



**ÖRTÜLÜ ELEKTROT ARK KAYNAĞINDA AKIM TÜRÜNÜN
MALZEMENİN METALURJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Uğur KARAHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2020

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Uğur KARAHAN

12/01/2020

ÖRTÜLÜ ELEKTROT ARK KAYNAĞINDA AKIM TÜRÜNÜN MALZEMENİN METALURJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Uğur KARAHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

ÖZET

Gerçekleştirilen çalışmada, 2 mm kalınlığa sahip olan AISI 1005 düşük karbonlu çelik levhalar, invertör tip TIG kaynak makinası ve örtülü elektrot kullanılarak alın altına birleştirilmişlerdir. Levhalar hem doğru akım hem de üç farklı frekansta darbeli akım altında kaynak edilmişlerdir. Örtülü elektrot tercihindan ötürü, birleştirmelerde koruyucu gaz atmosferi veya ilave metal kullanılmamıştır. Doğru akım ile darbeli akımın kaynaklı birleştirmeye olan etkilerini kıyaslamak ve uygulanan farklı darbe frekanslarının kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerine olan etkilerini görmek amacıyla kaynaklanan levhalardan numuneler alınmıştır. Bu numunelere makro sertlik testi uygulanmış ve numunelerin elde edilen mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler ışığında TIG kaynak makinası ve donanımıyla örtülü elektrot kullanılarak da kaynaklı birleştirme işleminin başarıyla yapılabileceği görülmüştür. Yapılan test ve incelemeler sonucunda ise, darbeli akımın etkisiyle kaynak metali tane yapısının incelendiği, daha iyi bir nüfuziyet elde edildiği, levha kalınlıkları ince olmasına rağmen herhangi bir çarpılma veya delinme yaşanmadığı, duman oluşumunun azaldığı ve kaynak dikişinin daha nizami bir forma sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ortalama aynı kaynak hızında ve aynı alt ve üst darbe akımlarında darbe frekansının artması sonucu, soğuma hızına bağlı olarak, kaynak metali tane yapısının incelendiği ve sertliğinin daha büyük oranda arttığı gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 91511

Anahtar Kelimeler : Örtülü elektrot, İnvertör TIG kaynak makinası, Darbeli akım,
Darbe frekansı

Sayfa Adedi : 63

Danışman : Prof. Dr. Behçet GÜLENÇ

THE EFFECT OF CURRENT TYPE ON THE METALLURGICAL PROPERTIES OF
THE MATERIAL IN THE SHIELDED METAL ARC WELDING

(M. Sc. Thesis)

Uğur KARAHAN

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2020

ABSTRACT

In this study, AISI 1005 low carbon steel plates with 2 mm thickness are joined face to face using inverter type TIG welding machine and shielded electrode. The plates were welded under both direct current and pulse current at three different frequencies. Because of the choice of shielded electrodes, no shielding gas atmosphere or additional metal was used in the joints. Samples were taken from the welded plates in order to compare the effects of direct current and pulsed current on welded jointing and to see the effects of different pulse frequencies applied on the mechanical properties of welded jointing. Macro hardness test was applied to these samples and microstructure images of these samples were examined. In the light of the experiments performed, it has been seen that welded jointing process can be performed successfully by using shielded electrode with TIG welding machine and equipment. As a result of the tests and investigations, it was determined that the grain structure of the weld metal was thinned with the effect of pulsed current, a better penetration was obtained, although the plate thicknesses were thin, there was no distortion or puncture, the formation of smoke decreased and the weld seam had a more regular form. In addition, it was observed that due to the cooling rate, the weld metal grain structure became thinner and the hardness increased more as a result of the increase of the pulse frequency at the same welding speed, the same lower and upper pulse currents.

Science Code : 91511

Key Words : Shielded electrode, Inverter TIG welding machine, Pulsed current,
Pulse frequency.

Page Number : 63

Supervisor : Prof. Behçet GÜLENÇ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde teknik altyapısı sayesinde, ekstra hiçbir masraf yapmak durumunda kalmadığımız, öğrencisi olmaktan mutluluk duyduğum Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne şükranlarımı iletirim. Başta kıymetli fikirleriyle çalışmalarımı yönlendiren, lisansüstü eğitimim süresince benden desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Behçet GÜLENÇ 'e teşekkür ederim. Adeta ikinci danışmanımmışçasına her sorumu cevaplayan, gece gündüz demeden ilgi ve bilgisini asla benden esirgemeyen, nasihatlerini kulağıma her daim küpe ettiğim ve etmeye devam edeceğim Sayın Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU 'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarım süresince en çok desteğini ve yardımını hissettiğim, benimle birlikte değerli zamanlarını bu çalışmaya harcayan dostlarım Arş. Gör. Tolga YILMAZ 'a, Arş. Gör. Ahmet Merih HIRPA 'ya, Merve KÖROĞLU 'ya ve Fatih ÇIRPANLI 'ya teşekkürlerimi sunarım. Lisansüstü eğitimimi desteklemelerinden ve Ankara'ya gidiş gelişlerimde tarafıma her türlü anlayışı göstermelerinden ötürü çalışanı olmaktan büyük mutluluk duyduğum Telefoncular Çelik firmasına ve özel olarak Sayın Genel Müdür Yardımcısı Arif DEMİR ile Kaynak Mühendisi ve NDT Uzmanı Hüseyin AVER 'e teşekkürlerimi sunarım. Şirketimizin danışmanı olması hasebiyle tanıştığım ve yıllardır çalışmaktan büyük keyif aldığım İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'nden değerli hocam Dr. Selim ERTÜRK 'e de her an ilgisini ve bilgisini benden esirgemeyip özellikle tez yazım sürecinde yaptığı yardımlar ve verdiği önerilerden ötürü teşekkür ederim. Son olarak bana bu uzun soluklu eğitim ve öğretim hayatımda her türlü desteği veren ve vermeye devam eden canım aileme şükranların ve minnetin en büyüğünü sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK YÖNTEMLERİ	3
2.1. Örtülü Elektrotla Elektrik Ark Kaynağı	4
2.2. TIG Kaynağı.....	15
3. KAYNAK ELEKTROTLARI	23
3.1. Ergiyen Elektrotlar	23
3.2. Ergimeyen Elektrotlar	28
4. KAYNAK AKIM TÜRLERİ	33
4.1. Doğru Akım	33
4.2. Alternatif Akım	39
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	49
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Elektrot örtüsünün bileşenleri ve örtüdeki görevleri	24
Çizelge 3.2. Elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri ve yaklaşık % verimleri	25
Çizelge 3.3. Tungsten elektrotların sınıflandırılması.....	29
Çizelge 3.4. Farklı malzemelerin TIG kaynağında önerilen parametreler.....	31
Çizelge 5.1. Levhaların birleştirilmesinde tercih edilen farklı kaynak parametreleri.....	44
Çizelge 6.1. Numunelere ait elde edilen ortalama sertlik değerleri (HV5)	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ergitme kaynağı ve basınç kaynağının şematik gösterimi	4
Şekil 2.2. Tarihteki ilk elektrik ark kaynağı uygulamaları	5
Şekil 2.3. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağının şematik gösterimi	7
Şekil 2.4. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynak donanımı blok şeması.....	8
Şekil 2.5. Kaynak redresörünün şematik gösterimi	12
Şekil 2.6. Kaynak transformatörünün şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.7. İnvertör tip kaynak makinasının çalışma prensibinin şematik gösterimi	14
Şekil 2.8. TIG kaynağı çalışma prensibi	16
Şekil 2.9. TIG kaynak donanımı blok şeması	17
Şekil 2.10. Bir TIG kaynak torcunun şematik gösterimi	20
Şekil 2.11. Su soğutmalı TIG kaynak donanımı şeması	21
Şekil 3.1. Kaynak elektrotlarının sınıflandırılması	23
Şekil 3.2. Tungsten elektrot ucu formlarının kaynak dikişine etkisi	30
Şekil 4.1. Doğru akımın zamana bağlı değişim grafiği	34
Şekil 4.2. Darbeli akımın zamana bağlı değişim grafiği.....	34
Şekil 4.3. Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi.....	36
Şekil 4.4. Darbe frekansı ile damla oluşumu ilişkisi	37
Şekil 4.5. Darbe frekansının dikiş formuna etkisinin şematik gösterimi	37
Şekil 4.6. Alternatif akımın zamana bağlı değişim grafiği	40
Şekil 6.1. Numunelere ait sertlik değişimlerinin grafiksel ifadesi.....	55

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağında kutuplama tipleri.....	9
Resim 2.2. Elektrik ark kaynak makinaları.....	11
Resim 2.3. TIG kaynağında akım ve kutuplamaya göre dikiş geometrisi değişimi	18
Resim 5.1. Spektral analiz cihazı.....	41
Resim 5.2. AISI 1005 levhaların spektral analiz sonucu	42
Resim 5.3. İnvertör tip TIG kaynak makinası.....	43
Resim 5.4. Rutil örtülü elektrot.....	43
Resim 5.5. Kaynak dikişleri.....	44
Resim 5.6. Bakalite alma cihazı.....	44
Resim 5.7. Otomatik zımparalama ve parlatma cihazı	45
Resim 5.8. Metalografik numune hazırlama işlemleri sonrası numuneler	45
Resim 5.9. Ters optik mikroskop ve görüntü alma ekipmanları.....	46
Resim 5.10. Sertlik ölçüm cihazı	47
Resim 6.1. İnce kesitli levhada darbeli akımla TIG kaynağının oluşturduğu dikiş	49
Resim 6.2. İnce kesitli levhada darbeli akımla elektrik ark kaynağının oluşturduğu dikiş.....	49
Resim 6.3. İnce kesitli levhada doğru akımla elektrik ark kaynağının oluşturduğu dikiş.....	50
Resim 6.4. Doğru akımla birleştirilen Numune 1'in mikroyapı görüntüleri	50
Resim 6.5. 0,5 Hz darbe frekansı ile birleştirilen Numune 2'nin mikroyapı görüntüleri.....	51
Resim 6.6. 1 Hz darbe frekansı ile birleştirilen Numune 3'ün mikroyapı görüntüleri.....	52
Resim 6.7. 1,5 Hz darbe frekansı ile birleştirilen Numune 4'ün mikroyapı görüntüleri.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Amper (Akım birimi)
Al	Alüminyum
Ar	Argon
As	Arsenik
B	Bor
Bi	Bizmut
C	Karbon
CaCO₃	Kalsiyum karbonat
CaF₂	Kalsiyum florür
CaO	Kalsiyum oksit
Ce	Seryum
CeO₂	Seryum dioksit
Co	Kobalt
CO₂	Karbon dioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
Dk	Dakika (Zaman birimi)
Fe	Demir
Fe₂O₃	Demir oksit (Hematit)
Fe₃O₄	Demir oksit (Manyetit)
He	Helyum
Hz	Hertz (Frekans birimi)
kg	Kilogram (Ağırlık birimi)
kg/m³	Kilogram bölü metreküp (Yoğunluk birimi)
KHz	Kilohertz (Frekans birimi)
K₂O	Potasyum oksit
La	Lantan

Simgeler	Açıklamalar
La₂O₃	Lantan oksit
Mg	Magnezyum
MgO	Magnezyum oksit
mm	Milimetre (Uzunluk birimi)
Mn	Mangan
MnO	Mangan oksit
Mo	Molibden
N	Azot
N	Newton
Na₂O	Sodyum oksit
Nb	Niyobyum
Ni	Nikel
P	Fosfor
Pb	Kurşun
pH	Power of Hidrojen/Asitlik-Bazlık Derecesi
S	Kükürt
Sb	Antimon
Se	Selenyum
Si	Silisyum
SiO₂	Silisyum dioksit
Sn	Kalay
Ta	Tantal
TiO₂	Titanyum dioksit
ThO₂	Toryum dioksit
V	Vanadyum
V	Volt (Gerilim birimi)
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum
ZrO₂	Zirkonyum dioksit
W	Wolfram (Tungsten)
U	Dalga frekansı
Ø	Çap (Ölçü sembolü)

Simgeler**Açıklamalar**

°	Derece (Açı sembolü)
°C	Santigrat derece (Sıcaklık sembolü)
%	Yüzde ifadesi
+	Proton/Pozitif iyon
-	Elektron/Negatif iyon
~	Yaklaşık ifadesi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AA	Alternatif Akım
AC	Alternative Current
AISI	American Iron and Steel Institute
AWS	American Welding Society
DA	Doğru Akım
DAEN	Doğru Akım Elektrot Negatif
DAEP	Doğru Akım Elektrot Pozitif
DC	Direct Current
DIN	Deutsches Institut für Normung
HV	Hardness Vickers
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
WIG	Wolfram Inert Gas
WC	Wolfram-Cerium
WL	Wolfram-Lanthanum
WT	Wolfram-Thorium
WZ	Wolfram-Zirconium

1. GİRİŞ

Günümüzün gelişmekte olan endüstrisi ve teknolojisi, çeşitli malzemelere ve malzeme özelliklerine, bu malzemelerin farklı yöntemlerle üretilmesine, işlenebilmesine, şekillendirilebilmesine ve birleştirilebilmesine hem ihtiyaç doğurmuş hem de olanak tanımıştır. Bu hususta endüstride kullanılan malzeme çeşitliliğinin artması, farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı birleştirme yöntemlerinin gerekliliğini ve özellikle son dönemde ekonomik faktörlerin de giderek önem kazanması ile farklı özelliklere sahip malzemelerin birbiriyle birleştirilebilir olmasını gerekli kılmıştır [1, 2]. Günümüzde birçok sayıda birleştirme tekniği mevcuttur ve bu teknikler çok sayıda malzemeye uygulanabilmektedir. Fakat asıl konu hangi malzemenin, hangi özelliklerinin göz önüne alınarak, hangi yöntemle birleştirileceğine karar verilmesidir. Her birleştirme yönteminin kendine özgü özellikleri olup, malzeme için en uygun yöntemin seçilmesinde birçok farklı değişken ve birleştirmeden mevcut beklentiler göz önünde bulundurulmalıdır. Maliyet, hafiflik, dayanım (çekme, eğme, korozyon, darbe vs.), üretim kolaylığı, kullanım ömrü ve estetik görünüm gibi faktörler birleştirme yönteminin seçilmesinde etkin faktörlerdir.

Kaynak, ergime sıcaklıkları birbirine yakın veya birbirinin aynı olan iki veya daha fazla metalik ya da termoplastik malzemeyi, ısı, basınç ya da her ikisini birden kullanarak, ilave malzeme katarak veya katmayarak birleştirme işlemidir. Birleştirme yöntemi olarak lehim ve perçine kıyasla farklı üstünlükleri, onun en çok tercih edilen birleştirme yöntemi olmasını sağlamıştır. Örneğin lehime göre daha dayanıklı olan kaynak, perçine göre ise hem daha dayanıklı hem de daha sızdırmaz, daha hafif ve daha ucuz bir birleştirmedir. Kaynaklı birleştirmelerin artan önemini, Kahraman ve Gülenç, şöyle ifade etmektedirler: Kaynak tekniği, pek çok bilimsel ve teknik disiplini içerisine alan bir temel üzerine kurulmuştur. Gelişimi, uygulayıcıların edindikleri yeni bilgi ve tecrübeleri, karşılaştıkları sorunlara uygulamaları sonucunda mümkün olmuştur. Gelişim sürecinde kaynak tekniğinin nasıl değiştiğini gösteren en iyi belirtilerden biri, metal endüstrisinin kaynak yöntemlerine karşı yaklaşımı olmuştur. Önceleri metaller kaynak edilip edilememelerine göre sınıflandırılırken, bugün metallerin kaynak kabiliyetleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır ve günümüz metal ve alaşımlarının, piyasaya sürülmeden önce, kaynak edilebilme kabiliyetleri geliştirilmeye çalışılmaktadır [3].

Kaynak teknolojileri günden güne gelişimini sürdürmekteyken, her geçen gün daha farklı sorunlarla karşılaşmakta ve bu mevcut sorunlara çözümler üretilmeye çalışılmaktadır. Bu aşamada çalışmalar özellikle kaynak parametreleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Hem ana malzemenin ergimesini etkileyen hem de kaynak metali kompozisyonuna etki eden faktörler üzerinde farklı akademik ve endüstriyel çalışmalar yapılmakta ve istenilen özelliklere ulaşabilmenin yolları her geçen gün çeşitlendirilerek artırılmaktadır.

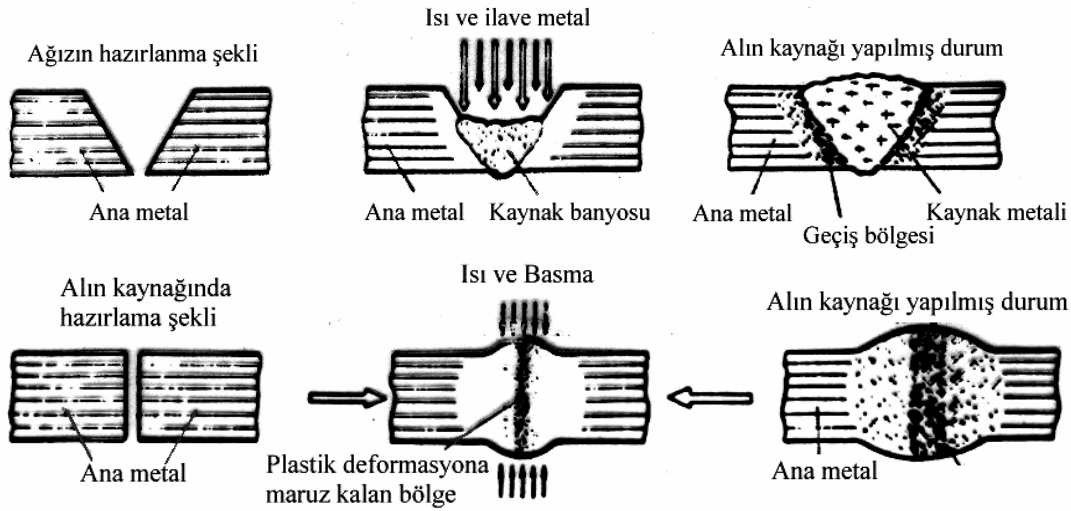
Uygulanan bir kaynaklı birleştirme işleminden beklenen olabildiğince düşük akım ve az ısı girdisiyle, azami nüfuziyet ve dayanımda, dar bir kaynak bölgesine ve dar bir ısının tesiri altında kalmış bölgeye (ITAB) sahip birleştirmeler elde etmektir. Buna yönelik çalışmalar ışığında gerek geleneksel kaynak yöntemleri geliştirilmiş gerekse de modern kaynak yöntemleri adını verdiğimiz daha ileri teknolojik kaynak yöntemleri ortaya çıkmıştır. Fakat modern kaynak yöntemlerinin yüksek maliyetlerinden ötürü sınırlı çalışma alanına sahip olmaları, kaynaklı birleştirme üzerine çalışan çoğu endüstriyel kuruluşu ve akademisyeni geleneksel kaynak yöntemlerinin kullanılması ve geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmaya itmiştir. Bu çalışmalar özellikle ergitmeli kaynak yöntemlerinden örtülü elektrotla elektrik ark kaynağı, toz altı kaynağı, gazaltı kaynağı ve TIG kaynağı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu yöntemlerin sahip olduğu donanımlar, mevcut kaynak parametreleri, bu yöntemlerle birleştirilebilen malzemeler, bu yöntemlerde etkin olan metal iletim mekanizmaları anlaşılmalı, çeşitlendirilmeye ve geliştirilmeye, hâlihazırda var olan problemlerin ise üstesinden gelinmeye çalışılmıştır.

Kaynaklı birleştirme işlemleriyle ilgili yapılan tüm bu araştırmaların sonucunda bu tez çalışmasının, karşılaşılan sorunların çözümüne ve uygulanan yöntemlerin geliştirilmesine yönelik olarak geleneksel kaynaklı birleştirme yöntemlerinden örtülü elektrot ark kaynağı üzerine olmasına ve işlem esnasında invertör tipte TIG güç kaynağı kullanılmasına karar verilmiştir. Çünkü invertör TIG kaynak makinasının darbeli akım özelliğinden faydalanılarak, bu özelliğin örtülü elektrot ark kaynağıyla kullanılabilirliği incelenmek istenmiştir. Bu minvalde invertör TIG kaynak makinası kullanılarak doğru akım ile darbeli akım altında ve örtülü elektrotla iki çelik levhanın birleştirilebilir olup olmadığını deneyimlemek, birleştirilebiliyorsa akım türü, darbe frekansı ve ısı girdisine bağlı olarak kaynak metalinin edindiği mikroyapı özellikleriyle sertlik değerlerini incelemek ve ayrıca kaynaklı bölgede oluşan nüfuziyeti yorumlamak amaçlanmıştır.

2. KAYNAK YÖNTEMLERİ

Günümüzde birçok farklı özelliğe sahip endüstriyel malzeme, birçok farklı kaynak yöntemiyle birleştirilebilmektedir. Kaynak yöntemlerinin bu denli çeşitli olmasına yönelik Kahraman ve Gülenç, kaynak teknolojisindeki gelişimin etkisini şöyle açıklamaktadırlar: Kaynak birçok farklı bilimsel ve teknik disiplini bünyesinde barındırdığı için, kaynak teknolojisinde meydana gelen gelişmeler elektronik ve bilgisayar gibi diğer alanlardaki gelişmeleri de tetiklemiş ve hızlandırmıştır. Çünkü kaynak teknolojisi gelişim süreci içerisinde mikro birleştirmelerden yüksek nüfuziyet derinliğine kadar birçok hususta çözümler üretmiştir ve her bir çözüm de farklı bir kaynaklı birleştirme yönteminin ortaya çıkmasına sebep olmuştur [3].

Kaynaklı birleştirme yöntemleri kaynaklanacak malzemenin türüne, kaynak sırasında uygulanan işlemin türüne, kaynağın uygulanış biçimine ve temelde uygulanan enerjinin türüne göre çok farklı şekillerde sınıflandırılabilirler [4]. İşlem kaynaklanacak malzemenin türüne göre metalik malzeme kaynağı ve plastik malzeme kaynağı olarak, kaynaklı birleştirmenin amacına veya uygulanan işlemin türüne göre birleştirme kaynağı ve doldurma kaynağı olarak, kaynaklı birleştirmenin uygulanış biçimi bakımından ise elle kaynak, yarı otomatik kaynak ve tam otomatik kaynak olarak sınıflandırılmaktadır. Kaynaklı birleştirme işlemi temelde ise uygulanan enerjinin türüne göre ergitmeli kaynak ve basınçlı kaynak olmak üzere iki ana başlıkta sınıflandırılır. Elektrik ark kaynağı, gazaltı kaynağı, tozaltı kaynağı gibi ergitmeli kaynak yöntemleri, malzemelere uygulanan ısı girdisinin etkisiyle onları bölgesel olarak ergitip, ilave bir malzeme katarak veya katmayarak, birleştirmeye yönelik işlemlerdir. Sürtünme kaynağı, difüzyon kaynağı, patlama kaynağı gibi basınçlı kaynak yöntemleri ise, malzemeleri ısıtmadan ve ilave bir malzeme kullanmadan, sadece basınç altında birleştirmeye yönelik işlemlerdir. Kaynakta ergitme ve basınç kaynağı yöntemleri arasındaki farklar Şekil 2.1.'de şematik olarak gösterilmiştir [4, 5].

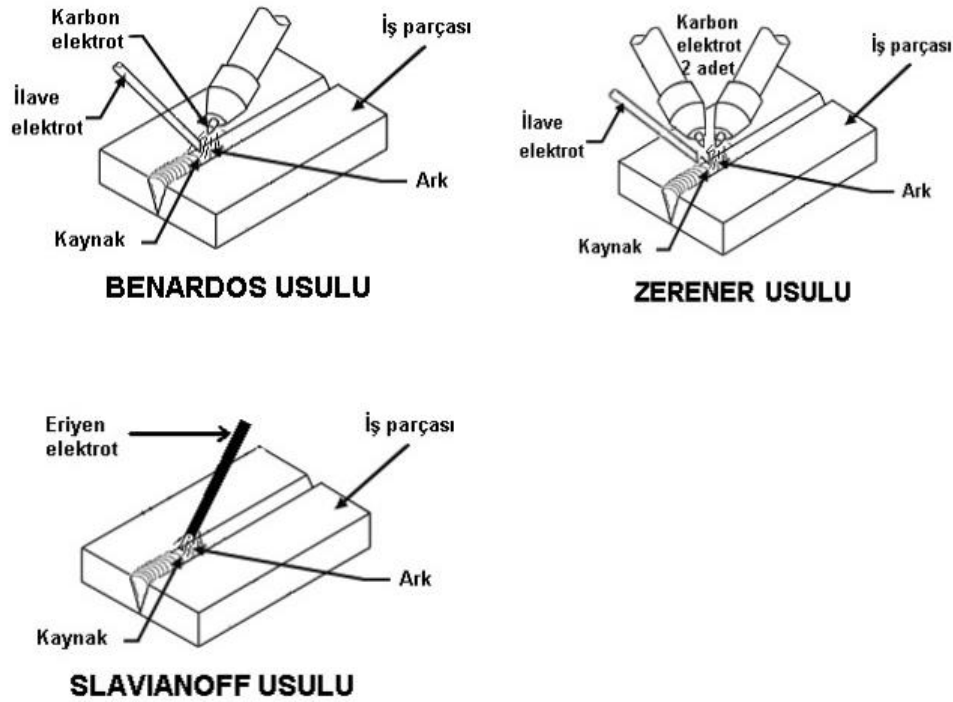


Şekil 2.1. Ergitme kaynağı ve basınç kaynağının şematik gösterimi

2.1. Örtülü Elektrotla Elektrik Ark Kaynağı

Kaynaklı birleştirme için gereken ısıнын, elektrotla iş parçası arasında oluşturulan ark aracılığıyla sağlandığı ergitme kaynağı yöntemine elektrik ark kaynağı denir. Genelde en çok tercih edilen, kullanımı kolay ve çok yönlü bir kaynak yöntemidir. Hem üretim hem de tamirat işlemlerinde kullanılmaktadır.

Elektrik arkı, 18. yüzyıl sonlarına doğru Alessandro Volta tarafından keşfedilmiş olmasına rağmen, bu enerjinin kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılması neredeyse bir asırı bulmuştur ve ilk kez 1800'li yılların sonunda, Benardos yöntemi olarak adlandırılan, bir karbon elektrot ile iş parçası arasında arkın oluşturulması ve ilave metal kullanımıyla birleştirme yapılması şeklinde uygulanmıştır. Bunu yine aynı dönemlerde Zerener yöntemi takip etmiştir. Zerener farklı olarak birleştirme esnasında arkı daha güçlü kılmak için çift karbon elektrot kullanmış ve bu elektrotlar arasında manyetik bir bobin kullanarak arkın parçaya yönelmesini sağlamıştır. Zerener'in yönteminde ekstradan bir kaynak teli kullanma zorunluluğu da bulunmaktadır. Aynı dönemde Slavianoff ise çıplak metal bir elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturarak, bugünkü ark kaynağının temellerini atmıştır. Slavianoff'un yönteminde eriyen metal elektrot, açılan kaynak ağzının doldurulmasını sağlamıştır. Fakat tüm bu yöntemler kaynak dikişini havanın olumsuz etkisinden koruyamamışlar ve düşük mekanik özellikler elde edilmesine sebep olmuşlardır. Benardos, Zerener ve Slavianoff kaynak yöntemlerinin şematik gösterimleri Şekil 2.2.'de verilmiştir [6].



Şekil 2.2. Tarihteki ilk elektrik ark kaynağı uygulamaları

Geliştirilen ilk üç yöntemde, atmosferin kaynak dikişi üzerinde zararlı etkiler yaratacağı düşünülmemiş fakat yapılan birleştirmelerde ortaya çıkan sorunlardan ötürü, bir koruyucu ortam yaratma fikri oluşmuştur. Bu amaçla 1900'lerin başında Oscar Kjelberg, metal elektrot üzerine bir örtü kaplayarak havanın kaynak bölgesi için yarattığı olumsuz etkinin üstesinden gelmiştir. Böylelikle daha kaliteli ve güvenilir kaynaklı birleştirmeler yapılabilmiş ve I. Dünya Savaşı sonrası, özellikle savunma sanayisine yapılan yatırımlarla beraber, kaynak teknolojisi gelişimini sürekli hale getirmiştir. Savaş sonrası yürütülen çalışmalarla birlikte de kaynaklı birleştirme artık sadece bir tamirat uygulaması olmaktan çıkmış ve üretimde de kendisine önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Bu dönemlerde özellikle elektrik ark kaynağı ile gaz kaynağı arasında yaşanan rekabet, 1900'lerin ortasına doğru, II. Dünya Savaşı öncesi dönemlerde, geliştirilen örtülü elektrotlar ve alternatif akımın kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılmasıyla yerini elektrik ark kaynağının üstünlüğüne bırakmıştır. Bu dönem ve sonrasında elektrik ark kaynağının tercih edilirliliği, kullanım oranı ve alanı her geçen gün giderek artmıştır.

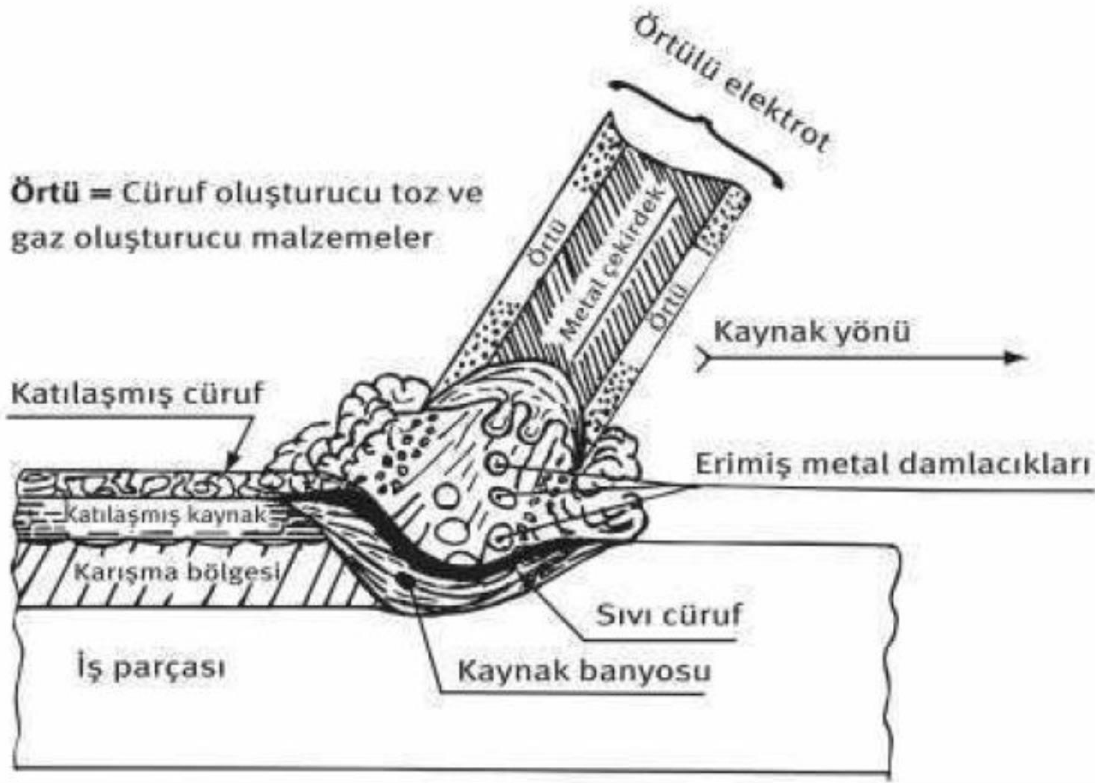
Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağında iş parçasıyla elektrot arasında uygulanan akımın etkisiyle (sıcak bir katottan yayılan elektronların, anodu bombardıman etmesi sonucu) oluşan ark, hem nötr moleküllerin iyonize olup yüksek bir ısı enerjisi oluşturmalarına hem

de bu ısı enerjisinin etkisiyle elektrodun ergiyerek kaynak metaline geçmesine sebep olur. Bu esnada örtüde bulunan CaCO_3 (kalsiyum karbonat), yaklaşık 900°C 'de parçalanır ve banyoda CaO (kalsiyum oksit) ve CO_2 (karbondioksit) oluşumuna sebep olur. CO_2 gazı birleştirme esnasında kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden koruma görevini üstlenirken, CaO bileşiği de cüruf olarak hem dikiş bölgesi için ek bir koruma sağlar hem de kaynak dikişinin yavaş soğumasına sebep olur. Öte yandan elektrot örtüsünde bulunan alaşım elementleri sayesinde kaynak dikişi alaşımlandırılmış olup, istenilen özelliklere sahip bir kaynaklı birleştirme elde edilebilmesi de mümkündür.

Elektrik ark kaynağında oluşan kaynak dikişinde karakteristik bir rol oynayan elektrot örtüsü, çekirdek denilen bir masif paslanmaz çelik üzerine ekstrüze edilir ve Cuna'ta göre kaynaklı birleştirme esnasında üç temel fonksiyonu yerine getirir:

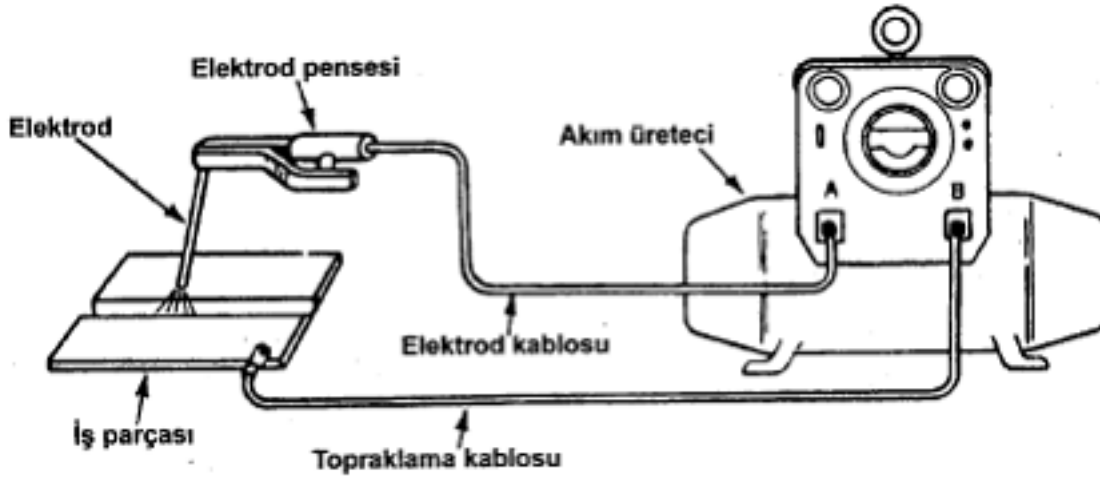
1. *Elektriksel Fonksiyon:* Arkın oluşumunu ve sürekliliğiyle ilgilidir.
2. *Fiziksel Fonksiyon:* Metal damlacıklarının oluşumu, iletimi, kaynak banyosunun korunması, ıslatma kabiliyetini kontrol eden cüruf viskozitesi ve yüzey gerilimiyle ilgilidir.
3. *Metallurjik Fonksiyon:* Kaynak banyosu ile cüruf arasındaki kimyasal etkileşimle ilgilidir [7].

Elektrik ark kaynağının çalışma prensibi şematik olarak Şekil 2.3.'te gösterilmiştir [7, 8].



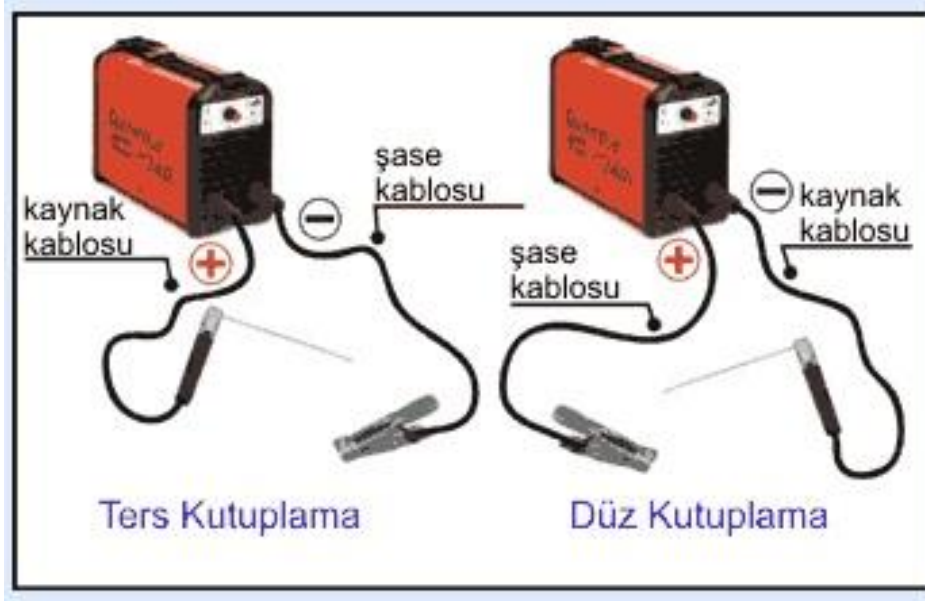
Şekil 2.3. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağının şematik gösterimi

Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağının en sık kullanılan kaynaklı birleştirme yöntemlerinden biri olmasının asıl sebebi her pozisyonda, tüm kalınlıklardaki, demir esaslı ve demir dışı tüm malzemelere uygulanabilmesidir. Demir alaşımlarından düşük karbonlu, düşük ve yüksek alaşımlı, yüksek mukavemetli, sertleştirilmiş, paslanmaz ve korozyona dayanıklı çeliklerin, demir dışı alaşımlarından ise nikel, bakır ve çok nadir tercih edilmesine rağmen alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılabilmektedir. Ekipman yatırım maliyeti nispeten azdır. Donanım olarak taşınabilir kaynak makinalarına sahip olup, hem üretimde hem de tamirat amaçlı saha çalışmalarında kullanılabilir. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynak donanım şeması Şekil 2.4.'te verilmiştir [9].



Şekil 2.4. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynak donanımı blok şeması

Örtülü elektrotla ark kaynağı donanımında güç ünitesi yani kaynak makinası, elektrot pensesi ile kablosu, örtülü elektrot ve şase pensesi ile kablosu olmak üzere dört unsur mevcuttur. Donanımda yer alan aktarım organlarından olan elektrot pensesi, elektrodu sabitlemekle ve uygun temasla akım geçirgenliğini sağlamakla görevlidir. Aynı zamanda kaynakçının can güvenliği için gerekli elektriksel yalıtımı da sağlamaktadır. Şase pensesi ile kablosu, mevcut elektriksel devrenin tamamlanması amaçlı ana malzemeye yapılan güç kaynağı bağlantısıdır. Kullanılacak olan örtülü elektroda göre mevcut aktarım organlarının bağlantı şekli, kaynaktaki kutuplamayı belirleyen unsurdur. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağı uygulamalarında elektrot genellikle negatif kutba, iş parçası ise pozitif kutba bağlanır ve bu tip kutuplamaya düz kutuplama adı verilir. Fakat bazı özel elektrotların veya bazik elektrotların kullanımı durumunda elektrot pozitif kutba, iş parçası negatif kutba bağlanarak ters kutuplama ile de çalışılabilir. Doğru akımda ters kutuplama ile çalışmak daha derin bir nüfuziyet elde edilmesini sağlarken, düz kutuplama ile çalışıldığında ise elektrodun ergime gücü yüksektir. Resim 2.1.'de örtülü elektrotla elektrik ark kaynak kaynağında mevcut kutuplama tipleri gösterilmiştir.



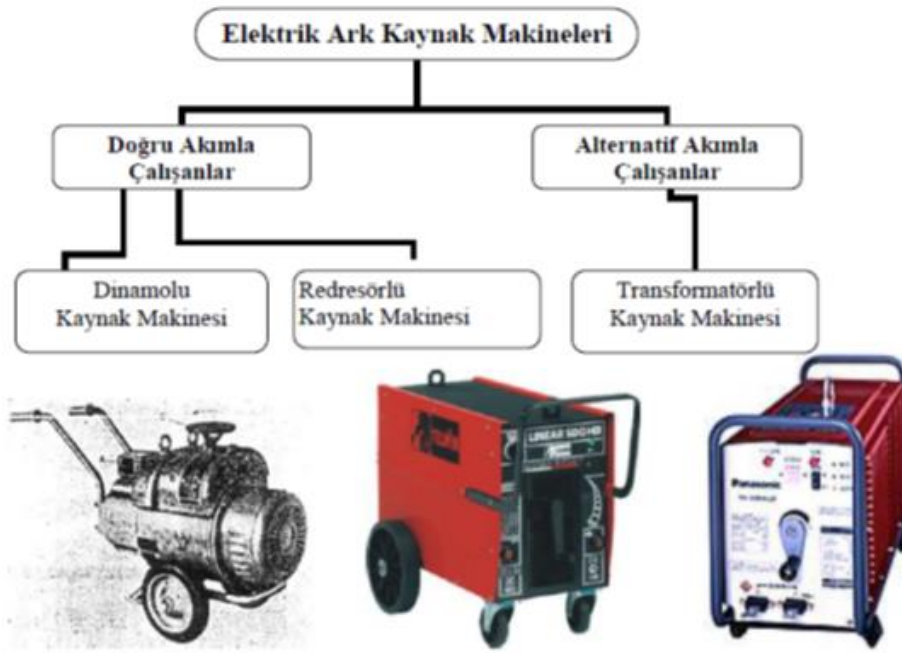
Resim 2.1. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağında kutuplama tipleri

Kaynak makinası, ana malzeme ile elektrot arasında oluşturulacak ark için yeterli miktardaki çıkış akımını elektroda sürekli beslemekle görevlidir. Çünkü 220-380 V şebeke gerilimi kaynak uygulamaları için oldukça yüksek olup, kaynakçı için büyük tehlike arz etmektedir. Hem kaynakçının can güvenliği hem de işlemin başarıyla yapılabilmesi için, kaynak makinası şebekeden aldığı gerilimi, boşa çalışma gerilimine çevirir. Çalışma prensibi olarak yüksek gerilime ve düşük akım şiddetine sahip şebeke akımını, yapısındaki bobinler sayesinde düşük gerilimli (25-55 V) ve yüksek akım şiddetli (10-600 A) kaynak akımına dönüştüren bir makine olarak ifade edilmektedir.

Tüm kaynak makinalarında ayarlanabilir akım özelliği bulunmaktadır ve bu özellik uygulanacak kaynaklı birleştirme işleminde, kullanılacak elektrodun çapına bağlı olarak uygun akım şiddetinin ayarlanmasına olanak verir. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağı hem doğru akım (DC) hem de alternatif akım (AC) ile yapılabilir. Doğru akım tercih edildiğinde ise ister düz ister ters kutuplama ile çalışılabilir. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağında her iki akım türünün de birbirine göre avantaj ve dezavantajları olup; kullanılacak akım türünün seçimi, mevcut kaynak donanımına ve kullanılacak elektrodun türüne bağlıdır. Bu kapsamda her iki akım türünü kıyaslamak gerekirse;

- Alternatif akımın dalga formu gereği bir periyotta iki defa sıfırlanma yaşanması ark sürekliliğinde sorun yaratmaktadır. Çünkü sıfırlanan arkın yeniden tutuşturulması kaynaklı işlemin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.
- Alternatif akım güç kaynaklarında akım çıkış karakteristiği sinüzoidal dalgalar şeklindeyken, doğru akım güç kaynaklarındaki akım çıkış karakteristiği sürekli dalgalar şeklindedir. Bu karakteristik farktan ötürü doğru akım, alternatif akıma kıyasla örtülü elektrotla elektrik ark kaynağında daha kararlı bir ark oluşturur, kaynak metalinin transferini daha kolay gerçekleştirir ve kaynaktaki sıçrama kaybı daha az olur fakat doğru akımda ark üfleme riski mevcuttur [4].
- Doğru akımın, tüm elektrot türleri ile kaynaklı birleştirmeye imkân vermesine rağmen, arkı daha kolay tutuşturma özelliğinden ötürü, düşük akımlarda ve ince çaplı elektrotlarda daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Bu nedenle tavan ve dik kaynak uygulamaları doğru akımla, düşük akımlarda daha kolay uygulanabilir.
- Doğru akımla sürekli kısa ark boyunda çalışmak daha kolaydır.
- Doğru akımdaki uygulamanın aksine, kalın parçaların örtülü elektrotla kaynaklı birleştirmesinde, kalın çaplı elektrotların kullanılması durumunda alternatif akım tercihi daha uygundur.
- Alternatif akım tercih edildiğinde, doğru akımda yaşanan ark üfleme sorunu ile nadiren bir sorun olarak karşılaşılabılır.
- Kaynak makinaları açısından kıyas yapmak gerekirse de, kaynak jeneratörlerinde verim %50 iken, transformatörlerde %80'dir ve jeneratörlerdeki enerji masrafı, aynı güçteki transformatörlere oranla %60 daha fazladır [10].

Resim 2.2.'de elektrik ark kaynağı uygulamalarında kullanılan kaynak makinaları sınıflandırılarak gösterilmiştir [10].

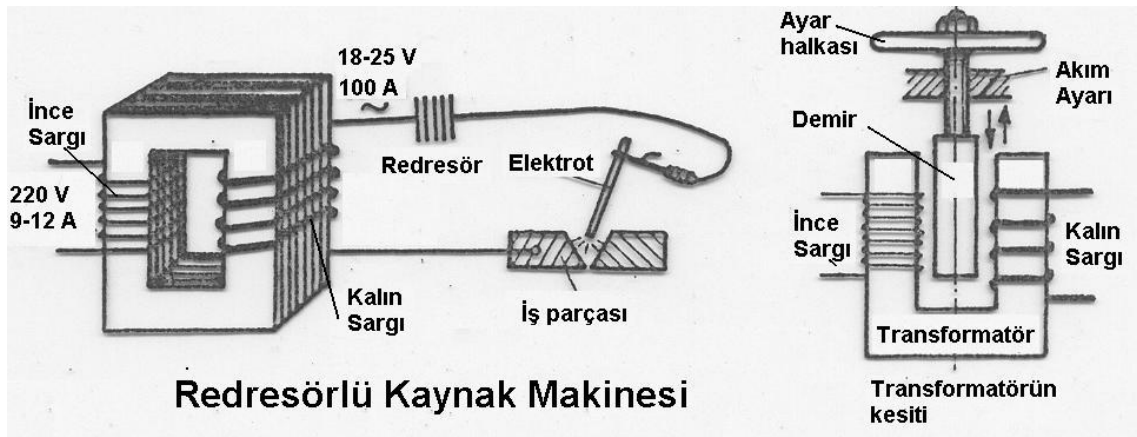


Resim 2.2. Elektrik ark kaynak makinaları

Kaynak jeneratörleri, elektrik motoru veya içten yanmalı motor gibi bir kuvvet makinası tarafından tahrik ettirilerek kaynak için gereken akımın üretildiği kaynak makinalarıdır. Kaynak jeneratörlerinde akım üretici olan dinamo tahrik edilir ve dinamo rotoru manyetik alanda dönerek akım üretilir. Bu üretilen akım, rotor milindeki toplayıcıdan iki adet kömür fırça yardımıyla çekilip kaynak kabloları aracılığıyla kaynak bölgesine iletilir. Bu tip kaynak makinalarının bakım ve yatırım maliyetleri yüksektir, kullanım ömürleri görece düşüktür ve verimlilikleri %45-65 seviyelerinde olup düşüktür. Buna rağmen doğru akım tercih edildiğindeki tüm üstünlükleri de sağlamaktadırlar. Avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurulduğunda iyi bir kaynak jeneratörü:

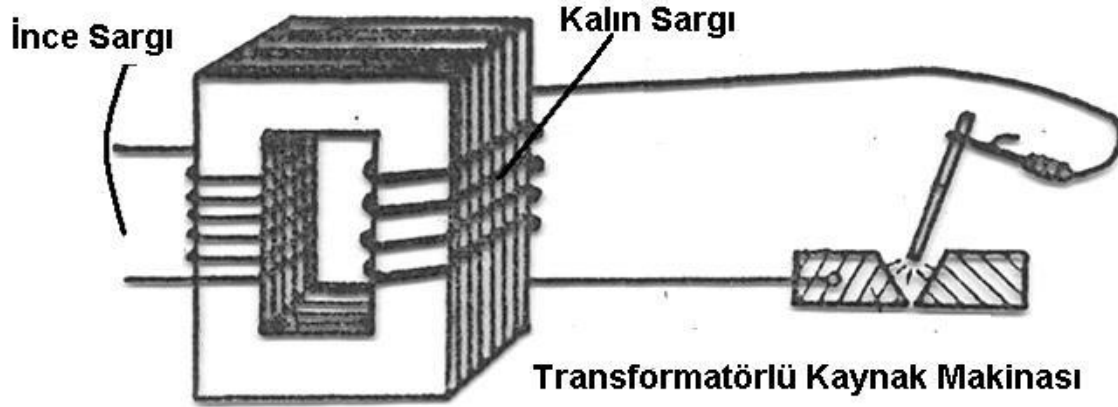
- Geniş bir aralıkta kademesiz olarak ayarlanabilir akım özelliği bulundurmalıdır.
- Yüksek verimli ve boşta çalışma tüketimi az olmalıdır.
- Yüksek akım şiddeti uygulanacak uygulamalarda, diğer makinalarla paralel bağlanabilmelidir. Kutuplar kolaylıkla değiştirilebilir olmalıdır.
- İyi bir havalandırma ve soğutma sistemine sahip olmalıdır.
- Toz, yağmur, nem gibi çevresel etkenlere karşı korunmalıdır. Kolay temizlenebilir ve yapısındaki kömür kolay değiştirilebilir olmalıdır.
- Kolay taşınabilir, bakımı kolay ve düşük maliyetli olmalıdır.

Kaynak redresörleri, şebekedeki alternatif akımı düzelterek doğru akıma dönüştüren kaynak makinalarıdır. Yüksek gerilimli ve düşük akımlı şebeke akımını, düşük gerilimli ve yüksek akımlı kaynak akımına dönüştüren bir transformatörden ve alternatif akımı doğru akıma çeviren bir doğrultucudan oluşurlar. Doğru akım kullanmanın tüm üstünlüklerine sahip olan kaynak redresörleri, jeneratörlere kıyasla, boşta çalışma tüketimlerinin azlığı, verimlerinin yüksekliği, kullanım ömürlerinin uzunluğu, bakım maliyetlerinin azlığı ve çalışma gürültülerinin düşüklüğü gibi birçok üstünlüğe sahiptirler. Ayrıca ısınmadan kaynaklı akım düşmesi problemi yaşamamaları ve yük değişimlerine çabuk cevap vermeleri gibi avantajları da redresörleri tercih sebebi kılmıştır. Şekil 2.5.'de standart bir kaynak redresörünün şematik gösterimi verilmiştir [10].



Şekil 2.5. Kaynak redresörünün şematik gösterimi

Kaynak transformatörleri, alternatif akım güç kaynağı olarak bilinen kaynak makinalarıdır. Sac malzemeden bir bobin ile bu bobine sarılı birincil ve ikincil sargılardan oluşan ve şebekeden ince, birincil sargıya gelen akımı, kalın olan ikincil sargı sonrasında istenen kaynak akımına dönüştüren kaynak makinalarıdır. Kaynak jeneratörleri gibi yeni bir akım üretmezler. Bu nedenle kaynak trafosu, gerilim değiştirici veya dönüştürücü olarak da adlandırılırlar. Şekil 2.6.'da kaynak transformatörünün şematik gösterimi verilmiştir [10].

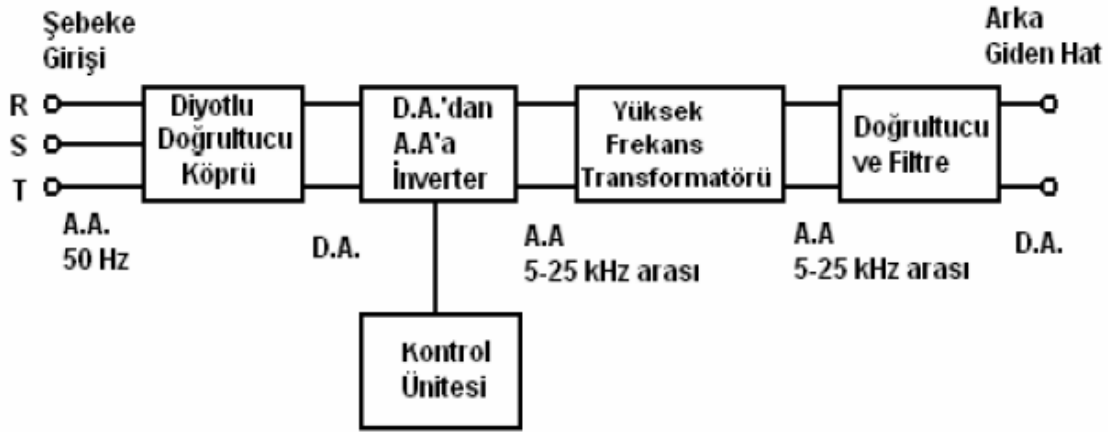


Şekil 2.6. Kaynak transformatörünün şematik gösterimi

Kaynak transformatörlerinin genel özellikleri şunlardır:

- Kaynak akımı ayar kolu haricinde döner parçaları yoktur. Bu nedenle sadece o kısım haricinde pek bakım gerektirmezler ve bakım maliyetleri genellikle düşüktür.
- Ucuz makinalar olup, yatırım maliyetleri düşüktür. Kullanım ömürleri ise uzundur.
- Hafiftirler, kolay taşınırlar ve az yer işgal ederler.
- %75-95 ile verimlilikleri oldukça yüksektir.
- Boşta çalışma tüketimleri ise oldukça azdır. Boşta çalışma gerilimleri ise yüksektir.
- Ark üfleme riski çok azdır.
- Her tür elektrotla kullanılamazlar.
- Bakır, hafif metaller ve yüksek alaşımlı çeliklerin kaynaklı birleştirilmesi için uygun değildir.
- Alternatif akım kullanımı tehlikeli olduğu için, dar çalışma alanlarında veya kazan kaynaklarında kullanımları pek tercih edilmez.

Teknolojinin gelişimiyle geleneksel kaynak makinalarının yanı sıra invertör tip olarak adlandırılan yeni nesil kaynak makinaları da geliştirilmiştir. Kaynak jeneratörlerine ve redresörlere kıyasla %80 daha az elektrik enerjisi harcayan invertör tip kaynak makinaları, genellikle doğru akım çıkışlı makinalar da olsalar, yeni geliştiren modelleri hem alternatif akım hem de doğru akım çıkışına sahiptir. Şekil 2.7.'de invertör tip kaynak makinasının çalışma prensibi şematik olarak ifade edilmiştir [11].



Şekil 2.7. İnvörtör tip kaynak makinasının çalışma prensibinin şematik gösterimi

İnvörtör tip kaynak makinalarının en önemli özellikleri;

- Hafif, kompakt ve daha verimli kaynak trafolarına sahip olmaları,
- Elektrik tesisat maliyetlerinin daha uygun olması,
- Hem çok güçlü hem de çok sakın bir ark üretebilmeleri,
- Ayarlanabilir sıcak başlangıç özelliğine sahip olmaları ve düşük akımlarda zor elektrotlarla bile güçlü bir ark oluşturabilmeleri,
- Elektrot ile iş parçasının yapışmasını önlemeleri,
- Sıçramanın olabildiğince en az seviyede olmasını sağlamaları,
- Ark kesilmesi sorunu yaşamamaları,
- Ayarlanabilir ark kuvveti özelliğiyle arkı daha kararlı kılmaları,
- Kısa ark boyunda sürekli çalışabilmeleri,
- En iyi ark karakteristiğini seçme şansı sunmaları,
- Her türlü elektrotla kaynaklı birleştirmeye olanak tanımaları ve
- Mükemmel yakın kalitede, tekrarlanabilir kaynak dikişleri vermeleridir.

Örtülü elektrotla ark kaynağının diğer kaynaklı birleştirme yöntemlerine göre kullanıcılarına sunduğu avantajlar;

- Kullanımının kolay olması,
- Açık ve kapalı alanlarda uygulanabilmesi,
- Düşük maliyetli bir uygulama olmasına rağmen kaliteli sonuçlar verebilmesi,

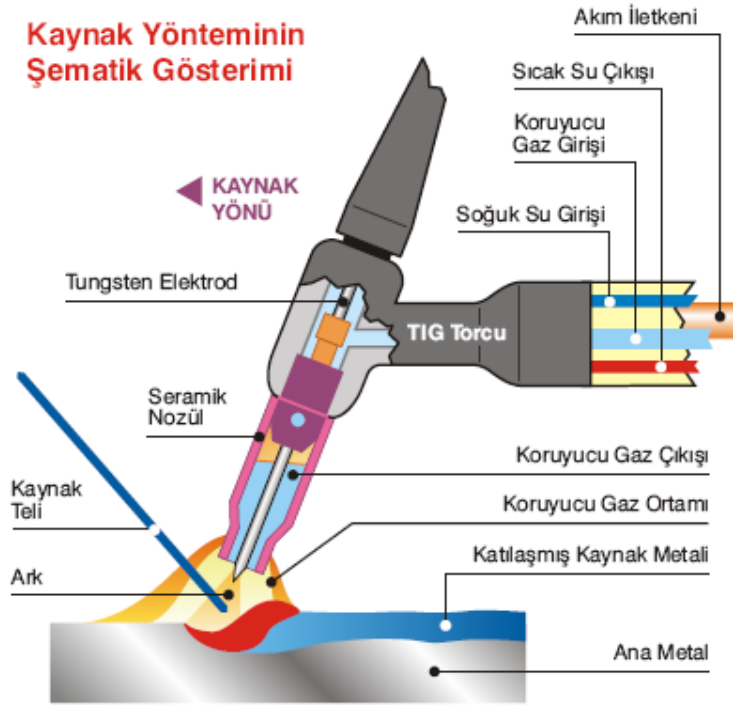
- Diğer kaynak yöntemlerine göre dar ve sınırlı çalışma alanlarında, elektrodun ulaşabileceği her noktada ve her pozisyonda kaynak yapılmasına olanak tanınması,
- Kaynak makinasının güç kaynağı uçlarının uzatılmasıyla uzak mesafelerde de çalışma yapılmasına olanak tanınması,
- Donanımının hafif ve kolay taşınabilir olması,
- Piyasadaki tüm malzemelerin kimyasal ve mekanik özelliklerini sağlayacak bir örtü bileşiminin mevcut olması,
- Bazı güç kaynaklarıyla TIG kaynağının da uygulanabilmesi gibi avantajlardır.

Dezavantajları ise;

- Metal yığılma hızının ve verimliliğinin diğer pek çok kaynak yöntemine göre düşük olması,
- Her paso sonrası oluşan cürufun temizlenmesi gerekliliği,
- Örtülü elektrotların belirli uzunluklarda olması ve tükendiğinde işlemin durdurulmasına neden olması ve
- Otomatik ya da yarı otomatik kaynak makinalarının kullanılmasının imkânsız olması gibi dezavantajlardır.

2.2. TIG Kaynağı

Asal bir koruyucu gaz altında, ergimeyen bir tungsten elektrotla yapılan, bir tür gazaltı kaynak yöntemidir. Yöntemin çalışma prensibi su veya hava soğutmalı bir torca takılan ve ergimeyen tungsten bir elektrotla iş parçası arasında arkın oluşumuna ve kaynaklı bölgenin havanın etkisinden argon ya da helyum gibi soygazlar tarafından korunmasına dayanır. Yöntemde kullanılan tungsten elektrot yüksek sıcaklıklara çıkıldığında, arkın sürekliliğini sağlamak için gereken elektron yayılımını sağlamaktadır. Bu nedenle ergimeyen elektrot kullanıldığı için, kaynaklı birleştirme esnasında ilave bir metale ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 2.8.'de TIG kaynağının şematik gösterimi paylaşılmıştır [11, 12].



Şekil 2.8. TIG kaynağı çalışma prensibi

TIG kelimesi İngilizcedeki “*Tungsten Inert Gas*” kelimelerinin baş harflerinin kısaltması şeklinde türetilmiştir. “T” harfi elektrik akımını arka ileten ergimeyen tungsten elektrodu, “I” harfi kimyasal olarak nötr bir karakterde olup, diğer elementlerle reaksiyon vermeyen argon ya da helyum gibi bir asal gazı ve “G” harfi de işlemin koruyucu gaz atmosferi altında uygulandığını ifade eder. Yöntem Alman kaynaklarında “*Wolfram Inert Gas*” kelimelerinin baş harflerinin kısaltması olan WIG kaynağı şeklinde de ifade edilmektedir.

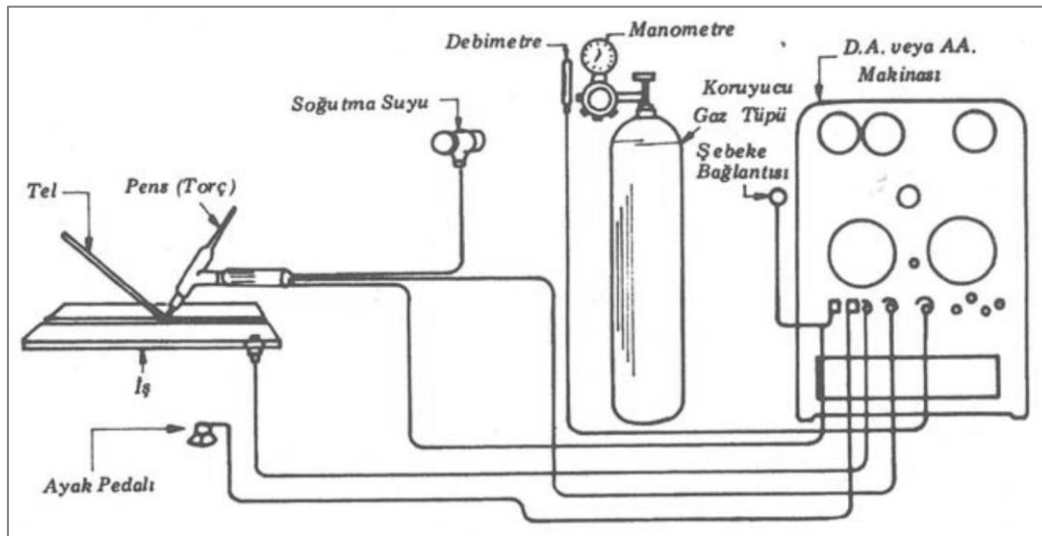
TIG kaynağı ilk kez 1942 yılında ABD’de Nortrup Aviation Company firmasında çalışan V.H. Pavlecka ve R. Meredith tarafından geliştirilmiş olup, II. Dünya Savaşı öncesinde askeri uçak imalatında kullanılmak üzere magnezyum, alüminyum ve nikel gibi hafif metal alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır” [9]. Yöntem, helyumun koruyucu gaz atmosferi altında uygulandığından, o dönemlerde “*Heliark Kaynağı*” olarak adlandırılmıştır.

Yönteme dair ilk gelişme, helyum gazı yerine argon gazının koruyucu gaz olarak kullanılmaya başlanmasıyla yaşanmıştır. Çünkü özgül ağırlığı $0,17 \text{ kg/m}^3$ olan helyum, özgül ağırlığı $1,22 \text{ kg/m}^3$ olan havadan daha hafif, uçucu ve sarfiyatı fazla bir gaz iken; özgül ağırlığı $1,72 \text{ kg/m}^3$ olan argon, havadan daha ağır bir gazdır ve kaynaklı birleştirme esnasında kaynak bölgesini daha iyi koruduğu gözlemlenmiştir.

Maliyet açısından argona göre çok daha fazla maliyetli olan helyum gazı, sadece bakır gibi ısı iletkenliği yüksek malzemelerin ve kalın kesitli parçaların kaynağında, aynı akım şiddetlerinde diğer koruyucu gazlara oranla daha yüksek ark gerilimi verdiği için tercih edilmektedir. Bunun haricindeki diğer uygulamaların çoğu koruyucu gaz olarak, argon gazını kullanılmaktadır. Bu yüzden bu kaynak yöntemi endüstride “*Argon Kaynağı*” olarak da adlandırılmaktadır.

Koruyucu gaz kullanımına dair diğer bir gelişme ise argon gazının saflığı açısından yaşanmıştır. Çünkü ilk uygulamalarda yüksek saflıkta olmayan argon gazı kullanılmış ve gaz içerisindeki su buharı, oksijen ve azot gibi safsızlıklar kaynaklı birleştirmenin kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Sonrasında yüksek saflıkta argon gazı kullanılmış ve bu safsızlıkların doğurduğu olumsuzluklar yok edilmiştir. Özellikle paslanmaz çeliklerin, bakır ve alaşımlarının TIG kaynağında kullanılan argon gazı, %0,1’den daha az oksijen ve %1,5’tan daha az azot ihtiva etmelidir.

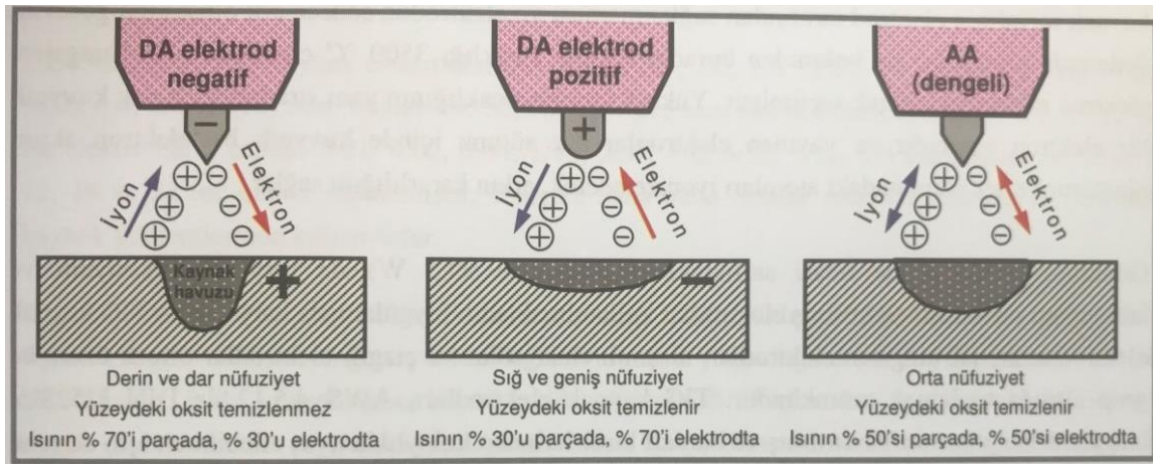
TIG kaynağı her ne kadar gazaltı kaynak yöntemlerinden biri olarak sınıflandırılrsa da, esasen elektrik ark kaynağı prensibinde uygulanan bir kaynak yöntemidir. Özellikle donanım açısından elektrik ark kaynağına benzeyen TIG kaynağı, sisteminde güç ünitesi, torç ve torç kablosu, elektrot, şase pensesi ve kablosu, koruyucu gaz tüpü ve regülatör ile ekstradan su soğutma ünitesi gibi donanım ekipmanları ihtiva etmektedir. Şekil 2.9.’da TIG kaynağı donanımı şematik olarak ifade edilmiştir [13].



Şekil 2.9. TIG kaynak donanımı blok şeması

TIG kaynak makinası, iş parçası ve ilave metalle ergimeyen tungsten elektrot arasında oluşacak elektrik arkı için, akım sürekliliğini sağlamak amacıyla kullanılan güç kaynağıdır. Hem alternatif akım hem de doğru akım çıkışlı olabilir. Bu bağlamda transformatörler, redresörler ve invertör kaynak makinaları TIG kaynağında kullanılabilirler. Komaç'a göre: Şebekeden gelen sinüzoidal dalga formu, alternatif akım güç kaynağından kare dalga şeklinde bir çıkış sergiler ve yön değişimi mekanizması sayesinde alüminyum, magnezyum gibi yüzeyinde oksit tabakası oluşan malzemelerin kaynak edilebilir hale gelmesini sağlar. Gelen dalga, doğru akım güç kaynağından ise sürekli dalga şeklinde bir çıkış sergiler ve negatif kutuplama yapılarak bakır, çelik, paslanmaz çelik, titanyum, nikel, monel ve inconel gibi malzemelerin TIG kaynağıyla birleştirilmesinde kullanılır [14].

TIG kaynağında kullanılan doğru akım güç kaynaklarında, çıkış dalga formunun yanı sıra, kutuplama tipi de oldukça önemlidir. Çünkü farklı kutuplama tiplerinin kaynak dikişi geometrisi üzerinde farklı etkileri vardır. Doğru akım güç kaynağıyla yapılan bir TIG kaynağında tungsten elektrot ergimemesi için genelde negatif kutba bağlanır yani düz kutuplanır ve işlem sonrası kaynaklı parçada derin bir nüfuziyet oluşumu gerçekleşir. Ters kutuplandığı durumda ise elektrot fazla ısınır ve kaynak dikiş geometrisi boyuna değil, enine bir büyüme sergiler. Resim 2.3.'te TIG kaynağındaki akım ve kutuplama türünün kaynak dikiş geometrisine etkisi gösterilmiştir [3].



Resim 2.3. TIG kaynağında akım ve kutuplamaya göre dikiş geometrisi değişimi

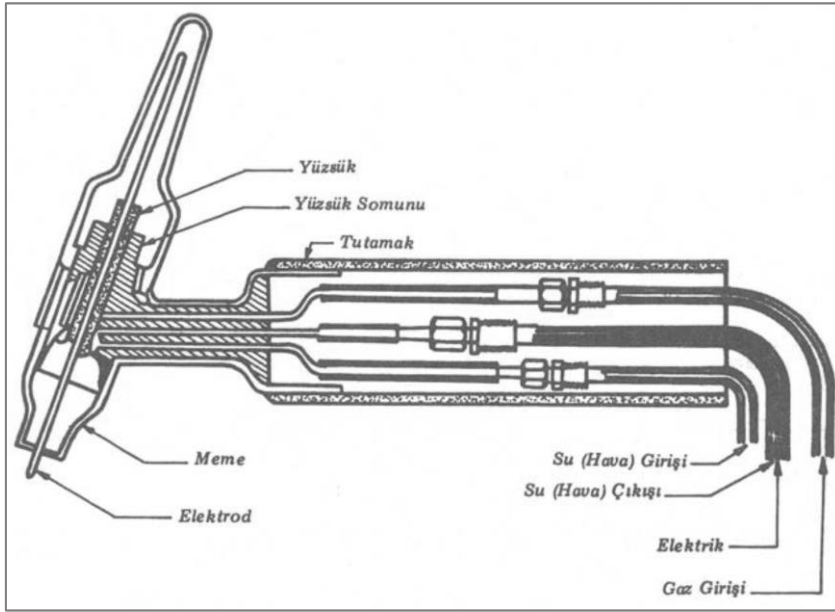
Elektrik ark kaynağındakine benzer çalışma prensibine sahip kaynak makinaları kullanılan TIG kaynağında transformatör ve redresörler, jeneratör ve alternatörlere kıyasla daha çok tercih edilmektedirler. Transformatörlere kıyasla ise redresörler, yapılarında kaynak akım

ve gerilimini düzenleyen ve doğrultan bir transformatör bulundurdıklarından ve bu yüzden hem doğru hem de alternatif akım üretebildiklerinden ötürü ön plana çıkmaktadırlar. Ayrıca sessiz çalışmaları, ısınma sebepli akım düşmesi problemi yaşatmamaları ve yük değişimlerine çabuk cevap vermeleri gibi avantajları da redresörleri tercih sebebi kılmıştır. İnvertör tip modern kaynak makinaları ise hem doğru hem de alternatif akım üretebilir olup her tür metal ve alaşımın kaynakla birleştirilmesine olanak sağladığından, diğer kaynak makinalarına kıyasla daha hafif olduğundan ve daha kararlı bir ark oluşturdıklarından ötürü son dönemde TIG kaynağında sıklıkla tercih edilen bir güç kaynağı haline gelmiştir. Ayrıca son yıllarda geliştirilen ve kullanımı giderek yaygınlaşan darbeli akım uygulamalarında, ayarlanan bir darbe frekansında, önceden belirlenen alt ve üst akım değerlerinde malzemeye ortalama bir ısı girdisi sağlanarak kaynak işlemi gerçekleştirilir. Böylece kaynaklı birleştirme esnasında akım ve nüfuziyet miktarı maksimum olurken, kaynak metaline uygulanan ısı girdisi minimum seviyededir [15, 16]. Bu durum özellikle ince kesitli malzemelerde çarpılma veya delinme olmadan kaynak yapabilmeye olanak tanımıştır. İnvertör makinalar, akım değerlerinin frekansa bağlı olarak gerçekleştirdikleri bu sürekli değişime uyum sağladıkları ve ark kesilmesi gibi bir soruna sebep olmadıkları için darbeli akım uygulamalarında özellikle tercih edilmektedirler.

TIG kaynağında kaynak makinasından sonra en önemli role sahip donanım elemanı olan kaynak torcu, özel olarak hazırlanmış bir elektrot tutucu sistemden oluşmakta ve elektrik arkını oluşturacak tungsten elektrodu sabitleme görevini üstlenmektedir. Torcun donanım elemanları elektrot tutucu, tutucu kovani, yalıtkan halka, nozul, elektrot sıkma kepi ve torç gövdesidir. Tutucu, elektrodu torca bağlayan ve elektroda kaynak akımını ileten bir parçadır. Genellikle iletkenlikten ötürü bakır alaşımlarından veya yüksek sıcaklığa dayanıklılıklarından ötürü nikel-krom alaşımlarından üretilir. Tutucunun iç deliği, tutulacak elektrodun çapına uygun olarak hassas işlenir; çünkü elektrotla tam temas sağlaması için belirli bir yüzey pürüzsüzlüğüne sahip olması gerekmektedir. Tutucu kovani, tutucunun içine girdiği ve özel bir somunla torç gövdesine sabitlenen bir donanım elemanıdır. Ayrıca kaynaklı birleştirme esnasında gaz dağıtıcı görev de üstlenmektedir. Yalıtkan halka, nozulu sabitlemek için ve torç gövdesinin ısınan nozuldan etkilenip yıpranmaması için kullanılır. Nozul, koruyucu gazın kaynak esnasında direkt kaynaklı bölgeye gönderilmesini sağlar. Kullanım yerine göre dar veya geniş ağızlı tasarımlara sahiptir. Alüminyum oksit esaslı seramik nozullar ucuzdur, yüksek frekanslı akımlarda tercih edilir ve hava soğutmalı torçlarda kullanılırlar. Borosilikat nozullar, ısıya dayanıklı

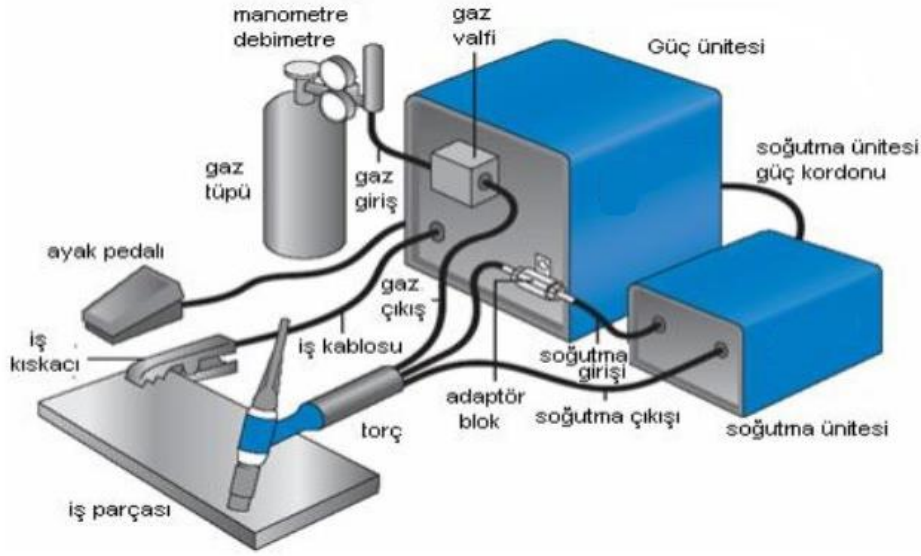
cam nozullardır ve şeffaflıkları gereği ark bölgesinin takip edilmesi gereken işlemlerde kullanılırlar. Bakır alaşımlı nozullar ise yüksek akımlarda çalışan su soğutmalı torçlarda bulunurlar. Torcun son takılan donanım parçası olan elektrot sıkma kepi ise tutucuya yerleştirilen elektrodu torç gövdesine sabitlemek amaçlı kullanılan ve kullanılacağı çalışma alanına göre, ergonomiklik açısından farklı boylarda üretilen bir parçadır.

TIG kaynağı işlemlerinde uygulanan kaynak akımı azami 200 amper ise gaz soğutmalı, azami 1000 amper ise su soğutmalı torçlar kullanılmaktadır. Torcun birleştirildiği torç kablosu koruyucu gazı, soğutucu havayı veya suyu torca aktaran ve elektrik kablolarının güç ünitesiyle bağlantısını sağlayan bir donanım elemanıdır. Şekil 2.10.'da standart bir TIG kaynağı torcunun şematik gösterimi verilmiştir [17].



Şekil 2.10. Bir TIG kaynak torcunun şematik gösterimi

Su soğutmalı torçların kullanıldığı TIG kaynağında, ilave bir donanım elemanı olarak su soğutma ünitesi bulunmaktadır. Bu ünite içerisindeki devr-i daim pompası sayesinde torç içinde sürekli su dolaştırarak torcun hızlı bir şekilde soğutulmasını sağlar. İşlem süresince ısınan su üniteye gelerek soğutulur ve yeniden torca beslenir. Çünkü yüksek akım değerlerinde çalışıldığı için torcun ısınmasının önüne geçilmelidir ve suyun soğutma hızı havadan daha fazla olduğu için su soğutması tercih edilmektedir. Şekil 2.11.'de su soğutmalı torca sahip bir TIG kaynak donanımının şematik gösterimi verilmiştir [11].



Şekil 2.11. Su soğutmalı TIG kaynak donanımı şeması

TIG kaynağının diğer donanım elemanlarından şase pensesi ve kablosu, elektriksel devrenin tamamlanması amacıyla kaynaklanacak malzemeye yapılan güç kaynağı bağlantısıdır. Gaz tüpü ve regülatör ise elektrik ark kaynağından farklı bir donanım elemanı olarak TIG kaynağı donanımında yer almaktadır. Gaz tüpünde bulunan inert gaz hem kaynaklı bölge için işlem esnasında koruyucu atmosfer yaratmakta hem de akışı sırasında torcu soğutmaktadır. Regülatör üzerinde yer alan tüpteki gaz miktarını gösteren manometre, gaz akış miktarını gösteren akış metre ve kaynakçının ihtiyacına binaen gaz akışı kontrolünü sağladığı selenoid valf ise kontrol amaçlı yardımcı donanım elemanlarıdır.

TIG kaynak yönteminin diğer kaynaklı birleştirme yöntemlerine göre kullanıcılarına sunduğu avantajlar;

- Demir esaslı veya demir dışı tüm malzemelere uygulanabilmesi,
- 0,1 mm kalınlığına kadar çok ince malzemelere bile kolaylıkla uygulanabilmesi,
- Genelde yatay pozisyonda uygulanması tercih edilse de, her pozisyonda kaynaklı birleştirmeye olanak tanınması,
- Kaynak torcunun hafif olup, rahat bir çalışma olanağı tanınması,
- Farklı akım türleri altında uygulanabilmesi,
- Yüksek nitelikli ve kaliteli kaynak dikişleri vermesi,
- Kaynak hızının yüksek olması,

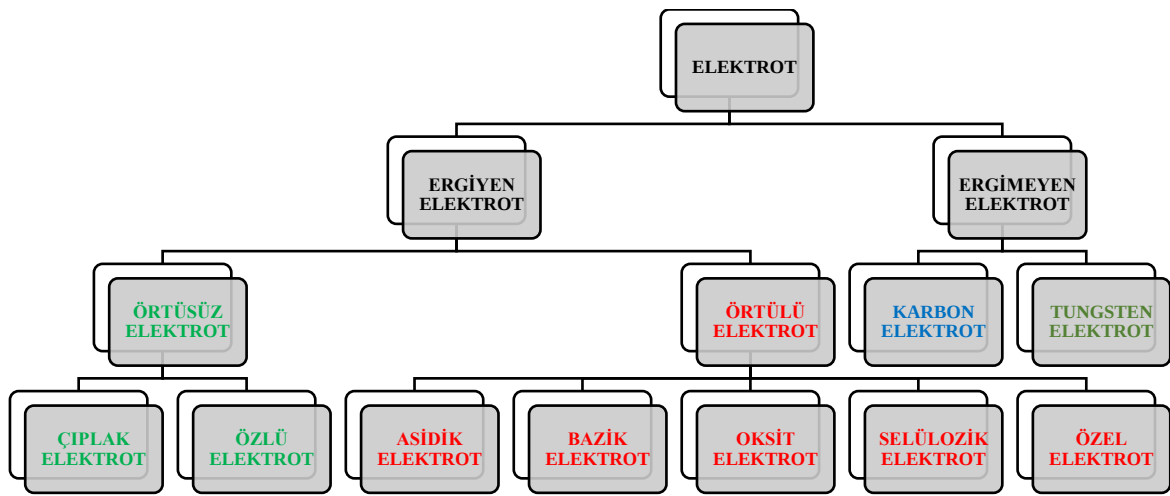
- Kaynak dikişinin izlenebilir ve kontrol edilebilir olması,
- Birleştirme için gerekli olan ısıнын belli bir bölgeye uygulanabilmesi,
- Oluşan ITAB'ın nispeten dar olması,
- Kaynaklanacak malzemede ısıl deformasyon riskinin düşük olması,
- Sıçrama probleminin olmaması,
- Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağına kıyasla duman oluşturmaması,
- Oksit temizleyici özellikteki dekapana ihtiyaç duyulmaması,
- Ortaya çıkan kaynak dikişlerinin temiz ve cürufsuz olması,
- Malzemede renk farklılığı yaratmayıp, kaynak sonrası ikincil bir işleme gerek duyulmaması,
- Kolay mekanize edilebilir bir sistem olup, yarı otomatik veya otomatik olarak uygulanabilmesi ve
- Bazı güç kaynaklarıyla örtülü elektrotla elektrik ark kaynağının da uygulanabilmesidir.

Dezavantajları ise;

- Metal yığıma hızının, diğer ark kaynağı yöntemlerine kıyasla düşük olması,
- Doğru akımda arkın başlayamaması veya zor başlaması sorunu,
- Doğru ve alternatif akımda ark gezinmesi riskinin yüksek olması,
- Doğru ve alternatif akımda kararlı olmayan bir ark oluşumuna neden olması,
- Tek pasoda gerçekleştirilmesi gereken kaynaklı birleştirmelerde yetersiz nüfuziyet problemine neden olması,
- Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik olmaması,
(7 mm'den daha kalın parçaların kaynağında ekonomik değildir.)
- Yüksek bir kaynak kalitesi için açılan kaynak ağızlarının ve birleştirmede kullanılacak ilave metalin özenle temizlenmiş olması gerekliliği,
- Dikkat edilmediği takdirde kaynak bölgesinde tungsten kalıntısının bulunması riski,
- Dikkat edilmediği takdirde ilave metalin kaynak işlemi esnasında koruyucu gazın etki alanının dışına çıkmasından ötürü oksitlenmesi ve yeniden kaynak banyosuna beslendiği takdirde kaynak kalitesini düşürmesi riskinin yüksek olması,
- Kaynak dikişinde gözenek oluşum riskinin yüksek olması ve
- Bu yöntemin uygulanması için her zaman özel olarak eğitilmiş bir kaynakçıya ihtiyaç duyulması gibi dezavantajlardır.

3. KAYNAK ELEKTROTLARI

Elektrot; kaynaklı birleştirme esnasında üzerinden akımın geçmesini sağlayan ve iş parçasıyla arasında elektrik arkının oluşmasını sağlayan ilave bir kaynak malzemesidir. Bazı elektrot türleri ergiyip kaynak ağzını doldurma, bazıları ise ergidiklerinde yapılarında bulundukları maddelerin etkisiyle açığa çıkardıkları gazlar sayesinde kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden koruma özelliğine de sahiptirler. Kaynak elektrotlarının türlerine göre sınıflandırılması Şekil 3.1.'deki gibidir.



Şekil 3.1. Kaynak elektrotlarının sınıflandırılması

3.1. Ergiyen Elektrotlar

Ergiyen elektrotlar, hem arkın oluşmasını hem de ergiyerek kaynak ağzının doldurulmasını ve gerekli kaynak metalinin oluşmasını sağlayan elektrotlardır. Örtüsüz ve örtülü olarak ikiye ayrılırlar.

Örtüsüz elektrotlar yapısında belirli oranlarda alaşım elementleri ihtiva eden, çekme veya haddeme yöntemiyle üretilen ve dış yüzeyleri çıplak olan dolu tel çubuklardır. Kaynak yöntemine bağlı olarak makaraya sarılı veya belirli boylarda kesilmiş halde bulunurlar. Örtüsüz elektrotların çıplak ve özlü türleri vardır. Çıplak elektrotlar sadece dolu bir kaynak telinden ibaretken, özlü elektrotlar boru şeklinde üretilip içlerinde öz olarak adlandırılan, ergimesiyle arkın kararlılığını ve kaynak metalinin alaşımlanmasını, yanması esnasında da açığa çıkardığı gazlar sayesinde kaynak bölgesinin havanın olumsuz etkilerinden

korunmasını sağlayan organik maddeler ihtiva eden elektrotlardır. Örtüsüz elektrotlar kaynaklı birleştirme işlemi esnasında hem negatif hem de pozitif kutba bağlı olarak çalışabilirler ve kaynaklı malzemede orta derecede bir nüfuziyet elde edilmesini sağlarlar. *Örtülü elektrotlar* ise çıplak kaynak teli üzerine sarma, daldırma ya da çoğunlukla ekstrüzyon yöntemiyle kaplanmış, rutil, asidik, bazik, oksit, selülozik veya özel karakterlerde örtü tabakalarına sahip elektrotlardır. Hem doğru hem de alternatif akım altında kullanılabilirler.

Bir örtülü elektrodun sahip olduğu mevcut kaynak karakteristiği, tamamen örtü bileşimine bağlıdır. Yığılan kaynak metalinin miktarı, oluşan nüfuziyet, kaynak dikişi geometrisi, yüzey pürüzlülüğü ve kaynak metalinin bileşimi örtünün bileşimi ile kontrol edilebilir. Ayrıca öz gibi örtü de içeriğindeki maddeler sayesinde;

- Arkın oluşumunun ve tutuşmasının kolaylaşmasını,
- Kaynaklı birleştirmenin hem doğru hem de alternatif akımla yapılmasını,
- Kaynak metalinin alaşımlanmasını ve yapısındaki oksijenin giderilmesini,
- Yanarak çıkardığı gazlarla dikişin, havanın olumsuz etkilerinden korunmasını,
- Ergiyen metal damlalarının viskozitesine ve yüzey gerilimine etki ederek tavan, yukarıdan aşağı veya aşağıdan yukarı kaynak pozisyonlarında çalışmanın kolaylaşmasını ve
- Kaynak sonrası dikişin üzerini cüruf tabakasıyla örtterek yavaş soğumasını sağlar.

Elektrot örtüsünde birçok farklı görevde malzeme bulunmaktadır. Çizelge 3.1.'de elektrot örtüsünde bulunan malzemeler görevleri ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 3.1. Elektrot örtüsünün bileşenleri ve örtüdeki görevleri

Elektrot Örtüsü Bileşenleri	
Cüruf oluşturucular	Karbonatlar, silikatlar, oksitler, florürler vs.
Ark stabilizatörleri	Potasyum oksalat, zirkonyum karbonat vs.
Gaz atmosferi oluşturucular	Selüloz, kireç taşı, odun tozu, dekstrin vs.
Ekstrüzyon kolaylaştırıcılar	Gliserin, talk, kaolen, bentonit, mika vs.
Bağlayıcılar	Sodyum silikat, potasyum silikat, dekstrin vs.
Kurutma sonrası dayanım kazandırıcılar	Asbest, mika vs.
Oksijen giderici ve alaşımlandırıcılar	Ferro-silisyum/mangan/krom, molibden vs.

Elektrot örtüsüne katılan malzemeler ~100 mesh boyutuna kadar toz haline getirilip örtü pastasına eklenirler. Ardından ekstrüzyonla veya diğer yöntemlerle elektrot çekirdeğinin üzerine kaplanırlar. Örtülü elektrotlarda çekirdek çapının %120'si kadar kalın olan elektrota ince örtülü, çekirdek çapının %120'si ile %155'i arasında kalınlığa sahip olan elektrota orta kalın örtülü ve çekirdek çapının %155'inden fazla kalınlığa sahip olan elektrota da kalın örtülü elektrot denir. Örtü bileşimindeki malzemelerin taneleri ufaldıkça, aynı oranda örtünün kaynak metalini alaşımlandırma verimi artar. Fakat bu malzemelerin birbiriyle karıştırılmasında dikkat edilmesi gereken konu, her tür elektrot örtüsü için, ana bileşenlerin bazı oranlar çerçevesinde kalması zorunluluğudur. Aksi takdirde örtü karakteristiği değişecek ve örtü kendinden beklenen özellikleri sergileyemeyecektir. Örtüye katılan bu alaşım elementleri, kaynak metaline ancak belirli bir oranda geçmektedir [9]. Bu nedenle elektrot üretiminde, örtüde yer alacak alaşım elementlerinin % verimleri göz önünde bulundurulmalıdır. Çizelge 3.2.'de elektrot örtüsüne katılan bazı alaşım elementleri, örtüde bulundukları formlar ile yaklaşık % verim değerleri paylaşılmıştır [9].

Çizelge 3.2. Elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri ve yaklaşık % verimleri

ALAŞIM ELEMENTİ	BULUNDUĞU FORM	YAKLAŞIK % VERİM
Karbon (C)	Grafit	%75
Mangan (Mn)	Ferromangan	%75
Fosfor (P)	Ferrofosfor	%100
Kükürt (S)	Demir sülfid	%15
Silisyum (Si)	Ferrosilisyum	%45
Krom (Cr)	Ferrokrom	%95
Nikel (Ni)	Elektrolit nikel	%100
Bakır (Cu)	Bakır	%100
Niyobyum (Nb)	Ferroniyobyum	%70
Molibden (Mo)	Ferromolibden	%97
Vanadyum (V)	Ferovanadyum	%80
Bor (B)	Ferroboron	%2
Azot (N)	Nitritli mangan	%50
Tungsten (W)	Ferrotungsten	%80
Alüminyum (Al)	Ferroalüminyum	%20
Zirkonyum (Zr)	Nikel – Zirkon Alaşımı	%5

Örtülü elektrotlarda örtü karakterini belirleyen ifade baziklik indeksidir. Baziklik indeksi, Eş. 3.1.'deki eşitliğe göre, 1'den küçük olduğunda örtü asidik karakterli, 1 ile 2,5 aralığında olduğunda örtü nötr karakterli, 2,5 ile 3 aralığında olduğunda ise örtü bazik karakterli olarak adlandırılır.

$$\text{Baziklik İndeksi} = \frac{CaO + MgO + MnO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + TiO_2 + ZrO_2} \quad (3.1)$$

Örtülü elektrotlar; örtülerinin kalınlıklarına ve baziklik indekslerine göre sınıflandırıldıkları gibi, örtülerinin içerdikleri ana bileşenlerinin türüne ve cüruflarının sahip oldukları pH değerlerine göre de sınıflandırılırlar.

Rutil elektrotlar, örtüsünde ağırlıkça ~%35 TiO_2 (titanyum dioksit) bulunduran, tutuşturulmaları kolay, sıçrama kaybı az olan elektrotlardır. Bu tip elektrotlar her tip örtü kalınlığına sahip olup, örtü kalınlığı arttıkça ergiyen metal damlalarının daha ince formda kaynak metaline geçmesiyle kaynak dikişinin kalitesini artırır. Oluşturdukları cüruflar dikişi tamamen örter, oldukça kalındır ve çabuk katılaşır. Oluşan cürufun temizliği kolaydır. Her pozisyonda kaynaklı birleştirmeye elverişlidirler. Hem doğru hem de alternatif akım altında uygulanan kaynaklı birleştirmelerde kullanılabilirler. Yumuşak ve kararlı bir arkla çalışma imkânı tanırırlar ve aralık doldurma kabiliyetleri örtülerinin kalınlığı arttıkça artar. Ayrıca kalın örtülü rutil elektrotlar kullanılan bir kaynaklı birleştirme işleminde, oldukça fazla miktarda cüruf oluşacağından, koruyucu gaz atmosferine gerek duyulmaz. Düşük maliyetli ve kolay depolanabilir elektrotlardır.

Bazik elektrotlar, örtülerinde CaF_2 (kalsiyum florür) ve kalsiyum ile diğer toprak alkali metallerin karbonatlarını bulunduran, genelde kalın örtülü üretilen, cüruf temizliğinin diğer elektrotlara göre zor olduğu, bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilen elektrotlardır. Aralık doldurma kabiliyetleri iyidir. Diğer elektrotlarda elde edilen dikişlere kıyasla, bilhassa $0^\circ C$ 'nin altında, daha sünek dikişler oluştururlar. Nem çekici örtü yapısına sahip olup, işlem öncesi kurutulması gereken elektrotlardır. Aksi takdirde dikişlerde gözenek veya çatlak oluşum riski yüksektir. Fakat dikişin hidrojen kapma olasılığı ise çok azdır. Kimyasal kompozisyonu bilinmeyen, az alaşımlı, yüksek miktarda kükürt, fosfor ve azot içeren veya farklı karbon içeriğine sahip çeliklerin, çatlama riskinin azaltılması gereken kalın kesitli parçaların, $0^\circ C$ 'nin altında çalışacak parçaların ve dinamik zorlamalar altında

yüksek dayanım sergilemesi istenen parçaların kaynaklı birleştirmelerinde tercih edilirler. Bazik elektrotların yanlış seçilmesi, hatalı kullanılması, hatalı işlemlere tabi tutulması sonucunda parçaların kök pasolarında gözenek oluşum riski artar. Bu riskin önlenmesi için işlem öncesi birleştirilecek parçalar puntalanmalı ve elektrotlar 250°C’de en az 30 dk kurutulmalıdır. İşlem esnasında yüksek akım şiddetinde, 85-90° açıyla, kısa ark boyunda ve düşük kaynak hızında çalışılmalıdır.

Asidik elektrotlar, örtülerinde ağırlıkla demir oksit ve ferromangan bulunduran, genelde kalın örtülü üretilen ve örtü kalınlığı arttıkça kaynak metali geçişinin incelendiği elektrotlardır. Oluşturdukları cürupların katılma aralığı oldukça geniş olup, çabuk akan ve düz dikişler oluşturan elektrotlardır. Oluşan cürupun temizliği kolaydır. Yukarıdan aşağıya kaynak hariç her pozisyonda kullanılabilirler. Hem doğru hem de alternatif akımda kullanılabilen asidik elektrotların, kaynak ağzı doldurma kabiliyetleri iyi değildir. Kararlı bir ark oluşturlar ve kolay depolanırlar.

Oksit elektrotlar, örtülerinde ~%60 oranında demir oksit (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) bulunduran, kalın örtülü olarak üretilen, güzel, düz ve ince dikişler veren, sadece düşük karbonlu ve alaşımsız çeliklerin kaynaklarında kullanılan elektrotlardır. Kaynaklı birleştirme esnasında metal iletimi akış şeklindedir. Yüksek akımla yüklenebilme özelliklerinden ötürü cürup ve metal çok akıcı formda olup, sadece yatay ve oluk pozisyonlarında kullanılabilirler ve aralık doldurma kabiliyetleri iyi değildir. Oluşan dikişlerin sıcak çatlak riskleri yüksektir.

Selülozik elektrotlar, ağırlıkça %30 selüloz içeren, yandıkları zaman gaz haline geçen organik maddeleri örtülerinde ihtiva eden, genelde kalın örtülü olarak üretilen ve özellikle yukarıdan aşağıya olmak üzere her kaynak pozisyonunda kullanılabilen elektrotlardır. Metal iletimi damlalar halindedir ve dikiş üzerinde çok az cürup oluşturlar. Bu nedenle aralık doldurma ve nüfuziyet oluşturma kabiliyetleri iyidir. Cürup temizliği kolaydır. İnce örtülü selülozik elektrotların cürupu transfer halindeki metal damlacıklarını çok iyi koruyamaz, dikiş üzerinde yeterli bir cürup tabakası oluşturmaz ve sıçrama kayıpları oldukça yüksektir. Kaynaklı birleştirme esnasında yanan selüloz her ne kadar iyi bir koruyucu atmosfer yaratsa da, dikişin düşük ihtimalle de olsa hidrojen kapmasına da sebep olabilir ve bu durum bazı çeliklerin kaynağında problem oluşturabilir.

Özel elektrotlar ise genellikle kalın örtülü ve her tür karakterde üretilen derin nüfuziyet elektrotları ve yüksek verimli demir tozlu elektrotlardır. Demir tozlu elektrotlarda örtü bileşeni olarak büyük oranda demir tozu kullanılmaktadır. Hatta bazı elektrotlarda toplam örtü ağırlığının yarısını demir tozu oluşturmaktadır. Demir tozu örtüyü iletken hale getirip, elektrodu kontak elektrodu olarak kullanabilmeyi mümkün kılmakta, arkın kararlılığını ve dikişe geçerek ergime verimini artırmaktadır. Hatta kaynak sonrası ergimiş metal tartıldığında, ağırlığının elektrodun çekirdek teli ağırlığından fazla olması sebebiyle bu elektrotlara yüksek verimli elektrotlar da denilmektedir. Ergime verimleri %120 seviyelerindedir. Derin nüfuziyet elektrotları, kaynak ağzı açmadan sac malzemelerin iki farklı taraftan kaynatılarak birleştirilmesini sağlayan elektrotlardır. Kaynak ağzı açma masrafını ortadan kaldırmış olmaları, en önemli özellikleridir. Kalın örtülüdürler ve her türlü karaktere sahip olabilirler.

Bu tür elektrotların haricinde, aşınmış ya da korozyona uğramış makina elemanlarının tamir işlemlerinde kullanılan dolgu kaynağı elektrotları ile kesme işlemlerinde kullanılan kesme elektrotları da ergiyen elektrotlar sınıfında değerlendirilen elektrotlardır.

3.2. Ergimeyen Elektrotlar

Kaynaklı birleştirme esnasında ergimeyip, sadece iş parçasıyla arasında elektrik arkının oluşmasını sağlayan elektrotlara denir. Bu tip elektrotlar her ne kadar ergimeyen elektrotlar olarak adlandırılrsa da, uygun akım şiddetiyle yüklenmemeleri durumunda ergiyebilir oldukları veya uçlarının hasar gördükleri bilinmektedir. Bu nedenle kaynaklı birleştirme esnasında ne düşük ne de yüksek bir akım şiddetiyle yüklenmemeleri gerekir. Ayrıca ergimeyen elektrotlarla uygulanan kaynak yöntemlerinde kaynak ağzını doldurmak için ilave metal kullanılması gerekmektedir. İki tür ergimeyen elektrot mevcuttur.

Karbon elektrotlar ince sacların kaynağında ve bazı özel kaynak yöntemlerinde kullanılan ve genelde dairesel kesitli olup, 3-30 mm çap ve 200-1000 mm boy aralığında üretilen elektrotlardır. Amorf, grafit veya elektrografit tür elektrotlar olarak kullanım alanına sahiptirler. Amorf elektrotlar toz haldeki grafit, kok veya antrasit kömürlerinin bir yapıştırıcı maddesiyle birlikte basınç altında preslenmesi ile üretilir ve ucuzdur. Grafit ve elektrografit elektrotlar ise grafit kömüründen elde edilirler. Amorf elektrotlara kıyasla daha yüksek akım şiddetiyle yüklenen, daha uzun ömürlü ve daha pahalı elektrotlardır.

Tungsten elektrotlar, saf veya toryum, zirkonyum, lantan ve seryumun oksitli bileşikleriyle alaşımlandırılmış toz haldeki tungstenin preslenip sinterlenmesiyle elde edilen elektrotlardır. Tungstenin yüksek ergime sıcaklığına (3422°C) sahip olması, elektrot olarak üretilirken toz metalurjisi yönteminin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Yüksek ergime sıcaklığının yanı sıra, tungstenin çok kuvvetli bir elektron yayıcı özelliğe sahip olması ve yayılan elektronların da ark sütununda kuvvetli bir elektron akımı oluşturmaları, ark sütununda yer alan atomları iyonize ederek arkın daha kararlı olmasını sağlamaktadır.

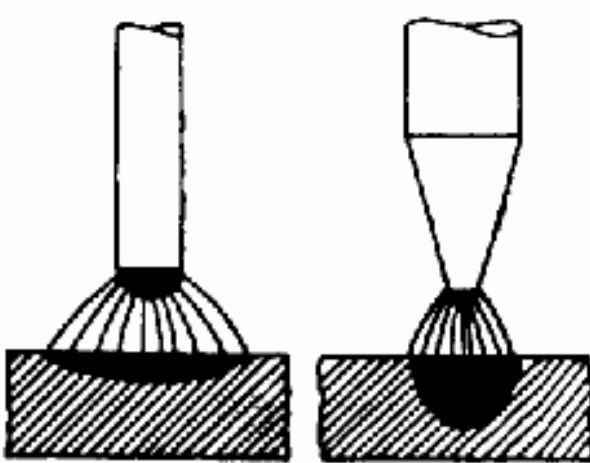
Tungsten elektrotlar, koruyucu gaz atmosferinde yapılan kaynak yöntemlerinde kullanılıp; saf olanları (%99,5 W içerenleri) ve ZrO_2 (zirkonyum dioksit) alaşımlı olanları genelde alternatif akımla, ThO_2 (toryum dioksit), La_2O_3 (lantan oksit) ve CeO_2 (seryum dioksit) alaşımlı olanları ise doğru akımla kullanılırlar. Özellikle %0,35-2,2 oranında ThO_2 veya %0,15-0,40 oranında ZrO_2 ile alaşımlandırılmış elektrotların kullanımı, tungsten elektrotlar için daha yüksek akım şiddetiyle yüklenebilmeyi, daha kolay tutuşmayı, daha uzun ömürlülüğü, daha az sarfiyatı ve sıçrama kaybını mümkün kılmıştır.

Tungsten elektrotlar, Amerikan AWS A5.12 ile Alman DIN 32528 standartlarında bileşimlerine göre farklı renk kodlarıyla tanımlanmışlardır. Ayrıca ölçüleri de belirtilmiştir. Buna göre AWS A5.12’de elektrot çapları 0,01, 0,02, 0,04, 1/16, 3/32, 1/8, 5/32, 3/16 ve 1/4 inç, uzunlukları ise 3, 6, 7, 12, 18 ve 24 inç olarak belirtilmiştir [18]. DIN 32528’de ise elektrot çapları 0,5, 1, 1,6, 2, 2,4, 3, 3,2, 4, 5, 6, 6,4, 8 ve 12 mm olarak, uzunlukları ise 50, 75, 150 ve 175 mm olarak belirtilmiştir [19]. Çizelge 3.3.’te tungsten elektrotların nasıl sınıflandırıldıkları gösterilmiştir [18, 19, 20].

Çizelge 3.3. Tungsten elektrotların sınıflandırılması

ELEKTROT	Sembolü	Oksit İçeriği	Kullanılan Akım	Renk Kodu
Saf	W	-	AC	Yeşil
Toryum oksit	WT 10	% 0,90-1,20	AC veya DC	Sarı
Toryum oksit	WT 20	% 1,80-2,20	DC	Kırmızı
Toryum oksit	WT 30	% 2,80-3,20	DC	Mor
Toryum oksit	WT 40	% 3,80-4,20	DC	Turuncu
Zirkonyum oksit	WZ 4	% 0,30-0,50	AC	Kahverengi
Zirkonyum oksit	WZ 8	% 0,70-0,90	AC	Beyaz
Lantan oksit	WL 10	% 0,90-1,20	DC	Siyah
Seryum oksit	WC 10	% 0,80-1,20	DC	Pembe
Seryum oksit	WC 20	% 1,80-2,20	DC	Gri

TIG kaynağı uygulamalarında, tungsten elektrotun yüksek akım şiddetiyle yüklenme kapasitesi birçok farklı etmene bağlıdır. Bu etmenlerin başında elektrotun bileşimi ve koruyucu gazın türü gelmektedir. Fakat serbest elektrot uzunluğu, elektrodu soğutan sistemin etkinliği, akım türü, kutuplama ve kaynak pozisyonu da elektrodun akım yüklenme kapasitesi üzerinde etkilidir. Tungsten elektrotlarda alaşım miktarı arttıkça, daha yüksek akım şiddetiyle yüklenme oranları artar. Buna rağmen alaşımlı tungsten elektrotlar, saf tungsten elektrotlara kıyasla, 3-5 volt daha düşük ark gerilimiyle çalıştıklarından, sık bir nüfuziyet oluştururlar. Tungsten elektrotların uygun akım şiddetiyle yüklenmeleri dikkat edilmesi gereken önemli bir konudur. Aksi halde düşük yüklenme sonucunda ark elektrot ucunda gezinmeye başlarken, aşırı yükleme sonucundaysa elektrot ucunda ergime ve bu yüzden de kararsız bir ark oluşumu ile tungsten damlanın kaynak metaline geçişi meydana gelebilir. Tungsten elektrodun uygun akım şiddetiyle yüklenmesinin yanı sıra uç formu da oluşan kaynak arkının yoğunluğuna ve dolayısıyla kaynak dikiş formuna etki eder. Pinch-Effect olarak adlandırılan ve arkı büzen mekanizma, akım yoğunluğunun karesi ile doğru orantılıdır. Bu yüzden elektrot ucu konik olduğu zaman, uçta akım yoğunluğu artar ve ark büzülerek ark sütununun merkez yoğunluğunun artmasına sebep olur. Böylece aynı akım şiddetinde konik uçlu elektrot, dairesel uçlu elektroda göre parçada daha derin bir nüfuziyete ve daha dar bir kaynak dikişine sebep olur [17]. Şekil 3.2.'de tungsten elektrot uçlarının şekline bağlı olarak kaynak dikişine olan etkileri gösterilmiştir [4, 17].



Şekil 3.2. Tungsten elektrot ucu formlarının kaynak dikişine etkisi

Tungsten elektrotların yüksek akım şiddetiyle yüklenmesinde diğer bir önemli faktör de tercih edilen koruyucu gazın türüdür. TIG kaynağında genelde kimyasal bakımdan nötr, renksiz, kokusuz ve tek atomlu gazlar olan argon, helyum veya bunların karışımı bir asal gaz koruyucu gaz olarak kullanılır. Aktif gazlar ise kesinlikle kullanılmazlar. İşlem uygulandığı esnada mevcut koruyucu gaz, kaynaklı bölgeye herhangi bir ısı katkısında bulunmasa da ısı girdisini bir dereceye dek etkilerler. Çünkü akım şiddetinden bağımsız olarak, koruyucu gazın türüne göre arkın yüklendiği gerilim miktarı farklılık gösterir.

Aynı akım şiddetinde helyum koruyucu atmosferi içinde oluşan ark, argon koruyucu atmosferi içinde oluşan arka kıyasla daha yüksek bir ark gerilimine sahiptir. Bu da kaynakta mevcut ısı girdisini ve dolaylı olarak nüfuziyeti artırıcı bir etkidir. Hatta öyle ki argon gazına belirli bir miktarda helyum katılarak elde edilecek nüfuziyetin 1-2 mm artırılabilceği söylenmektedir [21]. Bu nedenle ince kesitli parçaların TIG kaynağıyla birleştirilmesinde argon gazı, kalın kesitli parçaların ve bakır gibi ısı iletkenliği yüksek olan parçaların TIG kaynağıyla birleştirilmesinde helyum gazı koruyucu gaz olarak tercih edilmektedir. Çizelge 3.4.'te farklı kalınlıktaki ve türdeki malzemelerin TIG kaynağında kullanılması önerilen akım türü, koruyucu gaz türü ve elektrot türü bilgileri paylaşılmıştır.

Çizelge 3.4. Farklı malzemelerin TIG kaynağında önerilen parametreler

MALZEME	Kalınlık	Akım Türü	Elektrot Türü	Koruyucu Gaz
Al ve alaşımları	Hepsi Kalın İnce	AA DAEN DAEP	W ya da WT WT WT veya WZ	Ar ya da Ar-He Ar ya da Ar-He Ar
Cu ve alaşımları	Hepsi İnce	DAEN AA	WT W ya da WZ	Ar ya da Ar-He Ar
Mg ve alaşımları	Hepsi İnce	AA DAEP	W ya da WZ WZ ya da WT	Ar Ar
Ni ve alaşımları	Hepsi	DAEN	WT	Ar
Çelikler	Hepsi İnce	DAEN AA	WT W ya da WZ	Ar ya da Ar-He Ar
Ti ve alaşımları	Hepsi	DAEN	WT	Ar

Kaynaklı birleştirmelerde kaynak metalinin mukavemet değerleri, esas metalin mukavemet değerlerine eşit veya daha yüksek olmalıyken, bileşimi ve fiziksel özellikleri ise esas metalinki ile ya aynı ya da çok yakın olmalıdır. Bu kapsamda elektrot seçimi çok önemli bir konudur.

Tanımlanmış bir kaynak işlemi için uygun elektrot seçiminde etkin faktörler şunlardır:

- Esas metalin kimyasal kompozisyonu
- Esas metalin mukavemet değerleri
- Çalışılması istenen kaynak pozisyonu
- Kaynak akım türü ve kutuplama
- Kaynak ağzı tasarımı
- Esas metalin kalınlığı ve şekli
- İşletme koşulları (Parçanın çalışma sıcaklıkları veya yüke maruz kalma durumu)
- Çalışma koşulları (Isı girdisi, kaynak hızı gibi parametrelerde sınırlamalar)

4. KAYNAK AKIM TÜRLERİ

Akım, bir iletkeninden saniyede geçen elektrik miktarıdır. Kaynak akımı ise, normal elektrik akımından bir nebze farklıdır. Kaynak akımı için gerekli elektrik akımı, şebekeden sağlanır fakat gerilimi yüksek, şiddeti düşük olduğundan direkt olarak kullanılmayıp kaynak makinaları sayesinde gerilimi düşürülüp şiddeti artırılarak kullanılırlar. Bu bilgiler ışığında kaynak akımı, şebekeden gelen 220-380 V gerilimli elektrik akımının, kaynak makinaları aracılığıyla 25-55 V seviyelerine düşürülmesi ve akım şiddetinin 10-600 A seviyesine yükseltilmesiyle elde edilen ve kaynaklı birleştirme uygulamalarında kullanılan bir akım türüdür.

Temelde doğru ve alternatif olmak üzere 2 tip akım türü vardır fakat son dönemlerde kaynaklı birleştirme işlemlerinde yaygınlıkla kullanılan ve akım değerinin bir alt akım ile üst akım değeri arasında belirli bir frekansta değiştiği, bir doğru akım türü olan darbeli akım da mevcuttur.

4.1. Doğru Akım

Doğru akım, akım değerinin zamana veya yöne bağlı olarak değişmediği akım türüdür. Doğru akımla çalışan bir kaynak makinasının verdiği akım değeri dalgalanma veya sıfırlanma göstermez. Ark kararlı olup, asla sönmez. “Kararlı ve sürekli bir ark oluşumuna sebep olduğu için de doğru akımla elde edilen kaynak dikişinin kalitesi yüksek olur” [14].

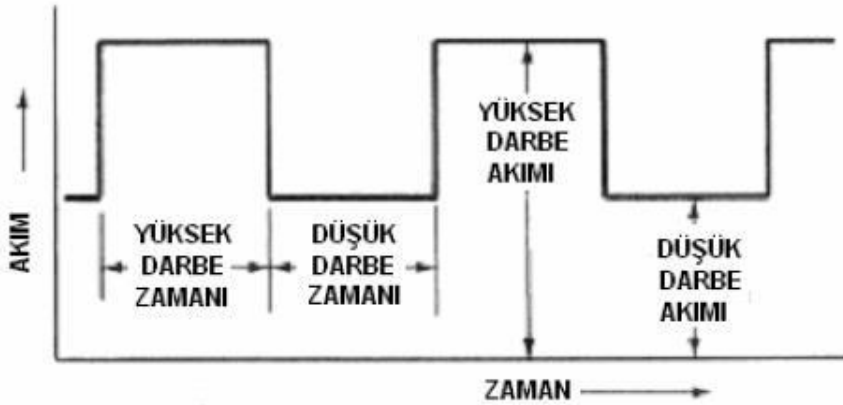
Doğru akımın üstün tarafları;

- İnce sac malzemelerin kaynağında iyi sonuçlar vermesi,
- Sürekli kısa ark boyuyla çalışmanın kolay olması,
- Bütün elektrot türleri kaynak imkânı vermesi,
- Arkın tutuşturulmasının daha kolay olması,
- Alternatif akıma kıyasla daha az sıçrama meydana getirmesi,
- Dik ve tavan kaynağı uygulamalarının kolay olması,
- Düşük akım şiddetlerinde ve ince örtülü elektrot kullanımında daha iyi sonuçlar vermesidir.

Doğru akımın kullanıldığı uygulamalarda iki farklı dalga formu karşımıza çıkar. Birisi akım değerinin kaynak işlemi boyunca değişmediği doğru akımla oluşan ve Şekil 4.1.'deki gibi ifade edilen dalga formudur. Diğeri ise Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi akımın önceden belirlenmiş bir üst akım değeri ile alt akım değeri arasında, belirli bir frekansta değişerek oluşturduğu darbeli akım dalga formudur [22].



Şekil 4.1. Doğru akımın zamana bağlı değişim grafiği



Şekil 4.2. Darbeli akımın zamana bağlı değişim grafiği

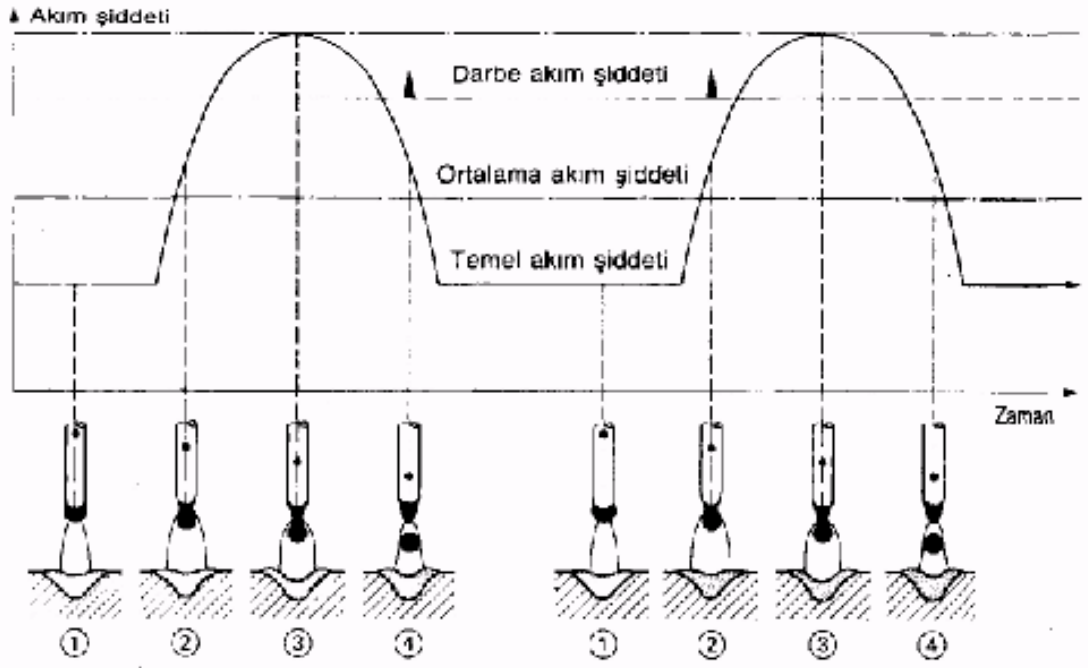
Son yıllarda geliştirilen darbeli akım yöntemi, doğru akım şiddetinin, ayarlanan bir frekansta ve önceden belirlenmiş bir alt ve üst akım değeri arasında değişerek parçaya aktarıldığı bir akım türüdür. Yöntemin frekans ayarlama özelliği sayesinde, istenen boyutta ve miktarda metal damlacığının iş parçasına geçişi sağlanabilmektedir. Bu yöntemle uygulanan yüksek akım şiddetinde parçaya fazla ısı girdisi olup ergime ve nüfuziyet oluşumu gerçekleşirken, düşük akım şiddetinde ısı girdisi azalır kaynak bölgesi yavaş

soğumaya ve kısmen katılaşmaya başlar. Böylece parçada daha dar bir ITAB oluşur [23] ve kaynak metali, tane irileşmesi için yeterli süre bulamayıp ince taneli ve yüksek mukavemetli olur [24, 25]. Ayarlanan alt akım şiddeti, arkın sönmeyip kısa devre oluşturmayacağı bir değerde tutulup arkın yeniden tutuşturulması problemini önlemiş olur. Böylece iki akım arasında durgun bir ark ile kontrollü bir geçiş elde edilir. Isı girdisi kaynak yöntemi, kaynak akımı, ark gerilimi ve kaynak hızı gibi parametrelere bağlı olarak artan ya da azalan bir ifadedir [26]. Darbeli akım yönteminde ortalama akım şiddeti kadar parçaya bir ısı girdisi uygulanmış olur ve bu durum ince kesitli malzemelerin delinmeden ve azami derinlikte bir nüfuziyete sahip olarak, kalın kesitli malzemelerin ise ergime hatalarının önlenerek kaynak edilmesini mümkün kılar [27].

Anık ve Tülbentçi'ye göre darbeli akım sayesinde;

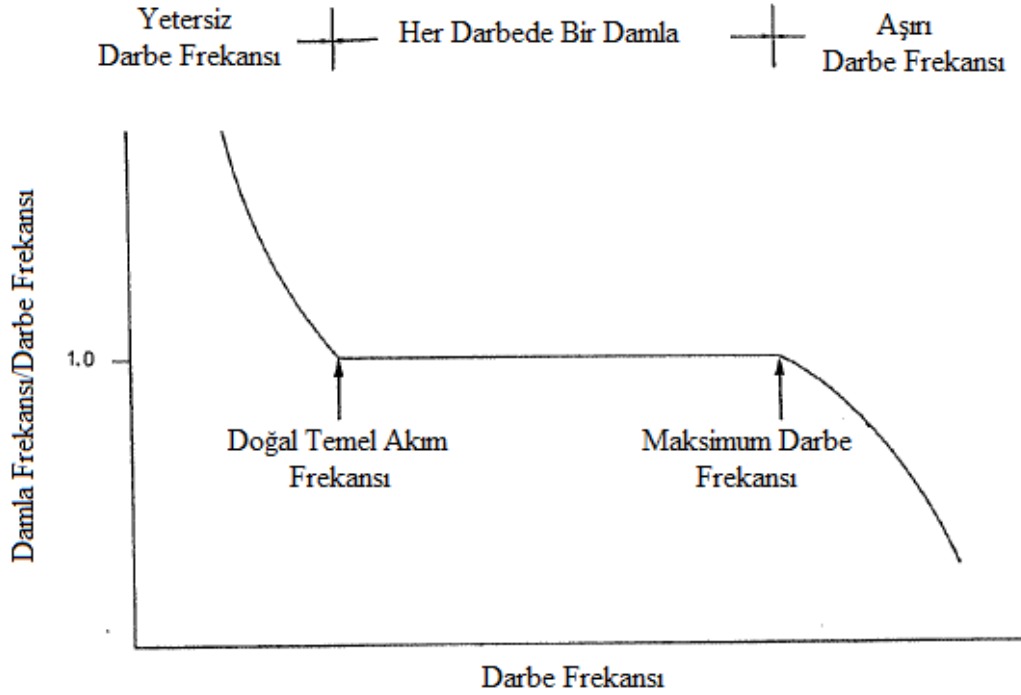
- Kaynak banyosuna hâkimiyet artar.
- Tavan kaynağında karşılaşılan yerçekiminden kaynaklı ergiyik metalin akması sorunu önlenmiş olur.
- Paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek akım darbelerinde yüzeydeki oksit tabakasının parçalanması ile düşük akım darbelerinde düzgün bir kaynak dikişi elde edilmesi mümkün hale gelir ve tane irileşmesi sorunu da önlenmiş olur.
- Ergime derecesi düşük olan metallerin, elle tavan kaynaklarının yapılması mümkün hale gelir.
- Isıya dayanıklı çeliklere ait kaynak dikişlerinin mekanik özellikleri iyileşir.
- Titanyum alaşımlarının kaynağında gözenek oluşumu azalır.
- İnce kesitli parçaların kaynak dikişlerinin sonlarında oluşan ısı yoğunlaşması kaynaklı hatalar (krater hatası vs.) önlenmiş olur [28].

Darbeli akımda damla transferi, üst akımın, elektrot ucunda alt darbe akımı tarafından oluşturulmuş damlaya, Pinch-Effect denilen güçlü bir büzülme kuvveti uygulaması ve oluşan damlanın kısa devre oluşturmadan, kararlı bir arkla kaynak banyosuna taşınmasıyla gerçekleşir. Bu durum Şekil 4.3.'te şematik olarak gösterilmiştir [29].



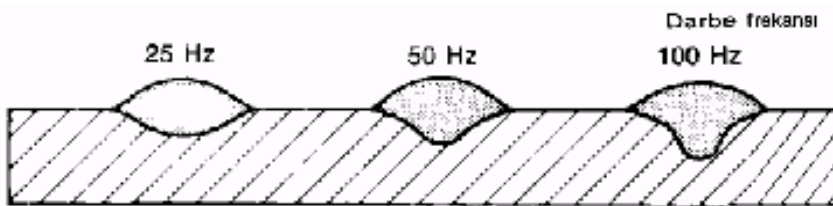
Şekil 4.3. Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi

Şekil 4.3.'teki gibi bir damla taşınımı ancak alt darbe akımı belirli bir seviyedeyken mümkündür. Bu seviye elektrot bileşimine, çapına ve eğer kullanılıyorsa koruyucu gazla bağlıdır. Aynı zamanda her bir darbeye bir damla oluşumu için damla transfer frekansının darbe frekansına eşit olması gerekir. Muzafferoğlu yüksek lisans tezinde, Kim ile Eagar ise yaptıkları bir çalışmada damla transfer frekansının darbe frekansına oranının 1'den büyük veya küçük olması durumunda damla oluşmadığını, sadece alt ve üst akım arasında uygun darbe frekansında damla oluşumu gerçekleşebileceğini vurgulamışlardır [30, 31]. Muzafferoğlu'nun darbe frekansı ile damla oluşumu arasındaki ilişkiyi açıkladığı grafik Şekil 4.4.'te paylaşılmıştır [30].



Şekil 4.4. Darbe frekansı ile damla oluşumu ilişkisi

Darbeleri akımda darbe frekansı önemli bir parametredir. Çünkü alt ve üst darbe akımı arasındaki çevrimin saniyede ne kadar sıklıkla uygulanacağını belirleyen faktördür. Darbeleri akımda darbe frekansı artışıyla ark daralır. Oluşan damla sayısı, etkin akım şiddeti ve ısı girdisi artar. Bu durum elde edilen kaynak dikişi formunu da etkilemiş olup, nüfuziyetin artmasına sebep olur. Frekansın azalmasıyla ark ve kaynak dikişi genişler. Etkin akım şiddeti, ısı girdisi ve nüfuziyet azalır [32]. Fakat darbe frekansı azaltılırken, damlaların gereken şekilde ivmelenip elektrot ucundan ayrılması için gerekli zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde düşük darbe frekansında üst akımın parçaya uygulayacağı yüksek ısı girdisinin süresi uzar ve parça yüksek ısı girdisi etkisiyle geniş bir dikişe, iri taneli bir yapıya ve düşük mekanik özelliklere sahip olur. Darbe frekansı değişimiyle kaynak dikiş formunda meydana gelen farklılıklar Şekil 4.5.'teki gibidir [30].



Şekil 4.5. Darbe frekansının dikiş formuna etkisinin şematik gösterimi

Mert, darbeli akımı farklı bir açıdan incelemiş ve MIG-MAG kaynağındaki duman oluşumuna etkisini gözlemlemiştir. Öncelikle MIG-MAG kaynağında, eş ergime hızında, akım ve gerilimin azalmasıyla nüfuziyetin ve duman oluşumunun azaldığını vurgulamıştır. Sonrasında ise geleneksel MIG-MAG kaynağına kıyasla, düşük ısı girdisine rağmen azami nüfuziyet elde edilmesini sağlayan darbeli MIG-MAG kaynağında açığa çıkan duman miktarının gözle görünür şekilde daha az olduğunu vurgulamıştır [33]. Böylelikle istenen kaynak kalitesinin, daha yüksek nüfuziyetle ve daha az duman oluşturarak darbeli akım kullanımıyla mümkün olduğunu belirtmiştir. Aynı minvalde Bosworth ve Deam, plaka üstü dikiş kaynaklarını darbeli akım kullanarak gerçekleştirmişler ve sonuç olarak darbe frekansı ve metal iletim formunun duman oluşumunda etkili olduğu sonucuna varmışlardır. MIG-MAG kaynağında darbeli akım kullanıldığında, darbe frekansının artmasıyla ısı girdisinin azalacağını ve duman oluşumunun azalacağını, kaynak metaline geçen damlacık çapının artmasıyla da duman oluşum hızının artacağını belirtmişlerdir [34].

Alt ve üst akım değerleri ile darbe frekansı gibi birincil darbeli akım parametreleri arkın kararlılığını, kaynaklı birleştirmenin kalitesini (mekanik özelliklerini), kaynak dikişinin görünümünü ve dikiş geometrisini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu parametrelerin uygun bir şekilde seçilmesi sonucunda birbiri üzerine binen puntalar şeklinde bir kaynak dikişi oluşurken, kaynak bölgesine asgari seviyede ısı girdisi olup azami seviyede nüfuziyet elde edilir. Kaynaklı birleştirme, akım kaynaklı hatalardan arınmış bir hale gelir. Fakat parametrelerin uyumsuzluğu süresiz bir arka, düzensiz bir dikiş görünümüne ve kaynaklı birleştirmede ergime boşluğu, yanma oluşu, yetersiz nüfuziyet gibi kaynak hatalarına sebep olur. Bu nedenle darbeli akımla başarılı bir kaynaklı birleştirme yapabilmek için darbeli akım parametrelerinin seçimi önemlidir [32, 35].

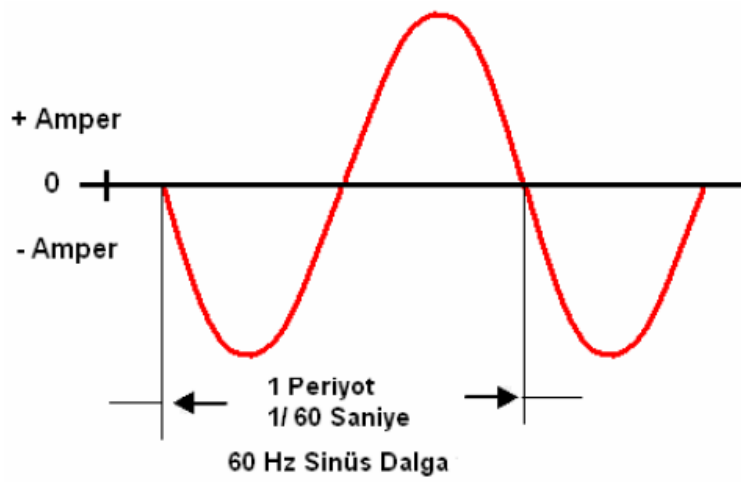
Alternatif akım ile darbeli akım aynı şeyi ifade etmez; çünkü darbeli akımda seçilen akım şiddeti önceden belirlenen iki değer arasında, ayarlanan bir frekansta değişmektedir. Alternatif akımda ise bu durum rastgeledir ve kontrol edilemezdir. Durgutlu, alüminyumun TIG kaynağında darbeli akımın alternatif akıma kıyasla daha düşük ısı girdisine, kaynak metalinde tane incelmeye, sertlik ve çentik darbe dayanımında ise artışa sebep olduğunu belirtmiştir. Ayrıca alternatif akımla elde edilen kaynak dikişinin düzensiz, darbeli akımla elde edilen dikişin ise birbiri üzerine yığılmış puntalar şeklinde olduğunu vurgulamıştır [36]. Durgutlu başka bir çalışmada yine TIG kaynağıyla birleştirilen alüminyum levhaları kullanmış ve bu kez de darbeli akımla birleştirilen numunelerin daha yüksek

çekme dayanımına sahip olduklarını ve bunun sebebinin de ince taneli mikroyapıları olduğunu vurgulamıştır [37]. Durgutlu, Kahraman ve Gülenç birlikte gerçekleştirdikleri bir çalışmada ise, TIG kaynağıyla bir Al-Si alaşımını birleştirilmişlerdir ve yine alternatif akım ile darbeli akımı kıyaslamışlardır. Çalışma sonunda darbeli akımın düşük ısı girdisi, tane incelmesi, daha yüksek sertlik ve çekme dayanımı gibi olumlu etkilerini bir kez daha gözler önüne sermişler ve ek olarak da numunelerine 180°'lik bir eğme testi yapıp, numunelerinde herhangi bir yırtılma veya çatlak oluşumuna rastlamadıklarını belirtmişlerdir [38].

Cary ise yaptığı bir çalışmada ince kesitli bir levha üzerinde, darbeli akım altında TIG kaynağıyla bir kaynak dikişi oluşturup dikişin estetik görünümüne vurgu yapmıştır [22].

4.2. Alternatif Akım

Alternatif akım, doğru akım gibi sabit bir değerde ve sabit bir kutupta olmayan, zamana ve yöne bağlı olarak polaritesini ve akım değerini değiştiren bir akım türüdür. Alternatif akımla kaynaklı birleştirmede ark önce doğru akımla tutuşturulur ve hemen sonra alternatif akıma geçiş yapılır. Alternatif akımda ark, her sıfır noktasında söner. Bu nedenle aynen yüksek frekans darbelerindeki gibi, her yarım dalgada arkın yeniden tutuşturulması gerekir ki bu da yüksek frekans darbeleriyle mümkün olur. Alternatif akımın her bir periyotta negatif ve pozitif kutuplar arasındaki geçişi, akımın bir periyotta iki defa sıfırlanmasına ve kaynaklı birleştirme esnasında arkın kararsızlığına sebep olur. Bu yüzden kaynağın kalitesi düşer ve uygulama esnasında elektrotun iş parçasına yapışması sorunuyla karşılaşılabilir. Alternatif akımın sahip olduğu sinüzoidal dalga formu, Şekil 4.6.'da ifade edilmiştir [22].



Şekil 4.6. Alternatif akımın zamana bağlı değişim grafiği

Alternatif akımın, bir periyotta iki defa akımın sıfırlanıp arkın sönmesi ve yeniden tutuşturulmasının gerekmesi gibi dezavantajlarına rağmen, mevcut üstünlükleri ise ark üfleme riskinin ortadan kaldırılması ve büyük çaplı elektrotlarla kalın kesitli parçaların kaynağına imkân vermesidir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada 90x145x2 mm boyutunda, 8 adet çelik levha kullanılmış ve bu levhalara Resim 5.1.'de gösterilen Bruker Q4 Tasman cihazında spektral analiz uygulanmıştır. Resim 5.2.'deki analiz sonucunda ise levhaların AISI 1005 çeliği olduğu tespit edilmiştir.



Resim 5.1. Spektral analiz cihazı

QMatrix Analysis Results										
27.12.2018 13:33:45										
Sample Identification										
SampleNo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.051	<0.010	0.353	<0.0050	<0.0020	0.020	<0.010	0.020	0.039	<0.0050
2.	0.052	<0.010	0.357	<0.0050	<0.0020	0.020	<0.010	0.022	0.040	<0.0050
Ø	0.051	<0.010	0.355	<0.0050	<0.0020	0.020	<0.010	0.021	0.040	<0.0050
σ	0.0010		0.0028					0.0014	0.0010	
ν	1.961		0.789					6.667	2.500	
	As	B	Bi	Ce	Co	Mg	N	Nb	Pb	Sb
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	<0.0020	<0.0010	<0.010	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.020	<0.0010	<0.010	<0.010
2.	<0.0020	<0.0010	<0.010	0.0072	<0.0050	<0.0050	<0.020	<0.0010	<0.010	<0.010
Ø	<0.0020	<0.0010	<0.010	0.0061	<0.0050	<0.0050	<0.020	<0.0010	<0.010	<0.010
σ				0.0016						
ν				26.23						
	Sn	Ta	La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	<0.0050	<0.030	<0.0020	<0.0010	<0.0050	<0.010	0.0027	<0.0020	<0.0050	99.35
2.	<0.0050	<0.030	<0.0020	<0.0010	<0.0050	<0.010	0.0021	<0.0020	<0.0050	99.34
Ø	<0.0050	<0.030	<0.0020	<0.0010	<0.0050	<0.010	0.0024	<0.0020	<0.0050	99.34
σ							0.00042			0.0100
ν							17.50			0.010

Resim 5.2. AISI 1005 levhaların spektral analiz sonucu

Spektral analiz sonrası levhalar, hem doğru akım altında hem de farklı frekanslara ve aynı alt ve üst akım değerlerine sahip darbeli akım altında, aralarında hiç boşluk kalmayacak şekilde alın altına birleştirilmişlerdir ve oda sıcaklığında kendiliğinden soğumaya bırakılmışlardır. Levhaların kaynaklı birleştirme işlemi, Resim 5.3.'te gösterilen CEBORA AC/DC 2030-M invertör TIG kaynak makinası ile Resim 5.4.'te gösterilen 2,5 mm çapa ve 350 mm uzunluğa sahip Magmaweld ESR 13 kodlu alaşımsız çelikler için rutil örtülü elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.3. İnvertör tip TIG kaynak makinası

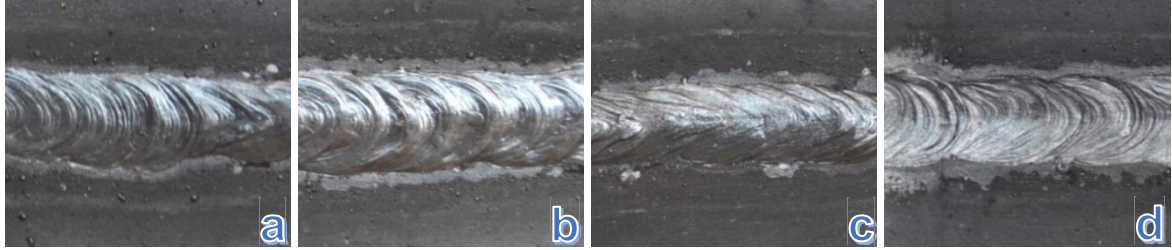


Resim 5.4. Rutil örtülü elektrot

Dikişler aynı kaynakçı tarafından, ortalama bir hızda ve elle kaynak yöntemiyle çekilmiştir. Birleştirmeler esnasında ilave metal veya koruyucu gaz atmosferi ise kullanılmamıştır. Birleştirmeler esnasında alt ve üst darbe akımı değerleri kullanılan elektrodun sahip olduğu akım aralığı değerlerine göre seçilmiştir. Doğru akım kullanılarak birleştirme yapılacak levhaya ise, ısı girdisinin etkisi açısından daha sağlıklı bir kıyaslama yapılabilmesi adına, darbeli akımın ortalama akım değerinden daha fazla bir akım uygulanmıştır. Bütün kaynaklı birleştirme uygulamalarında düz kutuplama (negatif kutup elektrot, pozitif kutup iş parçası) tercih edilmiştir. Kaynak uygulamalarında bütün parametreler Çizelge 5.1.'de, elde edilen kaynak dikişi görüntüleri ise Resim 5.5.'te verilmiştir.

Çizelge 5.1. Levhaların birleştirilmesinde tercih edilen farklı kaynak parametreleri

PARAMETRELER	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
Elektrot Ölçüleri	Ø 2,5 x 350 mm			
Kutuplama	Düz: Elektrot (-) İş Parçası (+)			
Akım Türü	DC	Darbeli	Darbeli	Darbeli
Akım	75 A	-	-	-
Alt Akım	-	50 A	50 A	50 A
Üst Akım	-	90 A	90 A	90 A
Darbe Frekansı	-	0,5 Hz	1 Hz	1,5 Hz



Resim 5.5. Kaynak dikişleri; a) Numune 1, b) Numune 2, c) Numune 3, d) Numune 4

Kaynaklı levhaların başlangıç ve bitiş kısımlarından, giyotin makas yardımıyla, 20 mm kesilerek atılmış ve her bir levhanın kalan kısmından iki adet numune alınmıştır. Numuneler, Resim 5.6.'daki ATM OPAL 460 bakalite alma cihazında 200°C sıcaklık ve 200 bar basınç altında 6 dakika ısıtılıp, 5 dakika soğutulurak bakalite alınmışlardır.



Resim 5.6. Bakalite alma cihazı

Bakalite alınan numunelere Resim 5.7.'de gösterilen ATM SAPHIR 520 otomatik zımparalama ve parlatma cihazında 300 devir/dakika disk hızında, 70 N baskı kuvveti altında sırasıyla 120, 240, 400 ve 800 mesh, aynı disk hızında, 30 N baskı kuvveti altında ise 1200 mesh zımparalama işlemleri uygulanmıştır. Sonrasında ise 200 devir/dakika disk hızında, 20 N baskı kuvveti altında, beşer dakika olmak üzere sırasıyla 6, 3 ve 1 mikronluk parlatma işlemleri uygulanmıştır.



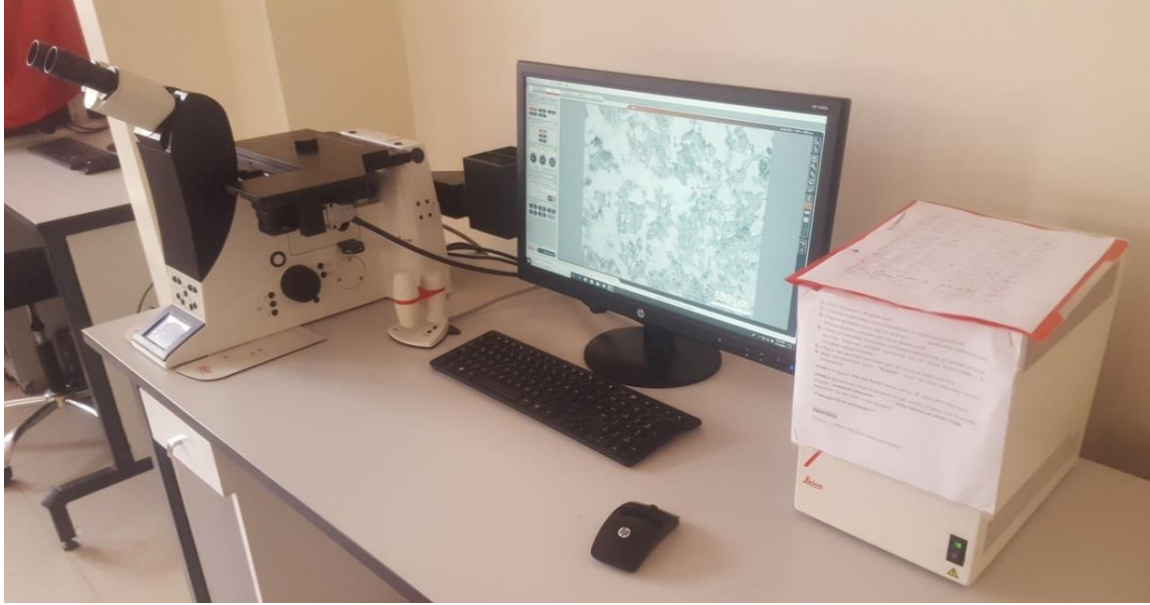
Resim 5.7. Otomatik zımparalama ve parlatma cihazı

Zımparalama ve parlatma işlemleri sonrası Resim 5.8.'de gösterilen numuneler, %3 Nital çözeltisiyle dağlanmışlar ve mikroyapı incelemesine hazır hale getirilmişlerdir.



Resim 5.8. Metalografik numune hazırlama işlemleri sonrası numuneler

Metalografik numune hazırlama işlemleri ile yüzeyleri mikroyapı incelemesine hazırlanan numunelerin, Resim 5.9.'da gösterilen Leica DMI 5000M ters optik mikroskobunda mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kaynaklı birleştirme sonrası, ısı tesiri altında kalan ve değişime uğrayan her bir bölgesinin ayrı ayrı görüntüleri alınmış ve bu görüntüler kaynaklı bölgenin tam görüntüsünü elde edecek şekilde birleştirilmiştir.



Resim 5.9. Ters optik mikroskop ve görüntü alma ekipmanları

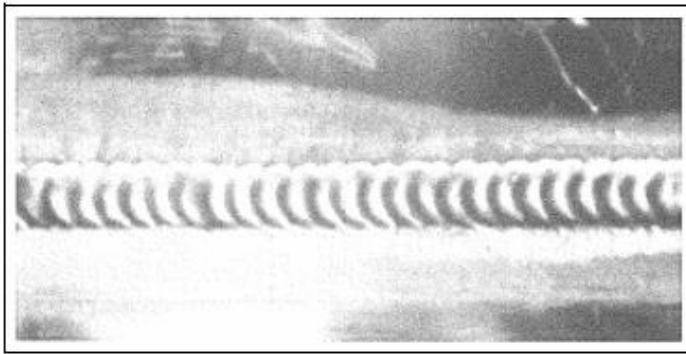
Mikroyapı incelemeleri tamamlanan numunelerin, kaynaklı bölgelerinin sertlik değerleri Resim 5.10.'da gösterilen Emcotest Duravision 2000 sertlik ölçüm cihazında, Vickers cinsinden, 5 kg yük altında ölçülmüştür. Ölçümler ana malzemedeki kaynak bölgesinin merkezine doğru 1,5 mm aralıklarla, birkaç farklı noktadan yapılmış ve her bir bölgenin ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır.



Resim 5.10. Sertlik ölçüm cihazı

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Uygulanan deneyler sonucunda akım türünden bağımsız olarak, invertör tip TIG kaynak makinasıyla örtülü elektrot kullanılarak da kaynaklı birleştirme yapılabileceği görülmüştür. Doğru akımla yapılan kaynaklı birleştirmede, işlem esnasında yoğun bir duman oluşumu gözlenmiştir ve iş parçası yüksek ısı girdisiyle çarpılmış, kaynağın başlangıç ve bitiş noktalarında da delinmeler meydana gelmiştir. Üç farklı frekansta uygulanan darbeli akımla kaynaklı birleştirmede ise kaynak havuzunun kontrolü daha rahat sağlanmış, yoğun bir sıçrama veya duman oluşumu gözlenmemiş, ark sürekliliğinde herhangi bir olumsuzluk göze çarpmamış ve her bir dikişte birbiri üzerine binen sıralı puntalar şeklinde nizami bir dikiş görüntüsü elde edilmiştir. Cary, yaptığı benzer bir çalışmada ince kesitli bir levha üzerinde, darbeli akımla TIG kaynağı tarafından oluşturduğu kaynak dikişinin nizami ve estetik görüntüsünü özellikle vurgulamıştır [22]. Resim 6.1.'deki Cary'nin kitabında paylaştığı dikiş görüntüsü ile Resim 6.2.'de bu çalışmada kullanılan levhalardan birinin üzerinde oluşturulan dikiş görüntüsü kıyaslanmış ve darbeli akımla oluşturulan kaynak dikişi formunun paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Resim 6.3.'teki kaynak dikişi görseli ise doğru akımla oluşturulmuş olup, darbeli akımın kaynak dikişi formuna olan farklı yöndeki etkisini vurgulamak amaçlı paylaşılmıştır [22].



Resim 6.1. İnce kesitli levhada darbeli akımla TIG kaynağının oluşturduğu dikiş

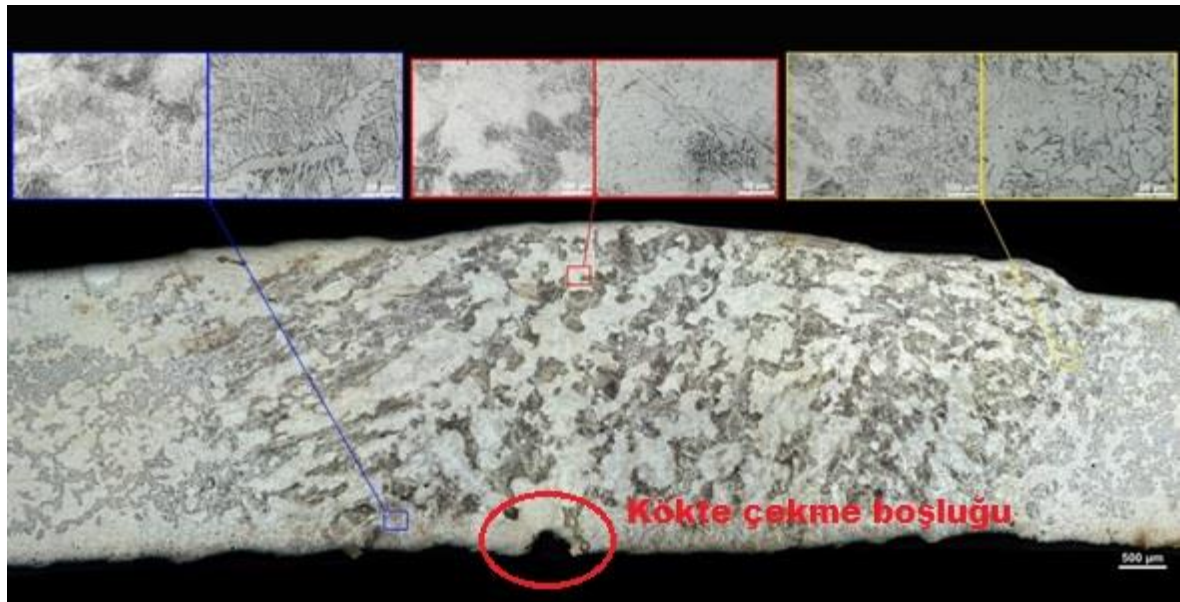


Resim 6.2. İnce kesitli levhada darbeli akımla elektrik ark kaynağının oluşturduğu dikiş



Resim 6.3. İnce kesitli levhada doğru akımla elektrik ark kaynağının oluşturduğu dikiş

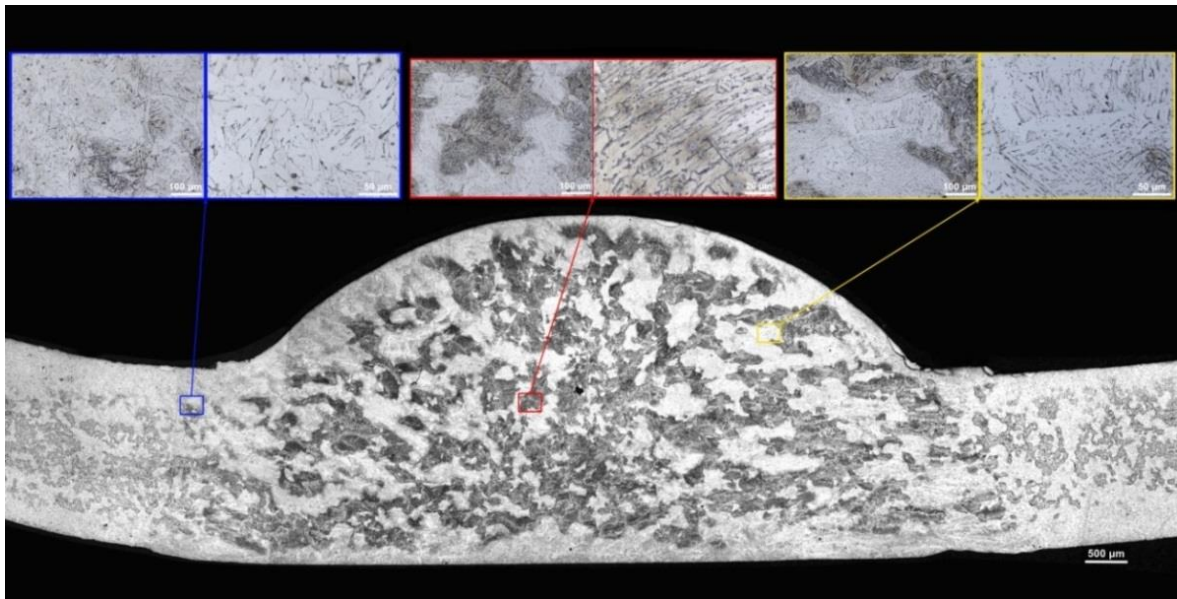
Çalışmada kullanılan dört farklı numunenin hem ITAB mikroyapı görüntüleri hem de kaynaklı bölgelerinin birleştirilmiş mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Sonuç olarak doğru akımla kaynak edilen Numune 1'in mikroyapısının yüksek ısı girdisi nedeniyle nispeten iri taneli bir hal aldığı gözlemlenmiştir ki bu sonuç literatürde yer alan doğru akımın, darbeli akıma kıyasla, daha iri taneli bir yapıya sebep olduğu görüşüyle paralellik göstermektedir [39, 40]. Ayrıca parçaya uygulanan yüksek ısı girdisi nedeniyle, soğuma esnasında parçada çekme meydana gelmiş ve kökte bir çekme boşluğu hatası oluşmuştur. Bu da parçanın yüksek ısı girdisi nedeniyle çarpılmaya maruz kaldığını ortaya koymaktadır ki parçanın çarpılması durumu görsel incelemede de dikkati çekmiştir. Ayrıca görsel incelemede Numune 1'in darbeli akımla birleştirilen numunelere kıyasla daha sık bir nüfuziyete sahip olduğu da gözlenmiştir. Resim 6.4.'te Numune 1'e ait mikroyapı görüntüleri paylaşılmıştır.



Resim 6.4. Doğru akımla birleştirilen Numune 1'in mikroyapı görüntüleri

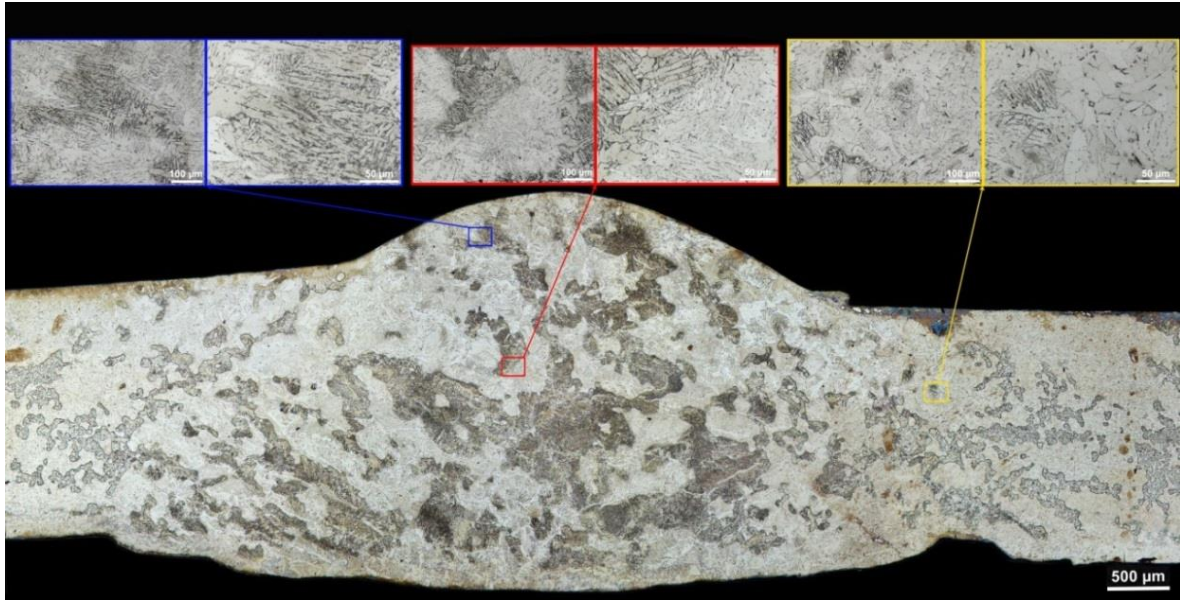
0,5 Hz frekanslı darbeli akım altında kaynak edilen Numune 2'nin mikroyapısı, doğru akım altında kaynak edilen Numune 1'inkine oranla daha iri taneli bir hal almıştır. Bunun nedeni, darbeli akımın prensibi gereği, üst darbe akımında yüksek ısı girdisinin etkisiyle ergimenin ve tane büyümesinin, alt darbe akımında da düşük ısı girdisinin etkisiyle yavaş soğumanın ve hatta kısmî katılaşmanın gerçekleşmesidir ve darbe frekansı değeri, darbeli akımın üst akım değerinde kalma süresini belirleyen unsurlardan biridir. Yani düşük darbe frekansında alt ve üst akım arasındaki çevrim sayısı azaldığından, parça üst akıma daha uzun süre maruz kalmıştır. Böylece Numune 1'e kıyasla daha az damla oluşumuna ve daha düşük ısı girdisine maruz kalmasına rağmen, üst darbe akımına daha uzun süre maruz kalan kaynak metali taneleri irileşmek için fazlasıyla vakit bulmuşlardır. Sonuç olarak da doğru akımla elde edilenden daha iri taneli bir mikroyapıya sahip olunmuştur. Ayrıca düşük darbe frekansına bağlı olarak, üst darbe akımına maruz kalma süresinin uzaması ile parçaya sağlanan yüksek ısı girdisi, Numune 2'nin Numune 1'e göre daha fazla çarpılmaya uğramasına sebep olmuştur.

Düşük frekanslı da olsa darbeli akım, doğru akıma kıyasla, nüfuziyet oluşumunda daha etkin bir mekanizmadır. Bunun sonucu olarak da Numune 1'e kıyasla Numune 2'nin sahip olduğu nüfuziyet derinliğinin görsel olarak daha fazla olduğu gözlenmiştir. Resim 6.5.'te Numune 2'ye ait mikroyapı görüntüleri paylaşılmıştır.



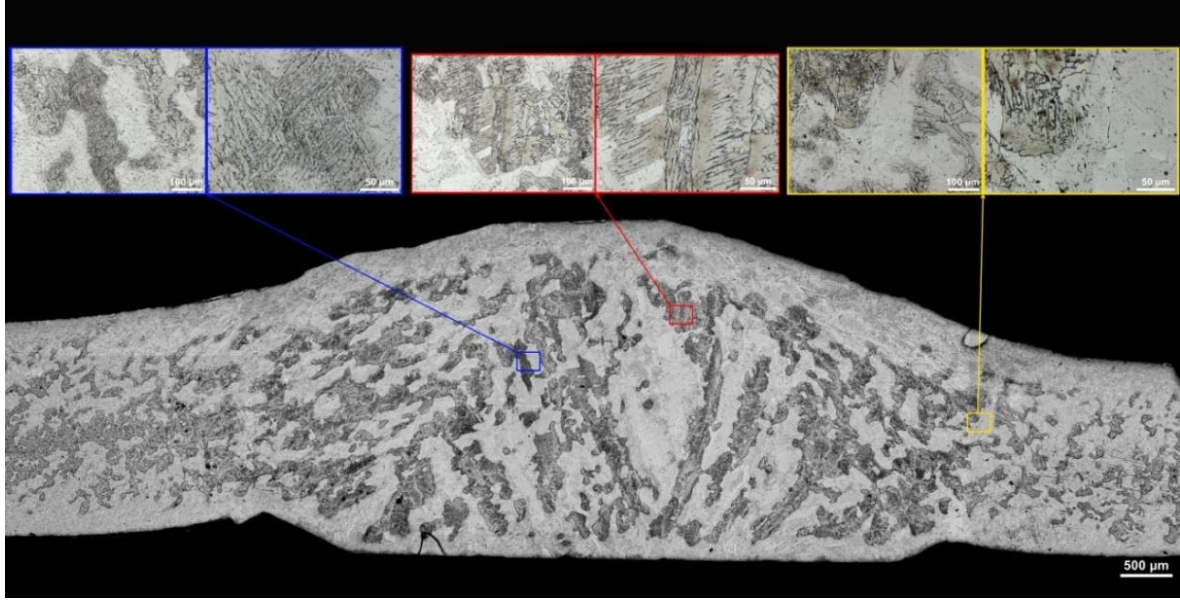
Resim 6.5. 0,5 Hz darbe frekansıyla birleştirilen Numune 2'nin mikroyapı görüntüleri

1 Hz frekanslı darbeli akımla kaynak edilen Numune 3'te, Numune 1 ve Numune 2'ye kıyasla farklı bir gelişme yaşanmış ve daha ince taneli bir mikroyapı oluşumu gerçekleşmiştir. Çünkü Numune 2'ye göre darbe frekansının artmasıyla hem üst darbe akımına maruz kalma süresi azalmış ve taneler irileşmeye vakit bulamamış hem de alt ve üst darbe akımları arasında gerçekleşen saniyedeki çevrim sayısı ile damla oluşumu artmış ve soğuma oranına bağlı olarak yapıda daha ince taneler oluşmuştur. Aynı zamanda görsel inceleme esnasında, darbeli akımın etkisiyle Numune 1'e kıyasla daha derin bir nüfuziyet olduğu ve parçanın ilk iki numuneye kıyasla çarpılmaya çok daha az maruz kaldığı gözlenmiştir. Resim 6.6.'da Numune 3'e ait mikroyapı görüntüleri paylaşılmıştır.



Resim 6.6. 1 Hz darbe frekansıyla birleştirilen Numune 3'ün mikroyapı görüntüleri

1,5 Hz frekanslı darbeli akımla kaynak edilen Numune 4'te de Numune 3'tekine benzer bir mekanizma işlemiş ve Numune 1, Numune 2 ve Numune 3'ten daha ince taneli bir yapı oluşmuştur. Keza görsel incelemede darbeli akımın etkisiyle derin bir nüfuziyet elde edildiği ve parçanın diğer numunelere kıyasla çok daha az çarpılma yaşadığı gözlenmiştir. Darbeli akımla yapılan bu üç farklı kaynaklı birleştirmede ortalama aynı kaynak hızı ile aynı alt ve üst akım değerleri uygulanmasına rağmen, uygulanan farklı darbe frekanslarının malzeme mikroyapısında farklı etkilere sebep olması, darbeli akımın çalışma prensibi gereği her bir darbede bir damla oluşturması ile açıklanabilir [28]. Darbe frekansının artmasıyla saniyede oluşan ve kaynak metaline geçen damlacık sayısı artmış ve kaynak metalinin alt ve üst akım arasındaki çevrimden kaynaklı soğuma hızına bağlı olarak tane yapısı incelmıştır. Resim 6.7.'de Numune 4'e ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Resim 6.7. 1,5 Hz darbe frekansı ile birleştirilen Numune 4'ün mikroyapı görüntüleri

Bütün numunelerin mikroyapı görüntüleri birlikte incelenip değerlendirildiğinde, darbeli akımın malzemeye doğru akımdan daha düşük bir ısı girdisi sağlamasına rağmen, daha derin bir nüfuziyet oluşumuna ve özellikle yüksek frekanslarda malzemenin tane yapısının incelmesine sebep olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç literatürde yer alan ve farklı malzemeler üzerine yapılan diğer benzer çalışmalarla paralellik göstermektedir. Bu kapsamda Durgutlu benzer sonuçları alüminyum alaşımları üzerine yürüttüğü farklı çalışmalarda [36, 37, 38], Balasubramanian ile arkadaşları titanyum alaşımları üzerine yürüttüğü farklı çalışmalarda [41, 42], Kumar ile arkadaşları AA-6061 alaşımı üzerine yürüttüğü çalışmalarında [43], Zhang ile arkadaşları ise magnezyum alaşımı üzerine gerçekleştirdikleri bir çalışmada [44] benzer sonuçları bulmuşlardır.

Doğru akıma kıyasla yüksek frekanslı darbeli akımın, düşük darbe frekansına kıyasla da yüksek darbe frekanslarının kaynak metali tane yapısına inceltici yönde etkisinin, sertliğe de aynı oranda yansıtacağı düşünüldükçe numunelerin dönüşüme uğramamış bölgesinden kaynak bölgesi merkezine doğru 1,5 mm aralıklarla ve birkaç farklı noktadan olmak üzere sertlik değerleri ölçülmüştür. Dönüşüme uğramayan ana malzemelerin, kaynaklı birleştirme sonrası ısı girdisinin etkisiyle oluşan her bir bölgenin ve kaynak metalinin ayrı ayrı ortalama sertlik değeri hesaplanmıştır. Ölçümler sonucunda doğru akıma kıyasla, yüksek frekanslara sahip darbeli akımın malzemenin sertliğini daha çok artırdığı tespit

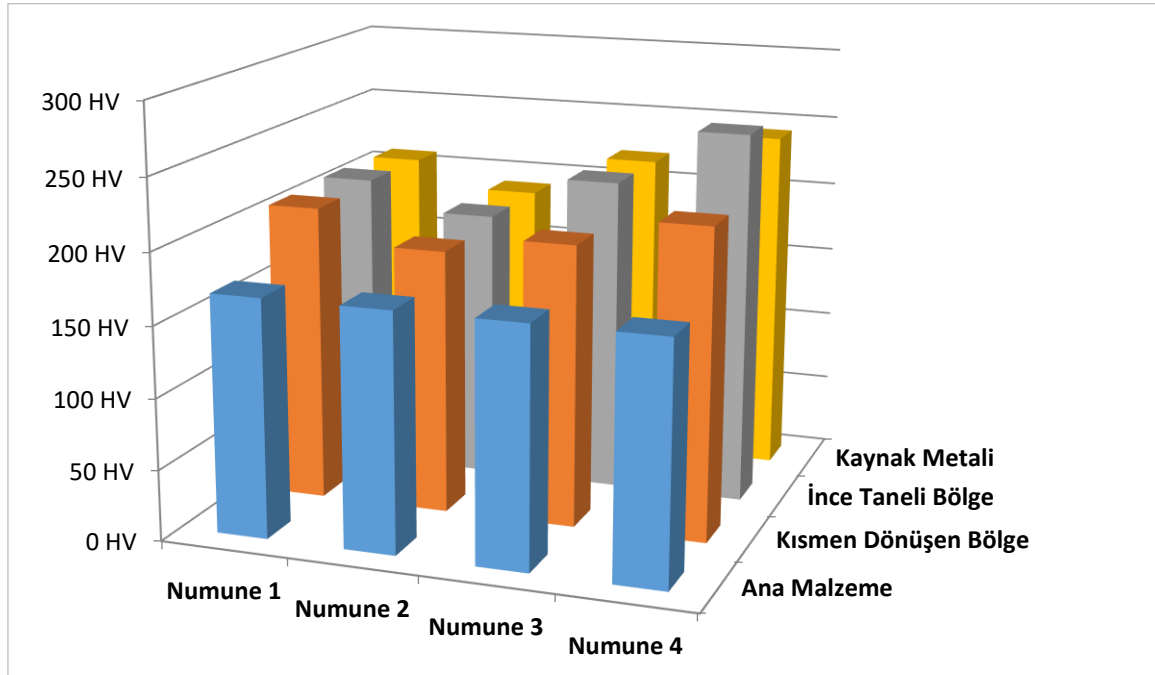
edilmiştir. Darbeli akımla birleştirilen levhalar birbiri içinde kıyaslandığında ise, darbe frekansının artışıyla malzeme sertliğinin daha büyük oranda arttığı gözlemlenmiştir.

Çalışmadaki numunelerin ham sertliği 168 HV olup; kaynaklı birleştirme sonrası doğru akımla kaynak edilen Numune 1'in kısmen dönüşmüş bölgesi 209 HV, ince taneli bölgesi 211 HV ve kaynak metali 209 HV sertliğe yükselmiştir. Numune 2'de kaynaklı birleştirme sonrası sertlik kısmen dönüşmüş bölge için 186 HV, ince taneli bölge için 191 HV ve kaynak metali için 190 HV olarak ortaya çıkmıştır. Sertlik değerlerinin Numune 1'e kıyasla düşmesinin sebebi, Numune 2'nin düşük darbe frekansıyla birleştirilmesinden ötürü darbeli akımın üst akım değerine daha uzun süre maruz kalması ve bu yüzden de daha iri taneli bir mikroyapıya sahip olmasıdır. Numune 3'te, Numune 2'nin aksine, darbe frekansı artmış ve sahip olunan ince taneli mikroyapı sebebiyle sertlik kısmen dönüşmüş bölgede 198 HV, ince taneli bölgede 222 HV ve kaynak metalinde 220 HV seviyelerine yükselmiştir. Numune 4'te ise uygulanan yüksek darbe frekansından ötürü, ilk üç numuneden daha ince taneli bir mikroyapı oluşumu gerçekleşmiş ve sertlik de aynı oranda artmıştır. Buna bağlı olarak Numune 4'ün kısmen dönüşmüş bölgesinde 218 HV, ince taneli bölgesinde 262 HV, kaynak metalinde 243 HV sertlik ölçülmüştür. Ölçümler sonucu ana malzeme ile kaynak metali arasında Numune 1'de 41 HV, Numune 2'de 22 HV, Numune 3'te 52 HV, Numune 4'te ise 75 HV değerinde bir sertlik artışı yaşanmıştır. Diğer bir ifadeyle ana malzeme ile kaynak metali arasında Numune 1 %24,4, Numune 2 %13, Numune 3 %31, Numune 4 ise %44,6 oranında bir sertlik artışı yaşamıştır. Literatürde de farklı malzemeler üzerine yürütülen benzer çalışmalarda darbeli akımın, doğru veya alternatif akıma kıyasla, sertliğe benzer bir etkide bulunduğu vurgulanmıştır [38, 41, 45].

Özetle hem doğru akıma kıyasla hem de düşük frekanslı darbeli akıma kıyasla yüksek frekanslı darbeli akım, sağladığı düşük ısı girdisi ve soğuma oranına bağlı olarak, kaynak metali tanelerinin irileşmeye zaman bulamamalarına neden olmuştur. Bu sayede tane yapısı inceldikçe, kaynak metali sertliği artmıştır. Numunelerin farklı bölgelerine ait ölçülen ortalama sertlik değerleri Çizelge 6.1.'de verilmiştir ve yaşanan artış Şekil 6.1.'de grafiksel olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 6.1. Numunelere ait elde edilen ortalama sertlik değerleri (HV5)

NUMUNELER	Ana Malzeme	Kısmen Dönüşen Bölge	İnce Taneli Bölge	Kaynak Metali
Numune 1	168 HV	209 HV	211 HV	209 HV
Numune 2		186 HV	191 HV	190 HV
Numune 3		198 HV	222 HV	220 HV
Numune 4		218 HV	262 HV	243 HV



Şekil 6.1. Numunelere ait sertlik değişimlerinin grafiksel ifadesi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının sonunda elde edilen sonuçlar şunlardır:

1. İnvertör tip TIG kaynak makinası ve donanımı ile örtülü elektrodun da kaynaklı birleştirme işlemlerinde başarıyla kullanılabileceği görülmüştür.
2. Kaynak işlemi esnasında edinilen deneyime göre, darbeli akımla kaynak banyosunun kontrolünün daha rahat sağlandığı tespit edilmiştir.
3. Görsel inceleme sonucu doğru akıma kıyasla, darbeli akımda daha az sıçrama kaybı ve daha az duman oluşumu gerçekleştiği gözlenmiştir.
4. Doğru akımla kaynak edilen malzemede yüksek ısı girdisi nedeniyle, soğuma esnasında kökte çekme boşluğu oluştuğu gözlemlenmiştir.
5. Kaynaklı birleştirme sonrası ana malzeme ile kaynak metali arasında Numune 1’de %24,4 ile 41 HV, Numune 2’de %13 ile 22 HV, Numune 3’te %31 ile 52 HV, Numune 4’te ise %44,6 ile 75 HV değerinde bir sertlik artışı yaşanmıştır.
6. Darbe frekansının artışıyla, soğuma hızına bağlı olarak, çok daha ince bir tane yapısına ve çok daha sert bir kaynak metaline sahip olunabileceği görülmüştür.

İlerleyen zamanlarda yapılacak çalışmalara öneriler ise şunlardır:

1. İnvertör tip TIG kaynak makinası ve donanımıyla, özellikle tungsten elektrot yokluğunda, örtülü elektrot da başarıyla kullanılabilir.
2. Özellikle ince kesitli malzemeler daha az çarpılma oranı ve daha düşük ısı girdisi ile tam nüfuziyetin elde edilebileceği bir kaynaklı birleştirme yapılmak istendiğinde darbeli akım tercih edilebilir.
3. Görsel açıdan kararlı, güzel ve nizamî kaynak dikişi elde edilmek istendiğinde darbeli akım tercih edilebilir.
4. Darbe frekansları arasında kıyaslama yapılacak olan diğer çalışmalarda, darbe frekansı değerleri daha düşük aralıklarla artırılarak sertlikte yaşanan değişim adım adım ve daha net bir şekilde izah edilebilir.
5. Benzer bir çalışmada AISI 1005 veya farklı demir ve demir dışı malzemeler için, elde edilecek sertlik ve mikroyapı sonuçlarına ek olarak mekanik test sonuçları ve farklı elektrot kullanımının maliyet açısından doğurduğu sonuçlar kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

1. Kahraman, N., Durgutlu, A. (2005). 316L Paslanmaz Çelik ile Bakır Levhaların Örtülü Elektrot ve TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. *Teknoloji Dergisi*, 8(1), 43-44.
2. Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B. (2005). Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrot ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(3), 183-184.
3. Kahraman, N., Gülenç, B. (2016). *Modern Kaynak Teknolojisi* (Genişletilen 3.Baskı). Ankara: Epamat Basın Yayın, 1-2.
4. Anık, S. (1983). Kaynak Teknolojileri El Kitabı. İstanbul: Ergör Matbaası, 13-14, 93.
5. Çimenoglu, H. (2002). Kaynak Metalurjisi. Ders Notları, İstanbul, 7, 15.
6. İnternet: Baylan, O. Ark Kaynağının İlk Yılları. *Metal Uzmanı*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.metaluzmani.com%2Fark-kaynaginin-ilk-yillari%2F&date=2019-04-21>, Son Erişim Tarihi: 2019-04-21.
7. Cuna, P.J. (2007). Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı. *Malzemeler ve Kullanımları Serisi*, 3, 9.
8. Headquarters, Department of the Army. (1985). *Welding: Design, Procedures and Inspection*. Washington. Chapter 3, 2.
9. Kurt, A. (2012). Kaynaklı Birleştirme Teknikleri. Ders Notları, Ankara, 7, 116-117.
10. İnternet: Sunay, Z. Kaynak Tekniği: Kaynağın Sınıflandırılması. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F171888-Kaynak-teknggg-kaynagin-siniflandirilmasi.html&date=2019-05-11>, Son Erişim Tarihi: 2019-05-11.
11. İnternet: Uzun, H. (2017). Gazaltı Kaynak Tekniği. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F42458216-Gazalti-kaynak-tekniği-mig-mag-tig.html&date=2019-05-11>, Son Erişim Tarihi: 2019-05-11.
12. Milli Eğitim Bakanlığı. (2006). TİG Kaynağı. Ankara: MEB.
13. Karadeniz, S. (2008). *Kaynak Makinaları* (1.Baskı). İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı.
14. Komaç, E. (2009). *Teknik Eğitim El Kitabı*. Kocaeli: Askaynak, 51-52.
15. Eşme, U. (2006). *Effect of Pool Geometry on The Quality of TIG Welded Joints*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

16. Kim, I.S., Son, J.S., Kim, I.G., Kim, J.Y., Kim, O.S. (2003). A Study on Relationship Between Process Variables and Bead Penetration for Robotic CO₂ Arc Welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 136-137.
17. Ertürk, İ. (1986). Gazaltı Kaynak Yöntemleri. *Ankara Sanayi Odası Dergisi*. Ankara, 11, 39-40.
18. American Welding Society. (2009). Specification for Tungsten and Oxide Dispersed Tungsten Electrodes for Arc Welding and Cutting (7th Edition). Miami: AWS.
19. Deutsches Institut Für Normung. (1991). Tungsten Electrodes for Inert Gas Shielded.
20. Muncaster, P.W. (1991). *Practical TIG (GTA) Welding* (First Published). Cambridge: Abington Publishing, 23.
21. Modenesi, P.J., Apolinaário, E.R., Pereira, I.M. (2000). TIG Welding with Single-Component Fluxes. *Journal of Materials Processing Technology*, 265.
22. Cary, H.B. (1998). *Modern Welding Technology* (4th Edition). Ohio: Prentice Hall.
23. Sundaresan, S., Janaki Ram, G.D., Reddy, G.M. (1999). Microstructural Refinement of Weld Fusion Zones in α - β Titanium Alloys Using Pulsed Current Welding. *Materials and Engineering: A*, 262(1-2), 88-100.
24. Kaya, Y. (2010). AISI 304 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 555-556.
25. Durgutlu, A., Fındık, T., Arabacı, U., Gülenç, B. (2009). *The Effect of Current Type on Weld Metal Microstructure and Hardness Value in Welding of Stainless Steel*. 1. International Conference on Welding Technologies, 591-597.
26. Gour, L.M. (1995). *Principles of Welding Technology* (3rd Edition). London: British Library Cataloguing in Publication Data, 40-42.
27. Yılmaz, R., Tehçi, T. (2012). Östenitik Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Kaynak Akımı ve Kompozisyonunun Nüfuziyete Etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1), 53-61.
28. Anık, S., Tülbentçi, K. Kaynak Teknolojisi III Gazaltı Kaynak Tekniği. Ders Notları, İstanbul, 10.
29. Tülbentçi, K. (1990). *MIG-MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 64-65.
30. Muzafferoğlu, H.F. (2008). *Darbeli Akımla MIG/MAG Kaynağında Darbe Parametrelerinin Dikiş Geometrisine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 36-37.

31. Kim, Y.S., Eagar, T.W. (1993). Metal Transfer in Pulsed Current Gas Metal Arc Welding. *Weld Journal*, 72(7), 279-287.
32. Palani, P.K., Murugan, N. (2006). Selection of Parameters of Pulsed Current Gas Metal Arc Welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 1-10, 172.
33. Mert, T. (2013). MIG-MAG Kaynağında Duman Oluşumu. *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(2), 18, 21-22.
34. Bosworth, M.R., Deam, R.T. (2000). Influence of GMAW Droplet Size on Fume Formation Rate. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 33, 2605-2610.
35. Praveen, P., Yarlagadda P.K.D.V., Kang, M.J. (2005). Advancements in Pulse Gas Metal Arc Welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 1113-1119.
36. Durgutlu, A. (2009). Alüminyumun TIG Kaynağında Akım Türünün Kaynak Metali Mikroyapısı ve Darbe Dayanımına Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1), 155-160.
37. Durgutlu, A. (2013). 4000 Serisi Alüminyum Levhaların TIG Kaynağında Akım Türünün Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(3), 1-9.
38. Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B. (2008). Al-Si Alaşımının TIG Kaynağında Darbeli Akımın Mikroyapı, Sertlik, Eğme ve Çekme Dayanımına Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 11(4), 339-344.
39. Kou, S., Le, Y. (1986). Nucleation Mechanism and Grain Refining of Weld Metal. *Welding Journal*, 65-70.
40. Suresh, M.V., Krishna, B.V., Venugopal, P., Rao, K.P. (2004). Effect of Pulse Frequency in Gas Tungsten Arc Welding of Powder Metallurgical Preforms. *Science and Technology of Welding & Joining*, 9(4), 362-368.
41. Balasubramanian, V., Jayabalan, V., Balasubramanian, M. (2008). Effect of Current Pulsing on Tensile Properties of Titanium Alloy. *Materials & Design*, 29(7), 1459-1466.
42. Balasubramanian, M., Jayabalan, V., Balasubramanian, V. (2008). Optimizing Pulsed Current Parameters to Minimize Corrosion Rate in Gas Tungsten Arc Welded Titanium Alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(5-6), 474-481.
43. Kumar, T.S., Balasubramanian, V., Sanavullah, M.Y. (2007). Influences of Pulsed Current Tungsten Inert Gas Welding Parameters on The Tensile Properties of AA 6061 Aluminium Alloy. *Materials & Design*, 28(7), 2080-2092.

44. Zhang, S., Jiang, F., Ding, W. (2008). Microstructure and Mechanical Performance of Pulsed Current Gas Tungsten Arc Surface Engineered Composite Coatings on Mg Alloy Reinforced by SiCp. *Materials Science and Engineering: A*, 490(1-2), 208-220.
45. Balasubramanian, V., Ravisankar, V., Reddy, G.M. (2008). Effect of Pulsed Current Welding on Fatigue Behavior of High Strength Aluminium Alloy Joints. *Materials & Design*, 29(2), 492-500.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAHAN, Uğur
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.03.1994, Kayseri
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (505) 152 04 84
 E-mail : ugurkarahan94@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Müh.	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Müh.	2015
Lise	Hacı Murat Hatice Özsoy Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Telefoncular Çelik San. ve Tic. A.Ş.	ARGE Mühendisi
2018-2018	Gazi Üni. Fotonik Uyg. ve Araş. Merkezi	Proje Asistanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Karahan, U., Gülenç, B. (2019). Örtülü Elektrot İle Elektrik Ark Kaynağında Darbe Frekansının Kaynak Metali Mikroyapısına Etkisi. *2. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*, Cilt 2, 7-10 Kasım 2019, Antalya.

Hobiler

Tiyatro, Müzik Dinleme, Kitap Okuma, Futbol, Felsefe, Film



GAZİ GELECEKTİR..