

DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK VE BAKIR MALZEMELERİN
ELEKTRİK ARK, TIG VE MIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ
VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mesut BARAN
Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Ekim - 2007

DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK VE BAKIR MALZEMELERİN
ELEKTRİK ARK, TIG VE MIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ
VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mesut BARAN

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İdris KAYNAK

Ekim - 2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Mesut BARAN 'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK VE BAKIR MALZEMELERİN ELEKTRİK ARK, TIG VE MIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../2007

(Sınav tarihi)

Üye : Doç.Dr. Muammer GAVAS

Üye : Yrd. Doç.Dr. İdris KAYNAK

Üye : Yrd.Doç.Dr. Rahmi ÜNAL

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK VE BAKIR MALZEMELERİN ELEKTRİK ARK, TIG VE MIG KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mesut BARAN

Makine Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İdris KAYNAK

ÖZET

Farklı metallerin kaynağında genellikle katı hal kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Günümüz teknolojisinde çok kullanılan örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle de farklı metallerin kaynağı sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir. Üretimdeki ihtiyaç ve koşullara bağlı olarak ve kaynak maliyetini de göz önünde bulundurarak, bu tarz kaynak işlemlerinde bu yöntemler seçilebilmektedir.

Kaynak işlemi uygulanacak malzemelerin spektrometre ile malzeme standartları belirlenmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada, elektrolitik bakır ve düşük karbonlu çelik malzemeler örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle üretim koşullarına bağlı kalınarak birleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinin öncesinde ve sonrasında malzemelerin sertlikleri ölçülerek kaynak esnasında oluşabilecek hatalar ultrasonik yöntemle kontrol edilmiştir. Aynı zamanda kaynaklı malzemelerin çekme, eğme ve çarpma deneyleri yapılarak, mekanik özellikleri incelenmiş ve kaynaklı bağlantıların maliyet analizleri çıkarılmıştır.

Yapılan deney sonuçlarının ve maliyet hesaplarının incelenmesiyle, günümüz teknolojisinde ve sanayisinde yoğun olarak kullanılan örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle de farklı metal kaynaklarının yapılabildiği ortaya konularak en uygun ve en hesaplı kaynak yöntemi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakır, çelik, farklı metallerin kaynağı, maliyet hesabı, MIG kaynağı, örtülü elektrod ark kaynağı, TIG kaynağı

**JOINING OF LOW CARBON STEEL AND COPPER MATERIALS
BY ELECTRIC ARC, TIG AND MIG WELDING METHODS
AND INVESTIGATION OF THEIR PROPERTIES**

Mesut BARAN

Machine Education, Master of Science Thesis, 2007

Thesis Supervisor: Assistant Prof. Dr. İdris KAYNAK

ABSTRACT

In the dissimilar metal welding solid state welding methods are generally used. Today technology, welding of dissimilar metals is also carried out by the shielded metal arc and TIG and MIG welding methods. These methods are chosen depending on needs on production and conditions and by considering welding cost.

First of all, micro structural properties of all the materials which need welding process were investigated. In order to determine appropriateness of materials, their standards were determined by spectrometer. In this study, electrolytic copper and low carbon steel materials were welded to each other by shielded metal arc, TIG and MIG welding methods. Preceding and ending of welding process, the hardness properties of materials were taken and the faults that occurred during the weld were controlled by ultrasonic methods. At the same time, tensile, bending and impact test of welded materials were investigated and joints were analyzed.

All the destructed and without destructed test results show that dissimilar metal welding are welded by shielded metal arc, TIG and MIG welded methods appropriately and economically. As a result we can say that the most appropriate and economical welding methods were determined in this study.

Key Words: Copper, cost, dissimilar metals welding, metal inert gas welding (MIG), steel, shielded metal arc, tungsten arc welding (TIG).

TEŞEKKÜR

Danışman hocam Yrd.Doç.Dr. İdris KAYNAK'a, deney malzemelerinin kaynatılmasında ve işlenmesinde her türlü atelye imkânlarını sunan, Tavşanlı ATL, AML, TL ve EML Makine Teknolojileri ve Metal İşleri Bölümlerine, Bursa Tophane ATL, AML, TL ve EML Metal İşleri Bölümüne, ayrıca deneylerin gerçekleştirilmesinde Garp Linyitleri İşletmesi (G.L.İ) Malzeme laboratuvarı yetkililerine ve emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	2
2.1. Ark Kaynak Yöntemleri.....	3
2.1.1. Örtülü elektrod ark kaynağı.....	3
2.1.1.1. Elektrodlar ve sınıflandırılması.....	4
2.1.1.2. Elektrod seçimi.....	5
2.1.2. TIG Kaynağı (Tungsten Inert Gas).....	5
2.1.3. MIG (Metal Inert Gas) -MAG (Metal Active Gas) Kaynağı.....	6
2.1.3.4. MIG-MAG kaynak telleri.....	8
2.1.4. TIG ve MIG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar ve özellikleri.....	10
2.1.4.1. Koruyucu soy gazlar (Argon–Helyum).....	10
2.1.4.2. Argon ve helyum karışımı.....	10
2.1.4.3. Argon ve helyuma, oksijen ve karbondioksit ilavesi	11
2.1.4.4. Karbondioksit.....	11
2.1.4.5. Koruyucu gaz seçimi.....	12
2.2. Kaynağa Hazırlık Uygulamaları.....	13
2.2.1. Kaynak yerinin temizlenmesi	13
2.2.2. Kaynak ağızlarının hazırlanması.....	13
2.2.2.1. Kaynak ağızlarının genel prensipleri.....	13
2.2.2.2. Kaynak ağızı şekilleri.....	14

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3. Kaynak Hataları.....	17
2.3.1. Çatlaklar.....	17
2.3.2. Boşluklar.....	17
2.3.3. Kalıntılar.....	18
2.3.4. Yetersiz erime.....	18
2.3.5. Nüfuzyetin azlığı.....	18
2.3.6. Dış yüzey hataları.....	19
2.4. Ekonomiklik ve Maliyet.....	19
3. BAKIR VE ÇELİK MALZEMELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	21
3.1. Bakır ve Alaşımları.....	21
3.1.1. Bakır-Çinko Alaşımları (Pirinçler).....	22
3.1.2. Bakır-Kalay Alaşımları (Bronzlar).....	22
3.2. Çelikler	23
3.2.1. Çelik çeşitleri.....	24
3.2.1.1. Karbon oranına göre çelikler.....	24
3.2.1.2. Kimyasal bileşimine göre çelikler.....	24
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	25
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
5.1. Malzemeler ve Özellikleri.....	35
5.2. Elektrodlar ve Özellikleri.....	35
5.3. Kaynak Hazırlıkları ve Kaynak Yöntemleri.....	38
5.3.1. Örtülü elektrod ark kaynağı.....	39
5.3.2. TIG kaynağı.....	39
5.3.3. MIG kaynağı.....	39
5.4. Kaynak Kontrolü ve Mikroyapı Fotoğrafları.....	39
5.5. Mekanik Deneyler.....	40
5.5.1. Sertlik deneyi.....	40

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.5.2. Çekme deneyi ve numunelerin hazırlanması.....	41
5.5.3. Eğme deneyi ve numunelerin hazırlanması.....	42
5.5.3. Çarpma deneyi ve numunelerin hazırlanması.....	42
5.6. Ekonomiklik ve Maliyet Verileri.....	43
6. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	45
6.1. Mikroyapı Sonuçları	45
6.1.1. Örtülü elektrod ark kaynağı.....	45
6.1.2. TIG kaynağı.....	46
6.1.3. MIG Kaynağı.....	47
6.2. Kaynak Kontrolü.....	48
6.3. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	49
6.4. Çekme Deneyi Sonuçları.....	51
6.5. Eğme Deneyi Sonuçları.....	53
6.6. Çarpma Deneyi Sonuçları.....	54
6.7. Kaynak Yöntemlerinin Ekonomikliğinin Karşılaştırılması.....	55
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	60
7.1. Sonuçlar.....	60
7.2. Öneriler.....	61
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması.....	2
2.2. Örtülü elektrod ark kaynak yöntemi şematik gösterimi.....	3
2.3. Tungsten Inert Gas (TIG) Kaynağı şematik gösterimi.....	6
2.4. Eriyen elektrodla gazaltı ark kaynağı şematik resmi. (MIG-MAG Kaynağı).....	7
2.5. Koyucu gazların gazlarının dikiş şekline ve nüfuzyetine etkisi.....	12
2.6. Kaynak ağızlarındaki kaynak durumları.....	14
2.7. Kaynak çatlaklarının toplu gösterimi.....	17
2.8. Boşluklar.....	18
3.1. Karbon oranının mekanik özelliklere etkisi.....	23
5.1. Deney numunelerine açılan kaynak ağızı resimleri.....	38
5.2. Kaynak sonrası sertlik ölçümlerinin yapılması.....	40
5.3. Kaynak sonrası sertlik ölçümü yapılmış malzemeler.....	41
5.4. Kaynak sonrasında sertliklerin alınması.....	41
5.5. Çekme deneyi parça resmi.....	41
5.6. Eğme Deneyi parça resmi.....	42
5.7. Çarpma Deneyi parça resmi.....	43
6.1. Örtülü elektrod ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri.....	45
6.2. TIG Kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri.....	46
6.3. MIG Kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri.....	47
6.4. Deney numuneleri sertlik grafiği.....	50
6.5. Kaynaklanmış malzemelerin kaynak hacmi.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. MIG-MAG kaynağı bakır ve alaşımları için kaynak telleri (DIN 1773).....	9
2.2. Pratikte en çok kullanılan koruyucu gazlar ve uygulamaları.....	12
2.3. Kaynak ağızı şekilleri.....	15
2.4. Kaynak ağızı şekilleri.....	16
5.1. Çelik malzeme (%) analizi.....	35
5.2. Bakır malzeme (%) analizi.....	35
5.3. Tipik kaynak metali yüzde (%) analizi.....	36
5.4. Kaynak metalinin mekanik özellikleri.....	36
5.5. Elektrod çapı kaynak akımı (Amper–A) verileri.....	36
5.6. Kaynak telinin / çubuğunun tipik yüzde (%) analizi.....	37
5.7. Kaynak metalinin mekanik özellikleri.....	37
5.8. Kaynak parametreleri.....	38
5.9. Kaynak öncesi ve sonrası deney parçalarının ağırlıkları.....	44
6.1. Malzemelerin kaynak işlemi öncesindeki sertlikleri.....	49
6.2. Deney parçaları sertlikleri.....	49
6.3. Çekme deneyi sonuçları.....	52
6.4. Eğme deneyi sonuçları.....	53
6.5. Çarpma deneyi sonuçları.....	54
6.6. 1 cm ³ kaynak metali için kaynak maliyetleri.....	56
6.7. 1m kaynak dikişi için kaynak maliyetleri.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simge

Açıklama

N	Newton
J	Joule
F	Kuvvet
Kg	Kilogram

Kısaltma

Açıklama

TIG	Tungsten Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
ITAB	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
N	Newton
J	Joule
G	Oksi-Gaz kaynağı (Kaynak ağzı tablo için)
TG	Tozlu Gaz kaynağı (Kaynak ağzı tablo için)
E	Örtülü Elektrod Elektrik Ark Kaynağı (Kaynak ağzı tablo için)
KM	MIG Kaynağı (Kaynak ağzı tablo için)
KV	TIG Kaynağı (Kaynak ağzı tablo için)
T.S.E.	Türk Standartları Enstitüsü
D.I.N.	Alman Endüstri Normu
HB	Hardness Brinell sertlik ölçme, çelik bilye ile.

1. GİRİŞ

Metallerin birbirleri ile olan bağlantıları birçok yolla yapılabilmektedir. Genel olarak sökülebilen ve sökülemeyen bağlantılar olmak üzere iki ana başlık altında toplanan metallerin birleştirilmesinde sökülebilen bağlantılar, vidalı, pimli, kamalı...v.b bağlantı şekilleridir. Sökülemeyen bağlantılar ise perçinli, kaynaklı, lehimli...v.b bağlantılardır. Sökülemeyen bağlantılardan kaynak, günümüz endüstrisinde çok fazla olarak kullanılan bir bağlantı türü olmakla beraber günümüz teknolojisinde çok farklı uygulamaları da mevcuttur. Tüm kaynak türlerini içine alan çok fazla sayıda kaynak çeşidi vardır. Bu kaynak türlerinin hepsi de, kullanım alanlarına ve yerlerine göre sanayide yoğun olarak kullanılmış veya günümüzde de hâlâ kullanılmaktadır.

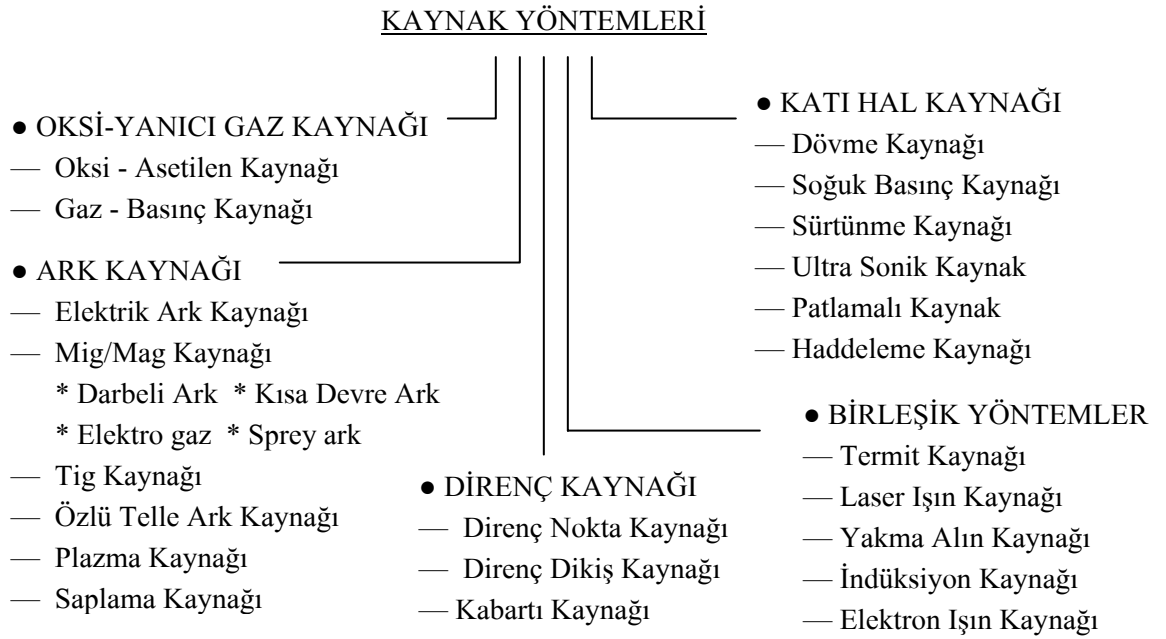
Metal ve alaşımlarının ısı etkisi veya ısıyla beraber basınç altında birleştirilmesine kaynak denir. Genel olarak yapılan bu tanım kaynakçılıkta kullanılan tüm ısı türlerini içine alarak yapılan işlemleri kapsar. Tam bir tanımlamada kaynak, bir eriyik geçişi (transferi) şeklinde yorumlanabilir. Teknikte en çok kullanılan kaynaklı birleştirme türü, gerek ekonomik nedenler gerekse yapılış biçimi ve pratikliği sebebiyle ark kaynak türleridir [1].

Bakır ısıyı ve elektriği en iyi ileten metallere aittir. Ayrıca oksijene karşı olan eğilimi kaynağını zorlaştıran etkenlerdendir. Bakırın ergime ısısı her ne kadar çelikten çok daha düşük ise de, bir bakır kesitini ergitmek çelikten daha uzun sürer. Çünkü bakırın ısı iletkenliği çeliğin beş katıdır. Bakır kaynak edilirken mevcut ısıyı hızla dağıtır, bu sebeple ön ısıtmayı zorunlu kılar. Aynı zamanda bakır yüksek genleşme katsayısına sahip olduğu için, ısıtıldığında çok genişler, soğuduğunda ise çok büzülür. Bu da kaynak çatlakları sorununu oluşturmaktadır [2].

Bu deneysel çalışmada, ark kaynağı sınıfı içinde yer alan ve günümüz sanayisinde yoğun olarak kullanılan örtülü elektrod ark, MIG ve TIG kaynak yöntemleri kullanılmıştır. Ergime sıcaklıkları, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olan bakır ve çelik malzemeler sözü edilen kaynak yöntemleriyle kaynatıldıktan sonra tahribatlı ve tahribatsız bir takım deneylere tabi tutularak, kaynaklı deney numunelerinin dayanım özellikleri tespit edilmiştir. Ayrıca kaynaklı bağlantıların maliyet hesapları yapılarak üretim koşullarına ve amaca en uygun kaynak yöntemi tespit edilmiştir.

2. KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynak türleri yapılış biçimi, kullanılan elektrodlar ve koruyucu olarak kullanılan materyalleri sebebiyle birçok sınıflara ayrılabilir. Günümüz teknolojisinde çok fazla kaynak türü kullanılmaktadır. Başlıca kaynak yöntemleri;



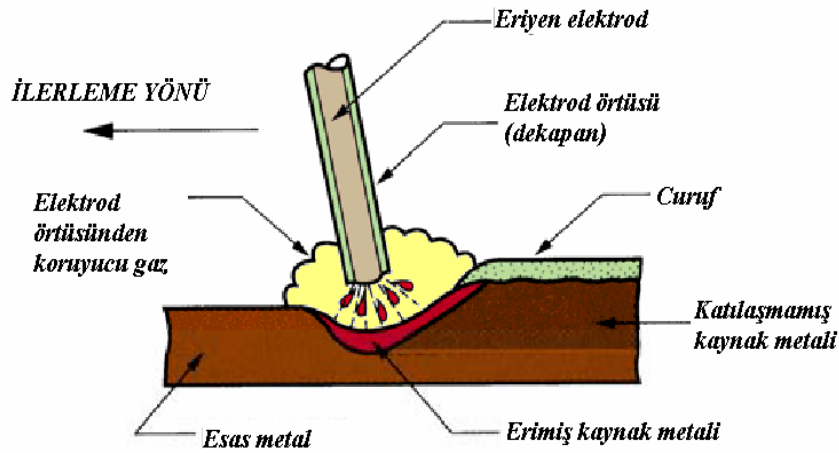
Şekil 2.1. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması [3].

Bu çalışmada ark kaynak yöntemleri içinde yer alan, örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleri kullanılmıştır.

2.1. Ark Kaynak Yöntemleri

2.1.1. Örtülü elektrod ark kaynağı

Örtülü elektrodlarla gerçekleştirilen kaynak yöntemi, metallerin birleştirilmesinde kullanılan çeşitli ark kaynak yöntemlerinden biridir. Bu kaynak yönteminde, birleştirilecek iki parça arasındaki bağlantının oluşturulacağı bölgede bulunan metal, uygulanan yüksek ısı etkisi ile erir. Kullanılan örtülü elektrodta gelen erimiş dolgu metali ile birlikte bir karışım oluşturur. Katılma ve soğuma sonrasında oluşan bu karışım metalurjik açıdan güçlü yapıya sahip bir bağ niteliğindedir. Elektrik akımının iş parçası ile örtülü elektrod arasından geçmesi sonucunda "ark" meydana gelir. Metallerin eritilebilmesi için gerekli olan yüksek ısı ise bu elektrik arkı tarafından sağlanır. Metallerin yüksek sıcaklıklarda havada bulunan oksijen ve azot gibi elementlerle birlikte reaksiyona girme eğilimi vardır. Örtülü elektrodlar, kaynak dikişine dolgu metali verme özelliklerinin yanında gaz, metal buharı ve cüruf oluşturarak erimiş kaynak banyosunun ve kaynak arkının korunmasını sağlayan bir koruyucu örtü de oluştururlar. Bu oluşuma "Ark Koruması" denir. Bu koruma sayesinde erimiş kaynak banyosunun hava ile teması en aza indirilir. Kaynak yapılırken elektrodun parçaya yapışması "Ark Kuvveti" sayesinde engellenir. Kaynağın başlangıcı sırasında oluşan çıkış akımı "Sıcak Başlangıç" sayesinde geçici bir süre (0.5 saniye) yükselir ve bu sayede ark daha kolay ve sağlıklı bir şekilde tutuşur [4].



Şekil 2.2. Örtülü elektrod ark kaynağı yöntemi şematik gösterimi [3].

Avantajları: Örtülü elektrod ark kaynağı açık ve kapalı alanlarda uygulanabilir. Elektrod ile ulaşılabilen her noktada ve pozisyonda kaynak yapmak mümkündür. Kaynak makinesinin güç kaynağı uçlarının uzatılabilmesi ve donanımın hafifliği sebebiyle uzak mesafedeki bağlantılarda kaynak yapılabilir. Pek çok malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak örtülü elektrod türü mevcuttur. Bu nedenle birleştirmelerde ki kaynak dikişi ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir.

Dezavantajları: Örtülü elektrod ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliği pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür. Elektrodların belli boylarda ve kesik çubuklar şeklinde olması sebebiyle elektrod değişimlerinde kaynağı durdurmak ve ayrıca her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan cürufu temizlemek gerekir. Tüm bu işlemler üretimde kayıp zamanın oluşmasını sağlar [4].

2.1.1.1. Elektrodlar ve sınıflandırılması

Kaynak akımını ileterek ark oluşturan çubuklara ve tellere elektrod denir. Elektrodlar genellikle doldurma ve birleştirme kaynaklarında kullanılmaktadır. Doldurma kaynaklarında kullanılan gereçler ile elektrod ergiyik kütlesi (dikişi) tam olarak %100 kimyasal uyum sağlamaz. Bu kural doldurma kaynaklarında pek önemsenmeyebilir, ancak birleştirme kaynaklarında uyum ne kadar gereç özelliğine yakın olursa kaynak o kadar sağlam olur.

Elektrod, kaynak makinesinden üretilen akımı iş parçasına kadar taşıyarak arkın oluşmasını sağlar. Arkın oluşması ile elektrodun uç kısmı ve tam karşısı olan alan ergir. Ergiyik elektrod, gereçteki ergiyik alana damlalar halinde akarak kaynak dikişini oluşturur [1].

Örtülerine göre sınıflandırılmış elektrodlar (TS 563);

- a) Asit elektrodlar,
- b) Bazik elektrodlar,
- c) Selülozik elektrodlar,
- d) Oksitleyen elektrodlar,
- e) Rutil (orta-kalın örtülü) elektrodlar,
- f) Özel elektrodlar [6].

2.1.1.2. Elektrod seçimi

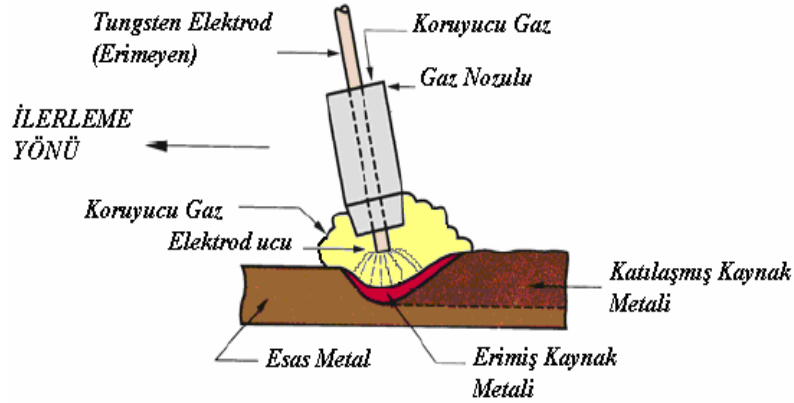
Elektrod seçiminde, aşağıdaki hususlar mutlaka göz önünde tutulmalıdır;

1. Ana metalin cinsi ve kopma mukavemeti, uzama, kırılma sertlik, süneklik... v.b mekanik özellikleri bilinmelidir. Elektrod özellikleri; ana metalinkine mümkün olduğu kadar yakın olacak seçilmelidir. Böylece yerinde bir homojenlik sağlanabilir.
2. Ana metalin karakteristiğine göre elektrod cinsi belli olduktan sonra bile birkaç çeşit elektrodla karşılaşılabilmektedir. Bu durumda dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;
 - Kullanılacak akımın cinsi: Elektrod için tavsiye edilen kutup ve akım (alternatif-doğru) biçimidir.
 - Kaynak pozisyonu: Bütün elektrodlar yatay kaynağa elverişli olmasına rağmen dikey ve tavan kaynağına uygun değildir.
 - Kaynak makinesinin verebildiği azami ve asgari akım şiddeti ve tutuşturma gerilimi.
 - Cürufun kolay temizlenip temizlenememesi.
3. Ekonomik hususlar, elektrodun fiyatından başka şu hususları içerir;
 - Ergime katsayısı: Amper başına dakikada eriyen metal miktarıdır. (gram) Birçok elektrod tipinde bu katsayı elektrod çapına bağlı değildir.
 - Elektrodun verimi: Kullanılan elektrodta yığılan metal miktarıdır.
 - Cürufu temizlemek için sarf edilen emek ve kaybedilen zamanın ekonomik değeridir.
 - Bazı elektrodların örtüleri nem emici olduklarından elektrodların stok edilme ve kurutulma maliyetleri vardır [6].

2.1.2. TIG kaynağı (Tungsten Inert Gas)

TIG kaynağında ark, tungsten elektrod ile parça arasında oluşur. Koruyucu gaz olarak argon, helyum veya bunların karışımı kullanılabilir. Ark, elektrik iletkeni ve ark taşıyıcısı olan tungsten elektrod ile iş parçası arasında yanar. İlave malzeme, kaynak banyosuna önden, yandan, elle sevk edilen çubuk telle veya ayrıca bir sevk aparatı ile verilir. Kaynaktan sonra korozif artıkların temizlenmesine gerek olmaması, yüksek dayanımlı, korozyona dirençli ve sünek dikiş kalitesi vermesi, malzemeleri kaynaktan sonra minimum distorsiyona uğratması ve sıçrama kayıplarının olmaması bu ark kaynağı türünün önemli avantajlarıdır. Uygulama

alanı olarak genellikle paslanmaz çelikler, bakır ve alaşımlarının, alüminyum ve alaşımlarının kaynaklarında kullanılmaktadır. TIG kaynağı, boyama prosesi öncesi yapılan raspalama işlemi sonrası ortaya çıkan kaynağın içindeki hatalarının (gözenek, cüruf sıkışmaları) ve sac yüzeyindeki haddeleme hatalarının tamirlerinde de kullanılabilir.



Şekil 2.3. Tungsten Inert Gas (TIG) Kaynağı şematik gösterimi [3].

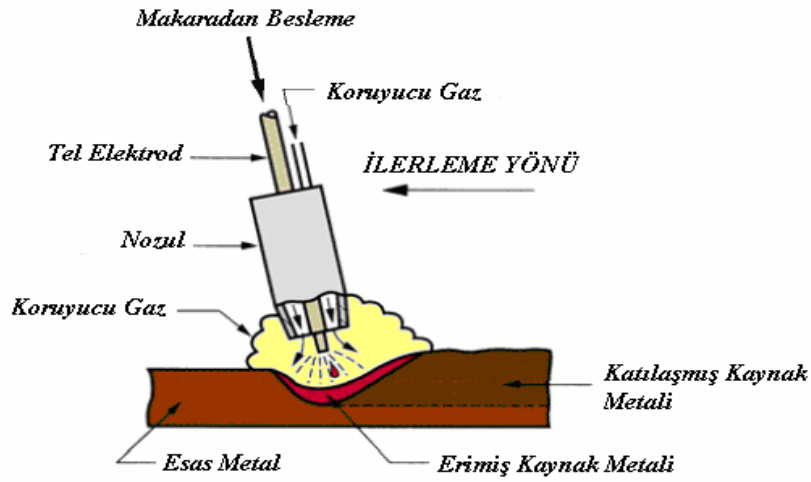
Avantajları: TIG kaynağı, hem elle, hem de otomatik kaynak sistemlerine ile uygulanabilir. Elektrod tükenmediği için ana metalin ergitilmesiyle veya ilave bir kaynak metali kullanarak kaynak yapılır. Her pozisyonda kaynak yapılabilir ve özellikle ince malzemelerin kaynağına çok uygun bir kaynak yöntemidir. Düzgün kaynak dikişi verir ve cüruf olmaması sebebiyle kaynak dikişini temizlemeye gerek yoktur. Kök paso kaynaklarında yüksek nüfuziyet ve gözeneksiz kaynak dikişleri verir.

Dezavantajları: TIG kaynağının metal yığıma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür. Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir. Açık ve rüzgârlı havalarda gaz altı koruma tam yapılamayacağı için kullanımı tavsiye edilmeyen bir kaynak yöntemidir [5].

2.1.3. MIG (Metal Inert Gas) - MAG (Metal Active Gas) kaynağı

MIG-MAG kaynağında ark, aynı zamanda ilave tel görevi yapan ve ergiyen bir elektrod ile iş parçası arasında oluşur. Bu ark kaynağı yönteminde; koruyucu gaz olarak argon-helyum ve argon kullanıldığında MIG, aktif gaz olan karbondioksit kullanıldığında MAGC ve karışım

gazı argon-karbondioksit-oksijen kullanıldığında da yöntemin adı MAGM olarak isimlendirilir. Çalışma prensibi olarak uzun bir tel elektrod, tel iletme mekanizması yardımıyla makaradan geçtikten sonra akım kontak borusuna gelir. Tel ucu nispeten kısadır. Böylece ince elektroda yüksek akım şiddeti ($100A/mm^2$) uygulanabilir. Elektrod aynı anda hem enerji taşıyıcı ve hem de kaynak ilave metali görevi yapar. Koruyucu gaz, elektrodun eş eksenli olarak bulunduğu bir memeden akar, arkı ve erimiş metal banyosunu, atmosferin olumsuz etkilerinden korur [7].



Şekil 2.4. Eriyen elektrodla gazaltı ark kaynağı şematik resmi. (MIG-MAG Kaynağı) [3].

MIG-MAG kaynak yönteminde eriyen metal damlaları iş parçasına kısa devre (kısa ark), iri damla (uzun ark) ve sprej iletimi olmak üzere üç şekilde iletilirler.

Kısa devre iletim (kısa ark): En düşük kaynak akımı aralığında ve en küçük elektrod çapında gerçekleşir. Bu tip iletim, ince kesitlerin ve büyük kök açıklarının birleştirilmesine uygun olan, küçük ve hızlı katılan kaynak banyosu oluşturmak için kullanılır.

İri damla iletimi (uzun ark): İri damla iletiminin en önemli özelliği, eriyik damla çapının elektrod çapından büyük oluşudur. Kısa devre iletimde kullanılan akım değerlerinden biraz daha yüksek akım değerlerinde ve tam asal gaz (karbondioksit, helyum) koruması altında iri damla iletimi elde edilir. Eğer gerilim çok düşük ise tel ucunda büyüyen damlaların metal yüzeyine çarpması sonucu sıçramalar meydana gelmektedir. Bu nedenle ark, erimiş elektrod damlalarının kaynak banyosuna değmeden önce elektrotdan ayrılacak kadar yüksek olmalıdır.

Sprey iletimi: Argonca zengin gaz koruması altında yüksek akım değerlerinde, kararlı, sıçramasız, belirli aralıklarla düzenli bir şekilde sprej iletimi mümkündür. Sprej iletimin en önemli özelliği parmak şeklinde nüfuziyet oluşturmasıdır. Argon gazı altında tüm metal ve alaşımlarında sprej iletim oluşturulabilir. Ancak akım değerleri yüksek olduğundan ince saçların kaynaklanmasında uygulama zorlukları oluşabilir [7].

Avantajları: Kaynak işlemi her pozisyonda yapılabilir. Ayrıca metal yığma hızı diğer kaynak yöntemlerine göre oldukça yüksektir. Elektrod değiştirme için kayıp zaman olmaması sebebiyle ortalama kaynak hızı örtülü elektrod ark kaynağına göre daha yüksektir. İstenildiğinde derin nüfuziyet elde edilebilir. Cüruf kalıntılarının olmaması sebebiyle kaynak dikişinin temizlenmesine gerek yoktur ve böylece üretimde zaman kaybı olmaz. Ayrıca kaynak robotlarına adaptasyonu da kolaydır. Özellikle tersanelerde, tüm kaynak prosesleri arasında kullanım oranının % 70–80 olması gaz altı yöntemleri arasında bu kaynak yönteminin ilk sırada yer almasını sağlamıştır.

Dezavantajları: Kaynak donanımı daha karmaşık ve pahalıdır ayrıca bir yerden bir yere nakli de zordur. Kaynak torcunun büyük olması sebebiyle dar alanlarda çalışılırken kullanımda güçlüklerle karşılaşılabilir ve gaz koruması da tam sağlanamayabilir. Açık alanlarda yeterli gaz korumasının sağlanamaması ve kaynaktan önce kaynak ağızlarının iyi temizlenmemesi sebebiyle, kaynak dikişinde gözenek ve cüruf kalıntısı hataları oluşmaktadır [7].

2.1.3.1. MIG-MAG kaynak telleri

Kaynaklı birleştirmelerin çoğunda elektrodun bileşimi, esas metalin bileşimine benzer olarak seçilmektedir. Kaynak arkında oluşan kayıpları karşılamak veya kaynak banyosuna oksit giderici maddeler (titan, silisyum, fosfor, manganez...) sağlamak amacıyla katılan elementler elektrodun bileşimi çok az değiştirebilmektedir. Gaz altı kaynağında kullanılan elektrodlar diğer ark kaynaklarında kullanılan elektrodla nazaran daha küçük çapa sahiptirler. Genelde elektrod çapları 0,8-1,6 mm arasındadır. Ancak 0,5 mm'ye kadar ince ve 3,2 mm'ye kadar kalın çaplı elektrodlar kullanılabilir. Elektrod çapının küçük olması ve akım şiddetinin göreceli olarak yüksek olması elektrod besleme hızlarının yüksek olmasını gerektirmektedir [7].

Çizelge 2.1. MIG-MAG kaynağı bakır ve alaşımları için kaynak telleri (DIN 1773) [8].

Simge	Malz. No	Kimyasal Birleşim %		Fiziksel Özellikler		Uygulanan Malzemeler
		Alaşım Elementleri	Gayri Safiyetleri	Erime Sıcaklığı	Yoğunluk Kg/Dm ³	
S-CuAg	2.1211	Cu+Ag min99,5 Ag 0,8-1,2 P 0,01-0,05	Ni 0,3 Fe 0,05 Pb 0,01 As 0,05 Diğerleri 0,1	1070 1080	8,9	Bakır
S-CuSn	2.1006	Cu min 98, Sn 0,5-1,0 Si 0,1-0,5 Mn 0,5-1,5	P 0-0,02 Ni 0,3 Fe 0,05 Pb 0,01 As 0,05 Diğerleri 0,1	1020 1050	8,9	Bakır
S-CuSi3	2.1461	Cu Kalanı Si 2,8-4,5 Mn 0,5-1,5	Sn 0,15 Fe 0,05 Zn 0,05 Pb 0,02 P 0,02 Diğerleri 0,5	910 1025	8,5	Cu-Si ve Cu-Mn Alaşımaları
S-CuSn6	2.1022	Cu Kalanı Sn 5,0-8,0 P 0,01-0,4	Fe 0,1 Al 0,01 Zn 0,1 Pb 0,02 Diğerleri 0,4	910 1040	8,7	Cu-Sn Alaşımaları
S-CuAl8	2.0921	Cu Kalanı Al 7,5-9,5	Mn 0,18 Ni 0,08 Fe 0,5 Si 0,2 Zn 0,2 Diğerleri 0,5	-	77	Cu-Al Alaşımaları
S-CuAl8N2	2.0922	Cu Kalanı Al 7,5-9,5 Ni 1,8-2,8 Mn 1,5-2,8 Fe 1,5-2,5	Si 0,2 Zn 0,2 Diğerleri 0,5	1030 1050	7,5	Cu-Al-Ni Alaşımaları
S-CuAl8N18	2.0923	Cu Kalanı Al 7,5-9,5 Ni 5,5-6,5 Fe 2,8-3,3 Mn 1,0-1,5	Si 0,2 Zn 0,2 Diğerleri 0,5	1015 1045	7,5	Cu-Al-Ni Alaşımaları
S-CuAl11Ni6	2.0925	Cu Kalanı Al 10-11 Ni 5,5-6,6 Fe 2,8-3,3	Si 0,2 Zn 0,2 Diğerleri 0,5	1015 1045	7,4-7,5	Cu-Al-Ni Alaşımaları
S-CuNi10Fe	2.0873	Cu Kalanı Ni 9,0-11,0 Fe 0,5-1,5 Mn 0,3-1,0 N0-Ti 0,2 0,5	Sn 0,03 Zn 0,2 Pb 0,02 C 0,05 Diğerleri 0,4	1100 1145	8,9	Cu-Ni Alaşımaları Cu Ni 5Fe Cu Ni 10Fe
S-CuNi13Fe	2.0507	Cu Kalanı Ni 29,0-32,0 Mn 0,5-1,5 Fe 0,4-1,4 Ti 0,2-0,5	Sn 0,03 Zn 0,2 Pb 0,02 C 0,05 Diğerleri 0,4	1100 1240	8,9	Cu Ni Alışımaları Cu Ni 30Fe Cu Ni 10Fe
S-CuMn13Al	2.1367	Cu Kalanı Mn 9,0-14,0 Al 5,5-6,6 Fe 1,5-2,5 Ni 1,5-2,5	Si 0,2 Zn 0,2 Pb 0,2 Diğerleri 0,5	945 985	7,4	Deniz Suyuna Dayanıklı, Çinkosuz Cu-Al Alaşımaları

2.1.4. TIG ve MIG/MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar ve özellikleri

Metallerin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim, metal nitritleri oluşturulmak üzere ise azotla birleşmeye daha düşük ölçüde bir eğilim gösterirler. Oksijen, erimiş çelikteki karbonla karbon monoksit gazı oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu reaksiyon ürünlerinin tümü aşağıdaki kaynak hatalarının oluşumuna neden olur:

- a) Oksitler nedeniyle erime hataları,
- b) Gözenek, oksit ve nitritler nedeniyle mukavemet kaybı,
- c) Oksitler ve nitritler nedeniyle kaynak metalinin gevrekleşmesi.

Atmosfer yaklaşık %80 azot, %20 oksijenden oluştuğu için kaynak sırasında bu reaksiyonların ürünleri kolaylıkla oluşur. Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin erimiş kaynak banyosuyla temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrotlardaki örtünün görevini görür [7].

2.1.4.1. Koruyucu soy gazlar (Argon–Helyum)

Argon ve helyum soy gazlardır. Bu gazlar ve bunların karışımı demir dışı metallerin kaynağında mutlak bir şekilde kullanılırlar. Bu gazlar paslanmaz çeliklerin ve düşük alaşımli çeliklerin kaynağında da kullanılmaktadır.

Argonun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 1,4 katı iken (daha ağır) helyumun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 0.14 katıdır (daha hafif). Koruyucu gaz ne kadar ağır ise verilen uygun bir debi ile arkı koruma ve kaynak alanını örtme o kadar etkili olur. Bu nedenle, helyumla koruma yapıldığında aynı etkili korumayı sağlamak için, argonla korumada kullanılan debinin iki veya üç katı yüksekliğinde debi gerekir. Helyum, argondan daha yüksek ısı iletkenliğine sahiptir ve aynı zamanda içinde ark enerjisinin daha düzenli şekilde dağıldığı bir ark plazması oluşturur [7].

2.1.4.2. Argon ve helyum karışımı

Saf argonla koruma, demir dışı metallerin birçok uygulamasında kullanılır. Saf helyum kullanımı, sınırlı bir ark kararlılığı sağlaması nedeniyle çok özel alanlarla sınırlanmıştır. Ancak

helyum arkıyla derin, geniş ve parabolik kaynak profili elde edilmesi nedeniyle, argon-helyum gaz karışımı koruyucu gaz olarak daha fazla kullanılmaktadır. Sonuçta kaynak dikişi profilinde iyileşme sağlandığı gibi, argonun aksenel spreyci metal iletimi oluşturma özelliğinden de yararlanır. Paslanmaz çelik, düşük alaşımlı çelikler gibi bazı metaller için daha yüksek ısı girdisi elde etmek amacıyla karışıma helyum ilavesi yapılır. Bunun nedeni helyumun, dikişin mekanik özelliklerini artırıcı reaksiyonları oluşturmalarıdır [7].

2.1.4.3. Argon ve helyuma, oksijen ve karbondioksit ilavesi

Demir dışı malzemelerin kaynağında saf argon ve belli bir dereceye kadar da helyum çok mükemmel sonuçlar sağlar. Ancak, bu koruyucu gazlar saf halde demir esaslı malzemelerin kaynağında başarılı çalışma özellikleri sağlamazlar. Helyumla korumada buna ilave olarak sıçrama meydana gelir. Saf argonla korumada "yanma oluğu" oluşma olasılığı büyük ölçüde artar. Argona %1–5 oksijen veya %3–10 karbondioksit (ve % 25'e kadar karbondioksit) ilavesi önemli ölçüde iyileşme sağlar. Saf gaza katılacak en uygun oksijen ve karbondioksit miktarı, kaynak edilecek parçanın yüzey durumu, bağlantı geometrisi, kaynak pozisyonu ve esas metalin bileşimine bağlıdır. Genellikle % 3 oksijen veya % 9 karbondioksit bu değişkenlerin büyük bir aralıkta etkileri göz önünde bulunduran oranlardır. Argona karbondioksit ilavesi aynı zamanda dikiş profilinin şeklini de iyileştirir [7].

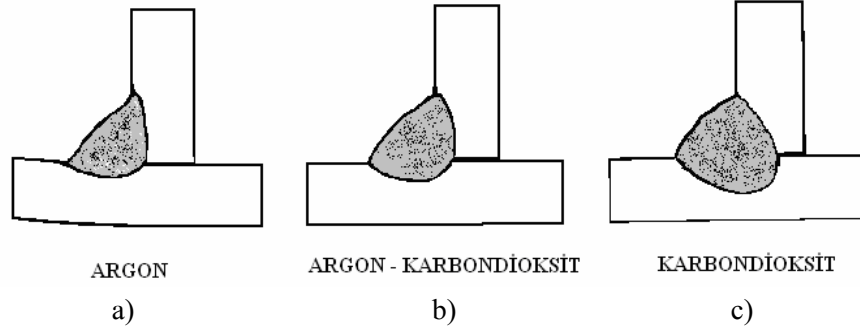
2.1.4.4. Karbondioksit

Saf karbondioksit alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında geniş ölçüde kullanılan bir aktif gazdır. Bu gazın yoğun olarak kullanılma nedeni:

- a) Daha yüksek kaynak hızı,
- b) Daha fazla bağlantı nüfuziyeti,
- c) Daha düşük maliyet sağlamasıdır.

Karbondioksit ile korumada metal iletimi ya kısa devre ya da iri damla tipidir. Aksenel spreyci iletim argonla korumaya özgü bir özelliktir ve bunu karbondioksit ile elde etmek mümkün değildir. İri damla tipi iletim arki önemli miktarda sıçramaya neden olur. Sıçramayı en az düzeye indirmek için kaynak şartlarının çok kısa "gömülü ark" (elektrodun ucu gerçekte iş

parçası yüzey seviyesinin altındadır) sağlayan düşük gerilim değerine ayarlanması gerekir. Argonca zengin koruyucu gazla genel olarak kıyaslandığında, karbondioksit korumalı ark daha kaba bir yüzey profiliyle birlikte mükemmel nüfuziyete sahip bir kaynak dikişi oluşturur. Karbondioksitle korumada çok güvenilir kaynak dikişleri elde edilebilir [7].



Şekil 2.5. Koyucu gazların gazlarının dikiş şekline ve nüfuziyetine etkisi.

a) Argon gazı koruması altında, b) Argon-karbondioksit gazı koruması altında, c) Karbondioksit gazı koruması altında yapılmış olan kaynak dikişleri [7].

2.1.4.5. Koruyucu gaz seçimi

Kaynak edilecek metale bağlı olarak kullanılabilen koruyucu gazlar Çizelge 2.2. de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Pratikte en çok kullanılan koruyucu gazlar ve uygulamaları [8].

Gazın Cinsi	Malzemenin Cinsi		Akım Cinsi
	TIG Kaynağı	MIG kaynağı	
%70Ar / %30He	a) Al ve Al alaşımları >5mm b) Ni ve Ni alaşımları		Alternatif Akım Doğru Akım
%50Ar / %50He		a) Al ve Al alaşımları 5-15mm b) Cu ve Cu alaşımları 5-15mm c) Ni ve Ni alaşımları	Doğru Akım
%30Ar / %70He		a) Al ve Al alaşımları >15mm b) Cu ve Cu alaşımları >15mm	Doğru Akım
%10He	a) Cu ve Cu alaşımları >3mm b) Al ve Al alaşımları >5mm c) Zr, Ti, Al ve alaşımları		Doğru akım

2.2. Kaynağa Hazırlık Uygulamaları

Kaynağın tüm uygulamalarında kaynak hazırlıkları iki noktada toplanır.

2.2.1. Kaynak yerinin temizlenmesi

Kaynaktan önce ve kaynaktan sonra temizlik, kaynak işleminin en önemli bölümüdür. Kaynak edilecek malzemeler için kaynak bölgesinin temizlenmesi kimyasal ve mekanik olmak üzere iki şekilde yapılır. Temizleme esas itibariyle, metalin yağlı ve kirli bir yüzeye sahip olması, oksitlenmiş olması veya zararlı kaplama tabakasını içermesi durumunda daha fazla önem kazanır. Dökme parçalarda genelde oksitlenmiş olan oksit tabakasını ve yüzeye yapışmış olan döküm kumunun temizlenmesi, kaynak işlemi için yapılması gereken en önemli hazırlık işlemlerindedir. Mekanik temizlemede, yüzeylerin pürüzlü veya arzu edilmeyen başka bir hale olmaması, kaynağın sağlıklı bir şekilde yapılması için önemlidir [6].

2.2.2. Kaynak ağızlarının hazırlanması

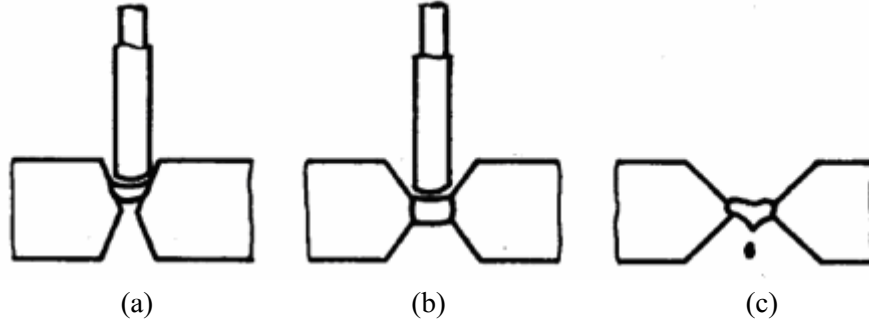
Kaynak ağızlarının açılması oksijen-gaz kesici üfleçleriyle yapılabildiği gibi talaş kaldırma işlemleriyle de yapılabilir. Talaş kaldırarak yapılan işlemlerde freze tezgâhları veya bu işlem için üretilmiş olan kesici takımlar kullanılabilir [6].

2.2.2.1. Kaynak ağızlarının genel prensipleri

Kök aralığı, elektrodun birleşmenin dibi ya da köküne ulaşmasını sağlamak üzere kullanılır. Kaynak ağızları arasındaki açı ne kadar küçük olursa, kökte iyi bir ergime elde etmek için kök aralığı o kadar büyük olmalıdır. Kök aralığı çok fazla olursa kaynağın kalitesi bundan olumsuz yönde etkilenmez ama daha çok kaynak metali gerekir, bu durum kaynağın maliyetini arttırdığı gibi çarpılmaları arttırıcı yönde etki yapar. Kök aralığı ve ağız hazırlığının şekli doğruca maliyeti etkileyecektir, kaynak ağızı seçimi de bu husus göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Kaynak ağızı ya da kök aralığı yetersiz olduğunda kaynak, kökte cüruf bırakarak, aralıkta köprü kurarak aralığı dolduracaktır. Bu durumda tersten cüruf kalıntısını iyi bir şekilde temizlemek gerekecektir. Geniş kök aralığında ise, aralığın doldurulması için bu bölgeye daha

fazla ilave metal boşaltılması gerekir, bu durum da gereğinden fazla ısı yüklemesini yaratacağı için, kaynak edilecek malzemelerin kaynak ağzlarının uç kısımlarında yanmalara neden olur. Böyle durumlarda yanma olayının önüne geçmek için araya ilave metal konulabilir [6].



Şekil 2.6. Kaynak ağzlarındaki kaynak durumları.

- a) Aralık çok az olduğunda kökteki cüruf sebebiyle köprü oluşur.
b) İyi bir birleşme hazırlığı. c) Yanma ile sonuçlanan geniş kök aralığı [6].

2.2.2.2. Kaynak ağzı şekilleri

Kaynak ağzı şekillerinin standardı TS 3473/1980 tarafından saptanmıştır.

Tablolarda ki kaynak çeşitlerini simgeleyen harfler;

G: Oksi-Gaz kaynağı,

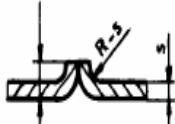

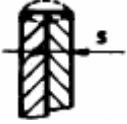

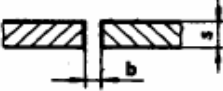

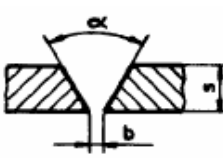

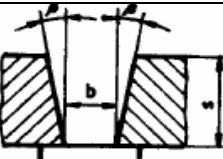

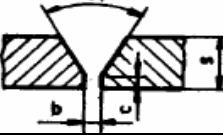

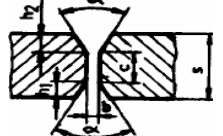

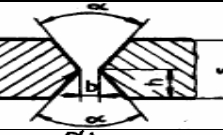

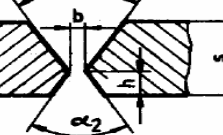

TG: Tozlu Gaz kaynağı, kaynak bölgesine ilave metalin alevle birlikte verildiği gaz kaynağı,

E: Elektrik Ark Kaynağı (Örtülü Elektrod),

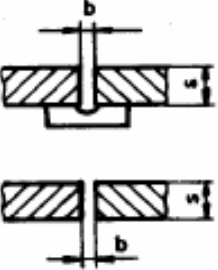
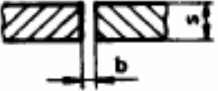
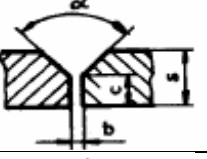
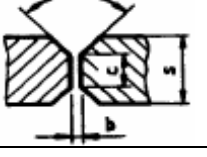
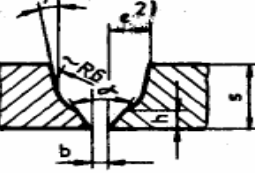

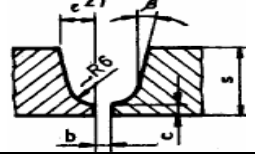

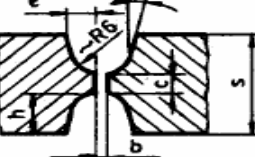

KM: MIG Kaynağı,

KV: TIG Kaynağı.

Çizelge 2.3. Kaynak ağzı şekilleri [6].

Kaynak Ağzı	Sembol	S (mm)	$\alpha, \alpha,$ β	b (mm)	c (mm)	h (mm)	Kaynak Yapılışı	Kaynak Yöntemi
		2 (içinde) ye kadar	-	-	-	-	Bir tarafтан	G, E, KV, KM
		4 (içinde) e kadar	-	-	-	-	Bir tarafтан	G, E, KV, KM
		4 (içinde) e kadar	-	~ s	-	-	Bir tarafтан	G, E, KV
		8 (içinde) e kadar	-	~ s/2				E, KV
		3-10	~60	0-3	-	-	Bir tarafтан yada iki tarafтан	G
		3-40	~60					KM
		16 dan büyük	5-15	6-10	-	-	Bir tarafтан	E, KM
		10 dan büyük	~60	8-3	2-4	-	İki tarafтан	E, KV
			40-60					KM
		10 dan büyük	~60	0-4	2-6	-	İki tarafтан	E, KV
			40-60					KM
		10 dan büyük	~60	0-3	-	s/2	İki tarafтан	E, KV
			40-60					KM
		10 dan büyük	$\alpha_1 \sim 60$ $\alpha_2 \sim 60$	0-3	-	s/3	İki tarafтан	E, KV
								KM

Çizelge 2.4. Kaynak ağzı şekilleri [6].

Kaynak Ağzı	Sembol	S (mm)	α, α, β	b (mm)	c (mm)	h (mm)	Kaynak Yapılışı	Kaynak Yöntemi		
		5	-	0	-	-	Bir taraftan	-		
		6		1-2						
				6-10	-	0	-	-	İki taraftan	-
				10-13		1-2				
				13-15		2-3				
				15-16		3				
	Y	10-13	90°	0	7	-	İki taraftan	-		
		13-15		1-2	10					
		15-16		2-3	12					
		15 den byk		3	13					
	X	12-14	90°	0	4	-	İki taraftan	-		
		14-15		1-2	7					
		15-17		2-3	9					
		17 den byk		3	10					
		12 den büyük	$\alpha \sim 60$ $\beta \sim 8$	0-3	-	~ 4	Bir taraftan	E, KV, KM		
		12 den büyük	~ 8	0-3	~ 3	-	Bir taraftan yada iki taraftan	E, KV, KM		
		30 dan büyük	~ 8	10-3	~ 3	$\sim s/2$	İki taraftan	E, KV, KM		

2.3. Kaynak Hataları

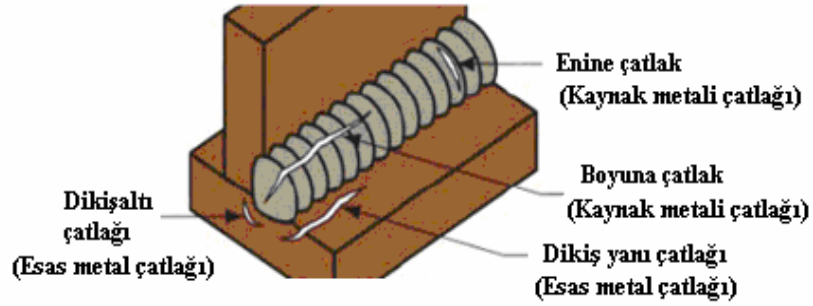
2.3.1. Çatlaklar

En tehlikeli kaynak hatasıdır. Eritme kaynağında; esas metalde, kaynak metalinde veya ısı tesiri altındaki bölgelerde (ITAB) ortaya çıkabilir. Kaynak mukavemetini önemli ölçüde düşüren kaynak hatalarıdır. Kaynak öncesinde parçaların ısıtılması ve kaynak sonunda yavaş soğutulması ile bu hataların oluşmasını önlemek mümkündür.

a. Kaynak metal çatlakları,

b. Esas metal çatlakları,

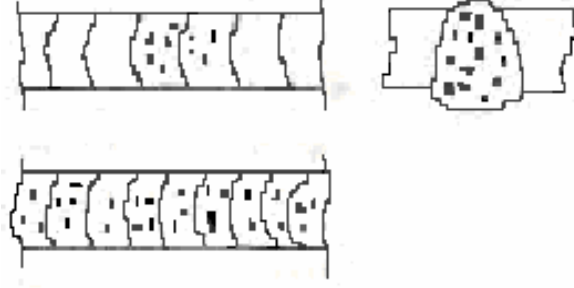
olmak üzere iki sınıfa ayrılabilirler [9].



Şekil 2.7. Kaynak çatlaklarının toplu gösterimi [3].

2.3.2. Boşluklar

Gözenek olarak ta adlandırılan bu hatalar, kaynak esnasında meydana gelen gazların kaynak dikişini terk etmeyip, içerde hapsolmesi veya tam yüzeyde iken katılaşmanın tamamlanması neticesinde ve bazen de metalin kendini çekmesi sebebi ile meydana gelirler. Kaynak dikişinde bulunan gözenekler; kesiti azaltmanın yanında gerilme yığılmalarına sebep olurlar. Bu sebeple kaynaklı bağlantının mukavemetini azaltırlar. Kaynak banyosunu atmosferin dış etkilerinden koruyan koruyucu atmosferin yeterli seviyede olması, elektrodlardaki nem ve rutubetin giderilmesi için ön ısıtmanın uygulanması, uygun bir kaynak hızı ve kaynak esnasında düzenli elektrod hareketleri ile kaynak metalinde oluşabilecek bu hataların önüne geçilebilir [9].



Şekil 2.8. Boşluklar

2.3.3. Kalıntılar

Kaynak metalinde bulunabilecek dekapan ve kaynak tozu kalıntıları, oksit kalıntıları ve ağır metal kalıntılarıdır. Çok pasolu kaynakta, pasolar arasındaki cürupların tam olarak temizlenmemesi kalıntılara sebep olur. Cürup kalıntıları, mukavemeti düşürür ve çatlakların oluşmasına sebep olur. Kalıntıların önlenmesi için, ergimiş banyo hareketlerinin kontrollü yapılması ve pasolar arasında cürupların iyi temizlenmesi gerekir [9].

2.3.4. Yetersiz erime

Kaynak metali ile esas metal arasında veya çok pasolu birleştirmede pasolar arasında ortaya çıkan birleşme arızalarıdır. Cürup, oksit ve diğer metalsel olmayan kalıntıların bulunması, elektrodun yanlış bir açıyla tutulması ve uygun akım şiddetinin seçilmemesi yetersiz erime hatalarının oluşmasına sebep olur. Kaynak kesitindeki birleşme azlığı, statik ve dinamik zorlamalar karşısında dikişin mukavemetini düşürür [9].

2.3.5. Nüfuziyetin azlığı

Erimenin bütün malzeme kalınlığı boyunca olmaması şeklinde ortaya çıkan, kaynaklanmamış kısımların bulunmasıdır. Nüfuziyetin azlığı; uygun elektrod çapının ve akım şiddetinin seçilmemesi, kaynak ağzının uygun olmaması ve kök pasonun kötü çekilmesi sebeplerine bağlı olarak oluşmaktadır. Kaynak dikişinin malzemenin kalınlığı boyunca olmaması veya kesitte kaynaklanmamış bölgelerin olması sebebiyle kaynak dikişinin mukavemetinin önemli ölçüde düşmesine neden olurlar [9].

2.3.6. Dış yüzey hataları

Kaynaklı yüzeylerde, kaynak metalinin fazla veya az yığılması, kaynama işlemi olmadan kaynak metalinin yüzey üzerine taşması ve aksenel kayma işlemi gibi hataların oluşmasıdır. Akım şiddetinin uygun olmaması, kaynak hızının fazla, elektrod açısının yanlış olması ve kaynak parametrelerinin iyi ayarlanmaması durumunda oluşan hatalardır. Çeşitli yüklere maruz kalan kaynak dikişlerinin mukavemetlerinin düşmesine neden olurlar. Oluşabilecek dış yüzey hata çeşitleri;

- a. Yanma olukları ve aşırı metal yığılma,
- b. Fazla dış bükey iç köşe dikişi ve fazla sarkık (fişkirmiş) dikiş,
- c. Birleşme olmadan kaynak metalinin esas metal üzerine taşması,
- d. Eksen kayması ve açısal distorsiyon [9].

2.4. Ekonomiklik ve Maliyet

Günümüzde hem üretim hem de tüketim sektörlerinde ekonomik düşünmek zorunluluk haline gelmiştir. Bu anlayış kaynak tekniği için de geçerlilik taşımaktadır. Bu sebeple kaynak tekniğinde kaliteyi arttırmak ve teknik üstünlükler elde etmenin yanında maliyeti düşürecek donanımlar da geliştirilmiştir [31].

Kaynak maliyetini etkileyen faktörler kaynağın yapım tarzına göre farklılıklar göstermektedir. Kaynak esnasında kullanılan gereçler ve elektrik enerjisi en önemli maliyet kalemini oluşturmaktadır. Kaynak, ister dolgu ister birleştirme amaçlı yapılsın, her ikisinde de doldurulması gereken bir kaynak ağzı boşluğu bulunmaktadır. Kaynak maliyetine gerecin kalınlığı, arada bırakılacak boşluk ve elektrodun tutuş açısına kadar birçok etken etki etmektedir. Genel olarak bir metre kaynak dikişi için yapılan giderler, kaynak maliyeti olarak kabul edilmektedir [11]. Kaynağın gerçek maliyetini tam olarak veren herhangi formül ya da hesaplama yöntemi bulunmamaktadır. Ancak kaynak maliyetini yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir [10]. Elektrod üreticisi firmaların oluşturdukları tablolar ve çizelgeler ürettikleri ürünlere yönelik olup, maliyet hesaplarının tümü için genellik içermemektedirler.

Elektrik ark kaynağında, kaynak kesit alanı hesaplandıktan sonra kaynak dikişinin ağırlığı şu formülle hesaplanır [31].

G: bir metre kaynak dikişinin ağırlığı (gr/m)

A= Kaynak bölgesi kesit alanı (cm²)

L= Kaynak boyu (cm)

φ = Kaynak metali yoğunluğu (gr/cm³)

$$G = A \cdot L \cdot \varphi \quad (1)$$

Elde edilen kaynak dikişinin ağırlık değeri, elektrod verim formülünde yerine konulduğunda bir metre boyundaki kaynak dikişi için gerekli olan elektrod sayısı hesaplanır.

n= Bir metre kaynak dikişinde kullanılacak elektrod sayısı,

μ = Elektrod verimi,

g= Elektrod çekirdek ağırlığı (gr)

$$n = \frac{G}{\mu \cdot g} \quad (2)$$

Bir metre kaynak dikişi için elektrod maliyeti;

Em= Bir metre kaynak dikişi için elektrod maliyeti,

f= Bir elektrod fiyatı.

$$Em = n \cdot f \quad (3)$$

Gazaltı kaynağında elektrod maliyetinin yanında koruyucu gaz maliyeti de ortaya çıkmaktadır. Koruyucu gaz maliyetinin bulunması aşağıdaki formüllerle yapılmaktadır [31].

Gs= Gaz sarfiyatı (lt),

Gb= Gaz basıncı (bar),

V=kaynak hızı (cm/dak), olmak üzere TIG ve MIG/MAG kaynağında gaz sarfiyatı;

$$Gs = Gb \cdot V \quad (4)$$

Gm= Gaz maliyeti,

k= birim gaz maliyeti (lt), olmak üzere bir metre kaynak dikişinde kullanılan gaz maliyeti;

$$Gm = Gs \cdot k \quad (5)$$

3. BAKIR VE ÇELİK MALZEMELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Bakır ve Alaşımaları

Yüzey merkezli kübik sistemde kristalleşen bakır, gümüşten sonra en iyi ısı ve elektrik ileten metaldir. Bu yüksek iletkenlik, saflığı bozan maddelerin eser miktardaki varlığıyla bile önemli derecede azalır. Saflığı bozan başlıca elementler demir, nikel, kurşun, gümüş, altın olup bunların arasında en büyük paya sahip olan oksijendir. Bu element Cu_2O (bakır oksit) şeklinde bulunur.

Bakır $1083^{\circ}C$ ' de ergir fakat sıcakta kolayca oksitlenmesi ve oluşan oksitin bakırın içinde ergimesi sebebiyle ergime sıcaklığı çoğu kez $1083^{\circ}C$ 'nin altındadır. Bakırın başta oksijene göre çok reaktif bir metal olması, en saf şekilde üretilip satılmasının nedenidir. Elektrolitik bakır %99,9 saflıkta olup %0,05 oranındaki bakır oksidi bünyesinde dağılmış olarak bulundurur. Kaynak esnasında bakır oksidin tane sınırlarına yürümesi, çok sünek yapıda olan bakırı süneklik kaybına uğratar [2].

Bakırın ısı iletkenliği çelikten yaklaşık olarak on kat daha fazladır. Bakır yumuşak, sağlam ve çekmeye elverişli bir metaldir. Isıl işlem uygulanmaz, soğuk biçimlendirme sonucu sertleşme özelliğine sahiptir. Birçok bakır ve alaşımaları kaynatılabilme özelliğine sahiptirler. Ayrıca kolayca sert lehim yapılabilir. Bakır-kurşun alaşımalarının kaynatılabilme özellikleri yetersizdir. Kurşunun ergime ısısının düşük olması sebebiyle bakırdan önce eriyerek oksitlenir veya buharlaşır. Bakır-çinko alaşımalarında ise kaynak sırasında çinko buharı oluşarak anormal bir kaynak görünümü oluşur. Bakır ve alaşımaları, ark kaynak yöntemlerinden TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile en iyi şekilde kaynak edilebilmektedir [10].

Bakır başlıca çinko, kalay, alüminyum, nikel, fosfor, kurşun ve berilyumla alaşım oluşturmaktadır. Bakırın çinko ile olan alaşımalarına pirinç, diğer elementlerle olan alaşımalarına ise bronzlar denilir [12].

Bakır veya bakır alaşımları aşağıda sıralanan özelliklere sahiptir. Bu özelliklere bağlı olarak ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılmaktadır.

- Elektrik ve ısı iletkenliği (saf bakır),
- Korozyon direnci (nikelli alaşımlar),
- Görünüş, mimari (bronz, pirinç. vs.),
- Toksik olmaması (gıda, şeker sanayi),
- Yatak olmaya elverişlilik (kayma-sürtünme özelliği) (kalay, bronz vs.).

Daha birçok kullanım yerine uygun avantajlar sıralanabilir.

3.1.1. Bakır-Çinko Alaşımları (Pirinçler)

Bakır-çinko alaşımı olan pirinçlerde çinko oranı genellikle %15'ten başlar ve en fazla %40'a kadar artırılır. Arı bakırın rengi kırmızı olup çinko oranı arttıkça renk kırmızıdan sarıya döner. %20'den az çinko içeren pirinçlere kırmızı pirinç, daha fazla çinko içeren pirinçlere de sarı pirinç denir. %5-15 çinko içeren kırmızı pirinçlerin korozyona dayanıklılığı daha yüksektir. Çekme mukavemeti ve süneklik çinko oranı arttıkça yükselir. %30 çinko içeren sarı pirinçin sünekliği yüksek olduğundan büyük ölçüde plastik şekil verilebilir ve derin çekme işlemlerinde kullanılabilir. %1 oranında kalay katılarak korozyona karşı dayanımı artırılır. %40 çinkolu pirinç özellikle yüksek mukavemet isteyen parçaların üretiminde kullanılır. Pirinçler sac, boru, band, tel ve profil halinde üretildikleri gibi ayrıca döküme de elverişlidirler [12].

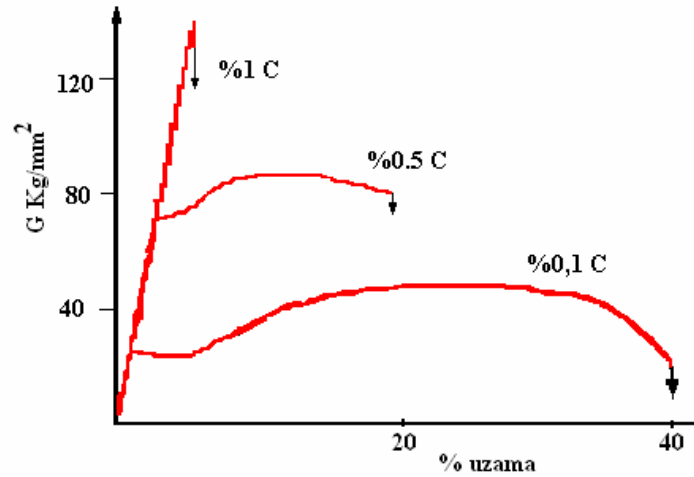
3.1.2. Bakır-Kalay Alaşımları (Bronzlar)

Bronz geleneksel anlamda bakır-kalay alaşımı olup halk dilinde tunç olarak anılır. Tarihe adını veren kalay bronzu sert, mukavemeti yüksek ve korozyona karşı dayanıklıdır. Endüstride kullanılan bronzlar %8 oranında kalay içerirler. Kalay oranı arttıkça mukavemet, korozyona dayanıklılık, gevreklik ve maliyet artar. Nikelli bronz aşınmaya, deniz suyuna ve diğer çevresel koşullara karşı dirençlidir. Paralarda kullanılan nikel bronzu %15 kadar nikel içerir. %2 berilyum içeren berilyum bronzunun tavlı halde çekme mukavemeti 420 N/mm^2 düzeyindedir. Çok üstün mekanik özelliklere sahip berilyum bronzunun maliyetinin yüksek olması sebebiyle ancak uçak parçaları gibi özel uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

Bakır metali kalay, çinko, nikel ve alüminyum ile değişik oranlarda birleşerek bronz alaşımını oluştururlar. Ayrıca kurşun, nikel, demir, silisyum ve kalay gibi metaller değişik oranlarda katılarak özelliklerin iyileşmesi sağlanır. Bakır alaşımları çubuk, tel, şerit, levha şeklinde plastik yolla işlenmeye elverişli oldukları gibi döküm yolu ile de şekil verilmeye elverişlidirler [12].

3.2. Çelikler

Çeliklerde karbon oranı yükseldikçe içyapıda yumuşak ferrit fazının yanında sert ve gevrek olan demir-karbür fazının miktarı artar. Buna bağlı olarak şekil değiştirme zorlaşır, sertlik ve mukavemet artar ancak süneklik azalır. Çeliklerin elastisite modülleri karbona bağlı değildir. Düşük mukavemetli yumuşak çeliklerle yüksek mukavemetli çeliklerin elastisite modülleri aynı olup ortalama 210000 N/mm^2 dir. Az karbonlu çeliklerde mukavemet düşük olmakla birlikte tokluk yüksektir. Yüksek karbonlu çeliklerde mukavemet yüksek fakat tokluk düşüktür [12].



Şekil 3.1. Karbon oranının mekanik özelliklere etkisi [12].

3.2.1. Çelik çeşitleri

3.2.1.1. Karbon oranına göre çelikler

- Az Karbonlu Çelikler: Bu tür çeliklerin karbon oranı %0,1–0,2 arasında değişmektedir. Bu tür çeliklerin sertlik ve mukavemetleri düşüktür. Su verme ile sertleştirilemezler, sertlik mukavemetleri soğuk şekil verme ile artırılır. Genel amaçlar için kullanılan en ucuz çeliklerdir.
- Orta Karbonlu Çelikler: Bu tür çeliklerin içerisinde karbon oranı %0,2–0,5 arasında değişmektedir. Mukavemet ve toklukları yüksek olup plastik olarak şekil verilerek işlenebilirler. Şekil verdikten sonra su verme ile sertlik ve mukavemetleri birkaç kat artırılabilir. Bu çelikler genellikle yapılarda, makine parçaları, buhar kazanları, demir yol rayları gibi mukavemet isteyen yerlerde kullanılırlar.
- Yüksek Karbonlu Çelikler Bu tür çeliklerin içerisinde karbon oranı %0,5–2 arasında değişmektedir. Yüksek karbonlu çeliklerde sertlik ve mukavemet yüksek olmakla beraber, süneklikleri ve toklukları düşüktür, şekil vermek zordur. Kaynak yetenekleri iyi değildir, kaynak esnasında yerel olarak sertleşme ve gevrekleşme oluşur ve çatlamlar oluşabilir. Bu çelikler genellikle takım, kalıp ve yay çelikleri olarak kullanılırlar [12].

3.2.1.2. Kimyasal bileşimine göre çelikler

- a. Genel yapım çelikleri
- b. Makine yapım çelikleri
- c. Sementasyon ve nitrürasyon çelikleri
- d. Otomat çelikleri
- e. Civata ve somun çelikleri
- f. Kazan çelikleri
- g. Paslanmaz çelikler
- h. Yay çelikleri
- i. Takım çelikleri
- j. Elektrik makineleri için çelikler
- k. Dökme çelikler [13].

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüz sanayisinde yoğun olarak kullanılan metal ve alaşımlarının gerek birbirleri ile gerekse farklı özellikler içeren metal ve alaşımlarıyla, farklı kaynak yöntemleri ile kaynatılarak özelliklerinin incelenmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda; malzemelerin sözü edilen kaynak yöntemi veya yöntemleri ile birleşip birleşmeyeceği, birleştirmenin kalitesini etkileyen parametrelerin incelenmesi ve kaynak işlemi sonrasında mekanik, makro ve mikroyapı özelliklerin araştırılması gibi konular ele alınmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

Kahraman, N. ve Durgutlu, A. yaptıkları “316L Paslanmaz çelik ile bakır levhaların örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemi ile birleşebilirliğinin araştırılması” çalışmalarında; bakır ve paslanmaz çelik levhaları aynı bileşimde elektrod kullanarak, örtülü elektrodla elektrik ark ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmişler ve birleştirmelerin bazı metalurjik özelliklerini araştırmışlardır. Kaynaklı numunelere, kaynak bölgesinin dayanımının belirlenmesi için değişik mekanik testler yapmışlar (çekme, eğme ve sertlik) ayrıca bu bölgelerdeki ana metal ile erime çizgisinin ve kaynak metalinin optik mikroskop incelemesi gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmaların sonucunda; ostenitik paslanmaz çelik ile bakır levhalar uygun bir ilave metal seçilerek, hem elektrik ark hem de TIG kaynak yöntemi ile başarılı bir şekilde birleştirilebilirler. Kaynaklı numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda bütün numunelerde kopma, paslanmaz çelik malzemenin dayanımının daha yüksek olmasından dolayı bakır malzemedeki gerçekleşmiş ve çekme değerlerinin orijinal bakır malzemedeki düşük olduğu tespit edilmiştir. Sertlik ölçümleri sonunda, ısı girdilerinin farklı oluşlarından dolayı, örtülü elektrod ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerden ölçülen sertlik değerlerinin TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [14].

Kahraman, N., Gülenç, B. ve Akça, H.’nin yaptıkları “Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen ostenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi” çalışmalarında; ostenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik levhalar, elektrik ark kaynak yöntemini kullanılarak farklı elektrodlar (AS P 347, AS P 316L) ile

birleştirilmiş, bağlantıların mekanik ve metalurjik özellikleri araştırılmıştır. Çekme deneyi sonuçlarına göre AS P 347 elektrodu ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin, AS P 316L elektrodu ile birleştirilmiş numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit edilmiş ve çekme çubuğundaki ayrılmanın kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinden değil, düşük karbonlu çelik malzemeden olduğunu görülmüştür. Eğme deneyi sonuçlarına göre AS P 347 elektrodu ile birleştirilmiş numunelerin eğme gerilimi, AS P 316L elektrodu ile birleştirilmiş numunelerin eğme geriliminden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her iki birleştirmede de ana malzemelerdeki sertlik değerleri birbirine yakın iken kaynak bölgesinde farklı olduğu görülmüştür [15].

Meriç, C. ve Okur, A. “Rutil örtülü elektrodlarla birleştirilmiş C22’nin kaynak bölgesinin kırılma tokluğunun incelenmesi ve uyumsuzluk faktörünün belirlenmesi” çalışmaları şu şekildedir; C22 çelik sacdan alınan numuneler, farklı çekme dayanımına sahip üç ayrı rutil elektrodla kaynak edilmiştir. Yorulma cihazında yapılacak deney ebatlarında işlenen numunelerde deney sonucunda kaynak bölgesinde 2 mm civarında yorulma çatlakları oluşturulmuştur. Oluşturulan çatlaklardan hareket edilerek kaynaklı bölgenin direngenliği araştırılmıştır. Kaynak metali ve Isı Tesiri Altındaki Bölgenin (ITAB) mekanik özellikleri incelenerek kaynak metali tokluk değeri grafikleri elde edilmiştir. Deney parçası üzerinde farklı bölgelerden, kaynak metali, esas metal ve ITAB geçişlerinde mikro sertlik taraması yapılmıştır. Ana malzeme akma mukavemeti, kaynak elektrodları tokluğu yönünden uygunluğu göstermektedir. Kaynak ortası referans alınarak mikro sertlik ölçümleri sonucunda farklı elektrodlar birbirlerine yakın değerler vermişlerdir. Tokluk eğilme eğrileri incelenerek tokluğu en yüksek elektrod tespit edilmiştir [16].

Kara, R., Virdil, H., Çolak, F. ve Taşgetiren, S.’nin yaptıkları “ Difüzyon kaynağı ile birleştirilen Fe-Cu çiftinin mekanik özelliklerinin incelenmesi” çalışmaları şu şekildedir; ANSI 1020 çeliği ve elektrolitik bakır malzemeler difüzyon kaynağı için sıcaklık basınç ve süre parametreleri dikkate alınarak birleştirilmeleri araştırılmıştır. Deneyler, argon atmosferi altında, korumalı fırında, izostatik yük altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan birleştirme işleminden sonra kaynak bölgesinin mikroyapı incelemesi, çekme deneyi, darbe deneyi ve sertlik ölçümleri

yapılmıştır. Mikroyapı analizleri sonucunda artan sıcaklık ve süre ile çelik ve bakır malzemelerde tane irileşmesi söz konusu olmuştur. Çekme ve darbe deneyi sonuçları dikkate alındığında 800 °C sıcaklıkta 15 dakika da birleştirilen numuneler en iyi mekanik özellikleri sergilemişlerdir. Sertlik analizleri sonucu bakır bölgesi YMK kafesli doğası gereği en yumuşak bölge olarak tespit edilmiştir. Kaynak birleşme bölgesinin sertlik değeri açısından en düşük değere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak yapılan analizler sonucunda, sıcaklık, basınç ve süre gibi deney parametreleri dikkate alındığında, numuneler içinde en iyi özellikleri 800 °C de 3 N/mm² basınç altında 15 dakika beklenen numuneler sergilemiştir. Daha üst sıcaklıklara çıkılmasının herhangi bir avantaj sağlamayacağı tespit edilmiştir [17].

Durgutlu, A., Gülenç, B., ve Tülbentçi, K.'nın yaptıkları “Ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi” çalışmaları şu şekildedir; Düşük karbonlu çelikte, gaz altı (MAG), toz altı ve manuel ark kaynaklarında kaynak hızının nüfuziyete etkisi, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Düşük ve yüksek kaynak hızlarının kaynak dikişine, ana metal ve kaynak metalinin mikroyapısına etkisi belirlenmiştir. Çok düşük ve yüksek kaynak hızlarında nüfuziyet azaldığı için en uygun kaynak hızı kullanılmalıdır. Yüksek kaynak hızlarında dikiş kenarlarında yanma oyukları oluşmakta ve bu da kaynaklı bağlantıda çentik etkisi yapmaktadır. Düşük kaynak hızlarında büyük taneler, yüksek kaynak hızlarında ise küçük taneler elde edilmektedir. Düşük kaynak hızlarında aşırı şekilde elektrod, gaz ve toz kaybı olduğu için maliyet artmakta, yüksek kaynak hızlarında ise kaynak metalinin yeteri kadar korunamadığı tespit edilmiştir [18].

Uzkut, M., Ünlü, B. ve Akdağ, M., “Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş yüksek alaşımli iki farklı çeliğin mikroyapı ve mekanik özellikleri” başlıklı çalışmalarının amacını şu şekilde açıklamışlar ve şu sonuçlara ulaşmışlardır: Süpap imalatı endüstrisinde benzinli ve dizel motorlarının egzost süpaplarının iki farklı çelikten imal edilmesi zorunluluğu doğmuştur. Egzost süpaplarının sap kısımları sürtünmeye karşı mukavim, tok ve sünek bir malzeme olan 1.4871 (X45CrSi93) çeliğinden, kafa kısımları ise oksidasyona, kurşun ve diğer yanma ürünlerinden kaynaklanan sıcak korozyona karşı iyi dayanım gösteren 1.4718 (X53CrMnNi219) çeliğinden imal edilmektedir. Günümüz teknolojisinde bu çelik çifti sürtünme kaynağı ile

birleştirilebilmektedir. 12,30mm çapında 1.4871 ve 1.4718 malzemeden çelik çubuklar sürtünme kaynağı ile birleştirilerek numunelere çekme, çentik darbe, mikro sertlik deneyleri uygulanmış ve metalografik inceleme yapılmıştır. Çekme deneylerinde numunelerin kaynak bölgesinden kopmadığı belirlenmiştir. Mikro sertlik incelemesinde en yüksek değer 1.4718 malzeme tarafında gerçekleşmiştir. Kaynaktan uzak bölgelerde iç yapıda; 1.4871 malzemede ostenitik yapı, 1.4718 malzemede ise martenzitik yapı belirlenmiştir [19].

Karacif, K. ve İnem, B.'nin "Düşük karbonlu bir çeliğin kaynağında termomekanik işlemin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi" çalışmaları şu şekildedir: Düşük karbonlu çelik bir sacın kaynak bölgesi özelliklerinin geliştirilmesi, termo mekanik işlem yoluyla denenmiştir. Kaynak işleminin devamında kaynak dikişi sıcak haddeleme işlemine tabi tutularak sıcak plastik deformasyon sağlanmıştır. Kaynak ısısından faydalanılarak yapılan termomekanik işlem ile kaynak metali mikroyapısında tane boyutunda küçülme ve sertliğinde artış tespit edilmiştir. Termo mekanik işlem sonucunda kaynak metalinin darbe direnci azalmış, eğme testi sonucunda kaynak bölgesinde çatlaklar tespit edilmemiştir [20].

Taban, E. ve Kaluç, E. "EN AW-5083-H321 Alüminyum alaşımının MIG, TIG ve Sürtünen eleman ile birleştirme (FWS) kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özellikleri" çalışmaları kısaca şöyledir: Gemi inşa, otomotiv ve savunma sanayinde yoğun olarak kullanılan EN AW-5083-H321 dövme alüminyum levhalar, kaynaklı bağlantının mekanik ve mikroyapısal özelliklerini incelemek amacıyla, ergitme esaslı MIG, TIG kaynak yöntemleri ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynak (FWS) yöntemiyle kaynak edilmişlerdir. FWS kaynaklı levhada çarpılma tespit edilmezken ısı girdisi nedeniyle MIG ve TIG kaynağı uygulanmış levhaların çarpılmaları oldukça fazladır. Kaynak işlemi sonucunda tüm bağlantılar görsel olarak incelenmiş, mekanik özelliklerini saptamak amacı ile hazırlanan numunelere çekme ve eğme deneyleri uygulanmıştır. FWS kaynaklı bağlantıda kaynak dikişinde taşlama işlemi gerekmezken MIG ve TIG kaynaklı levhalarda kaynak sırasında tel elektrod ve gaz sarfiyatının yanı sıra dikiş taşkınlıklarının giderilmesi gibi maliyet arttırıcı etkenler çok fazladır. FWS ile kaynak edilmiş levhanın mekanik özelliklerinin MIG ve TIG kaynağı uygulanmış levhaların mekanik özelliklerine yakın ve kaynaklı bağlantının istenen düzeyde

olduğu ortaya çıkmıştır. Katı faz kaynak yöntemi olan FWS yöntemiyle oluşturulan bağlantının kaynak metali boyutları, MIG ve TIG kayağına göre daha küçüktür ve malzeme ergime sıcaklığına ulaşmadığından kaynak bölgesinde bağlantı performansını olumsuz etkileyecek metalurjik dönüşümler ve çökeltiiler bulunmamaktadır [21].

Durgutlu, A., Kahraman, N. ve Gülenç, B.'nin yaptıkları “Bakır ve çelik levhaların örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi ve ara yüzey özelliklerinin incelenmesi” çalışması ile; çelik ve bakır levhalar örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş ve kaynaklı bağlantıların mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır. Düşük karbonlu çelik ve bakır malzemeler bronz elektrod ile her iki kaynak yöntemi ile de başarılı olarak birleştirilmişlerdir. Çekme testleri sonucunda kopma bakır malzemenin ortasından gerçekteşmiştir. Sertlik ölçümleri sonucunda, örtülü elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin sertliği TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerden daha fazladır. Mikroyapı incelemelerinde kaynaklı bölgelerde düzenli bir geçişin olduğu, TIG kaynağı ile birleştirilen numunelerin tane büyüklüğünün daha fazla olduğu tespit edilmiştir [22].

şık, A. ve Kayabaş, Ö. “Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan Alüminyum kaynağında kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin incelenmesi” çalışmalarında: Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile AA 1050 Alüminyum levhalar alın pozisyonda birleştirilerek oluşan bağlantının mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynak esnasında karıştırıcı ucun devir hızı ve kaynak ilerleme hızları değişken parametreler olarak seçilmişlerdir. Alüminyum alaşımı başarılı bir şekilde çift taraftan ve tek taraftan birleştirilmişlerdir. Kaynak ilerleme hızı sabit iken artan kaynak devir hızlarında kaynak dikişlerinin görüntüsünde, malzemeye giren ısı miktarının da artmasıyla bozulmalar meydana gelmiştir. Kaynak bölgelerine uygulanan çekme testlerinde numuneler kaynak dikişinin hemen yanındaki ITAB bölgesinden kopmuştur. Bütün kaynaklı numunelerde esas metalden kaynak metaline doğru gidildikçe sertlik değerinde bir düşüşün meydana geldiği görülmektedir. Daha yüksek devir ve ilerleme hızı kullanılarak soğuma hızı arttırılabilir, dolayısıyla tane boyutunda incelme sağlanarak sertlik düşüşü daha da azaltılabilir [23].

Çelik, S. ve Ay, İ. yaptıkları “Koruyucu gaz altında difüzyon kaynağı ve uygulaması” çalışmalarını şu şekildedir: Oksitlenmeye müsait olan saf bakır ve alüminyuma argon gazı altında difüzyon kaynak tekniği uygulanmıştır. Bu malzemelerin bağlanma kabiliyetini araştırmak için deney seti tasarlanmış ve bir seri deney yapılmıştır. Alüminyum ve bakır malzeme çiftleri difüzyon kaynağında en başarılı sonuçları 560 °C sıcaklıkta ve 4,5 Mpa basınçta ve 60 dakikalık bekleme süresi ile argon gazı koruması altında vermiştir. Alüminyum ve bakır malzeme çiftinin boru numuneleri ile yapılan deneylerde difüzyon kaynağı yapılabileceği saptanmıştır. Kaynaklı parçalar çekme deneyine tabi tutulmuş, kopmanın gevrek şekilde alüminyum tarafında olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik birleşmenin bakır bölgesinde olmasına karşılık kırılmanın alüminyum tarafında olmasının nedeni; yüksek sıcaklıkta difüzyon sırasında oluşan fazların bakıra göre daha az sünek olan alüminyum içinde gevreklik yaratmasındandır [24].

Kahraman, N., Gülenç, B. ve Durgutlu, A. “Toz altı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması” çalışmaları şu şekildedir: Toz altı ark kaynağı ile düşük karbonlu çelik malzemeler OE S1 kaynak teli ve OP139 kaynak tozu ile üç değişik tel uzunluğu kullanılarak birleştirilmiş ve birleştirmenin mekanik ve metalurjik özellikleri araştırılmıştır. Toz altı kaynağında serbest tel uzunluğunun artmasına bağlı olarak, yığılan toz miktarının artmasıyla yavaş soğuma gerçekleştiğinden, kaynak metali ve ITAB'deki sertlik değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Çekme testleri sonunda kopma birleştirmelerin tümünde, ana malzemenin gerçekleşmiş ve kaynaklı numunelerin çekme değeri ana malzemenin çekme değerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kaynak metali mikroyapılarında, artan serbest tel uzunluğu ile beraber martenzit oluşumunda azalma görülmüş ve bunu sertlik değerleri desteklemiştir [25].

Taşkın, M., Çay, V. ve Özdemir, N. “Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI 430/Ç1010 çelik çiftinin ara yüzey mikroyapı değerlendirilmesi” çalışmalarında: AISI 430 ve Ç1010 çelik çifti belirli parametrelerde sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin birleşme ara yüzeyinde artan devir sayısı ve sürtünme basıncına bağlı olarak meydana gelen metalurjik değişiklikleri belirlemek için optik mikroskop

kullanılmıştır. Ara yüzeylerde mikro sertlik ölçümleri, ara yüzeyde meydana gelen mikroyapı ile ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir. Birleşme ara yüzeyinde en şiddetli plastik deformasyon AISI 430 tarafında gözlenmiştir. Paslanmaz çelik tarafındaki aşırı deformasyon, bu malzemenin ısı kapasitesinin Ç1010 çeliğinden yaklaşık %60 daha fazla olması ve plastik şekil değiştirme yeteneğinin yüksek olmasındandır. Kaynaklı birleştirmelerin birleşme bölgesinde meydana gelen mikroyapısal bozunum ve plastik deformasyon miktarındaki değişim üzerinde, devir sayısı ve sürtünme basıncının önemli derecede etkili olduklarını göstermiştir [26].

Kölük, F. ve Gülenç, B. “Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak yönteminin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi” çalışmaları ile Ostenitik paslanmaz çelik numuneler farklı kaynak ağız biçimlerinde hazırlanarak, farklı paso sayılarında farklı bazı ergime kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiştir. Vickers sertlik, çekme, eğme deneyi yapılarak kaynak metalinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bütün kaynak yöntemleri uygun şartları sağlamakla birlikte TIG kaynağı ile yapılan dikişler daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Süneklik açısından TIG kaynak yöntemiyle “X” kaynak ağızı açılarak yapılan birleştirmelerin yüzde uzamasının daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Eğilme gerilmesinde farklılık gözlenmekle beraber bazı numunelerde çatlaklar tespit edilmiştir. Günümüz endüstrisinde kullanılan paslanmaz çeliklerin değişik kaynak yöntemleri ile birleştirebilirliği sağlanmıştır [27].

Magnabosco, I., Ferro,P., Bonollo, F. ve Anberg, L'nin yaptığı “Bakır ve paslanmaz çeliğin elektron ışın kaynağında birleştirilmesi ve mikroyapılarının incelenmesi” çalışmasında; üç farklı ostenitik paslanmaz çelik ile bakır plakalar elektron ışın kaynağıyla birleştirilmiştir. Numunelerin farklı kalınlıklarına göre farklı kaynak parametreleri kullanılarak kaynak bölgesinin şekilsel, mikroyapısal ve mikro sertlik analizleri çıkarılmıştır. Farklı kalınlıklara göre ayrılan numunelerde, ostenitik paslanmaz çelik ile birleştirilen bakırın üç farklı tabakası incelenmiştir. Bütün numunelerde iki dengesiz safhanın mikroyapısı belirlenmiştir. Bu yapılar bakırca ve demir, krom, nikelce zengin yapılardır. Buna, bakır ve çelik arasında düşük çözünürlük olması, kaynak tekniği ve soğuma hızı gibi faktörler sebep olduğu belirlenmiştir. Kaynaklı alaşımlarda, farklı ergime sıcaklıkları nedeniyle mikroyapıda dentrit alanlar ve mikro çatlaklar oluşmuştur. Bu çalışma ile farklı metal kaynaklarının çok kritik olabileceği, kaynak

parametrelerinin optimal seviyede yapılması gerektiği, statik, dinamik ve mekanik özellikleri belirlemek için daha fazla deneyin yapılması gerektiği sonuçlarına varılmıştır [28].

Liming. L., Shengzi, W. ve Limin, Z.'nin yaptığı “Farklı magnezyum alaşımı ve bakırın bindirme TIG kaynağıyla kaynatılması” çalışmasında; farklı magnezyum alaşımı ve bakır bindirme kaynak formunda TIG kaynağında kaynatılmıştır. Ara yüzey bölgelerinin farklı birleşimlerinde intermetalik bileşenler gözlenmiştir. Birleşmenin gerilme direnci 25 Mpa’dır. Ara katmandaki demir tabaka ile birleşmenin kırılma direnci tamamen azaltılarak gerilme direnci 70 MPa olarak ölçülmüştür. Birleşmedeki başarısızlık demir plaka ve magnezyum plaka arasında yer almıştır. Metal oksitler, demir tabaka ve magnezyum alaşımı arasında ara yüzeyde tespit edilmişlerdir. Ayrıca metal oksitlerin oluşması kaynak direncini etkileyen ana sebeplerdendir [29].

Haltaş, Ö.’nin yaptığı “Gazaltı, tozaltı ve elektrik ark kaynak yöntemleri ile kaynaklanan numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi” konulu yüksek lisans çalışmasında; düşük karbonlu çelik malzeme gazaltı (MAG), tozaltı ve elektrik ark kaynak yöntemleri ile kaynaklanarak, kaynaklı numunelerin ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), kaynak metali, makro ve mikroyapıları incelenmiş ve kaynak yöntemlerinin makro ve mikroyapılara etkileri mukayeseli olarak araştırılmıştır. Ayrıca kaynak metalinin çekme, eğme, çentik ve sertlik değerleri gibi mekanik özellikleri incelenerek birbirleri ile mukayese edilmişlerdir. Yapılan tüm deneyler sonunda en iyi sonuçlar gazaltı (MAG) kaynak yöntemi ile kaynak edilen kaynak metalinden elde edilmiştir [30].

Nemez H.’nin yaptığı “Düşük karbonlu çeliklerin örtülü elektrod ark ve MAG kaynak yöntemleriyle kaynaklanabilirliğinin ekonomik yönden incelenmesi” konulu yüksek lisans çalışmasında; düşük karbonlu çeliklerin örtülü elektrod ark ve MAG kaynak yöntemleriyle kaynaklanabilirliğinin ekonomik yönden incelenmesi amaçlanmıştır. Esas malzeme olarak St 37 çeliği kullanılmış, kaynak işlemlerinde rutil ve bazik elektrodlarla ark kaynağı, karbondioksit ve karışım gazı ile de MAG kaynak yöntemleri uygulanmış ve maliyetleri hesaplanarak bir

karşılaştırma yapılmıştır. MAG kaynak yönteminin örtülü elektrod kaynak yöntemine göre zaman, işçilik ve maliyet yönünden daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır [31].

Mor, M. O.'nın yaptığı “Çeliklerin ark kaynağında ön tavlama sıcaklığının ITAB mikroyapısı ve sertliğine etkisi” konulu yüksek lisans çalışmasında; %0,20, %0,42 ve %0,84 karbonlu yapı çeliklerinin kaynağında ön tavlamanın mikroyapı ve sertlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. 200x80x10 mm boyutlarındaki numuneler oda sıcaklığında ve 100⁰C, 200⁰C ve 350⁰C ön tav sıcaklıklarında manuel ark ve MAG kaynak yöntemleriyle kaynatılmıştır. Manuel ark kaynak işleminde rutil ve bazik elektrodlar kullanılırken MAG kaynağında SG2 kaynak teli kullanılmıştır. Kaynatılan numunelerin mikroyapıları incelenerek fotoğraflanmış ve sertlikleri ölçülmüştür. %0,20 karbonlu malzemede ön tavlamanın ITAB sertliğine herhangi bir etkisi olmazken, %0,42 karbonlu malzemede 100⁰C ön tavlama işleminden sonraki ön tavlama ile yapılan kaynak işlemlerinden sonra ITAB sertliğinin 350 VSD altına indiği gözlemlenmiştir. %0,84 karbonlu çelikte ön tavlama, sertliğin kritik değeri olan 350 VSD altına düşürmemiştir. Artan karbon oranı ile birlikte ITAB’da çatlaklar gözlemlenmiştir. Uygulanan ön tavlama işlemleriyle kaynak bölgesinde oluşan çatlaklarda azalma tespit edilmiştir. Bazik elektrodlarla yapılan kaynaklarda kaynak bölgesinin sertliği diğer elektrod ve kaynak yöntemleriyle yapılan kaynak bölgesi sertliğine göre daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Tüm kaynak numunelerinin mikroyapı incelemelerinde ön tavlama sıcaklığı arttıkça malzemenin tane boyutları önemli ölçüde küçülmüş buna karşılık ITAB’nin genişlediği gözlemlenmiştir [32].

Durgutlu, A.’nın yaptığı “Patlama kaynağı yöntemi ile bakır-paslanmaz çelik malzemelerinin birleştirilmesi ve arayüzeyin mekanik-mikroyapı özelliklerinin incelenmesi” konulu doktora çalışmasında; bakır ve paslanmaz çelik levhaların, farklı oranlarda patlayıcı miktarı ve ara boşluk mesafeleri kullanılarak patlamalı kaynak yöntemi ile birleşebilirlikleri araştırılmıştır. Patlama kaynağı ile bakır ve paslanmaz çelik malzemelerin iyi birleşebilme özellikleri sergileyerek birleştirilebildiği deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Birleşme ara yüzeyinde intermetalik bileşenler oluşmamıştır. Patlayıcı oranının ve ara boşluk mesafesinin arttığında, doğrusal biçimdeki ara yüzeyinin dalgalı bir birleşme ara yüzeyi haline dönüştüğü görülmüştür. Patlayıcı oranının ve ara boşluk mesafesinin artışıyla beraber, oluşan

dalgaların boylarında ve genliklerinde bir artış olmuştur. Çarpışmadan kaynaklanan deformasyondan dolayı levhaların birleşme ara yüzeyleri ve dış yüzeyindeki sertlik değerlerinde bir artışın meydana geldiği tespit edilmiştir. Patlayıcı oranı ve ara boşluk mesafesinin artmasıyla beraber oluşan dalgalanmadan dolayı birleşme yüzey alanının arttığı ve çekme-makaslama testlerinde ayrılmaların oluşmadığı belirlenmiştir. Birleştirilmiş numunelere uygulanan farklı çaplardaki eğme testleri sonucunda, birleşme yüzeyinde herhangi bir hataya rastlanılmamıştır. Birleştirilen levhalara uygulanan SEM-EDS analizlerinden, birleşme ara yüzeyinde difüzyonun oluşmadığı fakat farklı sürelerde yapılan ısı işlemler ile difüzyonun oluşabileceği tespit edilmiştir [33].

Yapılan bu çalışma ile diğer çalışmalardan farklı olarak; bakır ve çelik malzemeler, piyasada en çok kullanılan örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle kaynatılarak, kaynaklı bölgelerin metalurjik ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Kaynaklı numunelere uygulanan deneylerin sonuçları incelenerek dayanımı en yüksek kaynak yönteminin tespiti yapılmıştır. Ayrıca kaynak yöntemlerinin ekonomikliğinin birbiri ile kıyaslanması sonucu da en ekonomik kaynak yöntemi tespit edilerek, bu tarz farklı metallerin birleştirilmesinde kullanılabilecek kaynak yöntemi belirtilmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmada kullanılan çelik ve elektrolitik bakır malzemeler 160x30x30mm (eğme deneyi), 70x30x30mm (çekme deneyi), 30x20x20mm (çarpma deneyi) ebatlarında temin edilmişlerdir. Deney parçaları kaynak edilmeden önce, Garp Linyitleri İşletmesi (G.L.İ) malzeme laboratuvarında “Spectrolab–LAB M5” marka Spektrometre ile analiz edilerek, malzemelerin standart numaraları tespit edilmiştir. Kullanılan Spektrometre cihazı ile bakır ve çelik malzemelerin içindeki 64 farklı elementin oranları bulunabilmektedir. Spektral analiz değerleri Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2.’de verilmiştir.

5.1. Malzemeler ve Özellikleri

Çelik ve bakır malzeme için spektrometre analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çelik malzeme (%) analizi.

Element	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Cu	Fe	Mo,Al,Co,Nb,Ti,V,W,Pb, Sn,Mg,Zr,Bi,Ta,B,Zn,P
% Oranı	0,190	0,128	1,00	0,0526	0,135	0,0684	0,232	97,95	Eser Miktarda
	0,189	0,134	1,01	0,0468	0,134	0,0705	0,235	97,97	

Çizelge 5.2. Bakır malzeme (%) analizi.

Element	<u>Zn</u>	<u>Pb</u>	<u>Sn</u>	<u>P</u>	<u>Ni</u>	<u>Mn</u>	<u>Al</u>	<u>Cu</u>	Fe,Si,Mg,Cr, Te,As,Se,Sb, Cd,Bi,Ag,Co,S
% Oranı	0,0342	0,0125	0,00892	0,00374	0,0116	0,00030	0,00020	99,91	Eser Miktarda

5.2. Elektrodlar ve Özellikleri

Kaynak işleminde kullanılan elektrodlar, kataloglardan seçilerek temin edilmişlerdir. Örtülü elektrod ark kaynağında E CuSn 7, MIG Kaynağında SG CuSn 6 bronz elektrodları seçilmiştir. Seçilen bu elektrodlar malzeme içerikleri açısından birbirlerine çok yakın niteliktedirler. TIG Kaynağı için ise örtülü elektrod ark kaynağında kullandığımız elektrodun örtüsü kırılarak ve temizlenerek kullanılmıştır.

Örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında kullanılan elektrodun özellikleri;

E CuSn 7

Standartlar:	DIN 1733	EL - Cu Sn 7
	AWS/ASME SFA-5.6	E Cu Sn - C
	TS 9463	E Cu Sn 7

Uygulama alanları ve özellikleri:

Bakır ve alaşımlarında, çelik, dökme çelik, kır dökme demirden yapılan piston kolları, dişliler, kılavuzlar, türbin ve santrafuj kanatları, gemi pervaneleri, motor kollektör ve valf yatakları, kavramalar ve eksantrikler gibi makine parçalarının birleştirme kaynaklarında veya bu malzemeler üzerine bronz dolgu kaynaklarında kullanılır. Bakır ve alaşımlarında kalın parçaların kaynağında 350°C'ye kadar ön tavlama yapılmalı ve bu sıcaklık kaynak işlemi süresince korunmalıdır. Hem AC hem de DC' de kaynak yapılabilir. Elektrodlar kaynak öncesinde 300°C'de 2 saat kurutma işlemine tabi tutulmalıdır [34].

Çizelge 5.3. Tipik kaynak metali yüzde (%) analizi

Sn	Cu	Diğer
7	92	1

Çizelge 5.4. Kaynak metalinin mekanik özellikleri

Isıl işlem	Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Sertlik (HB)
AW/KS	130	290	110

Çizelge 5.5. Elektrod çapı kaynak akımı (Amper-A) verileri

Elektrod Çapı	Ø2,5	Ø3,2	Ø4,0	Ø5,0
Akım - Amper	50-80	80-130	130-180	180-220

MIG Kaynak yöntemi için kaynak teli;

SG Cu Sn 6

Standartlar:	DIN 1733	SG Cu Sn 6
	AWS/ASME SFA-5.7	ER Cu Sn - A

Uygulama Alanları ve Özellikleri:

Bakır-kalay (Cu-Sn; bronz), bakır-çinko (Cu-Zn; pirinç) ve bakır-kalay-çinko-kurşun (Cu-Sn-Zn-Pb) alaşımlarının gaz altı (MIG) kaynağında ve yüzey kaplamasında kullanılan % 6 kalay alaşımlı bakır (bronz) kaynak telidir. Bakır alaşımlarının çeliklerle birleştirilmesinde, bronz dökümlerin tamir kaynağında, dökme demirlerin ve çeliklerin yüzeylerini kaplanmasında kullanıma da uygundur. Büyük parçaları (5mm daha kalın) kaynak yaparken 250–350°C' de ön tav yapılmalıdır.

Çizelge 5.6. Kaynak telinin / çubuğunun tipik yüzde (%) analizi.

Sn	P	Cu
6.3	0.25	93,45

Çizelge 5.7. Kaynak metalinin mekanik özellikleri.

Isıl İşlem	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Sertlik (HB)
AW/KS	160	280	90

Kimyasal kompozisyon ve mekanik özellikler aşağıdaki koruyucu gazın kullanılması durumunda geçerlidir.

EN 439'a göre koruyucu gaz : a) 100% Ar b) 100% He c) Ar+He

Koruyucu gaz tüketimi : yaklaşık 12 lt/dak [34].

5.3. Kaynak Hazırlıkları ve Kaynak Yöntemleri

Malzemeler kaynatılmadan önce tüm kaynak yöntemlerinde, alıştırma iş parçalarıyla ön çalışmalar yapılmış ve en uygun kaynak parametreleri değerlerinde kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2.3. ve 2.4.’ten açılacak kaynak ağzları seçilerek, malzemelere uygulanan tüm kaynak yöntemlerinde, kaynak öncesinde 40° “X” kaynak ağzı açılmış ve parçalar arasında 2mm mesafe bırakılmıştır (Şekil 5.1.). Isı kaybının olmaması için reflektör altlıkların üzerinde, 300–350°C ön ısıtma yapılmıştır. Her bir kaynak yöntemi için seçilen uygun elektrodlarla malzemeler önce puntalanmış ardından kaynak edilmişlerdir. Ayrıca tüm kaynak yöntemlerinde pasolar arası geçiş sıcaklıkları da gözlenmiştir.



Şekil 5.1. Deney numunelerine açılan kaynak ağzı resimleri

- a) Deney malzemelerine açılan “X “ kaynak ağzı resmi.
b) Kaynak öncesi deney malzemelerine açılan kaynak ağzları.

Kaynak işleminde kullanılan parametreler Çizelge 5.8.’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Kaynak parametreleri.

Kaynak Yöntemi	Kaynak Akımı (Amper)	Kaynak hızı (cm/dak)	Gaz Basıncı – Argon Litre / Dakika	Akım tipi DC / AC
Ört. Elektrod Ark Kaynağı	110	10	-	DC +
TIG Kaynağı	110	6	12	DC -
MIG Kaynağı	110	6	12	DC -

5.3.1. Örtülü elektrod ark kaynağı

Örtülü elektrod ark kaynağında; 3,25 mm çapında örtülü bronz elektrod (E Cu Sn 7) kullanılmış ve elektrodlar 200°C’de 4 saat kadar kurutulma işlemine tabi tutulmuşlardır. Kaynak işleminde Oerlikon 550 Amper kaynak makinesi kullanılarak, 110 Amper akım altında, 10m/dak. kaynak hızı ile yatay konumda kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynatılan malzemelerin cürupları soğutulduktan sonra mekanik yöntemlerle temizlenmiştir.

5.3.2. TIG kaynağı

TIG kaynağında da örtülü elektrod ark kaynağında olduğu gibi bronz elektrod (ECuSn7) kullanılmıştır. Fakat 3,25mm çapındaki elektrodun dış kabuğu kırılarak elektrod tamamen çıplak hale getirilmiş ve örtünün iyice temizlenmesi için bronz metal zımparalanmıştır. 300–350°C ön ısıtmadan sonra, elektrod yandan elle kaynak bölgesine verilerek malzemeler önce puntalanmış ve saf argon gazı koruması altında, 110 Amper akım ve 6 m/dak. kaynak hızı ile kaynak işlemi bitirilmiştir. Argon gazının gaz tüketimi 12 lt/dak ve tüp basıncı 15 bar’dır. Kaynak işleminde “UMS –TIG 350” TIG kaynak makinesi kullanılmıştır.

5.3.3. MIG kaynağı

MIG kaynağında “SG CuSn 6” (bronz) kaynak teli kullanılmıştır. Reflakter altlıkların üzerinde 300–350°C ön ısıtmadan sonra malzemeler punta ile birleştirilerek ve saf argon gazı koruması altında, 6 m/dak kaynak hızı ile kaynak işlemi tamamlanmıştır. Kaynak işleminde “Kempoweld Wire 400” kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak esnasında argon gazı tüketimi 12 lt/dak, tüp basıncı 15 bar, akım 110 Amper ve tel hızı 7 m/dak. dır.

5.4. Kaynak Kontrolü ve Mikroyapı Fotoğrafları

Örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle kaynatılan deney numuneleri ultrasonik yöntemle muayene edilmiştir. Kaynak bölgesinde yapılan bu muayene “Vitosonic” marka ultrasonik kontrol makinesiyle yapılmıştır.

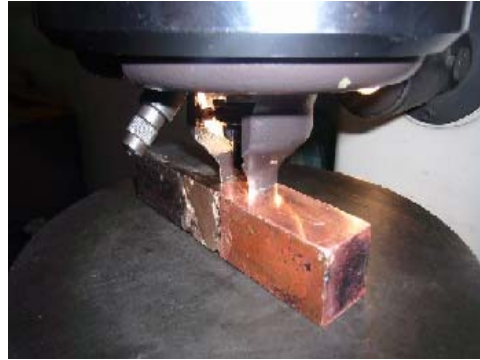
Metalografi mikroskobunda mikroyapı fotoğraflarının çekimi için deney malzemeleri ilk önce frezede işlenmiş ve taşlama tezgâhında taşlanmıştır. Laboratuardaki fotoğraf

çekiminden önce polisaj makinesinde parlatılmış ve sonra da dağlanmıştır. Dağlama işlemini iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk önce bakır ve bronz kaynak metali için; 10gr. amonyum peroksit sülfat ve 100gr. saf su karışımı, çelik için ise; %3 oranında nitrik asit çözeltisi hazırlanarak malzemeler dağlanmıştır. Deney fotoğraflarının çekiminde 50–1500 kez büyütme özelliğine sahip “Nikon FX–35W” marka metalurji mikroskobu kullanılmıştır.

5.5. Mekanik Deneyleer

5.5.1. Sertlik deneyi

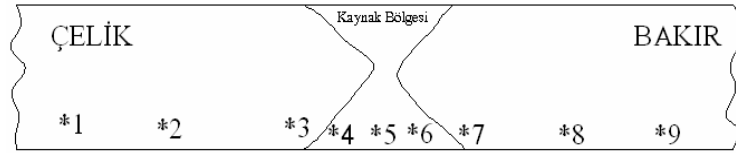
Kaynaklı deney numunelerinin yüzeyleri frezede temizlenerek ve sertlik ölçme işlemi için gerekli hassasiyete getirilmiştir. Sertlikler kaynak işlemi öncesinde ve sonrasında “Wolpert” marka sertlik ölçme cihazıyla “Brinell” (Hardness Brinell-HB) cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümü esnasında kullanılan bilyenin uygulanan yükten dolayı malzemeye ne çok batarak iz ağzının kabarması, ne de az dalıp belirsiz iz oluşturması istenir. En uygun bilye izini oluşturacak yük miktarı ve bilye çapı seçilmelidir [12]. Bu sebeple sertlik ölçme işlemi esnasında her iki malzemede de 2,5 mm çapında bilye kullanılmış ve bakır malzemeye 62,5 kg, çelik malzemeye ise 187,5 kg yük uygulanarak sertlikler tespit edilmiştir.



Şekil 5.2. Kaynak sonrası sertlik ölçümlerinin yapılması.



Şekil 5.3. Kaynak sonrası sertlik ölçümü yapılmış malzemeler.

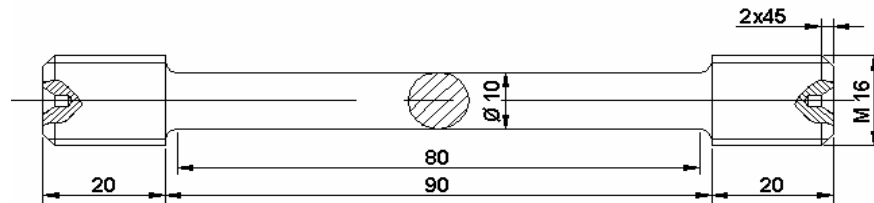


Şekil 5.4. Kaynak sonrasında sertliklerin alınması.

Sertlik ölçme için kullanılan numuneler daha sonra işlenerek mekanik testlerde kullanılmışlardır. Numunelerin sertlikleri çelik, kaynak metali ve bakır malzemeden en az üç sertlik alınarak ölçülmüş bu sertlik değerlerinin ortalamaları değerlendirilmiştir.

5.5.2. Çekme deneyi ve numunelerin hazırlanması

Kaynak edilen numunelerde kaynaklı bölge çekme deney çubuğunun tam ortasında kalacak şekilde takım tezgâhlarında hazırlanmıştır.



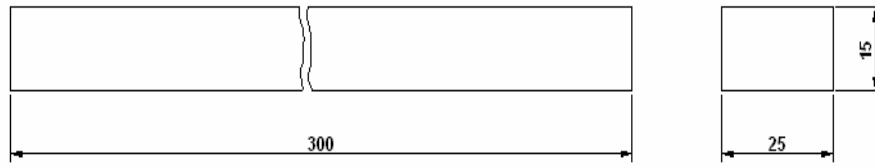
Şekil 5.5. Çekme deneyi parça resmi (TS 138).

Çekme deneyi “Wolpert–Testor–Amsler” test cihazıyla oda sıcaklığında 1 m/dak ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyin yapılışı esnasında, parçaların çekme grafiği

çizilerek malzemelerin çekme gerilmesi ve uzama miktarı tespit edilmiştir. Ayrıca deney malzemelerinin kopma kuvveti elektronik olarak ekrandan okunmuştur.

5.5.3. Eğme deneyi ve numunelerin hazırlanması

Kaynak edilen numunelerde kaynaklı bölge eğme deney numunesinin tam ortasında kalacak şekilde takım tezgâhlarında göre hazırlanmıştır.



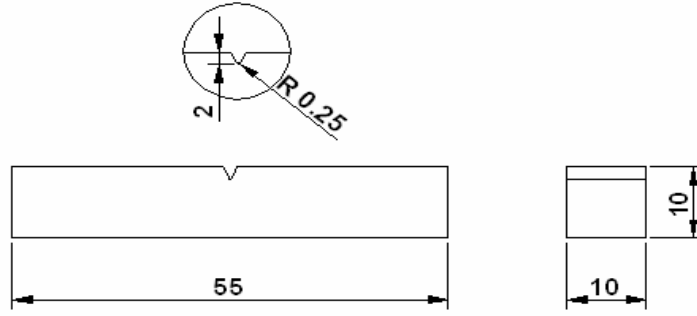
Şekil 5.6. Eğme Deneyi parça resmi (TS 205).

Eğme deneyi “Wolpert–Testor–Amsler” test cihazıyla oda sıcaklığında 1 m/dak ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilmiştir.

Eğme işleminde deney malzemelerine kırılıncaya kadar 1 m/dak ilerleme hızıyla maksimum kuvvet uygulanmıştır. Deney malzemeleri cihazda 170 mm çene açıklığı ile eğme deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney cihazı çene açıklığı $L_m = 50 + 3b + (b/2) + 50$ formülüyle hesaplanarak bulunmuştur. (L_m : Eğme deneyi makine çene açıklığı, b : deney malzemesi genişliği, h : deney malzemesi kalınlığı)

5.5.3. Çarpma deneyi ve numunelerin hazırlanması

Kaynakla birleştirilen numunelerde kaynaklı bölge çarpma deney numunesinin tam ortasında kalacak şekilde takım tezgâhlarında hazırlanmıştır. Çentik kaynak bölgesinin tam ortasından Şekil 5.7’de ki gibi açılmıştır.



Şekil 5.7. Çarpma Deneyi parça resmi (TS 269).

Çarpma deneyleri “Lempzig” marka deney cihazı ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çekiç ağırlığı 19,92 kg ve kol boyu 790 mm dir.

Uygulaması yapılan tüm kaynak yöntemleriyle birleştirilen numunelere üç adet deney (eğme, çekme, çarpma deneyleri) uygulanmıştır. Her bir deney, iki adet deney numunesiyle gerçekleştirilmiş ve alınan sonuçların ortalamaları değerlendirmede kullanılmıştır. Yani her bir kaynak yöntemiyle 6 adet, toplamda 18 adet deney numunesi kaynak yöntemleri ile kaynatılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

5.6. Ekonomiklik ve Maliyet Verileri

Deney malzemelerinin ekonomiklik ve maliyet hesapları iki şekilde yapılmıştır. İlk önce; deney malzemelerinin kaynak işleminden önce ve sonra ağırlıkları ölçülerek, kaynaklı bir malzemeye ortalama olarak kaç gram ilave metal (elektrod) boşaltıldığı hesaplanmıştır. Kullanılan kaynak yöntemlerinin hepsinde 1cm³ kaynak metaline yapılan masraflar bulunarak, kaynak yöntemlerinin birbirleri ile kıyaslanması sonucu ne kadar hesaplı ve ekonomik olduğu yüzde (%) olarak tespit edilmiştir. İkinci olarak ise, kaynak yöntemlerine göre 1 m kaynak dikişine yapılan masraflar hesaplanmıştır.

Örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında kullanılan bir elektrodun fiyatı 3,65 YTL ve ağırlığı ortalama 35gr'dır. Dış kabuktaki örtü kırıldığında elektrodun ortalama (çekirdek) ağırlığı 25 gr olmaktadır. Aynı şekilde MIG kaynağında kullanılan kaynak telinin 1 kg fiyatı da 49 YTL dir. Ayrıca kaynak esnasında tüketilen diğer malzeme fiyatları; argon gazının 1 m³'ü

9YTL, asetilen gazının 9kg'ı 150 YTL, Oksijen gazının 1 m³'ü 16 YTL olarak tespit edilmiştir. Ortalama olarak ön ısıtma süresi 4 dakika, TIG ve MIG kaynağında ki kaynak süresi 5 dakika ve argon gazı tüp basıncı 15 bar'dır. Kaynak sırasında tüketilen elektrod ve gaz gibi girdilerin birim fiyatları günümüz piyasasından ve fabrika satış fiyatları üzerinden araştırılarak tespit edilmiştir. Ayrıca 1 m kaynak dikişinin maliyetini bulmak için gerekli olan veriler ise; kaynak bölgesi kesit alanı 4,76 cm² ve örtülü elektrod çekirdek ağırlığı 25gr'dır. MIG kaynak teli ve örtülü elektrod için; kaynak metali yoğunluğu 8,7gr/cm³, elektrod verimi %112 dir [34].

Çizelge 5.9. Kaynak öncesi ve sonrası deney parçalarının ağırlıkları.

Kaynak Yöntemi / Parça No	Kaynak öncesi ağırlık (gr.) (bakır+çelik)	Kaynak sonrası ağırlık (gr.) (bakır+çelik)	Kaynak metali ağırlığı (gr.)	Ortalama ağırlık (gr.)
Ört. Elek. Ark. Kaynağı	1026	1150	124	121
	1044	1162	118	
TIG Kaynağı	1012	1122	110	117
	1016	1140	124	
MIG Kaynağı	1056	1178	122	118
	1072	1187	114	

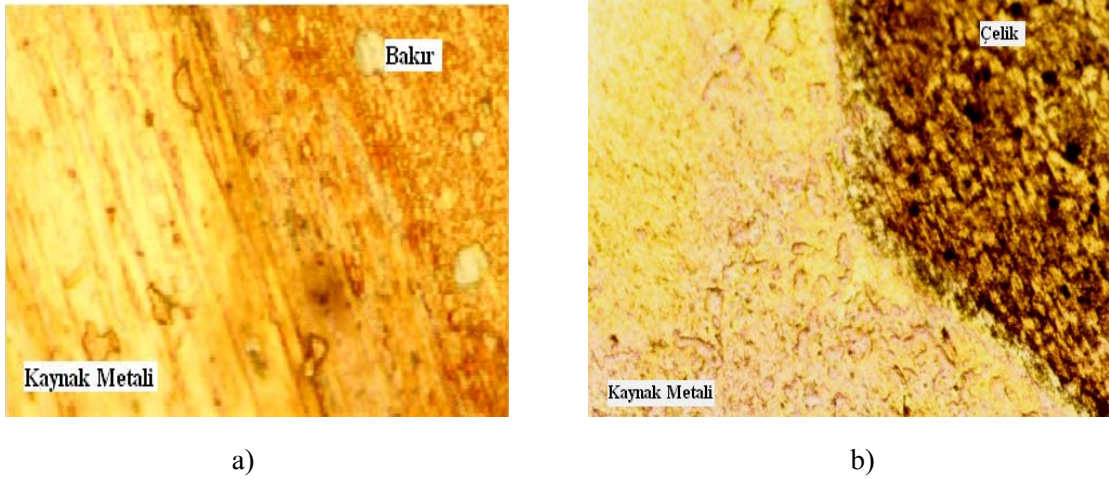
Kaynak bölgesine boşaltılan kaynak metali ortalama ağırlıkları birbirlerine yakın olduğu için kaynak bölgesine boşaltılan kaynak metali ağırlığı tüm kaynak yöntemlerinde 120 gr. alınmıştır. Kaynak yöntemlerinde makinelerin kaynak için harcamış olduğu elektrik giderleri, kullanılan kaynak makinesinin eski veya yeni teknoloji olmasına göre değişebilmektedir. Bu sebeple; elektrik giderleri, örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında kaynak öncesi elektrod kurutma işlemi giderleri ve işçilik masrafları maliyet hesabı dışında bırakılmıştır. Bunun yanında yine kaynak öncesi ve sonrası yapılan çalışmalar (ağız açma, temizleme, taşlama gibi), kaynak makine ve teçhizatının bakım, yıpranma payı giderleri ve gerektiğinde uygulanan gerilme giderme tavı giderleri de hesaba katılmamıştır.

6. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan bu deneysel çalışmada, bakır ve düşük karbonlu çelik malzemeler, piyasada en çok kullanılan kaynak yöntemleri olan örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kaynatılmıştır. Kaynaklı deney malzemeleri takım tezgâhlarında deneyler için işlendikten sonra tahribatlı ve tahribatsız bir takım deneylere tabi tutulmuş, alınan sonuçlar değerlendirilerek dayanım ve mukavemeti en yüksek kaynak yöntemi tespit edilmiştir. Ayrıca kaynak yöntemlerinin ekonomiklik açısından da kıyaslaması yapılarak, bu şekilde farklı metallerin kaynakla birleştirilmesinde en uygun ve en hesaplı kaynak yönteminin tespiti yapılmıştır.

6.1. Mikroyapı Sonuçları

6.1.1. Örtülü elektrod ark kaynağı

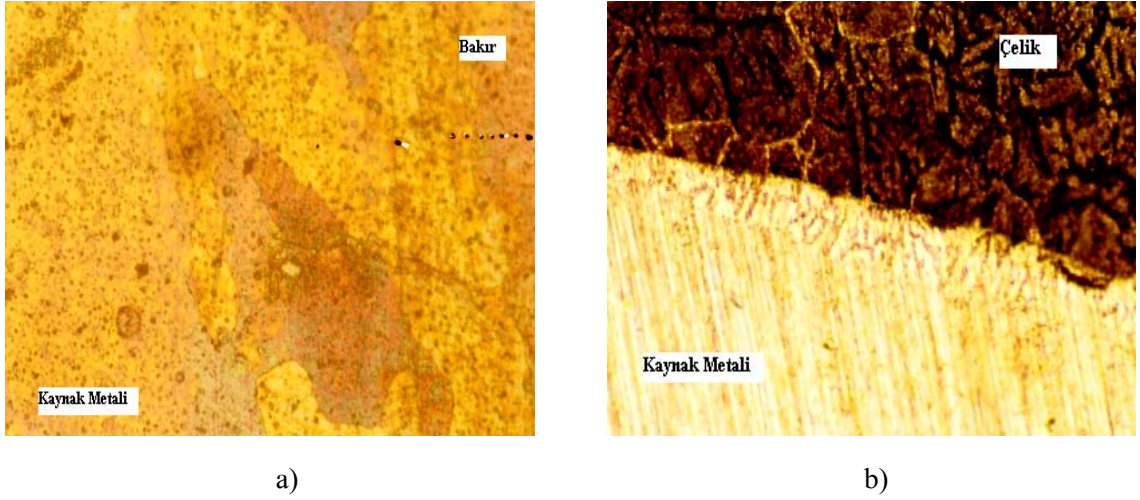


Şekil 6.1. Örtülü elektrod ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri. a) Kaynak metali – bakır malzemenin birleşme bölgesi mikroyapı fotoğrafı. (x150)
 b) Kaynak metali – çelik malzemenin birleşme bölgesi mikroyapı fotoğrafı. (x150)

Şekil 6.1. deki örtülü elektrod ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin mikroyapı fotoğraflarında tam bir birleşmenin gerçekleştiği, kaynak metali, çelik ve bakır malzeme arasında düzenli geçiş bölgelerinin olduğu görülmektedir. Birleşmenin çelik tarafında, kaynak metali ile çelik malzeme arasındaki geçiş bölgesi net ve belirgin bir şekildedir. Bakır malzeme tarafında ise geçiş bölgesi, kullanılan kaynak metalinin içeriği sebebi ile doğal olarak net ve

belirgin bir şekilde oluşmamıştır. İlave metal, geçiş bölgesinde adeta bakır malzemenin devamı gibi görülmektedir. Her iki geçiş bölgesinde de kaynak metali homojen bir yapı sergilemekte, ana malzeme ve kaynak yönü doğrultusunda bir yönelme göstermemektedir.

6.1.2. TIG kaynağı

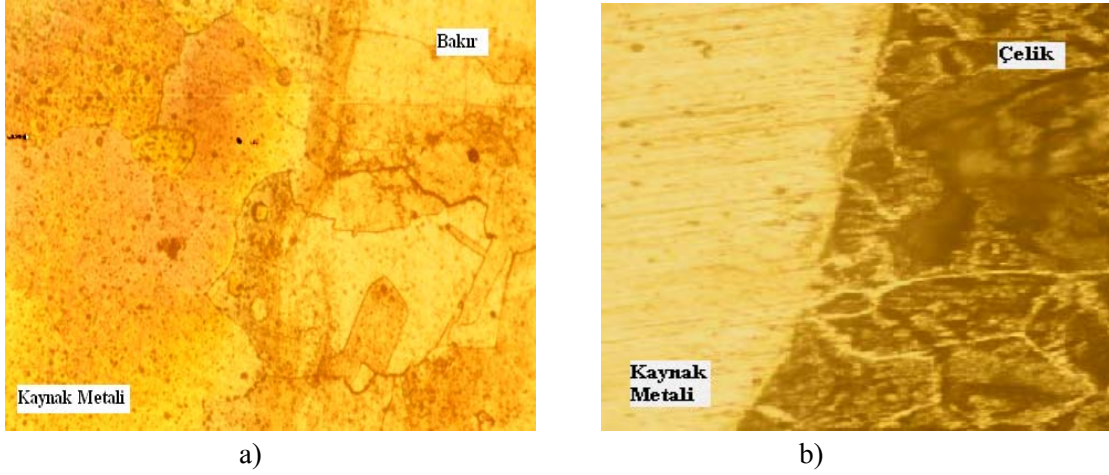


Şekil 6.2. TIG Kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri.

- a) Kaynak metali – bakır malzemenin birleşme bölgesi mikroyapı fotoğrafı. (x300)
- b) Kaynak metali – çelik malzemenin birleşme bölgesi mikroyapı fotoğrafı. (x300)

Şekil 6.2’ de görülen TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, örtülü elektrod ark kaynağı ile TIG kaynağının mikroyapıları benzer özellikler içermektedir. Bu kaynak yönteminde de örtülü elektrod ark kaynağında olduğu gibi, geçiş bölgeleri, bakır malzeme ve kaynak metali arasında kaynak metalinin içeriği sebebiyle belirgin değil, adeta bakır malzemenin devamı niteliğinde görülmektedir. Fakat çelik malzeme ile kaynak metali arasındaki geçiş bölgesi ise, oldukça belirgin bir şekilde görülmektedir. Kaynak metali, gerek bakır ve gerekse çelik malzeme tarafında ana malzemeye doğru bir yönelme göstermemiş, homojen bir görüntü sergilemiştir.

6.1.3. MIG Kaynağı



Şekil 6.3. MIG Kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri.

- a) Kaynak metali – bakır malzemenin birleşme bölgesi mikroyapı fotoğrafı. (x300)
- b) Kaynak metali – çelik malzemenin birleşme bölgesi mikroyapı fotoğrafı. (x300)

Şekil 6.3'te görülen MIG Kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde; bronz kaynak teli kullanılması sebebiyle kullanılan diğer kaynak yöntemlerindeki sonuçlara benzer mikro yapı sonuçları ortaya çıkmaktadır. Geçiş bölgesi, bakır malzeme ve kaynak metali arasında belirgin bir çizgi halinde olmayıp, kaynak metali bakır malzemenin devamı gibi görünmektedir. Kaynak metali ve çelik malzeme tarafında ise, geçiş bölgesi oldukça belirgin ve düzgün bir çizgi halinde bir oluşum göstermiştir. Bakır ve çelik malzemenin geçiş bölgelerinde kaynak metali diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi homojen yapıda olup kaynak yönünde ve ana metale doğru bir yönelme sergilememiştir. Ayrıca kaynak esnasındaki ısı girdisi sebebiyle bakır ve çelik malzemelerin geçiş bölgelerinde tane irileşmesi fark edilmektedir.

Her üç kaynak yönteminin de mikroyapıları benzer özellikler içermektedir. Geçiş bölgeleri; bakır ve kaynak metali arasında net bir görünüm sergilemezken, çelik ve kaynak metali arasında belirgin bir haldedir. Bakır malzeme tarafında, kaynak metali bakır ile daha çok uyum sağlamış ve bakır malzemenin devamı gibi görünüm sergilemiştir. Kullanılan bronz kaynak telinin yüksek oranda bakır içermesi bu görünümün oluşmasına sebep olmuştur. Kaynak

metali ve çelik malzeme tarafında ise geçiş bölgesi oldukça belirgin ve bir çizgi halindedir. Kaynak metali ve çelik malzemenin farklı içeriğe sahip olması bu görünümün oluşmasının sebebidir. Kaynak bölgesinin çelik tarafında daha uygun bir geçişin sağlanabilmesi malzemelerin içerik farkından dolayı mümkün değildir.

Kahraman ve Durgutlu, yapmış oldukları bir çalışma ile paslanmaz çelik ve bakır malzemeleri bronz elektrod ile örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemiyle birleştirmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde, kullanılan bronz elektrodun bakır esaslı olması sebebiyle birleşmenin bakır tarafında geçiş bölgesinin ana malzeme ile karışık bir hal aldığı, paslanmaz çelik tarafında ise geçiş bölgesinin belirgin bir çizgi halinde oluştuğunu belirtmişlerdir [14].

Kahraman ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada da, ark kaynak yöntemi ile paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik malzemeleri farklı iki elektrod ile birleştirmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde elektrod ile ana malzemeler arasındaki kimyasal bileşim farkı etkisini göstererek geçiş bölgelerinde keskin geçişler sergilediğini belirtmişlerdir [15].

Durgutlu ve arkadaşları, bakır ve çelik malzemelerin kaynatılması üzerine yaptıkları bir çalışmada, TIG kaynak yönteminde ile yapılan kaynak esnasında ısı girdisinin fazlalığı sebebiyle, kaynak bölgesinde tane irileşmesinin örtülü elektrod ark kaynağına göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir [22].

Kara ve arkadaşları Fe-Cu çiftini difüzyon kaynağı ile birleştirmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde ısının bakırın ergime sıcaklığı olan 1083°C 'ye yaklaşmasıyla aşırı tane büyümesinin gerçekleştiğini belirtmişlerdir [17]. Ergimenin gerçekleştiği kaynak bölgesinin hemen yanında tane büyümesinin fazla olduğu mikroyapı fotoğraflarında görülmektedir.

Yapılan bu çalışmada tespit edilen sonuçlar, literatürdeki veriler ile uyum sağlamakla birlikte elde edilen bulguların doğruluğunu desteklemektedir.

6.2. Kaynak Kontrolü

Kaynak bölgelerinin içinde kaynak esnasında boşlukların ve cüruf kalıntılarının kalıp kalmadığını kontrol etmek için, örtülü elektrod, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle birleştirilmiş

deney numuneleri ultrasonik muayene ile kontrol edilmiş ve kaynak bölgelerinin sağlıklı olduğu tespit edilmiştir.

6.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

Malzemelerin kaynak işlemi öncesinde sertlik değerleri ölçülmüş ve bu değerler Çizelge 6.1.'de verilmiştir. (2,5 mm bilye çapı, 187,5–62,5 kg uygulanan kuvvet)

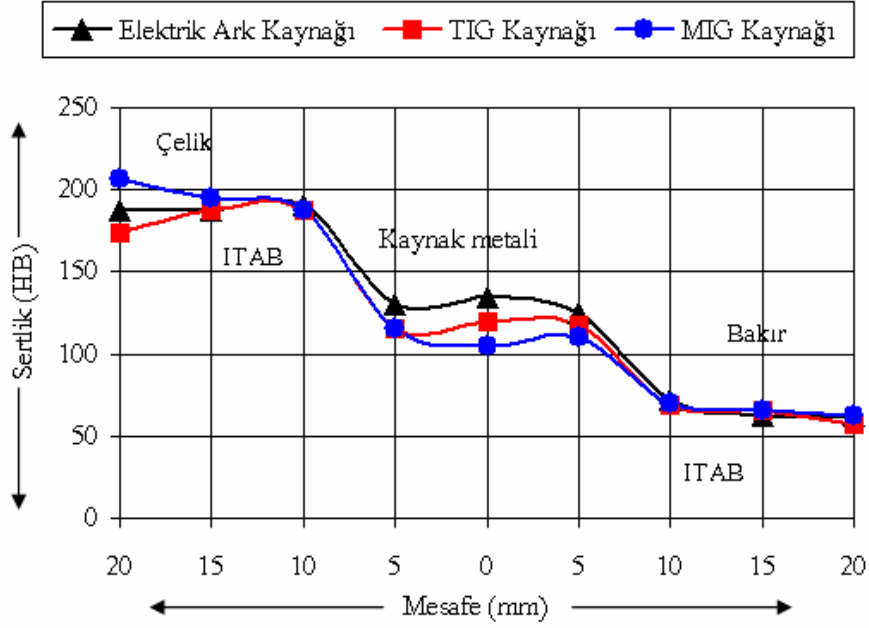
Çizelge 6.1. Malzemelerin kaynak işlemi öncesindeki sertlikleri.

Malzeme	Sertliği ve Birimi
Ç 1030	187 HB 2,5/187,5
Bakır	80 HB 2,5/62,5

Sertlik testinde kullanılan numuneler, sertlik değerleri alındıktan sonra takım tezgâhlarında işlenerek deneyler için standart boyutlara getirilmiş ve deneylerde kullanılmışlardır. Her üç kaynak yönteminde de Şekil 5.4'te gösterilen bölgelerden sertlik değerleri alınmıştır.

Çizelge 6.2. Deney parçaları sertlikleri.

Sertlik Bölgesi		Elektrik Ark Kaynağı		TIG Kaynağı		MIG Kaynağı	
Çelik	1	187 HB 2,5/187,5	Ortalama 188,3 HB	174 HB 2,5/187,5	Ortalama 182,7 HB	207 HB 2,5/187,5	Ortalama 196,3 HB
	2	187 HB 2,5/187,5		187 HB 2,5/187,5		195 HB 2,5/187,5	
	3	191 HB 2,5/187,5		187 HB 2,5/187,5		187 HB 2,5/187,5	
Kaynak Bölgesi	4	130 HB 2,5/62,5	Ortalama 130 HB	115 HB 2,5/62,5	Ortalama 117,7 HB	115 HB 2,5/62,5	Ortalama 110 HB
	5	135 HB 2,5/62,5		120 HB 2,5/62,5		105 HB 2,5/62,5	
	6	125 HB 2,5/62,5		118 HB 2,5/62,5		110 HB 2,5/62,5	
Bakır	7	71,7 HB 2,5/62,5	Ortalama 65,5 HB	68,8 HB 2,5/62,5	Ortalama 63,9 HB	69,5 HB 2,5/62,5	Ortalama 65,8 HB
	8	62,4 HB 2,5/62,5		66,2 HB 2,5/62,5		65,8 HB 2,5/62,5	
	9	62,4 HB 2,5/62,5		56,8 HB 2,5/62,5		62,1 HB 2,5/62,5	



Şekil 6.4. Deney numuneleri sertlik grafiği.

Kaynak işleminde kullanılan elektrodların sertlikleri; örtülü elektrod ve TIG kaynak elektrodu =110 HB, MIG kaynak teli =90 HB. (sertlik değerleri kataloglardan alınmıştır.)

Sertlik değerleri ortalamaları ve grafik incelendiğinde (Şekil 6.4.), tüm kaynak yöntemlerinde bronz kaynak metalinin kullanılması ile ölçülen değerler birbirine yakın biçimde oluşmuştur. Kaynak öncesi ölçülen değerler ile kaynak sonrasında ölçülen değerler karşılaştırıldığında (Çizelge 6.1.-6.2.); çelik malzemenin sertliğinin pek değişmediğini fakat bakır malzemenin biraz yumuşadığını, kaynak metalinin ise sertleştiği görülür. Bakır malzemenin sertliğinin kaynak sonrasında düşmesinin nedeni; kaynak öncesinde 300–350°C'ye varan bir sıcaklıkta ön ısıtmaya tabi tutulması ve ardından kaynak işleminin gerçekleştirilerek kaynak ile birlikte önemli miktarda ısı yüklemesinin yapılmasıdır. Soğuma esnasında ise yeniden kristalleşerek yumuşamayı gerçekleştirmiştir. Bronz kaynak metalinin ise, kaynak işleminde sonra ani soğuma maruz kalması sebebiyle sertliğini arttırmıştır.

Deney parçalarının sertlik değerleri kaynak yöntemine göre incelendiğinde (Şekil 6.4.), birleşmenin çelik ve bakır tarafında çok fazla bir değişiklik gözle çarpmamaktadır. Kaynak bölgesinde en sert yöntem örtülü elektrod kaynağıdır. TIG ve örtülü elektrod kaynağında aynı

tür kaynak metali kullanılmasına rağmen, TIG kaynağında elektrodun kabuğu kırılıp temizlendikten sonra kaynak işlemi gerçekleştirildiği için, kaynak bölgesinin sertliği örtülü elektrod kaynağında daha fazla olmuştur. Kahraman [14], örtülü elektrodteki örtünün kaynak bölgesinde, kaynak metalini dış etkilerden koruma görevinin yanında, kaynak metalini alaşımlandırma görevinin de olduğunu, dolayısıyla elektrodun örtüsünde var olan manganez, fosfor ve diğer elementlerin kaynak metalini alaşımlandırarak sertliğinin yükselmesine neden olduğunu belirtmiştir. Bu sebeple TIG kaynağında kullanılan elektrod, örtüsünden arındırıldığı için kaynak bölgesi örtülü elektrod ark kaynağından daha yumuşak olmuştur. MIG kaynak telinin kaynak öncesindeki sertliği, örtülü elektrod ve TIG kaynağında kullanılan elektrodta daha yumuşak olduğu için kaynak sonrası sertliği de diğer kaynak yöntemlerinden daha az olmuştur. Bu sebeple kaynak bölgesinde en sert kaynak yöntemi sırasıyla; örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleri olmuştur.

Kahraman ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliği, örtülü elektrod ark kaynağı ile farklı elektrodlar kullanarak birleştirmişlerdir. Sertlik incelemelerinde elektrod örtüsündeki elementlerin sertliğe, tokluğa ve mukavemete etki ettiğini belirtmişlerdir [15]. Başka bir çalışmada da, düşük kaynak hızının malzemeye uygulanan ısı girdisini arttırması sebebiyle sertliğin düştüğünü belirtilmiştir [14].

Kölük, paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak yöntemlerinin incelemesini yaptığı çalışmada, sertlik artışının sebebini elektrod örtüsündeki karbon ve krom oranlarının yüksekliğine bağlamıştır [27].

Literatürde belirtilen sonuçlar ile yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar paralellik göstermekte olup, sonuçların doğruluğunu desteklemektedir.

6.4. Çekme Deneyi Sonuçları

Deney malzemelerinin örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle kaynatılarak yapılan çekme deneyi sonuçları Çizelge 6.3.'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Çekme deneyi sonuçları.

Kaynak yönt./ Par.no	Çekme Day. Max. (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması
Ört. Elektrod Ark Kaynağı	180,13	20	18
TIG Kaynağı	169,01	17	15
MIG Kaynağı	202,53	22	21

Kaynaklı numunelere yapılan çekme testleri sonucunda, bütün numunelerde kopma işlemi, kaynak bölgesinin bakır tarafında gerçekleşmiştir. Birleştirmenin çelik malzeme tarafında ise herhangi bir farklılık gözlenmemiştir. Bakır malzemenin 300–350°C'ye kadar bir ön ısıtmaya tabi tutulması ve kaynak esnasındaki ısı girdisi ile birlikte yeniden kristalleşme oluşturup yumuşaması, kopmanın bakır malzeme tarafında olmasının sebep olmuştur. Bu yumuşama aynı zamanda süneklik artışına da sebep olmuş ve bakır malzemenin çekme dayanımı düşürmüştür. Ayrıca çelik malzemenin çekme dayanımının bakır malzemeye göre daha yüksek olması sebebiyle kopma bakır malzeme tarafında gerçekleşmiştir.

Farklı kaynak metodları kullanılmasına rağmen çekme dayanımlarının birbirine yakınlığı deney sonuçlarında fark edilmektedir. En yüksek çekme mukavemeti sırasıyla MIG, örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında olmuştur.

Durgutlu, ostenitik paslanmaz çelik ile bakır malzemeleri patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirmiş, çekme ve makaslama deneylerine tabi tutmuş ve kopmanın bakır malzeme tarafında gerçekleştiğini belirtmiştir [33].

Kahraman ve arkadaşları, paslanmaz çelik ile bakır levhaları örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve kopmanın bakır malzemenin ortasında olduğunu belirtmişlerdir [14].

Kara ve arkadaşları, Fe-Cu çiftini difüzyon kaynağı ile birleştirmişler ve uyguladıkları çekme deneyi sonucunda kopmanın birleştirmenin bakır malzeme tarafında gerçekleştiğini belirtmişlerdir [17].

Kopmanın bakır malzeme tarafında meydana gelmesi literatür ile paralellik içinde olup yapılan deneyin sağlıklı olduğunu göstermektedir.

6.5. Eğme Deneyi Sonuçları

Çizelge 6.4. Eğme deneyi sonuçları.

Kaynak yöntemi	Eğme Yüğü (N)	Eğme Gerilmesi ($\Gamma=3Pl / 2bh^2$)
Örtülü Elektrod Ark Kaynağı	11840,67	245,54 N/mm ²
TIG Kaynağı	11830,86	241,34 N/mm ²
MIG Kaynağı	13699,66	279,47 N/mm ²

Farklı kaynak yöntemleriyle kaynatılan malzemelerin eğme deneyi sonuçları incelendiğinde, değerler arasındaki yakınlık hemen göze çarpmaktadır. MIG kaynak yöntemi ile kaynatılan malzemeler en yüksek eğilme gerilimine sahiptirler.

Deney sonuçları Çizelge 6.4.'te incelendiğinde, tüm numunelerde ölçülen eğme gerilimleri birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. Kaynak yöntemlerine göre en yüksek eğilme gerilimi sırasıyla; MIG, örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemlerinde gerçekleşmiştir. TIG ve örtülü elektrod ark kaynağında aynı tür elektrodun kullanılmış olması bu iki kaynak yöntemi arasındaki sonuçların çok yakın çıkmasına neden olmuştur. Örtülü elektrod ark kaynağında, elektrod örtüsünün kaynak metalini alaşımlandırması sonucunda az da olsa eğilme gerilimi TIG kaynağından fazla olmuştur.

Kahraman ve arkadaşları, ostenitik paslanmaz çelikleri ark kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve eğme deneyi değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiş ve elektrik ark

kaynağında uygun ilave metal seçilmesi durumunda ana malzemelerin mekanik özelliklerine yakın birleştirmelerin elde edilmesinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir [15].

Durgutlu, paslanmaz çelik ve bakır malzemeleri patlamalı kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve eğme deneyleri sonucunda ara yüzeylerde hiçbir şekilde intermetalik bir bağlantının gerçekleşmediğini, bu tarz birleştirmelerin başarılı bir şekilde yapılabileceğini açıklamıştır [33].

Deney sonuçları her üç kaynak yönteminin de eğme deneyi için uygun olduğunu göstermektedir.

6.6. Çarpma Deneyi Sonuçları

Örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle kaynatılan bakır ve çelik malzemeler kaynak bölgesinden çentik açmak suretiyle çarpma testine tabi tutulmuşlardır.

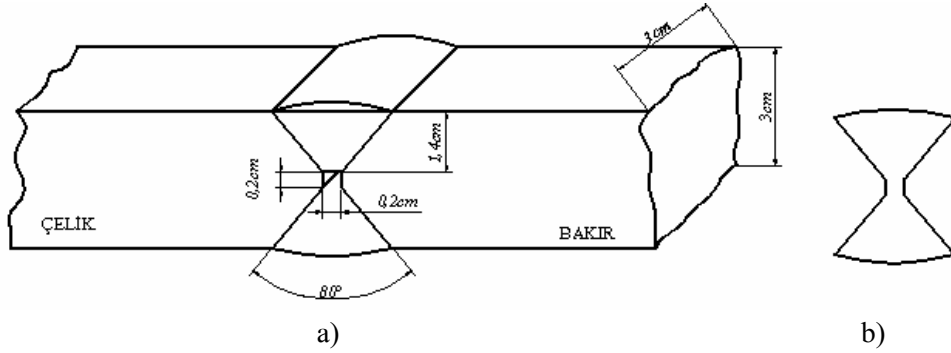
Çizelge 6.5. Çarpma deneyi sonuçları.

Kaynak yönt./ Par.no	Çentik Darbe Dayanımı
Örtülü Elektrod Ark Kaynağı	14,5 Joule
TIG Kaynağı	12 Joule
MIG Kaynağı	16,5 Joule

Çarpma (çentik darbe) deneyine tabi tutulan malzemelerin deney sonuçları birbirlerine yakın değerlerdedir. Sonuçların bu şekilde yakın değerlerde çıkması kaynak yöntemlerinin hepsinde bronz elektrod kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca kaynak hızlarının farklı olması sebebiyle kaynak bölgesine yüklenen ısı miktarı da farklı olmuştur. Bu da deney parçalarında ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) soğuma esnasında yeniden kristallenme yaparak [22] önceki sertliğinden daha yumuşak duruma gelmesine dolayısıyla sünekliğinin artmasına sebep olmuştur. Ayrıca örtülü elektrod kaynağında örtünün kaynak metalini alaşımlandırarak sertliğini arttırdığını sertlik incelemelerinde belirtilmişti. Çarpma deneyinde malzemelerdeki tokluk ve süneklik en yüksek kaynak yönteminden itibaren sıralanır ise; MIG, örtülü elektrod ark ve TIG kaynağı olmuştur.

6.7. Kaynak Yöntemlerinin Ekonomikliğinin Karşılaştırılması

Kaynak işlemi öncesinde ve sonrasında deney malzemelerinin ağırlıkları ölçülerek ortalama bir deney parçasına 120gr. kaynak metali boşaltıldığı tespit edilmiştir (Çizelge5.9.).



Şekil 6.5. Kaynaklanmış malzemelerin kaynak hacmi.

a) Kaynak ağzı genel ölçüleri b) Kaynaklı bölgenin kesiti.

Kaynak ağzı kesit alanı $A = 4,76 \text{ cm}^2$ (Alan hesabı bilgisayara yaptırılmıştır.)

Hacmi $V = A \cdot h = 4,76 \times 3 = 14,28 \text{ cm}^3$ tür (Şekil 6.5.).

Yoğunluk formülü ile $d = m / V$, $d = 120 \text{ gr} / 14,28 \text{ cm}^3$, $d = 8,4 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğu bulunur.

(Yani 1 cm^3 'e 8,4 gr. kaynak metali boşaltmıştır.)

Örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında kullanılan bir tane elektrodun ağırlığı 35 gr'dır, fakat elektrodun dış örtüsü kırıldığında elektrodun (çekirdek) ağırlığı 25 gr. olmaktadır. Yani bir elektrod ile 25 gr. kaynak metali boşaltılabilmektedir.

1 cm^3 'e boşaltılan elektrod miktarı ve maliyeti; 8,4 gr. kaynak metali, bir örtülü elektrodun 0,34'ü ve bir elektrodun fiyatı ise 3,65 YTL'dir. Harcanan elektrodun maliyeti de 1,24 YTL olmaktadır. Örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında aynı tür elektrod kullanıldığı için yapılan elektrod masrafları aynıdır.

MIG Kaynağında kullanılan bronz kaynak teli de kaynak ağızlarına aynı miktarda boşaltılmıştır. Yani bu kaynak yönteminde de $8,4 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğu vardır. 1 kg fiyatı 49 YTL olduğuna göre 1 cm^3 'e boşaltılan kaynak teli fiyatı 0,41 YTL'dir.

MIG ve TIG kaynağında örtülü elektrod ark kaynağından farklı olarak kaynak bölgesindeki ergiyiği korumak için kullanılan gazdan dolayı ekstrasdan gaz masrafı ortaya çıkmaktadır. Kaynak esnasında koruyucu gaz tüketimi 12 lt/dak olduğu için 5 dakika kaynak süresince $12 \times 5 = 60$ lt koruyucu gaz (argon) tüketilmiştir. Yani 60 lt Argon gazı 120 gr kaynak metali için harcanmıştır. 1 cm^3 'e boşaltılan kaynak metali 8,4 gr olduğuna göre, 1 cm^3 için harcanan argon gazı 4,2 lt'dir. Piyasa koşullarında argon gazının 1 m^3 'ü 9 YTL'dir. ($1 \text{ lt} = 1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3$) 1lt argon gazı 0,009 YTL ve 1 cm^3 için gaz maliyeti 0,03 YTL'dir.

Tüm bu maliyetlerin yanında, kullanılan kaynak yöntemlerinin hepsinde deney malzemeleri oksii-asetilen kaynağında kaynak işleminden önce normal üfleç (4-6 No) aleviyle ortalama 4 dakika $300-350 \text{ }^\circ\text{C}$ ye kadar bir ön ısıtmaya tabi tutulmuşlardır. Oksii-asetilen kaynağında kullanılan asetilen ve oksijenin dakikada ki kullanım oranları 1:1 dir [11]. Yani bir birim asetilen gazıyla bir birim oksijen gazı kullanılır. Ön ısıtmada işleminde 4-6 numaralı üfleç aleviyle asetilen ve oksijen gazı debisi 5 lt / dak dır [11]. Yani 4 dakika ön ısıtma süresince 20 lt asetilen ve oksijen gazı tüketilmiştir. Asetilen gazının 9 kg ($7,7 \text{ m}^3 = 7700 \text{ dm}^3 = \text{lt}$) 150 YTL ve Oksijen gazının 1 m^3 ($1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = \text{lt}$) fiyatı 16 YTL dir. 4 dakika ön ısıtma süresince harcanan 20 lt Asetilen gazı fiyatı 0,4 YTL, 20 lt Oksijen gazı fiyatı ise 0,3 YTL dir. Ön ısıtma toplam maliyeti $0,4 + 0,3 = 0,7$ YTL dir.

Kullanılan tüm kaynak yöntemlerinin 1 cm^3 kaynak metali için maliyetleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. 1 cm^3 kaynak metali için kaynak maliyetleri.

Kaynak yöntemi	1 cm^3 kaynak metali maliyeti (YTL)	1 cm^3 kaynak metali için gaz maliyeti (YTL)	Ön ısıtma maliyeti (YTL)	1 cm^3 kaynak metali toplam maliyeti (YTL)
Ört. Elektrod Ark Kaynağı	1,24	-	0,7	1,94
TIG Kaynağı	1,24	0,03	0,7	1,97
MIG Kaynağı	0,41	0,03	0,7	1,14

Hesaplanan değerler kaynak yöntemlerine göre bir biri ile kıyaslandığında;
 MIG–Örtülü elektrod ark kaynağı; $(1,94 - 1,14) / 1,94 = \%41$,
 MIG–TIG kaynağı; $(1,97 - 1,14) / 1,97 = \%42$ oranlarını tespit edilir.

Elde edilen veriler doğrultusunda en hesaplı kaynak yöntemi sırasıyla MIG, örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemi olmuştur. Çizelge 6.6. incelendiğinde örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında kullanılan elektrod fiyatının yüksek oluşu maliyetin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca TIG kaynağında koruyucu gaz masrafının da olması, bu kaynak yönteminin en pahalı yöntem olmasına neden olmuştur. MIG kaynağı; TIG kaynağından %42, örtülü elektrod kaynağından ise %41 daha ekonomik olarak hesaplanmıştır.

Kaynak yöntemlerine göre bir metre kaynak dikişine yapılan kaynak maliyetleri karşılaştırdığında:

Örtülü elektrod ark kaynağı için;

$$G = A \cdot L \cdot \varphi = 4,76 \cdot 100 \cdot 8,7 = 4141,2 \text{ gr/m (1m kaynak dikişi ağırlığı)}$$

$$n = \frac{G}{\mu \cdot g} = \frac{4141,2}{1,12 \cdot 25} = 147,9 \text{ adet elektrod (1m kaynak dikişi için gerekli olan elektrod sayısı)}$$

$$E_m = n \cdot f = 147,9 \cdot 3,65 = 539,8 \text{ YTL (1 m kaynak dikişi için elektrod maliyeti)}$$

TIG kaynağı için; örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında aynı tür elektrodlar kullanıldığı için, elektrod masrafı örtülü elektrod ark kaynağı ile aynıdır. Fakat TIG kaynağında ek olarak koruyucu gaz (argon) maliyeti de bulunmaktadır. 1 lt argon gazı 0,009 YTL'dir

$$G_s = G_b \cdot V = 15 \cdot 6 = 90 \text{ lt (1m kaynak dikişi için harcanan koruyucu gaz miktarı)}$$

$$G_m = G_s \cdot k = 90 \cdot 0,009 = 0,81 \text{ YTL (1m kaynak dikişi için koruyucu gaz maliyeti)}$$

$$\text{TIG kaynağı için toplam maliyet} = 539,8 + 0,81 = 540,61 \text{ YTL}$$

MIG kaynağı için; koruyucu gaz masrafı TIG kaynağında ki gibidir.

$$G = A \cdot L \cdot \varphi = 4,76 \cdot 100 \cdot 8,7 = 4141,2 \text{ gr/m} = 4,1412 \text{ kg/m (1m kaynak dikişi ağırlığı)}$$

Kullanılan SG Cu Sn 6 kaynak telinin 1 kg fiyatı 49 YTL olduğuna göre;

$$\text{MIG kaynağı için toplam maliyet} = (4,1412 \cdot 49) + 0,81 = 203,72 \text{ YTL}$$

Kullanılan tüm kaynak yöntemlerinin 1m kaynak dikiş için kaynak maliyetleri Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. 1m kaynak dikiş için kaynak maliyetleri

Kaynak yöntemi	1m kaynak dikiş maliyeti (YTL)	1m kaynak dikiş için koruyucu gaz maliyeti (YTL)	1m kaynak dikiş toplam maliyeti (YTL)
Ört. Elektrod Ark Kaynağı	539,8	-	539,8
TIG Kaynağı	539,8	0,81	540,61
MIG Kaynağı	202,91	0,81	203,72

1 m kaynak dikiş esas alınarak hazırlanan Çizelge 6.7. incelendiğinde, en ekonomik kaynak yöntemi sırasıyla; MIG, örtülü elektrod ark ve TIG kaynak yöntemleri olmuştur.

Gerek 1m boyundaki kaynak dikiş için gerekse 1cm³ kaynak dolgusu için (Çizelge 6.6.– 6.7.) yapılan her iki hesaplama şeklinde de en ekonomik kaynak yöntemi sırasıyla MIG, örtülü elektrod ark ve TIG kaynağı olmuştur.

Gerçektende MIG-MAG kaynak yönteminin maliyet açısından en uygun kaynak yöntemi olduğunu Nemez [31], “düşük karbonlu çeliklerin örtülü elektrod ark ve MAG kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğinin ekonomik yönden incelenmesi” çalışmasında belirtmiştir. Yapmış olduğu çalışmada Nemez, değişik kaynak ağız profillerinde ve koruyucu gaz karışımlarında, örtülü elektrod ark ve MAG kaynağının maliyet hesabını yapmış, her durumda en hesaplı yöntemin gazaltı (MAG) kaynak yöntemi olduğunu belirtmiştir. Yapılan maliyet hesabında MAG kaynağını, rutil ve bazik örtülü elektrodla yapılan kaynağa göre en hesaplı (en az %37, en çok %79) yöntem olarak tespit etmiştir.

Literatürdeki sonuçlar, çalışmamızın sonuçlarını destekler niteliktedir.

Yapılan bu çalışmada, deney parçalarına uygulanan tüm testlerin sonuçları ve maliyet hesaplarını incelendiğinde; MIG kaynak yöntemi ile yapılan bağlantının dayanım ve

mukavemet özellikleri, örtülü elektrod ark ve TIG kaynağı ile kaynatılmış deney numunelerinin sonuçlarına göre daha iyi veya onlara çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca maliyet açısından da MIG kaynak yöntemi en uygun ve en hesaplı kaynak yöntemidir. Bu sebeple günümüz sanayisinde en çok kullanılan örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile yapılacak olan farklı metallerin kaynak işlemlerinde kullanılması gereken yegâne kaynak yönteminin MIG kaynak yöntemi olduğu bu deneysel çalışmanın sonucu olarak söylenebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bakır ve düşük karbonlu çelik malzemelerin ark kaynak yöntemlerinden, örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleriyle birleştirilerek mekanik ve mikro yapı özelliklerinin araştırıldığı, dayanım ve ekonomiklik açısından en uygun kaynak yönteminin tespit edildiği bu çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir:

1. Kullanılan kaynak yöntemlerinde bronz elektrod kullanılması sebebiyle mikroyapılarda geçiş bölgeleri benzer özellikler göstermektedir. Geçiş bölgeleri, bakır ve kaynak metali arasında net bir halde değil iken, çelik ve kaynak metali arasında belirgin bir haldedir. Bronz kaynak metalinin yüksek oranda bakır içermesi bu görünümün oluşmasına sebep olmuştur. Kullanılan kaynak yöntemleriyle bronz elektrod kullanılarak, uygun kaynak parametreleri dâhilinde bakır ve çelik malzemeler sağlıklı bir şekilde kaynatılabilmektedir.
2. Kaynatılan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde en sert kaynak dikişi sırasıyla, örtülü elektrrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemlerinden elde edilmiştir. Örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında aynı tür kaynak metali kullanılmasına rağmen, elektrodteki örtünün kaynak dikişini alaşımlandırması sonucu örtülü elektrod ark kaynağı en sert kaynak yöntemi olmuştur. MIG kaynağında kullanılan kaynak metalinin sertliği örtülü elektrod ark ve TIG kaynağında kullanılan kaynak metalinin sertliğinden daha düşük olması sebebiyle, sertliği en az olan kaynak yöntemi de MIG kaynağı olmuştur.
3. Çekme, eğme ve çarpma deneylerinin sonucunda dayanımı en yüksek olan kaynak yöntemi MIG kaynak yöntemi olmuştur.
4. Kaynak yöntemlerinin maliyet açısından birbirileri kıyaslanması sonucunda en ekonomik kaynak yöntemi sırasıyla, MIG, TIG ve örtülü elektrod kaynak yöntemleri olmuştur.
5. Elde edilen tüm veriler doğrultusunda, örtülü elektrod ark, TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile bu şekilde farklı metallerin kaynatılması işlemlerinde, dayanımı en yüksek ve en ekonomik kaynak yönteminin MIG kaynağı olduğu tespit edilmiştir.

7.2. Öneriler

1. Daha farklı malzemelerin aynı kaynak yöntemleri kullanılarak kaynatılabilirliği araştırılabilir. Ayrıca kullanılan kaynak yöntemleri birbiri ile maliyet ve dayanım özellikleri ele alınarak kıyaslamaya tabi tutulabilir.
2. Farklı kaynak ağız profillerinde farklı elektrodlar kullanılarak dayanım özellikleri incelenebilir.
3. Farklı kaynak yöntemleri kullanılarak farklı metallerin birleştirilmesinde en ekonomik kaynak yönteminin tespiti yapılabilir.
5. Katı hal ve ark kaynak yöntemlerinden uygun olanlar seçilerek, kaynak yöntemlerinin birbirleri ile dayanım ve ekonomiklik açısından kıyaslamaları yapılarak en uygun kaynak yönteminin tespiti yapılabilir.
6. Farklı bileşime sahip bronz elektrodlar kullanılarak aynı malzemeler farklı kaynak yöntemleri ile kaynaklanabilir, mukavemet ve maliyet özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Adsan K., 1989, Elektrik Ark Kaynağı, Temel Ders Kitabı, M.E.B Basımevi, 125s.
- [2] Oğuz B., 1989, Demir Dışı Metaller Kaynağı, Oerlikon Yayınları, 700s.
- [3] Vural M., 2003, Kaynak ve Birleştirme Teknolojisi, İmal Usulleri Ders Kitabı, İ.T.Ü, 232s.
- [4] Eczacıbaşı Linkoln Elektrik, 2005, Örtülü Elektrod Ark Kaynağı, As Kaynak Yayınları.
- [5] Ark Kaynak Yöntemleri, Oerlikon Yayınları.
- [6] Oğuz, B., 1989, Ark kaynağı, Oerlikon Yayınları, 562s.
- [7] Eryürek İ B., 2003, Gazaltı Kaynağı, İ.T.Ü Makine Fakültesi, As Kaynak Yayınları, 100s.
- [8] Anık S., Vural M., Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), Gedik Eğitim Vakfı, 285s.
- [9] Anık S., 1991, Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Holding Yayınları, 220s.
- [10] Giachino, J.W., Johnson, G.S, 1976, Kaynak Teknolojisi, Yüksek Teknik Öğretmen Okulu Matbaası, 600s.
- [11] Serfiçeli, Y.K., 2004, Metal İşleri Meslek Teknolojisi 1-2, M.E.B yayınları, 460s.
- [12] Onaran K., 2003, Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayın Evi, 380s.
- [13] Güleç Ş., Malzeme Bilgisi Ders Notları, İ.T.Ü Makine Fakültesi, 195s.
- [14] Kahraman, N. ve Durgutlu, A., 2005, 316L Paslanmaz Çelik ile Bakır Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemi ile Birleşebilirliğinin Araştırılması, G.Ü. Teknoloji Dergisi, Sayı 1, 43-50s.
- [15] Kahraman, N., Gülenç, B. ve Akça, H., 2002, Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Ostenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, G.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 17, No 2, 75-85s.
- [16] Meriç, C. ve Okur, A., 2000, Rutil Örtülü Elektrodlarla Birleştirilmiş C22'nin Kaynak Bölgesinin Kırılma Tokluğunun İncelenmesi ve Uyumsuzluk Faktörünün Belirlenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Sayı 2, 95-105s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [17] Kara, R., Virdil, H., Çolak, F. ve Taşgetiren, S., 2006, Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilen Fe-Cu Çiftinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı 4, 45-52s.
- [18] Durgutlu, A., Gülenç, B., ve Tülbentçi, K., 1999, Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikro Yapıya Etkisi, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, Sayı 23, 251-259s.
- [19] Uzkut, M., Ünlü, B. ve Akdağ, M., 2006, Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş Yüksek Alaşımli İki Farklı Çeliğin Mikro Yapı ve Mekanik Özellikleri, C.B.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı 1, 11-17s.
- [20] Karacif, K. ve İnem, B., 2001, Düşük Karbonlu Bir Çeliğin Kaynağında Termomekanik İşlemin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, G.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 16, No1, 1-8s.
- [21] Taban, E. ve Kaluç, E., EN AW-5083-H321 Alüminyum Alaşımının MIG, TIG ve Sürtünen Eleman İle Birleştirme (FWS) Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikro Yapısal Özellikleri, Makine ve Mühendis, Cilt 46, Sayı 541.
- [22] Durgutlu, A., Kahraman, N. ve Gülenç, B., 2005, Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Ara Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, G.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 20, No 2, 183-189s.
- [23] Şık, A. ve Kayabaş, Ö., 2003, Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyum Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, G.Ü., Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, Sayı 12, 30-43s.
- [24] Çelik, S. ve Ay, İ., 1999, Koruyucu Gaz Altında Difüzyon Kaynağı ve Uygulaması, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, Sayı 23, 63-70s.
- [25] Kahraman, N., Gülenç, B. ve Durgutlu, A., 2005, Toz Altı Ark Kaynağı ile Kaynaklanan Düşük Karbonlu Çeliklerde Serbest Tel Uzunluğunun Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması, G.Ü., Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 18(3), 473-480s.
- [26] Taşkın, M., Çay, V. ve Özdemir, N., 2005, Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 430/Ç1010 Çelik Çiftinin Ara Yüzey Mikro Yapı Değerlendirilmesi, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, Teknoloji Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 65-70s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [27] Kölük, F. ve Gülenç, B., 2004, Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Yönteminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, G.Ü., Teknoloji Dergisi, Cilt 7, 693-700s.
- [28] Magnabosco, I., Ferro, P., Bonollo, F. and Anberg, L., 2006, An Investigation of Fusion Zone Microstructures in Electron Beam Welding of Copper-Stainless Steel, Materials Science and Engineering, A 424, 163-173p.
- [29] Liming, L., Shengzi, W. and Limin, Z., 2007, Study on The Dissimilar Magnesium Alloy And Copper Lap Joint by TIG Welding, Materials Science and Engineering.
- [30] Haltaş, Ö., 1999, Gazaltı, Tozaltı ve Elektrik Ark Kaynak Yöntemleri ile Kaynaklanan Numunelerin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 85s.
- [31] Nemez H., 2002, Düşük Karbonlu Çeliklerin Örtülü Elektrod Ark ve MAG Kaynak Yöntemleriyle Kaynaklanabilirliğinin Ekonomik Yönden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 94s.
- [32] Mor, M. O., 2001, Çeliklerin Ark Kaynağında Ön Tavlama Sıcaklığının ITAB Mikroyapısı ve Sertliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s.
- [33] Durgutlu, A., 2003, Patlama Kaynağı Yöntemi ile Bakır-Paslanmaz Çelik Malzemelerinin Birleştirilmesi ve Arayüzeyin Mekanik-Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s.
- [34] Oerlikon Kaynak Elektrodları Ürün Kataloğu, “www.oerlikon.com.tr”