld Defects*, Washington, USA: FHWA, 1996, ss. 98.
- [30] K. V. Krishna, *Narrow-Gap Improved Electroslag Welding For Bridges*, Budapest, Hungary: FHWA, 1996, ss. 12.
- [31] F. Eichom, J. Remmel, ve B. Wubbels, *High Speed Electroslag Welding*, Oxford, England: British Maritime Technology Press, 1984, ss. 37.
- [32] M. F. Yerebakan, “Elektrocuruf kaynağında kompozisyon dağılımının deneysel ve matematiksel modeli,” *Mühendis ve Makina*, c.24, sayı 279, ss. 9, 1982.
- [33] S. Razon, *Curuf Altı ve Elektrogaz Kaynak Metodları*, Ankara, Türkiye: Oerlikon Yayınevi, 1972, ss. 12-15.
- [34] Ritter, J.C., Dixon, B.F., ve Phillips, R.H., 1987, *Electroslag Welding Of Ship Propeller Support Frames*, Oxford, England: British Maritime Technology, 1987, ss. 29-39.
- [35] A. Broshelen, E. Skaug, ve J. J. Visser, “Electroslag welding of supertanker rudderstocks,” *The Journal of the Welding Institute*, c. 10, sayı 297, pp 1-6, 1978.
- [36] O’Brien, A. *Welding Handbook the Seventh Edition*, Ontario, Canada: American Welding Society Press, 1981, pp 3-4.
- [37] Culp, J. D., “Electroslag Weldments: Performance and Needed Research,” *Public Roads*, c. 41, sayı 4, ss. 181-192, 1978.
- [38] M. A. Dawood, I. E. Mahallawi, M. E. A. E. Azim ve M. R. E. Koussy, “Thermal

- aging of 16Cr-5Ni-1Mo stainless steel part 1 - microstructural analysis,” *Materials Science and Technology*, c. 20, sayı 3, ss. 363-369, 2003. Forsberg, S.G., August 1985, Resistance electrosag (RES) surfacing, *Welding Journal*, S.41-48.
- [39] C. N. Hsiao, C. S. Chiou ve J. R. Yang, “Againg reactions in a 17-4PH stainless steel,” *Materials Chemistry and Physics*, c. 74, ss. 134-142, 2002.
- [40] R. Schnitzer, R. Radis, M. Nöhrer, M. Schober, R. Hochfellner, S. Zinner, E. P. Karadeniz, E. Kozeschnik ve H. Leitner, “Reverted austenite in PH13-8Mo maraging steels,” *Materials Chemistry and Physics*, c. 122, ss. 138-145, 2010.
- [41] B. Oğuz, *Demir Dışı Metaller Kaynağı Metalurji-Uygulama*, İstanbul, Türkiye: Oerlikon Yayınları, 1990.
- [42] Paton, B. E., *Electrosag welding and surfacing*, Washington, USA: American Welding Society Press, 1962, pp 181-189.
- [43] N. J. Normando, D. V. Wilcox, ve R. F. Ashton. “Electrogas Vertical Welding of Aluminum” *Welding Journal*, c. 52, sayı 7, 1973, pp 440-448.
- [44] B. M. Patchett, Slag-metal reactions for the electrosag welding of aluminum alloys, *International Conference on the Welding and Fabrication of Non-Ferrous Metals*, Cambridge, England, 1972, ss. 151.
- [45] S. Anık, *Kaynak Tekniği*, İstanbul, Türkiye: İ.T.Ü. Matbaası, 1975.
- [46] S. Kou, *Welding Metallurgy*, New York, USA: John Wiley, 1987, ss. 318-363.
- [47] K. Tülbentçi, *Mig-Mag Gazaltı Kaynak Yöntemi*, İstanbul, Türkiye: Arctech Yayınevi, 1988, ss. 79.
- [48] İ. Yükler, *Kaynak Metali*, İstanbul, Türkiye: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, 1994, pp 52-64.
- [49] A. Canacık, “Kaynak işlemlerinde ısı akışı ve itab sertliği,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1993.
- [50] H. Akça, Elektrosag Kaynağı ile genel yapı çeliklerinin kaynatılabilirliğinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [51] R., Damkaş, “Tozaltı kaynağında kaynak ağzı açmadan ve kaynak ağzı açarak ulaşılabilir nüfuziyet derinliğinin tespit edilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2003.
- [52] Cary, H. B., *Modern Welding Technology*, Michigan, USA: Prentice Hall Press, 1979, ss. 137.
- [53] Raman, A. "Electrosag Welds-Problems and Cures." *Welding Journal*, c. 60, sayı 12, ss. 17-21, 1981.
- [54] Paton, B. E., *Electrosag Welding*, New York, USA: Amer Welding Society, 1969.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Umut Demirbaş
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.06.1988 HAYMANA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : umut.demirbas@hotmail.de

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Metalürji Malzeme Müh.	Karabük Üniversitesi	2014
Lise		Polatlı Lisesi	2005