



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

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**S355J2 MALZEMESİNİN BİRLEŞTİRME
YÜZEY AÇILARININ YAKMA ALIN KAYNAK
BAĞLANTISINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

MERVE KÖROĞLU

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ARALIK 2019



**S355J2 MALZEMESİNİN BİRLEŞTİRME YÜZEY AÇILARININ YAKMA
ALIN KAYNAK BAĞLANTISINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Merve KÖROGLU

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2019

Merve KÖROĞLU tarafından hazırlanan “S355J2 MALZEMESİNİN BİRLEŞTİRME YÜZEY AÇILARININ YAKMA ALIN KAYNAK BAĞLANTISINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Uğur ARABACI

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan Prof. Dr. Ahmet GÜRAL

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. Nurullah KIRATLI

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Dumlupınar Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 11/12/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Merve KÖROĞLU

11/12/2019

S355J2 MALZEMESİNİN BİRLEŞTİRME YÜZEY AÇILARININ YAKMA ALIN KAYNAK BAĞLANTISINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Merve KÖROGLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Günümüzde yakma alın kaynağı oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Otomotiv, elektrik, havacılık gibi endüstriler ile birlikte çeşitli ana rayların kaynakları da olmak üzere demir yolları ve zincir imalatı (baklaların kaynatılması) için de sık kullanılan bir yöntemdir. Yöntem dik kesite sahip alın, köşe ve halka biçimindeki düz ve silindirik parçaların kaynağında kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, S355 J2 Ø28 mm malzemenin yakma alın kaynağı ile birleştirilmesi öncesinde, değiştirilen birleştirme yüzey açısının malzemenin kaynak kalitesi ve metalurjik özelliklerine etkisini araştırmaktır. Çalışmada S355 J2 malzeme yine S355 J2 malzemeye sırasıyla 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° 'lik birleştirme açıları kullanılarak yakma alın kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirilen numunelere çekme, makro ve mikro sertlik testleri yapılmıştır. Ayrıca mikro yapı fotoğrafları alınarak kaynak kalitesi incelenmiştir. Uygun parametreler dâhilinde S355 J2 malzemeler, standart yakma alın kaynağı birleştirme açısı olan 90°'den farklı açılarda da birleştirilebilmektedir. Değiştirilen yüzey açıları (90°'den 30°'ye) birleşim yüzey alanı artmasına sebebiyet verirken, soğuma esnasında numunelerdeki ısı daha yavaş uzaklaşmıştır. Bu sebeple ITAB bölgesi ve özellikle iri taneli bölgenin, diğer açılara göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Çekme test sonuçları, sertlik sonuçlarıyla paralellik göstererek daha düşük açılarda, kısmen daha düşük sertlik ve çekme değerleri elde edilmiştir. En düşük sertlik değerleri, numunelerin kaynak bölgelerinde elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 91511

Anahtar Kelimler : Yakma alın kaynağı, S355 J2 malzeme, Kaynaklanabilirlik.

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Uğur ARABACI

INVESTIGATING OF THE EFFECT OF JOINING SURFACE ANGLES OF THE
S355J2 MATERIAL ON THE FLASH BUTT WELDING CONNECTION

(M. Sc. Thesis)

Merve KÖROGLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

Nowadays flash butt welding is spread over a wide area. It is a common method for the welding of railways and production of chains as well as industries such as automotive, electricity and aerospace. The method is used for the welding of flat and cylindrical shaped butt, corner and ring parts have vertical cross section. The aim of this study was to investigate the effect of the modified joint surface angle on the weld quality and metallurgical properties of the material before the S355 J2 Ø28 mm material was combined with the welding of the forehead. In the study, S355 J2 material was again combined with S355 J2 material by flash butt welding method by using angles of 30°, 45°, 60°, 75° and 90° respectively. Samples which welding were subjected to tensile, macro and micro hardness tests. In addition, microstructure photographs were taken and quality of welding was examined. The S355 J2 option can be combined in different directions than 90°, which is a standard incineration angle. The modified surface angles (90° to 30°) caused the joint surface area to increase, while the heat in the cooling system samples slowed away more slowly. Therefore, it was observed that ITAB region and coarse grains were higher than the others. Tensile test results were obtained in parallel with the hardness results at lower levels, average lower hardness and tensile stage. The lowest hardness degree was obtained in the weld regions of the welds.

Science Code : 91511

Key Words : Flash butt welding, S355 J2 material, Weldability.

Page Number : 101

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Uğur ARABACI

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasında önemli tecrübeleriyle beni destekleyerek katkılarını esirgemedi yönlendiren pek kıymetli sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Uğur ARABACI'ya ve Prof. Dr. Ahmet GÜRAL'a en derin şükranlarım ile birlikte,

Yardım severlikleriyle bilgi ve donanımlarını bir saniye olsun üzerimden eksik etmeyen, gerek manevi bakımdan gerek ise teorik ve deneysel çalışmalarım yönünden beni asla yalnız bırakmayan, her zaman yardımcım ve destekçim olarak yanı başımdan varlıklarını, yardımlarını, sabırlarını esirgemeyen, en derin sevgi ve saygılarımın pek kıymetli muhatapları olan daimi dostlarım Seçil YILDIZ, Arş. Gör. Tolga YILMAZ ve Arş. Gör. Ahmet Merih HIRPA'ya,

Sahip olduğu üretim imkânıyla deney aşamalarımnda çalışmama büyük katkı sağlayan Yapaş Zincir ve Döğme San. Tic. Ltd. Şti.'nin merhum sahibi Yaşar ÖZGÜLEÇ ve pek kıymetli personelleri Ahmet DUMAN, İslam SOYALP ve Doğu AKBABA ile KOSGEB personeli pek kıymetli Uğur SÜER'e,

Çalışmam esnasında deney ve üretim laboratuvarlarının imkânlarını kullanmam için yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Hakan GÜRÜN, Yrd. Doç. Dr. Hanifi ÇİNİCİ ve İlhan DANACI'ya,

Bu süreç boyunca kıymetli dostlarım kadar sağlam bir kale olan varlıklarından gurur duyduğum, her türlü destekçim ve bugünlere gelebilmemin en sağlam temeli olan bir tanecik ailem Nurten KÖROĞLU, Mustafa KÖROĞLU ve İbrahim KÖROĞLU'na

tüm kalbi duygularım ve içtenliğimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK VE KAYNAK YÖNTEMLERİ	3
2.1. Kaynağın Tarihçesi	3
2.2. Türkiye'de Kaynak	10
2.3. Kaynak Kabiliyeti	11
2.4. Kaynak Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	12
2.4.1. Kaynağın uygulandığı malzemeye göre kaynak çeşitleri.....	13
2.4.2. Kaynak yapılış amacına göre kaynak çeşitleri	14
2.4.3. Kaynak uygulanma şekline göre kaynak çeşitleri.....	14
2.4.4. Kaynak, işlemin cinsine göre kaynak çeşitleri	15
3. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....	17
3.1. Elektrik Direnç Kaynağında Kaynak Kabiliyeti	20
3.2. Elektrik Direnç Kaynağı Çeşitleri.....	23
3.2.1. Elektrik direnç nokta (punta) kaynağı.....	23
3.2.2. Elektrik direnç çizgi (dikiş) kaynağı	24
3.2.3. Elektrik direnç projeksiyon kaynağı	26

Sayfa

3.2.4. Yüksek frekanslı elektrik direnç kaynağı.....	28
3.2.5. Elektrik direnç alın kaynağı	28
3.2.6. Alın kaynağı çeşitleri	29
4. YAKMA ALIN KAYNAĞI.....	35
4.1. Yakma Alın Kaynağı Prensipleri ve Dikkat Edilecek Genel Esaslar	38
4.1.1. Yakma alın kaynağı kademeleri.....	40
4.2. Yakma Alın Kaynağı Avantajları	51
4.3. Yakma Alın Kaynağı Dezavantajları	52
5. YAK İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	55
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	59
6.1. Malzeme.....	59
6.2. Yakma Alın Kaynak İşlemi	60
6.3. Mikroyapı.....	61
6.4. Çekme Deneyleri	62
6.5. Kopma Yüzeyleri	64
6.6. Sertlik Testleri.....	65
6.6.1. Mikro sertlik ölçümleri	66
6.6.2. Makrosertlik ölçümleri.....	67
7. DENEYSEL SONUÇLAR	71
7.1. Yakma Alın Kaynak ile Birleştirme İşlemi Sonuçları	71
7.2. Kimyasal Analiz Sonucu.....	71
7.3. Mikroyapı Sonuçları	72
7.4. Çekme Test Sonucu	76
7.5. Kopma Yüzeyleri	79
7.6. Sertlik Testleri Sonuçları	85
7.6.1. Mikrosertlik ölçüm sonuçları	85

Sayfa

7.6.2. Makrosertlik ölçüm sonuçları	89
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. S355 J2 malzemenin kimyasal bileşimi.....	59
Çizelge 6.2. YAK makinesinin özellikleri.....	61
Çizelge 6.3. YAK işlemi için sabitlenen parametreler	61
Çizelge 7.1. Kimyasal analiz sonucu	72
Çizelge 7.2. Çekme değerleri.....	77
Çizelge 7.3. Kaynak bölgelerinin mikro sertlik sonuç ve ortalamaları.....	86
Çizelge 7.4. Kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru alınan mikro sertlik sonuçları.....	86
Çizelge 7.5. 30° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları.....	89
Çizelge 7.6. 45° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları.....	89
Çizelge 7.7. 60° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları.....	90
Çizelge 7.8. 75° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları.....	90
Çizelge 7.9. 90° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları.....	91

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kaynağın sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.2. Metallerin ergitilerek kaynaklanmasında kullanılan yöntemler	15
Şekil 3.1. Direnç alın kaynağının prensipleri.....	18
Şekil 3.2. Kaynak kabiliyet faktörüne göre kaynak kabiliyeti durumu	21
Şekil 3.3. Elektrik direnç kaynağı ısısının oluşumunu sağlayan dirençler	21
Şekil 3.4. Metallerin temas yüzeylerinde oluşan elektrik akım köprüleri	22
Şekil 3.5. Elektrik direnç nokta kaynağı.....	23
Şekil 3.6. Direnç nokta kaynağında akım, basınç-zaman grafiği	24
Şekil 3.7. Elektrik direnç kaynağı.....	25
Şekil 3.8. Disk elektrot tarafından üretilen farklı dikiş türleri.....	25
Şekil 3.9. Elektrik direnç kabartı kaynağı.....	27
Şekil 3.10. Elektrik direnç kabartı kaynağı.....	27
Şekil 3.11. Yüksek frekanslı elektrik direnç kaynağı	28
Şekil 3.12. Alın kaynağı çeşitleri.....	29
Şekil 3.13. Elektrik direnç yakma alın kaynağı	30
Şekil 3.14. Elektrik direnç basınçlı alın kaynağı	33
Şekil 4.1. Eksenel hizalanmış yakma alın kaynağı.....	37
Şekil 4.2. Köşe yakma alın kaynağı.....	37
Şekil 4.3. Halka yakma alın kaynağı	37
Şekil 4.4. Yakma alın kaynağının endüstriyel örnekleri.....	38
Şekil 4.5. Bağlantı geometrisine parça merkezlenmesinin etkisi	39
Şekil 4.6. Yakma alın kaynağı işlem sırası.....	41
Şekil 4.7. Düz ve küresel elektrot uçlarının kullanımı ve küresel uçlu elektrot ile yüzey oksidinin parçalanması	43
Şekil 4.8. Yakma alın kaynağı safhaları	44

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Yakma alın kaynağı işlem safhaları.....	45
Şekil 4.10. Yakma alın kaynağı işlem safhaları.....	45
Şekil 4.11. Yakma alın kaynak işleminin grafiksel gösterimi	45
Şekil 4.12. Kaynak ve civarındaki bölgelerde zaman-sıcaklık değişimi	46
Şekil 4.13. Yakma alın kaynağı	46
Şekil 4.14. Yakma alın kaynağı kullanım tipleri	47
Şekil 4.15. Başlangıç ve ön ısıtma değişkenleri	48
Şekil 4.16. Yakma değişkenleri	48
Şekil 4.17. Yığma değişkenleri.....	49
Şekil 6.1. Numunelerin tutucuya bağlanması	60
Şekil 6.2. YAK için birleştirme yüzey açıları.....	60
Şekil 6.3. Çekme test numunesi boyutları	63
Şekil 6.4. Sertlik ölçümü alınan bölgelerin kaynak yapılmış numune üzerindeki gösterimi	68
Şekil 7.1. Farklı birleştirme açılarına göre akma gerilmesi grafiği	77
Şekil 7.2. Farklı birleştirme açılarına göre max. çekme gerilmesi grafiği.....	78
Şekil 7.3. Farklı birleştirme açılarına göre kopma gerilmesi grafiği	78
Şekil 7.4. Farklı birleştirme açılarına göre max. çekme uzaması grafiği	78
Şekil 7.5. Farklı birleştirme açılarına göre kopma uzaması grafiği.....	79
Şekil 7.6. 30° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği	86
Şekil 7.7. 45° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği	87
Şekil 7.8. 60° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği	87
Şekil 7.9. 75° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği	87
Şekil 7.10. 90° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği	88
Şekil 7.11. 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° açılarla birleştirilen numunelerin mikro sertlik sonuçları.....	88
Şekil 7.12. 30° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği	89

Şekil	Sayfa
Şekil 7.13. 45° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği	90
Şekil 7.14. 60° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği	90
Şekil 7.15. 75° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği	91
Şekil 7.16. 90° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği	91

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. YAK yakından görünüşü	30
Resim 3.2. Parçaların tutuculara bağlanması.....	31
Resim 3.3. Kaynak işlemi	32
Resim 3.4. Testere lamasının alın kaynağı ile kaynaklanması	32
Resim 4.1. Sabit yakma alın kaynak makinesi	36
Resim 4.2. Mobil yakma alın kaynağı makinesi.....	36
Resim 6.1. Mikroyapı görüntüleri alınmak üzere hazırlanmış olan numune örnekleri	62
Resim 6.2. Mikroyapı görüntülerinin alındığı mikroskop	62
Resim 6.3. Taşlama işlemi öncesi ve sonrası numune örnekleri	63
Resim 6.4. Belirtilen boyutlara göre hazırlanan çekme numuneleri.....	63
Resim 6.5. Gerinim ölçer aparatının bağlanması.....	64
Resim 6.6. Kırık yüzey görüntülerinin alındığı SEM cihazı	64
Resim 6.7. Numunelerin kesme ve bakalite alınması işleminde kullanılan cihazlar	65
Resim 6.8. Bakalite gömülmüş olan bir numune örneği.....	65
Resim 6.9. Mikrosertlik ölçme cihazı	66
Resim 6.10. Mikrosertlik ölçümü yapılan numunenin cihaz altındaki görüntüsü	67
Resim 6.11. Mikrosertlik ölçümü yapılan numunenin cihaz altındaki görüntüsü	67
Resim 6.12. Makrosertlik ölçüm cihazı	68
Resim 6.13. Makrosertlik ölçümünün sonucunda numune üzerindeki izler.....	69
Resim 7.1. Farklı birleştirme açıları ile yakma alın kaynağı uygulanmış numuneler	71
Resim 7.2. Ana malzemenin mikroyapı görüntüsü.....	72
Resim 7.3. 30° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi	73
Resim 7.4. 45° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi	73

Resim	Sayfa
Resim 7.5. 60° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi	74
Resim 7.6. 75° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi	74
Resim 7.7. 90° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi	75
Resim 7.8. 30°, 45°, 60°, 75°, ve 90° ile birleştirilen numuneler	76
Resim 7.9. 30° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelemlerde elde edilen SEM görüntüleri	80
Resim 7.10. 45° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelemlerde elde edilen SEM görüntüleri	81
Resim 7.11. 60° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelemlerde elde edilen SEM görüntüleri	81
Resim 7.12. 75° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelemlerde elde edilen SEM görüntüleri	82
Resim 7.13. 90° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelemlerde elde edilen SEM görüntüleri	82
Resim 7.14. 30°, 45°, 60°, 75°, ve 90°'li numunelerin X200 ve X1000 büyütmelemleri SEM görüntüleri.....	83
Resim 7.15. 45° açıyla birleştirilmiş sülfür kalıntıları.....	84
Resim 7.16. 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°'li numunelerin X1000 büyütmelemleri SEM görüntüleri.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

Cal

Kalori

Cm

Santimetre

F

Elektrot baskı kuvveti

Kg

Kilogram

kHz

Kilohertz

m

Metre

mm

Milimetre

mm²

Milimetre kare

R

Direnç

°C

Santigrat derece

Kısaltmalar

Açıklamalar

DDY

Devlet Demir Yolları

DIN

Deutsches Institut für Normung

EN

Europeane Norm

ERW

Electric Resistance Welding

IIW

International Institute of Welding

İTÜ

İstanbul Teknik Üniversitesi

KOÜ

Kocaeli Üniversitesi

MIG

Metal Inert Gas

MKE

Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu

ODTÜ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

TIG

Tungsten Inert Gas

UKE

Uluslararası Kaynak Enstitüsü

USK

Uluslararası Standartlaştırma Kurulu

YAK

Yakma Alın Kaynağı

1. GİRİŞ

Günümüzde uygulanan kaynak işlemleri, uygulanan malzemeye ve amacına göre farklılık göstermektedir. Özellikle farklı türden olan iki ayrı malzemenin kaynak edilerek birleştirilmesinde karşılaşılan güçlüklerden ortaya çıkan sorunları giderebilmek adına çeşitli kaynak tekniklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çeşitli teknikler arasından katı hal kaynak yöntemleri, birleştirilecek olan malzemelerin şekil ve boyutları uygun olduğu müddetçe ergime kaynak yöntemlerine kıyasla büyük bir ergimenin olmaması ya da sınırlı bir durumda olması ve kaynak hatalarının daha az olması sebepleriyle diğer kaynak yöntemlerinden ayrılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi olan yakma alın kaynağı da malzemelerin farklı ya da benzer ısı iletkenlik ve ergime sıcaklıklarının olması durumunda, birleştirilecek olan malzemelerin kaynak edilebilirliğinin sağlanabilmesi bakımından kolaylık oluşturmaları sebebiyle kullanılabilirlik açısından tercih edilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [1-3].

Yakma alın kaynağı yöntemi aslında demirci kaynak yönteminin günümüz koşullarına uygun hale getirilmiş şeklidir diyebiliriz. Çünkü demirci kaynağında, birleştirilmek istenilen malzemeler birleştirmenin sağlanacağı bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra bu malzemeler üst üste koyulup dövülerek bir birleştirme sağlanır ve bu dövme işlemi esnasında, dövülen bu malzemelerin birleşim yüzeyleri arasında kalmış olan yabancı malzemelerin bir kısmının, birleşim yüzeylerinden dışarı doğru taşması sağlanırken üstü üste getirilerek kalınlaşmış olan birleşim yüzeyinin dövme etkisiyle incilmesi sağlanır [4].

Yakma alın kaynağında ise, demirci kaynağındaki birleşim sıcaklığına getirilme işlemi, birleştirilecek olan malzemelerden, o malzemeleri hizaları bozulmayacak şekilde tutan elektrotlar yardımıyla geçirilen bir akımın verilmesiyle yapılır. Kaynak işlemi esnasında, malzemelerin aynı hizada tutulması, uygulanacak olan kaynak akımının malzemelere geçirilerek birleştirilecek olan yüzeylerde bir direnç oluşturulması ve de bu malzemelerin dövme işleminde olduğu gibi birbirlerine bastırılması gibi görevleri olan bu tutturucu elektrotlar genel olarak bakır ve özel bakır alaşımlarından seçilmektedir [1,5].

Bu kaynak yöntemi, farklı bileşimdeki malzemelerin de kaynak edilebilmesine olanak sağladığı ve ilave bir metal kullanmaya gerek olmadığı için hemen hemen her türlü alaşım için kullanılabilmesi ve yuvarlak, kare gibi farklı kesitli malzemelerin de birleştirilmesine

imkân vermesi, alın altına kaynak edildiği için kullanım olarak rahat olması, kaynak süresinin kısalığı, kaynak kalitesinin yüksek oluşu ve yüksek özellikte bir dayanım sağlaması sebepleriyle düz sacların yanı sıra rayların, zincirlerin, tellerin, takım kesme parçalarının ve takım gövdelerinin birleştirilmelerinde, otomobil şaft ve jantları gibi pek çok parçanın birleştirilmesinde rahatça kullanılmaktadır [1,4,6].

Yakma alın kaynağı yöntemi, bu geniş kaynak edilebilirlik özellikleri doğrultusunda demir yolları, otomotiv, hava yolları, elektrik, denizcilik gibi pek çok endüstriyel sektörde kullanım alanı bulmaktadır.

Farklı bileşimdeki malzemelerin kaynak edilebilmesinin yanı sıra, ilave bir kaynak teli ve koruyucu gaz kullanılmaması da ekonomik olarak tercih edilmesine sebep olmaktadır. Örneğin takım çeliklerinde, normal çeliklere kıyasla yüksek bir fiyat farkının bulunması, takımın komple yüksek hız çeliğinden yapılmasını zor bir duruma sokmaktadır. Bu sebeple maliyeti düşürmek bakımından 10 mm'yi aşan çaplarda, matkap uçlarının sap kısmını karbonlu çelikten, uç kısmını ise yüksek çeliğinden imal etme yoluna gidilir. Yine bu uçlarda olduğu gibi şaftların komple paslanmaz çelikten yapılması yerine gereken kısımlarının paslanmaz çelikten, geri kalan kısımlarının karbonlu çelikten tasarlanarak üretilmesi malzeme için %45'lik bir fiyat düşüşüne sebep olur ki bu da ekonomik açıdan bakıldığında uygun bir durumdur [7,8].

Yukarıda belirtildiği üzere çek çok avantajının bulunduğu bu kaynak yöntemi, denizcilik ve endüstriyel anlamda kullanılan pek çok paslanmaz ve karbonlu çelikten imal edilen zincir üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, zincir imalatında sıkça kullanılan yakma alın kaynağı yöntemi ile S355 J2 malzemeden zincir üretilirken, normal prosedür olan 90°'lik birleştirme açısı sırasıyla 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° olarak çalışma gruplarına ayrılmış ve bu farklı birleştirme alın açılarının malzemenin kaynak kalitesine ve metalurjik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Farklı açılarda birleştirilen bu deney grupları çekme testine tabii tutulduktan sonra mikro ve makro sertlik ölçümleri yapıp mekanik özellikleri incelenmiş, mikro yapı görüntüleri incelenerek kaynak kalitesi ve faz geçişleri gözden geçirilmiştir.

2. KAYNAK VE KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynak ile malzeme birleştirme, özellikle metal işlenen sanayilerde çok yoğun olarak uygulanan bir birleştirme tekniğidir. Çoğunlukla metal ya da termoplastikler üzerine uygulanmaktadır. Levha veya blok malzemelerden üretilen nispeten basit parçalar daha sonra kaynak yardımı ile birleştirilerek daha karmaşık şekilli yapılara ulaşmaktadır [9].

Kaynak genel bir ifade ile malzemelerin farklı teknikler kullanılarak, aralarında atomsal seviyelerde bağlanma oluşturacak şekilde birleştirilmesidir. Bu proses sırasında ısı, basınç gibi çeşitli etkenlerden yararlanılır. Yaygın olarak metaller ve termoplastikler üzerine kullanılmaktadır [10].

Malzeme çeşitlerine göre oluşacak atomsal bağ çeşitleri; Metal malzemeler için metalik bağ, camlar için iyonik bağ, seramikler için kovalent, iyonik, iyonik ve kovalent bağ, termoplastikler için kovalent ve Van der Waals bağlarıdır [10].

Metal esaslı olan ürünler ısı, basınç ya da her ikisinin etkisinden yaralanarak, benzer türden, erime sıcaklığı yakın olan malzeme ilave ederek veya etmeyerek malzemeleri bir araya getirmeye metal kaynağı denir. İki farklı ürünün birleştirilmesi için ek bir ilave ürün kullanılacaksa, kullanılan bu ürüne ilave metal veya dolgu malzemesi denilmektedir [11].

2.1. Kaynağın Tarihçesi

Kaynak, bulunduğumuz zamandan takriben 3500 yıl geriye gidildiğinde, külçeden dövme yöntemi kullanarak o zaman kadar elde edilen levhadan daha büyük bir boyutta levha üretmek isteyen bir kişi tarafından ısıtılmış ya da soğuk şekilde tesadüfi olarak bulunmuştur. Esas olarak orta bronz devrine denk gelen dönemlere ait kaynak işlemi görmüş ürünleri dünyada farklı yerlerde bulunan müzelerde görebilmek mümkündür. Batılı tarih bilimciler günümüz kaynak yöntemine benzeyen kaynağın milattan önce 1400'lü yıllarda Asya'da yaygın olarak kullanılmakta olduğuna dikkat çekerler. Metal zanaatının çok ilerlemiş olduğu Roma döneminde çoğu eserde bu tarz birleştirmelere rastlanmaktadır. Roma uygarlığında metal zanaatkârlığın epey önem gösterilmiştir çünkü Roma inanın da ateş tanrısı olan Vulkan'ın metal işçiliği ve demirciliğin de tanrısı olduğu kabul görmektedir [5].

Orta Çağlarda, kaynak uygulamasının gelişimini anlayabilmek için antik dönemlere kadar geriye dönülebilir. Kaynakla yapılmış ilk ürünler bronz çağına dayanmaktadır. Günümüzden takriben 2000 yıl kadar geriye gidildiği zaman, küçük dairesel altın kutuların basınç yardımıyla birbirinin üzerine bindirilerek ya da katlanarak birleştirildiği örneklerle rastlamıştır. Demir çağı süresince, Mısır ve Doğu Akdeniz topraklarında yaşayan uygarlıklar demir ürünleri kaynakla birleştirmeyi öğrenmişlerdi. Milattan önce takriben 1000 yıllarında kazılarda bulunan ürünlerden anlaşıldığı üzere pek çok alet keşfedilmiştir.

Orta Çağ süresince, demir ustalarının zanaatı gelişmiş ve demirden pek çok ürünü çekiç kullanarak dövme yoluyla kaynatarak ürünler elde edilmiştir. 19. yüzyılın ilk zamanlarına kadar günümüz anlamında kullandığımız kaynak prosedürü henüz geliştirilmemiştir.

1800'lerde, İngiliz bilim insanı Edmund Davy, 1836' da asetilenin varlığından haberdar olmamızı sağlamıştır. Pillerin gelişimi için iki elektrotun arasında arkın oluşturulması ise 1800 yılında Sör Humpry Davy tarafından keşfedilmiştir. 1800'lerin orta döneminde, elektrik jeneratörü bulunmuştur ve arkın ışığı yaygınlaşmıştır. 1800'lerin sonunda, gazaltı kaynağı ve kesme prosesi ilerletilmiştir. Karbon elektrot kullanılarak ark kaynağı ve metal kaynağının gelişimi sürmüştür ve direnç kaynağı yöntemi pratik bir hale getirilmiştir.

Auguste De Meritens 1881'de Fransa Cabot laboratuvarında çalışırken, akümülatörler için kurşun levhaların birleştirilmesi sırasında arkın ısıtma etkisinden yararlanmıştır. Nikolai N. Benardos, laboratuvarındaki eğitimi sırasında kaynak hakkındaki keşifleri için patent almış ve ardından Rus meslektaşı Stanislaus Olszewski'yle beraber 1885 senesinde İngiltere'de, 1887 senesinde de Amerik'da patent almışlardır. Anlatılan bu olaylar Karbon ark kaynak yönteminin başlangıcı kabul edilir. Bernardos'un buluşları karbon ark kaynağıyla sınırlı kalmış ve bunu takiben tıpkı kurşunun birleştirilmesi gibi demirde de kaynak işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. 1890'lı yılların sonları ve 1900'lü yılların ilk kısımlarında karbon ark kaynağı bayağı yaygın hale gelmiştir.

C.L. Coffin, 1890 senesinde Detroit'de, metal elektrot ile ark kaynağı yaparak Amerikan Patenti alan ilk kişi olmuştur. Bu işlem ark kaynağı yönteminde, bir metalin eritilip tüketim malzemesi gibi kullanılması sebebiyle kayıtlara bir ilk olarak geçmiştir. Yaklaşık aynı dönemlerde Rus N.G. Slavianoff, benzer yöntemle metali arka transfer ettiğini duyurmuş ancak bunun ergimiş olan metalin, kaynak banyosuna transferi olduğu görülmüştür.

1900 senelerinde Strohmenger, Büyük Britanya’da metal olan bir elektrotu kapladığını duyurdu. Bulduğu bu kaplama kireç ve kilden oluşan ince bir yapı olmasına rağmen son derece kararlı bir ark elde edilebiliyordu. İsveç’teki Oscar Kjellberg ise 1907 ile 1914 seneleri arasında yapmış olduğu çalışmalar ile örtülü elektrotu keşfetmiştir. Çubuk elektrotların üretimi, demir çubuk tellerin karbonatlar ve silikatlardan oluşan karışımlara daldırılarak, bu daldırma sonrasında tellerin üzerini saran kaplamanın kuruması yöntemiyle yapılmıştır.

Aynı dönemde, projeksiyon kaynağı, dikiş kaynağı, nokta direnç kaynağı ve yakma alın kaynağını da içine alan direnç kaynak prosesleri geliştirilmiştir. 1885 ile 1990 seneleri arasında aldığı patentlerle Elihu Thompson, direnç kaynağı yönteminin babasıdır. 1903 senesinde Alman Goldschmidt, termit kaynağını bulmuş ve bu yöntemini ilk olarak demiryolu raylarının birleştirilmesinde kullanmaya başlamıştır.

Gazaltı kaynağı ve kesme işlemleri de bu dönemde oldukça geliştirilmiştir. Oksijen gazının elde edilebilmesi ve havadan sıvılaştırılabilmesiyle beraber şaloma ve üfleçlerinde geliştirilmesi, kaynak ve kesme işlemlerinin ilerlemesine yardım etmiştir. 1900 senesinin öncesinde, hidrojen ve hava gazı oksijenle beraber kullanılmaktaydı. Bunun yanı sıra 1900 senesinde düşük basınçla asetilen gazının kullanılabilmesi amacıyla bir yeni şaloma modeli üretildi.

Birinci Dünya Savaşı’nın, silah sanayisi için aşırı bir talebi beraberinde getirmesi ve kaynak prosesinin geniş olarak kullanılmaya başlanması sebebiyle, Avrupa ve Amerika’da karşılaşılan bu taleplere cevap verebilmek adına çok sayıda kaynak üreticisi ve elektrot üreticisi firma kurulmuştur. 1919 senesinde savaştan sonraki dönemde, Acil Durum Donanma Kurulu’sunun Savaş Dönemi Kaynak Komitesi’ndeki 20 üyesi, kaynak ve benzer yöntemlerin gelişmesine destek olmak düşüncesiyle, kar etmeyi amaç edinmeyen bir kuruluş olan Amerikan Kaynak Cemiyeti’ni kurmuşlardır. Yine aynı sene, C.J. Holslag’ın alternatif akımı keşfetmesi ile birlikte, kalın örtülü elektrotların geniş bir şekilde kullanımı 1930 senesine kadar yaygınlaşamamıştır.

1920 senesinde otomatik kaynak sistemleri General Electric firmasından P.O. Nobel’ce geliştirilip kullanılmaya başlanmıştır. Örtüsüz telin besleme hızından faydalanılarak doğru akım altında yapılabiliyordu. Aşınmış motor, şaft ve vinç dişlileri ile yapılan çalışmalara

ek olarak otomotiv sektöründe arka aks korumalıklarının üretiminde de kullanılmıştır. 1920'li yıllarda, farklı çeşitlerde kaynak elektrotları üretilmiştir. Bu yıllarda kalın olan örtülü elektrotların, yaygın olarak kullanılan ince örtülü elektrotlara kıyasla sağladıkları avantajlar konusunda ciddi tartışmalar yapılmaktaydı. Ekstrüzyon yöntemi ile üretimi yapılan kalın örtülü elektrotlar, 1927 senesinde A.O. Smith firmasındaki Wunder ve Langstroth tarafından üretilmiştir. 1929 senesinde Lincoln Electric firması ekstrüzyon yöntemi ile elektrot üretip olarak piyasaya sunarak satışını yapmıştır. 1930 senesine gelindiği zaman ise örtülü elektrotların kullanılması epey yaygınlaşmıştır. Yüksek kaliteli kaynak metaline gereksinim duyulmaya başlayınca örtülü elektrotlarının kullanılması kaynak kodlarının kullanılmaya başlanmasına neden olmuştur.

1920'li senelerde arkın atmosferden etkilenmemesi ve atmosferle teması keserek kaynağı koruyacak gazlar konusunda epeyce araştırmalar yapılmıştır. Havadaki nitrojen ve oksijen gazlarının kaynak banyosu ile temas etmesiyle kaynak metalinin, çatlak oluşturmaya meyilinin artması ve gözenekli bir hale gelmesi bir sorun yaratıyordu. Langmuir ve Alexander kaynak atmosfer şartlarını temsil eden bir ortam tasarlayabilmek için Hidrojen gazı doldurdukları odalarda araştırmalar yaparak, karbon elektrotlarıyla sürdürdükleri araştırmalarına Tunsten elektrotlar ile devam etmişlerdir.

Hidrojen molekülünün, ark içinde Hidrojen atomlarına ayrışması, ısının yükselişiyle birlikte kaynak arkına yoğunluk sağlamaktaydı. Bu ark tekniği, oksii-asetilen tekniğinde elde edilen ısının ikiye katlanmasına neden olmuştu. Bu sayede atomsal hidrojen kaynak yöntemi ortaya çıktı fakat hiçbir zaman yaygın bir kullanımı olmadı. Lakin 1930 ve 1940'lı seneler sırasında bir takım özel uygulamalar ve takım çeliklerinin kaynak işlemlerinde tercih edilmiştir.

P.K. Devers ile H.M. Hobart bunlara benzer araştırmalar yapıyorlardı fakat çalışmalarında koruyucu atmosferi sağlamak amacıyla hidrojeni değil argon ve helyum gazlarını kullanıyorlardı. 1926 senesinde aldıkları patent ile TIG kaynak yönteminin temelini oluşturacak prosesin adımlarını belirlemişlerdi. Bununla beraber içerisinden tel elektrotun geçirildiği, aynı merkezli bir nozul ile kaynak yapılabileceğini göstermişlerdi. Bu yöntemde, gerçek anlamda gaz altı kaynağının ilk örneği olarak gösterilmektedir. Bunların devamında bu prosesler farklı şekillerde geliştirilmeye devam edilmiştir. Saplama kaynağı, 1930 senesinde New York'da ahşap bir güvertenin metal yüzeylerle birleştirilmesi

amacıyla geliştirilmiş olup inşaat ve gemi yapımı gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Tozaltı kaynak prosesi otomatik sistemler ile beraber geniş olarak kullanılmaya başlanmıştır ve Ulusal Boru şirketince McKeesport, bu prosesi Pennsylvania'da bulunan boru fabrikası için geliştirmeyi sürdürmüştür. Boydan boya dikişli boruların üretiminde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yöntem 1930 senesinde Robinoff adına patentlenmiştir ve sonrasında Unionmelt® kaynağı ticari adıyla Linde Hava ürünleri firması adına satın alınmıştır. Tozaltı kaynağı 1938 senesine kadar tersaneler ve ağır silahların üretildiği tesisler başta olmak üzere yoğun olarak kullanılmıştır. Geçmiş yıllardan bulunduğumuz zamana kadar en verimli kaynak prosesi olma özelliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaya devam etmiştir.

TIG kaynağının geliştirilmesi süreci, 1890 senesinde oksit oluşumunu engelleyen gaz ortamı içerisinde kaynak yapılması fikrinin sahibi olan C.L.Coffin tarafından patentlenmişti. Bu proses 1920'lerin son kısımlarında H.M.Hobart tarafından koruyucu ortam olarak Helyum gazını kullanmasıyla daha da geliştirilmişti. P.K. Devers koruyucu atmosfer olarak argon kullanmayı tercih etmiş ve bu prosesin magnezyumun kaynağı için çok uygun olmakla beraber, alüminyum ve paslanmaz çelik kaynağında da oldukça yüksek performanslı olduğu görülmüştür. 1941 senesinde Meredith vasıtasıyla geliştirilen proses patent altına alınmış olup "Heliarc® kaynağı" ismiyle ticarileştirilmiştir. Bunun devamında, su soğutmalı bir torç geliştirilerek Linde hava ürünleri adına lisanslanmıştır. Bütün bu ilerletmeler ile birlikte TIG kaynağı prosesi önemli kaynak yöntemleri arasına girmiştir.

Gaz altı kaynağı, Air Reduction firmasının destekleri altında Battelle Memorial Enstitüsü tarafınca 1948 senesinde başarılı olarak geliştirilmiştir. Prosesin geliştirilmesi tungsten elektrotun yerine, sürekli olarak takviye edilebilen tel bir elektrotun kullanımı ile aynı TIG kaynak kuralları kullanılarak gerçekleştirilmişti. Yapılan en önemli değişiklikler, içerisinde daha kolay kullanıma sahip küçük çapta tel elektrotların kullanılabilmesi ve sabit voltajlı güç kaynağının kullanılmasıydı. Bu prosesin patenti daha önceden H.E Kennedy tarafından alınmıştı. Gazaltı kaynağının ilk kullanımı demir dışı metal malzemelerin kaynak edilmesi içindi fakat prosesin fazla olan metal yığılma oranı, yöntemin çelik ürünlerde de denenmesine neden olmuştur. Koruyucu atmosfer sağlayan gazların fiyatları o dönemde

kısmen yüksekti ve maliyetin azaltılabilmesi dönemin şartlarında kısa sürede mümkün görünmemekteydi.

Seneler 1953'ü gösterdiğinde Novoshilov ve Lyubavskii, karbondioksit(CO_2) gaz atmosferiyle kaynak işlemini yaptıklarını duyurdular. Karbondioksit kullanılmasıyla kaynak prosesi, koruyucu gazlı metal ark kaynağı için geliştirilen ekipmanları, kolay bir şekilde kullanılabilmesi sebebiyle hemen göze çarpmıştı ve ancak bu gelişme sonrası çeliklerin kaynaklarında maliyet bakımından kullanışlı bir hale gelebilmiştir.

Karbondioksit kullanımıyla üretilen arkın sıcaklığı hayli yüksekti ve büyük tel elektrotlar için daha yüksek olan akımlara ihtiyaç duyuluyordu. Proses küçük çaptaki elektrot telleri ve geliştirilmiş olan güç kaynaklarıyla birlikte geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

1958 senesi sonuyla 1959 senesinin başları arasında gündeme gelen, kısa devreli ark dönüşümleri için uygun Micro-wire®, daldırma transfer kaynağı ve kısa ark gibi özellikler ve ilerlemelerle elde edildi. Geliştirmeler, ince malzemelerde her pozisyonda kaynak yapabilmeyi mümkün kıldı ve bu prosesin çok az bir sürede en yaygın proses haline gelmesine neden oldu.

Diğer bir geliştirme ise koruyucu gazın, küçük oranlarda oksijenle birlikte kullanılabilmesiydi. Bu gaz karışımı sprey ark transferini sağlamış ve 1960'lı yılların ilk kısımlarında yaygınlaşmıştı. Bu zaman diliminin en son keşfi ise pulslu akım kullanımıydı. Akım belirli miktarlarda, alçak ve yüksek değerlerde, tek ve ya çift olarak tekrarlanarak frekansı içerisinde sağlanıyordu.

Karbondioksit atmosferi altında kaynak kullanımının sağlanması, kısa bir sürede, özel bir tel elektrot ile kullanılan yeni bir çeşit geliştirilmesinin kapısını araladı. İç-dış tipli elektrot olarak ifade edilen bu tel, içerisinde toz karışımından oluşan partiküllerin bulunduğu tasarımıyla kesit olarak boru biçimindeydi. Dualshield® olarak isimlendirilen yöntem, arkın havadan korunmasını sağlayan dış koruyucu gazın yanında telin çekirdeğindeki toz karışımının ürettiği gazın da kullanıldığını göstermekteydi. Yöntem, 1954 senesinde Bernard tarafından keşfedilip açıklanmasına rağmen, 1957 senesinde Ulusal Silindir Gaz firması tarafından yeniden tanıtıldığı zaman patentlendirilmiştir. 1959 senesinde ekstra bir gaz korumasına ihtiyaç duyulmayan, ticari adı Innershield® olan özlü bir tel modeli

geliştirilmiştir. Koruyucu bir gazın bulunmayışı, kritik önemdeki işler dışındaki işler için prosesin yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Temeli Amerikalı Hopkins'in yaptığı çalışmalara dayanan ve 1940 yılında patenti alınan elektro cüruf kaynak yöntemi, esasında 1951 senesinden beri Sovyetler birliği bünyesinde kullanılmış olup, 1958 senesinde Brüksel Kaynak Fuar'ında ilk defa takdim edilmiştir. Hopkins'in prosesi, kaynak yöntemleri arasında kendine önemli bir yer bulamamıştır. Yöntemin teçhizatlarının iyileştirilmesi ve kusursuza yakın hale getirilmesi Ukrayna Kiev'de bulunan Paton Enstitüsü'nde ve Çekoslovakya Bratislava'da bulunan Kaynak Araştırmaları Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Üretimde ilk kullanımı, Elektro-kalıp yöntemi olarak isimlendirilerek Şikago'da bulunan General Motors firmasının elektromotor departmanında gerçekleşmiştir ve 1959 senesinin aralık ayında, kaynaklı dizel motorların imalatında kullanıldığı duyuruldu.

Dikey bir kaynak yöntemi olan elektro gaz kaynak yöntemi, Acros firmasınca tanıtılmıştı. Elektro cüruf kaynak yöntemi için geliştirilen teçhizatları kullanabilmenin yanında, dışarıdan sağlanan atmosfer koruması ve özlü telle beraber kullanılabiliyordu. Cüruf banyosu oluşturulmadığından proses açık bir ark yöntemi idi. Gaz korumasını kendileri sağlayan özlü teller ve masif tel türleriyle kullanımında ilerleme gerçekleşmemiştir. Bu proses elektro cüruf prosesi ile kaynağı yapılan ince malzemelerin birleştirilmesine imkan verir.

Plazma ark kaynağı, Gage tarafından 1957 senesinde keşfedilmiştir. Proseste sıkıştırılan bir ark ya da arkın boyunca daraltılması ilkesinden yararlanılır ve bu durum da tungsten sayesinde oluşturulan arkta, daha yüksek bir sıcaklığa sahip olan bir ark plazması meydana getirir. Proses metal spreyi ve kesme için de kullanılabilmektedir.

Elektron ışın kaynak prosesi, Fransa'da vakum odacığı içinde bir güç kaynağı vasıtasıyla elektronların demet şekline getirilip odaklandırılmasıyla elde edilmiş ve Fransa Atom Enerjisi Kurumu'ndan 23 Kasım 1957 tarihinde yöntem halka tanıtılmıştır. Amerika'daki otomotiv, havacılık ve motor sektörü prosesin mühim kullanıcılarından olmuşlardır [12].

Bulunduğumuz dönemde kaynakla kriterleri çoğunlukla korunmuş ve kaynak prosedürleri sabit veya hareketli konumda otomatikleştirilmiştir. Farklı kaynak robotları ve tam

otomatik çok noktalı kaynak makineleri üretilmiştir. En çok ilerleme gösteren kaynak prosesleri MIG, MAG ve toz altı kaynağı olmakla birlikte bu prosesler tamamen otomatik bir duruma getirilmiştir. Ark kaynağı robotlarının temel kullanım yerleri ise MIG ve MAG kaynak prosesleridir. Bunun yanı sıra eskiden elle uygulanan TIG kaynağı da büyük oranda otomatikleştirilmiştir [5].

Kaynak prosesinin, teknik açıdan İkinci Dünya Savaşı'nı takiben olan hızlı ilerleyişi, 1948 senesinde dünya ulusları arasında "Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün" (International Institute of Welding IIW) kuruluşuna neden olup, bu alanda elde edilmiş olan başarılar, bu alandaki uzmanların karşılıklı olarak iletişim halinde olmalarına sebebiyet vermiştir.

Uluslararası bir cemiyetin kurulması düşüncesi, Utrecht'deki bir sempozyumda 1947 senesinde, Hollandalılar tarafınca ortaya atılmıştır. Cemiyetin ilk toplantısı aynı sene M.J.L. Adam'ın başkanlığında, İngiliz Kaynak Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir. 9 Haziran 1948 tarihinde Belçika Ekonomi Bakanlığı'nın bünyesinde, Belçika Kaynak Enstitüsünün davetiyle Brüksel'de, Kuzey Afrika, Avusturya, Danimarka, İspanya, Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, İngiltere, İtalya, Norveç, Hollanda, İsveç ve İsviçre'nin katılımlarıyla "Uluslararası Kaynak Enstitüsü" hayata geçirildi. Bu enstitüsü, Uluslararası Standartlaştırma Kurulu ile de işbirliği yaparak kaynak standartlarını oluşturmuştur. UKE ve USK çalışmalarını, 16 çalışma kuruluyla birlikte sürdürmektedir. Bu kurullara ait örnekler şu şekildedir: Gaz kaynağı (1), Elektrik ark kaynağı (2), Elektrik direnç kaynağı (3), Modern kaynak yöntemleri (4), Kaynağın muayene ve kontrolü (5), Kaynakta iş güvenliği (8), Kaynak kabiliyeti (9), Tozaltı ve gazaltı kaynağı (12), Kaynakta öğretim (14), Kaynakta dizayn (15) ve Plastik malzeme kaynağı (16) [13].

2.2. Türkiye'de Kaynak

Türkiye UKE kuruluşuna bir süre sonra üye olmuştur ve 17 dildeki kaynak terimleri sözlüğünün Türkçe'sini oluşturmuştur. Türkiye'de, kaynak işlemi 1920 senesinde Gölcük ve İstinye tersanelerinde kullanılmıştır.

Bunu MKE, Sümerbank Hereke Fabrikası, Karayolları Merkez Atölyesi, Eskişehir Hava İkmal Bakım Merkezi, DDY Eskişehir Fabrikası izlemiştir. Türkiye'nin ilk kaynak ustaları İbrahim Pekin ile onun çırağı olan Ziya Altınışık'tır. Fakat kaynak hakkında yapılan ilk

planlı çalışma, 1937 senesinde DDY Eskişehir’de özel bir kaynak departmanı kurularak yapılmıştır.

Burada Mühendis Nüvit Osmay’ın büyük özverileri olmuştur. Kaynak Türkiye’de asıl 1950’den sonra gelişmiştir. Bilhassa İTÜ’de konu hakkında kürsüyü kuran Prof. Dr. Selahattin Anık beyin büyük çalışmaları olmuştur. Yine Prof. Dr. Selahattin Anık’ın yardımlarıyla 1996 senesine kadar eğitim vermeye devam eden bir kaynak yüksek lisans programı oluşturulmuştur. Maddi sıkıntılar sebebiyle UKE ‘den çıkarılan ülkemizde kaynak konusunda faal olmayan bir kaynak derneği hala varlığını sürdürmektedir. Bununla birlikte ODTÜ bünyesinde Prof. Dr. Alpay Ankara önderliğinde kurulan bir kaynak eğitim merkezi ve KOÜ bünyesinde oluşturulan bir kaynak araştırma, uygulama ve eğitim merkezi bulunmaktadır. Günümüzde Türkiye’de neredeyse bütün kaynak yöntemleri kullanılmaktadır [5].

2.3. Kaynak Kabiliyeti

Kaynak işleminde metal malzemeler şekil almaya farklı derecelerde eğilim gösterirler. Bu farklı eğilimler, kaynak için çeşitlilik ve elverişlilik olarak atfedilebilirken, kaynak edilme ya da dolgu gibi işlemlerde malzeme seçimi, uygulanan yöntem, metod, yapı ve kalınlık gibi etkenlerin birlikte muhakeme edilmesiyle anlam kazanmaktadır.

Kaynak kabiliyetinin iyi olabilmesi için, kaynak edilecek olan malzemenin önceden düşünülen yöntemiyle, hiçbir önlem almadan, planlanmış olan konstrüksiyona uygulanabilmesi gerekmektedir [14].

Kaynak kabiliyeti terimi, kaynaklanabilirlik, konstrüksiyonun (yapının) kaynak güvenliği ve imalatla kaynak kavramlarını içerir. Üretim yönteminin ve konstrüksiyonun, malzeme üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir. Bir malzemenin kaynak kabiliyeti hakkında konuşabilmek için en azından aşağıdaki iki koşul yerine getirilmelidir:

- 1) Malzemelerin belirlenmiş olan bir kaynak yöntemi ile kaynak edilebilmesi mümkün olmalıdır (kaynağa elverişlilik terimi).
- 2) Kaynak yapılan malzemenin maruz kaldığı zorlama ve gerilmelere dayanması gerekmektedir (kaynak güvenliği terimi) [6].

Kaynak uygulamasında malzemenin davranışı; kimyasal bileşimine, üretim yöntemine ve daha sonraki evrelerde gördüğü işlemlerin o malzeme üzerindeki etkilerine göre değiştirilmektedir [14].

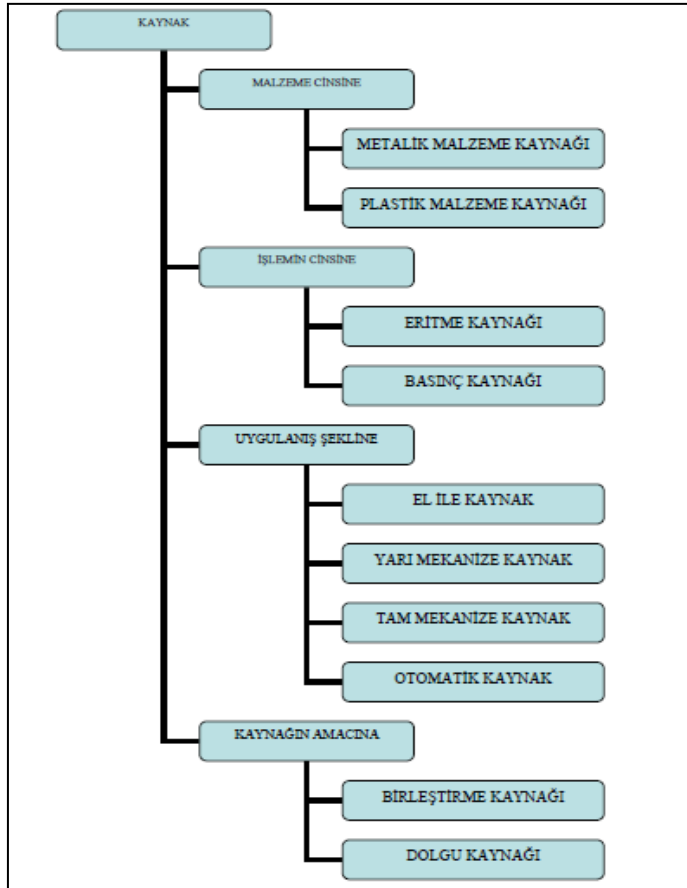
Bir konstrüksiyonun gereklilikleri, malzeme, konstrüksiyon, üretim süreci ve çalışma koşulları gibi etkenlerdir. Bu durumları sağlaması durumunda kendisinden beklenenleri gerçekleştirir. Bu şartlar durumunda bir kusur oluştuğunda, kusur olduğu gibi malzemede aranmaz. Diğer faktörlere de bakılması gerekmektedir. Bu sebeple kaynak konstrüktöründe işletme ve malzeme mühendisleri beraber çalışmak zorundadırlar [6].

Malzeme biliminde birleştirme alanında yapılan çalışmalarda, bir kısım araştırmacılar metalurjik olarak tatmin edici bağlantıların elde edilmesi için birleştirme parametrelerinin optimizasyonunu geliştirirken, geleneksel ark yöntemiyle veya yeni metal alaşımlarının konvansiyonel yöntemler ile birleştirilmesi için önemli olan üretim sürecinin sürekliliği ve yeni teknolojiler geliştirmekle de ilgilenmişlerdir.

Kaynak işlemi, kaynak yapılan bölgede sızdırmazlık ve mukavemetin gerekli olduğu bir birleştirme tekniğidir. Kaynak bölgesinde oluşturulacak ısı, erime sıcaklığının altında veya üstünde olan malzemenin sıcaklığını yükseltmek için ayarlanır. Malzemenin kaynaştırılıp kaynağın başarısı veya başarısızlığı aranmadan sıcaklık, birleştirilecek malzemeler arasındaki difüzyon mekanizmalarını aktive etmek için yeterli olmalıdır. Difüzyon derecesi, kaynak ile lehimleme ve diğer sızdırmazlık birleştirme süreçleri arasındaki farkı yaratır [15].

2.4. Kaynak Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Esas olarak, kaynak yapılacak olan malzemesinin cinsi, kaynak esnasında uygulanan işlemler ve kaynak prosedürünün amacına göre Şekil 2.1'deki gibi bir sınıflandırma yapılmaktadır.



Şekil 2.1. Kaynağın sınıflandırılması [16]

2.4.1. Kaynağın uygulandığı malzemeye göre kaynak çeşitleri

Metal malzeme kaynağı

Metalsel bir malzemenin ısı, basınç ya da her ikisinin birlikte kullanılmasıyla, aynı türden ve ergime sıcaklığı aralıkları aynı olan ya da yaklaşık olan bir malzemenin eklenmesiyle veya eklenmemesiyle oluşturulan, sökülemeyecek türdeki bir birleştirmeye “Metal malzeme kaynağı” denir.

Plastik malzeme kaynağı

Basınç ve ısı kullanımıyla, aynı türde plastik bir katkı maddesinin eklenmesi veya eklenmemesi ile benzer ya da farklı türdeki termoplastik (sertleşmeyen plastik) malzemelerin sökülemeyeceği bir şekilde birleştirme işlemine “plastik malzeme kaynağı” adı verilir.

2.4.2. Kaynak yapılış amacına göre kaynak çeşitleri

Birleştirme kaynağı

İki ya da daha çok malzemenin, sökülemeyecek bir bütün şekline getirilmesi amacıyla uygulanan kaynak işlemine "birleştirme kaynağı" denir.

Dolgu kaynağı

Hacimce eksik bulunan bir parçanın, bu hacimce olan eksikliğin giderilmesi ya da hacminin büyütülmesi, aynı zamanda korozyon veya aşındırıcı olan etkilerden korumak amacıyla, parça yüzeyine, sınırlı olan bir alanda malzemenin kaynak edilmesidir. Malzemeyi zırhlandırma, kaplama, tampon tabaka kaplama gibi örnekleri mevcuttur.

2.4.3. Kaynak uygulanma şekline göre kaynak çeşitleri

El kaynağı

Kaynak işleminin, yalnızca elle kullanılan bir kaynak aleti yardımıyla yapılmasıdır.

Yarı mekanize kaynak

Kaynak aletinin, kaynak yapan kişinin eli yerine, kısmen mekanikleştirilmiş araçla yönlendirilmesidir.

Tam mekanize kaynak

Kaynak aletinin, kaynak yapan kişinin eli yerine, komple mekanikleştirilmiş makineyle yönlendirilmesidir.

Otomatik kaynak

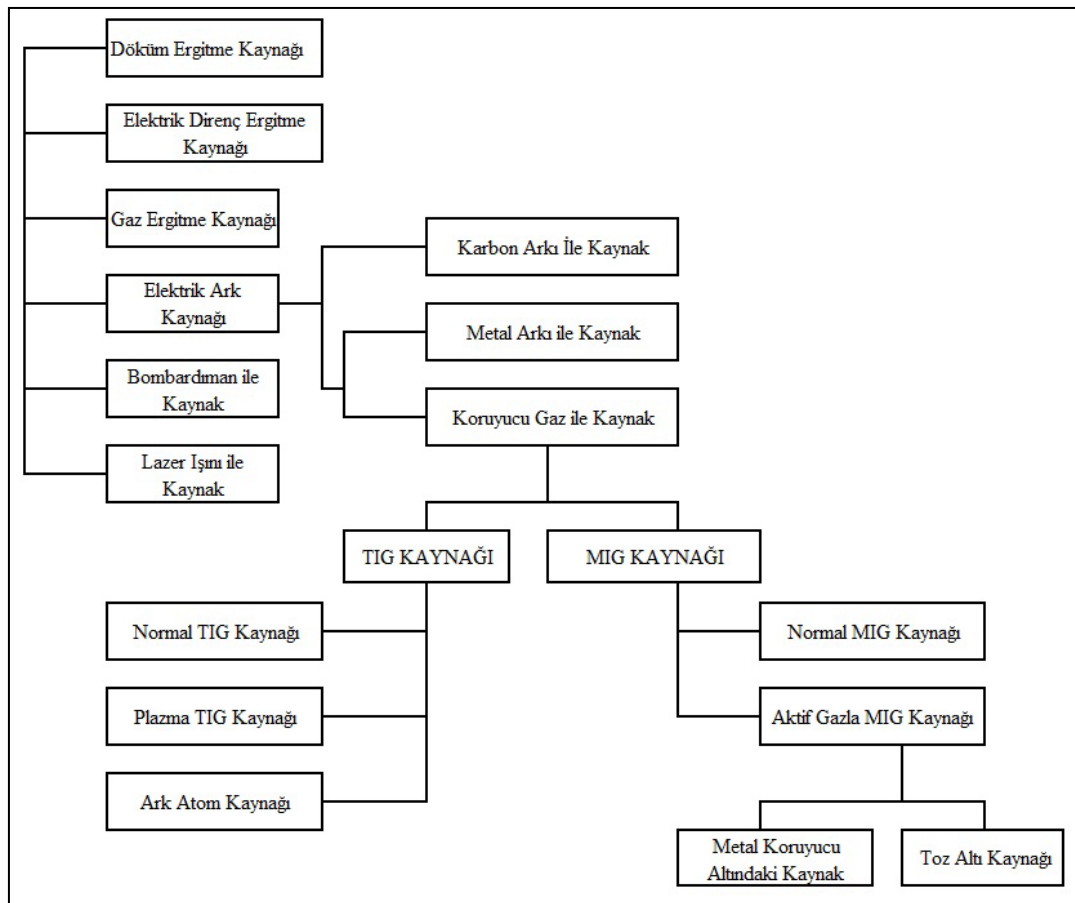
İş parçasının kaynaklanması ve değiştirilmesi gibi tüm ana ve yardımcı işlemler tamamen mekanize edilir.

2.4.4. Kaynak, işlemin cinsine göre kaynak çeşitleri

Eritme kaynağı

Malzemenin, sadece sıcaklık etkisiyle lokal olarak eritilip, ek metal eklenerek yada eklemenden ayrılmaz bir biçimde birleştirilmesidir [16].

Şekil 2.2'deki yöntemler, esas olarak metallerin eritilerek kaynaklanmasında kullanılır.



Şekil 2.2. Metallerin ergitilerek kaynaklanmasında kullanılan yöntemler [14]

Basınç kaynağı

Genellikle malzemenin, ek bir metal eklenmeden, basınç altında, lokal olarak sıcaklığının yükseltilmesiyle sökülemeyeceği şekilde birleştirilmesi mümkündür [16]. Bu basınç kaynaklarına örnek olarak döküm basınç kaynağı, elektrik direnç kaynağı, gaz basınç kaynağı, sürtünme kaynağı, ultrasonik kaynak, ocak kaynağı, soğuk basınç kaynağı, difüzyon kaynağı, elektrik ark basınç kaynağı verilebilir [14].

3. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

Direnç kaynağı, gerçekte oldukça eski bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem 1877’de Birleşik Amerika’da bir rastlantı sonucu bulunmuş ve I. Dünya Savaşı’na kadar endüstride çok az kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı’ndan sonra günümüze kadar direnç kaynağı yöntemlerinde ve özellikle elektrik devreleri ve zaman kontrol cihazlarında büyük gelişmeler olmuştur.

Farklı kaynak türlerinin gelişimi, otomotiv, uçak ve uzay teknolojileri, çelik yapı ve ürünleri, hassas cihazların ve boruların üretimi, elektronik ve makine gibi birçok sektörde kullanılan ve ince kesite sahip olan metal malzemelerin kaynağında yaşanan sorunların çözümü için gerçekleşmiştir. İnce kesite sahip malzemelerin, yüksek sıcaklıklara maruz kalması o malzemede kalıcı deformasyona neden olur. Bu sebeple, kaynak prosedürünün minimum sıcaklıkla en az sürede yapılması gerekmektedir. Kaynaklı bağlantıların minimum deformasyonla hızlı bir şekilde yapılması gereken yerlerde, ekonomik ve yüksek kaynak dayanımı da gereklidir, bu durumda elektrik direnç kaynağı ilk tercihlerden biri olmaktadır [17].

Elektrik direnç kaynağı (Electric resistance welding-ERW), günümüzde başta otomotiv, makine imalat ve beyaz eşya sanayi olmak üzere, metallerin şekillendirilerek ve kaynatılarak kullanıldığı pek çok endüstri kolunda kullanılan yaygın bir üretim tekniğidir. Uygulamada ek bir malzemeye gerek yoktur. Bu nedenle yöntem, uçak, taşıt, makine, vb. yapım dalları için rasyonellik açısından önemlidir [18,19].

Elektrik direnç kaynağı yaygın olarak kullanılan ve en eski elektrik direnç kaynak yöntemidir. Bu kadar yaygın olarak kullanılmasının temel nedenleri:

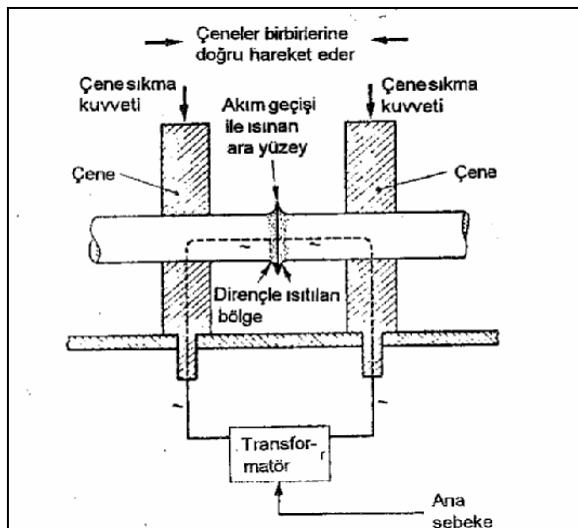
- Otomasyona uygun olması
- Uygulama süresinin kısa olması
- Düşük voltajlarda güvenli bir şekilde uygulanabilmesi
- Temiz ve çevre dostu olması
- Bakımının kolay olması
- İlave birleştirme malzemesi gerekmemesi
- Ekonomik olması
- Uygulamada özel bir beceri gerektirmemesi

- Kuvvetli bir bağ sağlaması

Elektrik direnç kaynağı prensibi, elektrotlar arasında kontrollü bir basınç ve süre zarfında bir arada tutturulan malzemelerden geçirilen elektrik akımına karşı, bu malzemelerin gösterdiği direnç sebebiyle ortaya çıkan ısıнын malzemeleri bölgesel ergitmesidir. Burada oluşturulan kaynak havuzunun soğutulmasıyla malzemelerin birleştirilmesine dayanan bir kaynak yöntemidir. Kaynak banyosunun oluşumuyla uygulanan elektrik akımı kesilerek malzemelere basınç uygulanır ve sökülemeyen bir birleşme sağlamak için bu basınç altında soğutma yapılır [17,20].

Elektrik direnç kaynağında kaynak, basit olarak iş parçalarının üzerlerinden akan akıma gösterilen direnç sonrası oluşan ısıyla gerçekleşmektedir. Fakat ısı oluşumunda malzeme ve yüzey temas direnci önemli rol oynamaktadır. Malzeme direnci tamamen malzemenin fiziksel özellikleriyle ilgili olup, yüzey temas direnciyle ilgilidir. Bu direnci ise kaynak tutma kuvvet değeri, yüzey pürüzlülük değeri, yüzeyde oksit tabaka varlığı, kaplama durumu ve yüzey temizliği etkilemektedir [20].

Çubukların uçları basınç altında temas halinde olmakla birlikte, ara yüzeydeki oksitler kaynak akımının geçişine bir direnç oluşturur ve bu nedenle bu bölgede ısı üretilir. Isı üretim hızı hem akımla hem de dirençle değişir. Direnç belli dereceye kadar, elemanları yakın temasa getiren ve böylece elektrik akımını ileten alanı arttıran basıncın değerine bağlıdır. Direnç alın kaynağı prensipleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Direnç alın kaynağının prensipleri [19]

Elektrik direnç kaynağı basit gibi görünen bir yöntem olsa da içyapısında elektro-termal-mekanik-malzeme disiplinlerinin bir arada cereyan ettiği karmaşık bir yapısı vardır. Elektrik direnç kaynağında ek malzeme ve ısı girdisi yoktur [20].

Direnç kaynak yöntemleri, genellikle verimli ve daha az kirleticidir. Direnç kaynağının, ark ya da gaz kaynakları yöntemlerinden daha az tehlike ihtiva etmesi sebebiyle, basit üretim prosedürleri için kullanılmasının ve otomatikleştirilmesinin daha kolay olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, pratikte direnç kaynağı yalnızca iki çakışan metal malzemeyi birleştirmesi nedeniyle sınırlı bir yöntemdir. Yöntem için gereken ekipman maliyetleri yüksektir [21].

İşlem sırasında kaynak ısınısını elde etmek için, genel olarak dalgalı akım kullanılır. Akım şiddeti 100 kA'ya kadar, kaynak gerilimleri ile 16V'u aşmayacak şekilde uygulanır. Bu yöntem, elektrik iletkenliği yüksek alüminyum ve bakır gibi malzemeler yerine, elektrik iletkenliği düşük olan çelik ve paslanmaz çeliklere uygulanmaktadır.

Koruyucu bir gazı ihtiyaç duyulmaz, alternatif akım kullanılır ve çinko kaplı sacların kaynağında elektrot aşınması maksimum seviyeye çıkar. Malzemeden geçirilen elektrik akımı tarafından üretilmiş olan ısı dışında, ısı uygulanmamaktadır. Gereken düşük voltaj ile yüksek akım seviyelerindeki elektrik gücü kaynak transformatörleri tarafından karşılanırken, basınç, mekanik ya da hidrolik ekipmanlar vasıtasıyla elde edilir [5].

Direnç kaynağı proses zamanı çok kısadır. Kaynak teli ya da elektrotu, lehim ve benzeri sarf malzeme kullanımı gerektirmez. Kaynak operatörü düşük gerilim ve akıllı fikstür sistemi sayesinde diğer kaynak metotlarına göre daha güvenli çalışabilir. Yine diğer kaynak yöntemlerine göre çevrecidir. Kaynak puntası ve kaynak dikişi, proses doğru uygulandığında güvenilirdir. Direnç kaynağı basit bir ısı köprüsü oluşturma işidir. Aslında herhangi bir elektrik direnç elemanı nasıl ısıtılıyorsa, metallerin temas yüzeyleri de bu şekilde ısıtılır. Elektrik direnç kaynağı prosesinde her bir devre elemanı direnç gibi davranır. Ancak en büyük direnç temas noktasında oluşur. En yüksek ısı da bu noktada açığa çıkar. Temas yüzeyindeki koşullar bu noktada oluşan direnci belirler: yüzey pürüzlülüğü, yüzeyin temizliği, oksitlenme olup olmadığı, düzlemsellik gibi...

Kaynak makinesinin ikincil devresi, kaynaklanacak malzemeler de dâhil, akıma etki eden bir dizi dirençtir. Bu devredeki herhangi bir nokta üzerinde üretilen ısı, o noktada bulunan

direnç ile doğru orantılı bir özellik sergiler. Bu nedenle, ikincil devredeki elektrik sistemleri, oluşturulan ısıyı istenildiği bölgede üretecek diğer alanları nispeten soğuk tutma amacıyla tasarlanmalıdır.

Diğer bir deyişle, ısının oluşmasını istediğimiz iş parçalarının temas noktaları haricinde hiçbir devre elemanı direnç oluşturmamalı, ya da söz konusu direnç minimum düzeyde tutulmalıdır. Elbette bunu sağlamak için devre elemanlarının her birini iyi tanımak, malzeme ve mukavemet özelliklerine hâkim olmak ve neticede elektrik iletkenliklerini dikkatle incelemek gerekmektedir. Çok kısa süren ERW uygulamalarında devre elemanlarının gösterdiği direnç ihmal edilebilir düzeyde kalır. Ancak modern imalat sektöründe robot veya punta makineleri gibi ERW üreteçlerinin uzun saatler boyunca hiç durmadan çalışması, direnç kaynağı konusunda uzmanlaşan şirketler araştırmalarını direncin mümkün olan en alt seviyede tutulmasına odaklamışlardır. Konuyla ilgili EN ve DIN normları da modern imalat yöntemlerini destekleyecek şekilde güncellenmektedir [18].

3.1. Elektrik Direnç Kaynağında Kaynak Kabiliyeti

Elektik direnç kaynağında, birleştirilmek istenilen parçalar malzemenin türüne göre, uygulanan elektrik akımının geçirilmesine karşı büyük bir direnç gösterirler ve böylece parçaların ısısı artar. Isıya dönüştürülen elektrik enerjisi ohm kanununa göre Eşitlik 3.1'de şu şekilde ifade edilmektedir;

$$N_s = I^2 \cdot R \quad (3.1)$$

Burada gösterilen " N_s " ısı enerjisine dönüşen elektrik enerjisini, " I " kaynak işlemi gören malzemelerden geçen akım şiddetini (kaynak akımı şiddeti), " R " kaynak işlemi gören malzemenin elektrik direncini göstermektedir. Yukarıda verilmiş olan ifadeye bakıldığında, elektrik dirençli kaynakta kaynak kabiliyeti, malzemenin türüne göre değişmektedir. Düşük elektrik direnci; üretilen ısı miktarını azaltır bu da kaynak yapılmasını güçleştirir. Bu durumda elektrik iletkenliğinin yüksek olduğu bir malzemede kaynak kabiliyeti, elektrik iletkenliğinin düşük olduğu bir malzemeye kıyasla daha kötüdür. Elektrik direnç kaynak yönteminde, kaynak kabiliyeti tarif edilirken o malzemenin ısı iletkenliği ile erime noktası da dikkate alınmalıdır.

Yüksek ısı iletkenlik, kaynak için gereken ısıyı konsantre etmeyi zorlaştırır. Bu nedenle, elektrik direnç kaynağında yüksek ısı iletkenliğe sahip bir malzemenin kaynak kabiliyeti düşüktür. Öte yandan, yüksek erime noktası, kaynak için gereken ısı miktarının artmasına neden olmaktadır.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, elektriksel iletkenlik, ısı iletkenliği ve malzemenin erime noktası göz önüne alındığında, elektriksel direnç kaynağındaki kaynak kabiliyeti Eşitlik 3.2'deki gibi verilebilir:

$$S = \frac{10^4}{\alpha \cdot \lambda \cdot t_e} \quad (3.2)$$

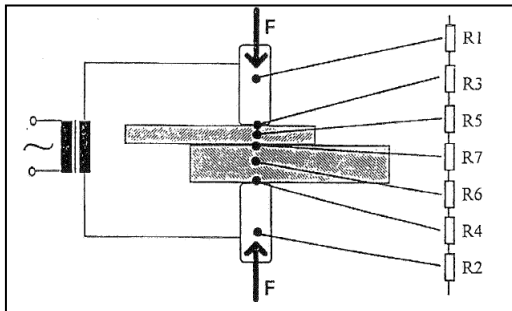
Burada; "S" kaynak kabiliyeti faktörünü, " α " elektrik iletkenliğini (m/n.mm^2), " λ " ısı iletkenliğini ($\text{cal/cm.sn.}^\circ\text{C}$), " t_e " erime noktası ($^\circ\text{C}$)'nı göstermektedir [22].

Yukarıdaki açıklanan kaynak kabiliyeti faktörlerine göz önüne alınarak, elektrik direnç kaynağındaki kaynak kabiliyeti Şekil 3.2'deki gibi değerlendirilmektedir:

<u>Kaynak kabiliyeti faktörü</u>	<u>Kaynak kabiliyetinin durumu</u>
0,25'e kadar	Kötü
0,25-0,75 arası	Yeterli
0,75-2,0 arası	iyi
2,0'den yukarı	çok iyi

Şekil 3.2. Kaynak kabiliyet faktörüne göre kaynak kabiliyeti durumu [13]

Aşağıdaki Şekil 3.3'de, elektrik direnç kaynağı esnasında, devre oluşa dirençler belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Elektrik direnç kaynağı ısısının oluşumunu sağlayan dirençler[18]

- R1, R2 Elektrotların dirençleri
- R3, R4 Elektrot parça geçiş dirençleri
- R5, R6 İş parçalarının direnci
- R7 İş parçası – iş parçası geçiş direnci
- F Elektrot baskı kuvveti

Kaynak akımı R1'den R7'ye kadar olan dirençlerin üzerinden geçer. Ergime bölgesinin yeterli ısıya ulaşabilmesi için sadece R5, R6 ve R7 dirençleri etkindir.

Metal parçaların yüzeyleri oldukça pürüzlüdür. Parçalar yüke maruz kaldıklarında bu pürüzlü yüzeylerinin bir kısmı temas eder. İşte elektrik direnç kaynak makinelerinin oluşturduğu akım, bu temas eden noktalarından ya da köprülerden akmaya çalışır. Söz konusu temas noktaları akıma direnç gösterir, akım yoğunluğu artar ve yüksek ısı oluşur. Bu yüksek ısı, akım köprülerini sırayla ertir.

Ergiyen metalin elektrik akımı karşısında gösterdiği direnç, henüz ergimemiş temas köprülerinininkinden yüksektir. Dolayısıyla elektrik akımı da, sırasıyla bu henüz ergimemiş noktalara sıçrar. Proses, temas yüzeyinin tamamı ergiyene kadar devam eder. Akım kesildiğinde elektrotlar, ergimmiş metali ve temas noktalarını soğutur. Dolayısıyla ERW prosesi tamamlanmış olur.

Şekil 3.4'de iki metalin arasındaki temas yüzeyleri abartılı ama açıklayıcı bir biçimde gösterilmiştir. Bu temas noktaları elektrik akımının geçtiği köprülere dönüşür.



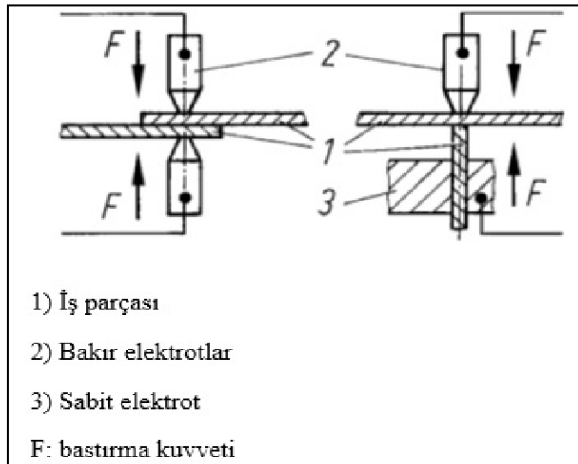
Şekil 3.4. Metallerin temas yüzeylerinde oluşan elektrik akım köprüleri [18]

3.2. Elektrik Direnç Kaynağı Çeşitleri

Elektrik direnç kaynağının nokta (punta), çizgi (dikiş), projeksiyon, yakma alın, basınçlı alın, darbeli alın ve yüksek frekanslı gibi türleri bulunur [23].

3.2.1. Elektrik direnç nokta (punta) kaynağı

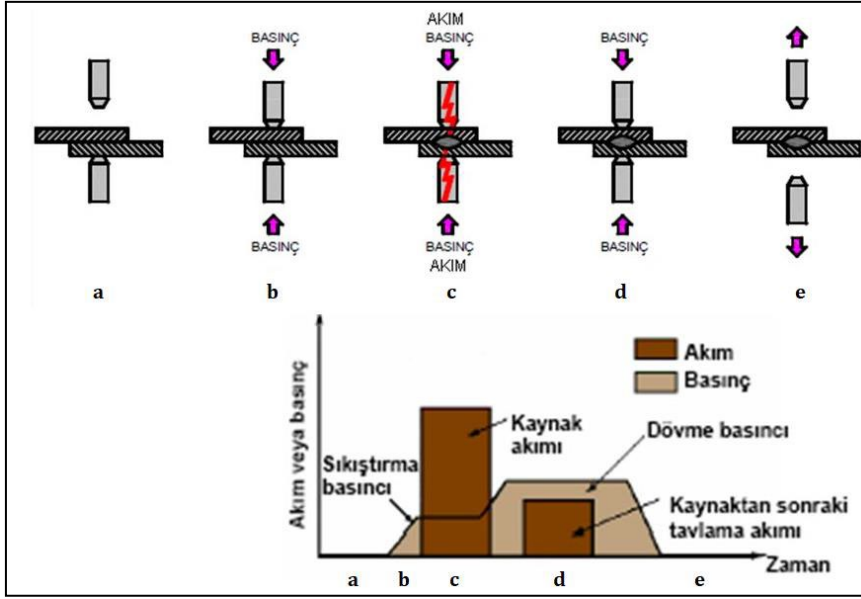
Nokta direnç kaynağı, elektrik kaynak yöntemleri arasında en eskilerinden ve özellikle sac malzemeler için otomotiv endüstrisinde en sık kullanılan yöntemlerden biri olmakla birlikte elektrotlar tarafından sabitlenen malzemelerden geçirilen elektrik akımına karşı gösterilen dirençten oluşturulan ısı ile uygulanan basınç yardımıyla malzemelerin lokal olarak birleştirilmesi işlemidir. Direnç kaynağında gereken ısı, akım gücü ve malzemenin direncine bağlıdır. Bununla birlikte, temas halinde olan yüzey alanları küçüldükçe, akım geçişindeki akımın yoğunluğunu artırır ve kaynak basıncının iletilmesi sağlanır [24,25]. Elektriksel direnç nokta kaynağı Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Elektrik direnç nokta kaynağı [26]

Elektriksel direnç nokta kaynağı, kaynak yapılabilir malzemeler açısından diğer kaynak yöntemlerinden daha fazla serbestliğe sahiptir. Bu yöntemle, birçok metal veya metal çiftini farklı şekil ve boyutlarda mükemmel bir şekilde birleştirmek mümkündür [27].

Otomobil, uçak, makine, araç gereç, metal eşya ve sac metallerde seri imalatla yaygın kullanılır. Bir otomobil gövdesinde yaklaşık 10000 punta bulunur. 3 mm kalınlığa kadar olan sacların bindirme kaynağında özellikle sızdırmazlık gerektirmeyen alanlarda kullanılır. Adımları Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir;



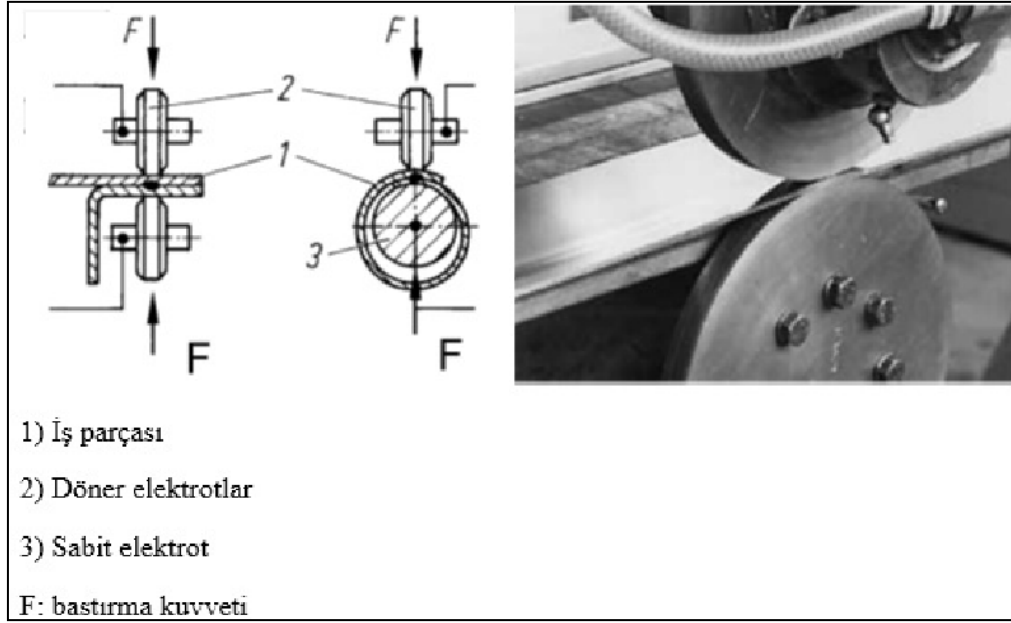
Şekil 3.6. Direnç nokta kaynağında akım, basınç-zaman grafiği [23]

Elektrotlar bakır alaşımı veya refrakter bakır-tungsten karışımı olabilir. İçlerinde soğutma kanalları bulunabilir. Endüstriyel uygulamalarından dolayı pnömatik veya hidrolik mekanizmalarla otomatize edilmiş ve taşınabilir robotik tabanca (pense) makineleri geliştirilmiştir [23].

Bu yöntemde, kaynak bölgesinde çok az yer değiştirme vardır ve elektrot işaretleri dışında hiçbir şey yoktur. Isınmanın bağlantı sırasında kısa sürede gerçekleşmesi nedeniyle ergitme kaynağı ile birleştirilen çeliklerde meydana gelen metalurjik dönüşümler, hiç gerçekleşmez veya çok az gerçekleşir. Uygulama, üst üste gelen sacların birbirine sıkıştırarak ve tam elektrot kuvveti uygulayarak akımı devreye girmesiyle gerçekleştirilir [27].

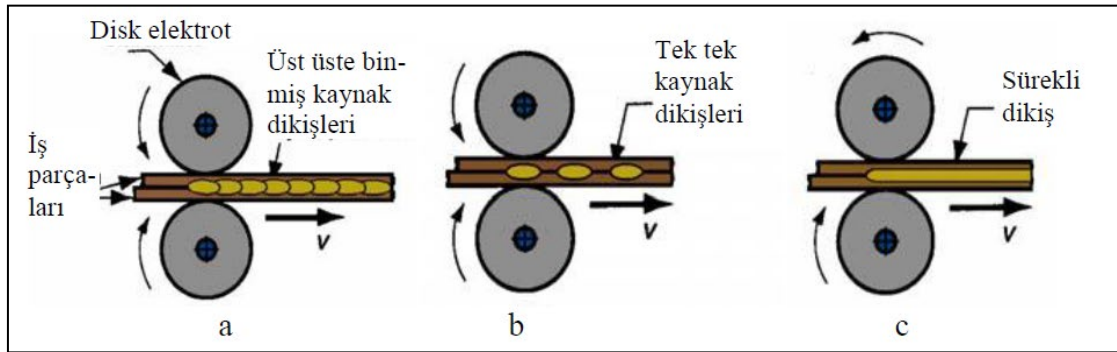
3.2.2. Elektrik direnç çizgi (dikiş) kaynağı

Direnç dikiş kaynağı, yapım tekniği açısından nokta dirençli kaynağa benzer olup, dikiş direnci kaynağını nokta kaynağındaki ardışık olarak noktaların sıralanması oluşturur. Dikiş kaynağında, nokta kaynak gibi üst üste bindirilmiş sac parçalarının, temas yüzeylerinden geçirilen elektrik akımına karşı dirençle eritilerek basınç altında Şekil 3.7'deki gibi birleştirilmesidir [28].



Şekil 3.7. Elektrik direnç kaynağı [26]

Sızdırmazlık gerektiren parçalarda nokta kaynağı kullanılamamış olması, dikiş kaynağı yönteminin gelişmesine sebebiyet vermiştir. Bütün çalışma ilkeleri aynı olsa da, nokta ile dikiş kaynak yöntemlerini farklılaştıran ayrıntı, elektrotların şekli ve dikiş kaynağında kullanılan elektrotların Şekil 3.8'deki gibi dairesel hareket yapabilme kabiliyetidir [29].



Şekil 3.8. Disk elektrot tarafından üretilen farklı dikiş türleri [29]

Nokta kaynağından farklı olarak elektrotlar dönen disk şeklindedir. Süreklilik gösterdiği için sızdırmazlık sağlama özelliği olduğundan sıvı yakıt tankı, egzoz susturucu ve sac metal kapların imalatında tercih edilir [23].

Benzin tanklarının imalatı elektrik direnç kaynağının en önemli uygulama alanlarından biri olup otomotiv sektöründe, yakıt depolarının sızdırmazlığını sağlamak, güvenlik bakımından büyük önem taşır. Otomobil endüstrisinde dirençli dikiş kaynağı tercih edilir,

Çünkü malzemeler birbirlerine tek bir paraymışcasına kaynatıldığı için seri üretimde otomatikleştirildiğinden büyük kolaylık sağlar. Bu yöntemin uygulama alanının çok geniş olmasının nedeni bu üretim yönteminin uygulamadaki etkinliği ve elde edilen sonuçlardır. Bu kaynak yöntemi aynı zamanda konserve kutu ve otomobil radyatörlerinin imalatında da kullanılmaktadır [30].

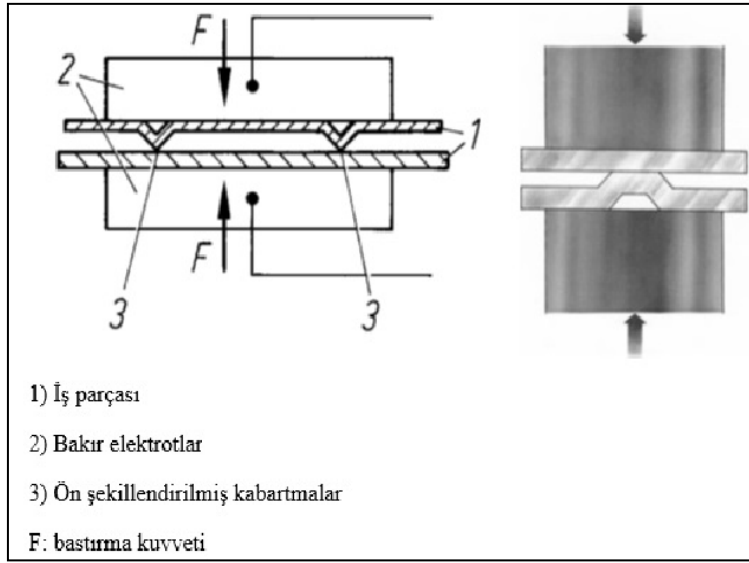
Bakır alaşımlardan üretilen elektrodalar ısıtılma işlem gördükten sonra dikiş direnç kaynağında kullanılır. Elektrot malzemesi soğuk çekilmiş bakır ya da ısıtılma işlem görmüş sert bakır alaşımlarıdır (bakır-kadmiyum, bakır-krom, bakır-tellür) [30].

Kullanılan elektrot çapları 50 mm ile 600 mm arasında olup, malzemeyle temas halinde olan elektrotların yüzeylerinin genişliği, kaynaklanacak malzemenin kalınlığına göre değişmektedir. Elektrot tarafından malzemeye uygulanan basınç, nokta kaynağından daha yüksektir [28].

3.2.3. Elektrik direnç projeksiyon kaynağı

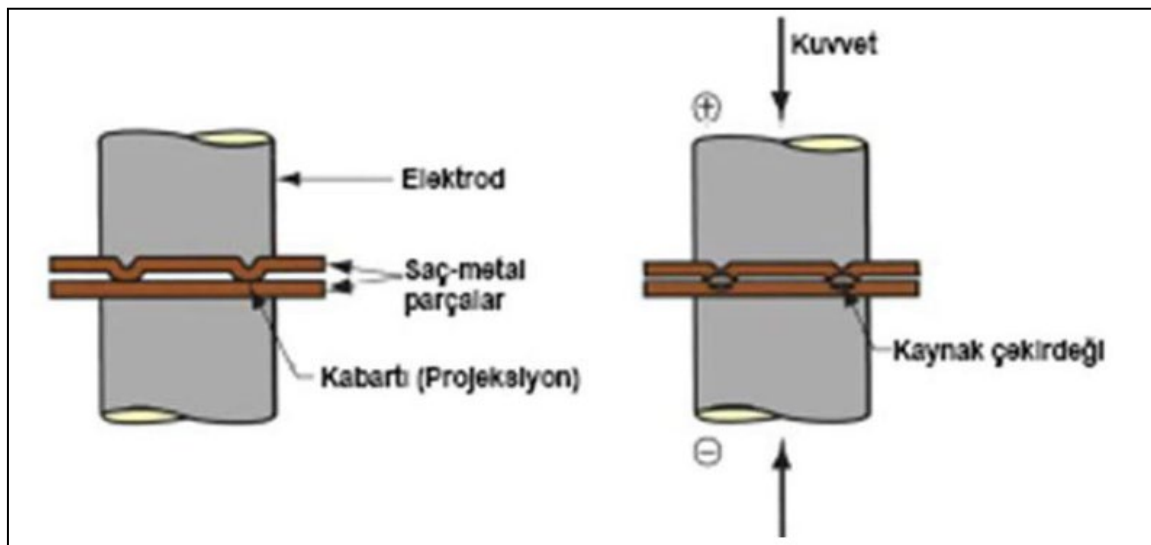
Direnç kabartı (projeksiyon) kaynağı, birleştirmenin, parçalar üzerindeki bir veya birak küçük temas noktasından oluştuğu bir direnç kaynak yöntemidir [31]. Kaynak yapılacak bölgelerde kabartma şeklinde temas bölgeleri oluşturularak direnç arttırılır ve enerji buralarda yoğunlaştırılır. n hazırlık maliyeti yüksek, kaynak enerji tüketimi düşüktür [23].

Kabartılı kaynakta, nokta kaynağında olduğu gibi, levhaların bindirme kaynağı ve ayrıca çeşitli tiplerdeki kaynakları gerçekleştirmek mümkündür [32]. Elektrik direnç kabartı kaynağı şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Elektrik direnç kabartı kaynağı [26]

Direnç nokta ve dikiş kaynak yöntemlerinin ikisinde de ara yüzeydeki akımın yoğunlaşması, elektrotların biçimlendirilerek ve temas eden yüzey alanının sınırlandırılmasıyla sağlanır. Kabartı kaynakta, saclardan bir tanesinin yüzeyinde yükselen bir kabartı kaynağın yerini belli eder. Bir araya getirildiklerinde saclar, yalnızca kabartının bulunduğu yerlerden birbirlerine temas halinde olurlar. Ara yüzden geçen akım, kabartma boyunca yoğunlaşır ve bu nedenle kabartma hızlı bir şekilde ısınır. Bu kabartı plastik duruma geçer ve eridiği için çökerek ara yüzeyde erimiş bir bölge meydana gelmiş olur. Elde edilen sonuç, nokta kaynağa benzemektedir [30]. Elektrik direnç kabartı kaynağı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



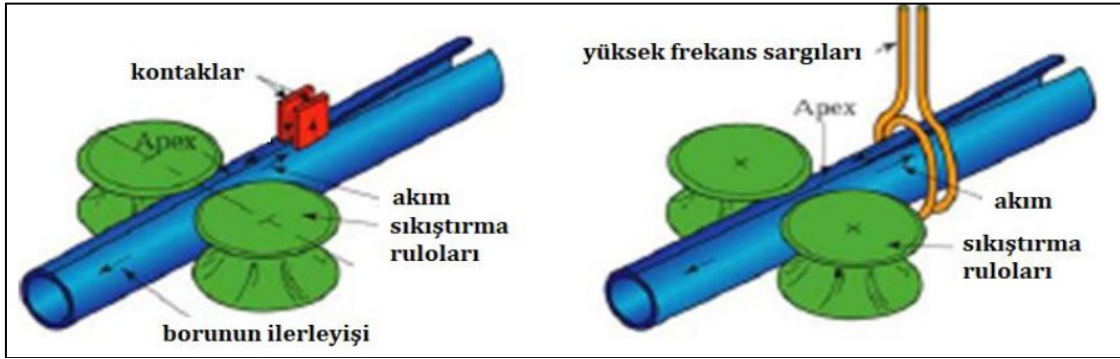
Şekil 3.10. Elektrik direnç kabartı kaynağı [23]

Genel olarak iki veya üç kabartı eşzamanlı olarak kaynaklanır. Kaynak makineleri temel olarak nokta kaynağı yöntemi için kullanılan makinelere benzer olmaktadır. Bununla birlikte, elektrotların bağlantı alanında, düzgün bir basınç uygulayan düz, bakır plakalar yerleştirilmiştir.

Uzun bindirme bağlantıları için kabartılı kaynak çok sık tercih edilmemektedir. Bu yöntem, küçük bağlantı parçalarını sac yapılara birleştirirken daha kullanışlı olmakla birlikte; otomobil gövdeleri, ev cihazları, ofis mobilyaları ve makine parçaları üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [30].

3.2.4. Yüksek frekanslı elektrik direnç kaynağı

10~500 kHz aralığında yüksek frekanslı alternatif akım geçirilerek ısıtılan parçalara ani basınç uygulanarak kaynak gerçekleştirilir. Isıtma indüksiyon bobini ile de uygulanabilir. Boyuna sürekli kaynaklı borularda yaygın kullanılır [23]. Yüksek frekanslı elektrik direnç kaynağı Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Yüksek frekanslı elektrik direnç kaynağı [23]

3.2.5. Elektrik direnç alın kaynağı

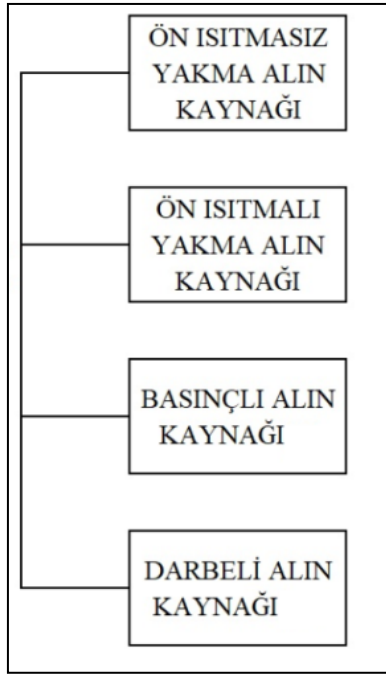
Her ne kadar temel çalışma prensipleri aynı olsa da, teçhizat bakımından nokta ve dikiş kaynağından farklılaşan pek çok özelliğın olması, alın kaynak yönteminin, diğer direnç kaynak yöntemlerinden daha farklı bir şekilde değerlendirilmesine yol açar.

Dirençli alın kaynağı genellikle boruları, yuvarlak kesit malzemelerini, kare kesit malzemelerini ve düz sacları birleştirmek için kullanılmaktadır. Bu kaynak yöntemiyle çelik ve alaşımların kaynağının başarıyla yapılmasının yanında kaynağı yapılacak olan

malzemelerin doğru kaynağında en önemli etken, malzemelerin aynı yönde olmasıdır. Eksenel olarak yanlış hizalama ile yapılan kaynak, kaynak kalitesini düşüren bir faktördür [29].

3.2.6. Alın kaynağı çeşitleri

Alın kaynağı çeşitleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

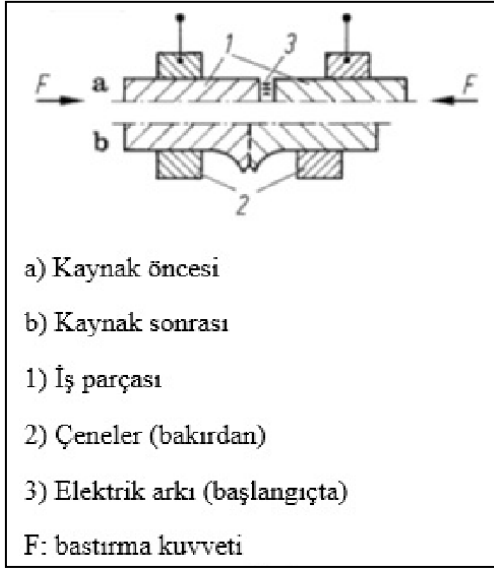


Şekil 3.12. Alın kaynağı çeşitleri [5,23]

Basınçlı alın kaynağında, parçalara yüksek basınç ile temas edilerek akım uygulanır. Yakma alın kaynağında ise parçalara temas etmeden elektrik akımı uygulanır [23].

Elektrik direnç yakma alın (flaş) kaynağı

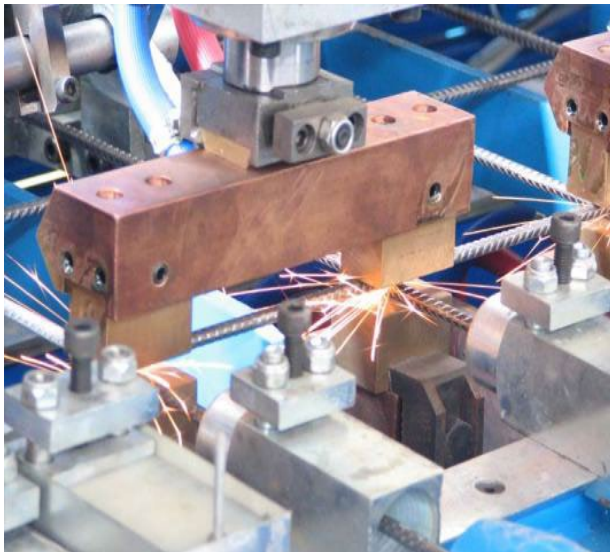
Alın yüzeylerinden temas ettirilen veya çok yaklaştırılan parçalardan geçirilen elektrik akımı ile ergime ve uygulanan basınç süresine bağlı olarak yanma ile kaynak gerçekleştirilir. Basınç nedeniyle oluşan çapak kaynaktan sonra temizlenir. Ekipmanın pahalı olduğu, seri imalatta hızlı ve ekonomik olan yöntem çubuk ve boruların alın birleştirmesinde tercih edilir [23]. Elektrik direnç yakma alın kaynağı, Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Elektrik direnç yakma alın kaynağı [26]

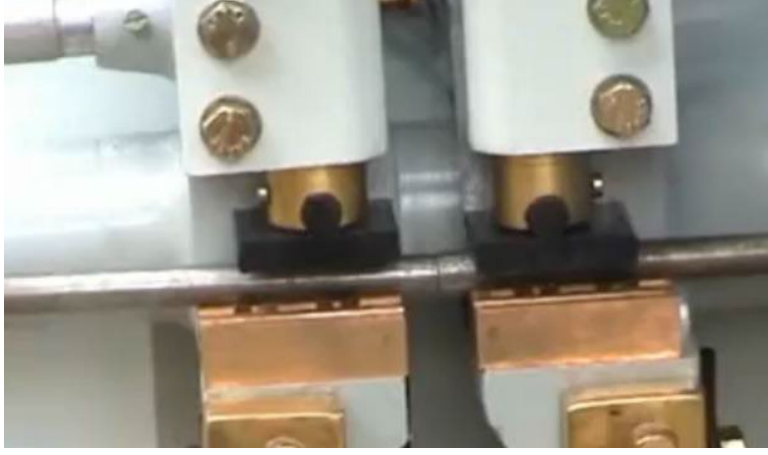
Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı

Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı (doğrudan yakma kaynağı), soğuk yanma kaynağı olarak da isimlendirilmektedir. Bu yöntemin üstün yönü, birleştirilmiş yüzeylere özel bir hazırlık gerekmemesidir. Bu özellik ile homojen ve yüksek mukavemetli ve güvenilirlik açısından iyi birleştirmeler elde etmek mümkündür. Soğuk yakma alın kaynakta, yakma ve yığma işlemleri birlikte yapılması nispeten küçük kesitlere ve çevresel uzunluklara sahip yüzeylerin birleştirilmeleri için özellikle uygundur. Yapılarda kullanılan hasır çelikler tipik örneklerdir ve Resim 3.1'de gösterilmiştir [5,33].



Resim 3.1. YAK yakından görünüşü [33]

Soğuk yakma alın kaynağında, kaynaklanacak malzemeler düşük bir basınç altında birbirlerine Resim 3.2'deki gibi temas ettirilir.

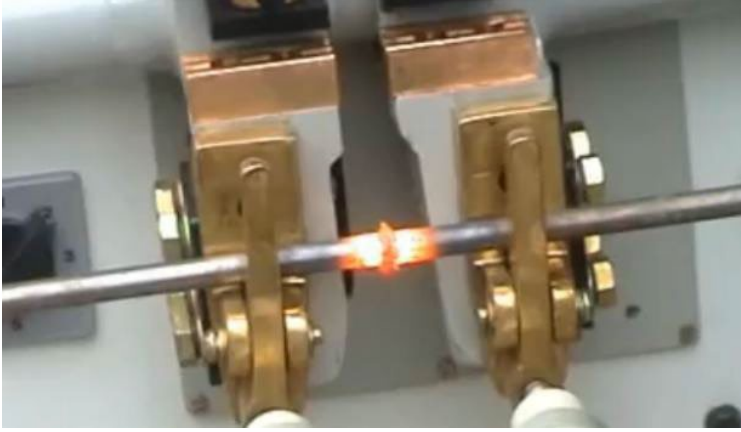


Resim 3.2. Parçaların tutuculara bağlanması [33]

Asıl temas, malzemelerin önceki üretim yöntemlerine göre yalnızca pürüzlülüklerin uç noktalarında oluşabilmektedir. Yüksek temas direncinin ve yoğun (yüksek) akım gücünün etkisiyle, yüzey pürüzlülüğü uçları çok çabuk ısınır ve bir akışkan temas köprüsü oluşmaktadır. Erime sıcaklığına ulaştıktan sonra, bölümdeki malzeme transferi manyetik alanın etkisiyle başlar.

Yüzey geriliminin etkisi altında, köprü tabakası her zaman ince bir kaplama meydana gelir. Yüksek metal buharlaşma basıncından ötürü, erimiş metalik parçalar, malzeme alınlarında kıvılcım demetleri oluşturur. Bu oluşum, yanma sırasında sürekli olarak ardışıklığını korur. Yanma sırasında, metal buharlaşması, bir koruyucu gaz tarafından önlenir ve bu, erime yüzeyinde oksidasyonu önler. Yanmadan belirli bir süre sonra, malzemenin alın yüzeyleri yeterli ve eşit bir ısıya sahiptir.

Kaynak yapılacak olan yüzeyler hızla birbirine yaklaştırılarak kaynak işleminin son basamağına geçilir. Bu esnada kaynak alın yüzeylerinde bulunan cüruf gibi yabancı ve o esnada akışkan halde olan malzemeler uygulanan basınç etkisiyle Resim 3.3'deki gibi kaynak yüzeyinden dışarı doğru itilir. Bu işlem ile yanma esnasında oluşmuş olan yanma kraterleri de kapanmış olur. Yakma alın kaynağındaki malzeme yığılması oranı, yığma kaynağındaki yığılma oranına göre daha azdır.



Resim 3.3. Kaynak işlemi [33]

Hafif metaller, çelikler, prınç ve bronz alaşımları gibi malzemelerde benzer ve dönel kesitlerde 300 mm²'ye kadar olan kesitlerde bu birleştirme yöntemi kullanılabilir. Kesit alanı büyüdükçe ön ısıtmasız yakma alın kaynağı yöntemi yerine ön ısıtmalı yakma alın kaynağı yöntemini kullanılmaya başlanır [33].

Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı

Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı yönteminde, kaynak yapılacak olan malzemeler yakma işleminden önce, malzemenin direnç özelliğinden yararlanılarak ön tav işlemine maruz bırakılır. Yapılan bu ön tavlamanın devamında malzemeler kaynak makinesinin manuel özelliğinden yararlanılarak uygulanan basınç kontrol altında tutulurken yanma işleminin gerçekleşmesi için kaynak akımı pek çok kez devreye sokulur. Bu işlem kesit alanı göz önünde bulundurularak 0,5-1,0 saniyelik sürelerle 5 ila 20 defa tekrarlanır [5]. Testere lamasının alın kaynağı ile kaynaklanması örneği Resim 3.4'de gösterilmiştir.

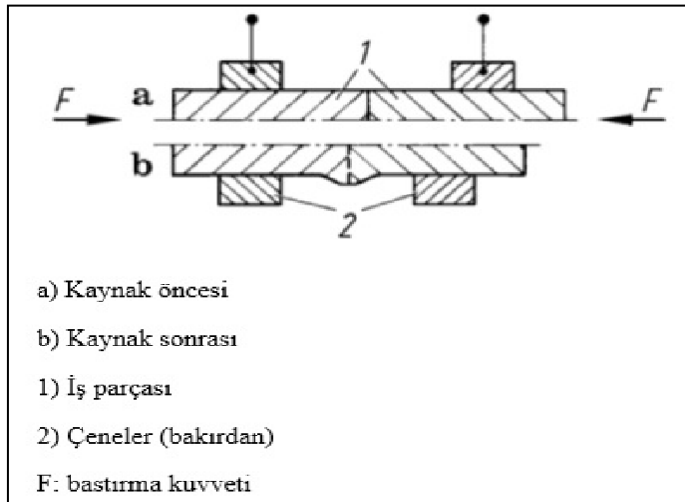


Resim 3.4. Testere lamasının alın kaynağı ile kaynaklanması [33]

Devamında kaynak yapılarak birleştirilecek olan malzemelerin alın kısımları, malzemeye uygulanan elektrik akımının geçtiği temas noktalarının dirençlerinden faydalanılarak ergime sıcaklığına getirilir ve eksenel olarak bir basınç uygulanarak ergimiş yüzeylerin, ergimiş metalle birlikte oksitleri de kaynak alanından dışarı doğru itekleyerek yığılması sağlanır. Bu yöntemde kaynağı yapılacak olan malzemelerin aynı kesitte olması ve kaynak edilecek olan alın yüzeylerinin sıcaklığının yükseltilerek ergimesi sağlanmalı devamında ise ergime sıcaklığına gelmiş bu yüzeylerin alın kısımları yeterli derecede tavlandıktan sonra uygulanacak olan eksenel basınçla yığma gerçekleştirilmelidir. Böylece ön ısıtmalı yakma alın kaynağı işlemi gerçekleştirilir [33].

Elektrik direnç basınçlı alın kaynağı

Yakma alın kaynağındaki ısıtma ve basınç uygulama aşamalarının birleştirilerek eş zamanlı olarak uygulandığı yöntemde ısıtmada basınç daha etkin olup ergitme yapılmaz [23]. Elektrik direnç basınçlı alın kaynağı, Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Elektrik direnç basınçlı alın kaynağı [26]

Elektrik direnç basınçlı alın kaynağı yönteminde kaynak yapılacak olan malzemeler kaynak transformatörüne elektriksel olarak bağlanan sabitleyiciler yardımıyla sıkıştırılarak birbirlerine 0,5 ile 1,2 kg/mm² arasındaki değere sahip bir basınçla kuvvetlice bastırılır. Malzemelerin kaynak yapılacak olan alın yüzeyleri olabildiğince düzgün olmalıdır. Bu sırada malzemelere sekonder akım uygulanarak malzemelerin temas yüzeylerindeki direnç yüksekliğinden faydalanılır ve plastik hale gelerek ergiyen bu yüzeylerin basınç yardımıyla birbirine kaynaması sağlanır [5].

Alaşımlı, karbonlu veya sade karbonlu çelikler, alüminyum, bakır, pirinç veyahut diğer hafif metaller ile alaşımlarından yapılan çeşitli profillerdeki çubuk ve tel malzemeler direnç basınçlı alın kaynağı yöntemi için uygunlardır.

Malzemeye uygulanan basınç paralel hizada hareket eden plaka ile ayarlanır ve malzemeye uygulanacak olan yığma basıncı bu hareketli plakanın üzerindeki hassas bir yay mekanizması ile sağlanmaktadır. Kaynatılacak malzemeyi sabit şekilde tutmayı sağlayan çelik tutucular kol kumandalı, oynar durumda, ayarlanabilen ve hızlı bir şekilde sıkıştırılabilen özellikleri yardımıyla kuvvetli bir sıkıştırma basıncı meydana getirirler. Aynı zamanda malzemeleri hızlı ve kolay gevşetme imkânı sağlayarak kaynak için doğru bir şekilde ayarlanmalarına imkân oluştururlar. Bu kaynak yönteminde aşınma direnci yüksek olan özel bakır alaşımından üretilen elektrotlar kullanılır [33].

Elektrik direnç darbeli alın kaynağı

Yakma alın kaynağına benzeyen yöntemde ısıtma çok hızlı olup darbeli kuvvet ile birkaç milisaniye kadar çok kısa bir sürede kaynak tamamlanır. Çok küçük ısıtma bölgeleri oluşur. Küçük elektronik parçaların kaynağında tercih edilir [23].

4. YAKMA ALIN KAYNAĞI

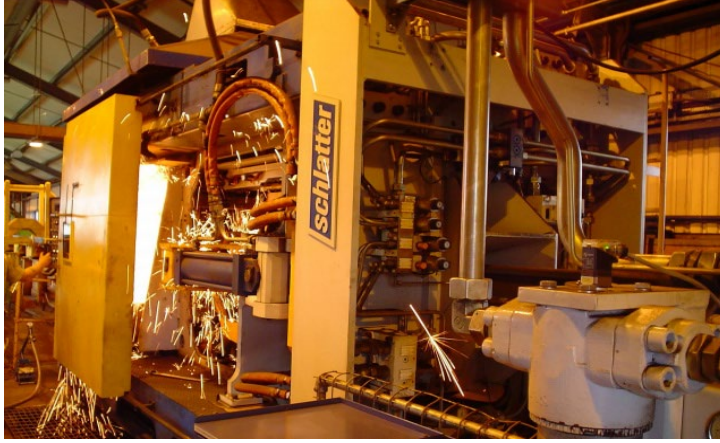
Endüstride aynı türden ya da farklı türden malzemelerin birleştirilmesinde karşılaşılan problemlerin giderilmesi için bazı yöntemler geliştirme ihtiyacı hissedilmiştir. Yakma alın kaynak yöntemi de bu geliştirilen yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntem benzer ya da farklı bileşime sahip metalik malzemelerin kaynak edilmesinde yaygın olarak kullanılır. Farklı bileşime sahip malzemelerdeki ısı iletkenlik özellikleri ile farklı ergime sıcaklıkları, yakma alın kaynağını diğer kaynak çeşitlerinden öne çıkarmaktadır [5,6].

Bu modern kaynak yönteminde birleştirilecek olan malzemeleri kaynak edebilmek için gerekli olan ısı, bu metal malzemelerin onlara uygulanan akım sonucu oluşturduğu omik ve temassal dirençten elde edilirken, yapılan yığma işlemi ise hidrolik ya da mekanik sistemler yardımıyla gerçekleştirilir. Yakma alın kaynağı en basit haliyle birleştirilecek olan malzemeye ek bir metal ilave etmeden, o malzemenin basınç kullanarak bölgesel olarak sıcaklığının yükseltilip birleştirilmesi işlemidir. Yöntemin diğer yöntemlere göre öne geçen yönü, kaynak edilecek olan yüzeylerin kaynak öncesinde özel bir hazırlama işlemine ihtiyaç duymamasıdır [1,11,34].

Kaynak işlemi görececek olan malzemelerin alın kısımları, düzgünce tıraşlanıp hazırlanarak ergime sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra, sıcaklık ve zaman faktörlerinin malzemenin kendi fiziksel ve kimyasal özelliklerini kaybettirmeyeceği şekilde ayarlanan basınç ile karşılıklı olarak birbirlerine yaklaştırılır. Kaynak işleminin gerçekleşmesi için gereken ısı, uygulanan akımın akmak için devamlılığını sağladığı temas noktalarının dirençleri ve yüzeyler arasından geçirilen ark ile sağlanır.

Eksenel olarak uygulanan basınç sebebiyle erimiş metal ile birlikte oksitler de malzemenin dışına doğru itilerek ana malzeme bir miktar yığma işlemine tabii tutulmuş olur. Kaynak parametreleri, işlemi yapan kaynak makinesinin kapasitesine ve birbirine kaynak edilecek olan parçaların kesit boyutlarına bağlıdır.

Yakma alın kaynağı, direnç tipi bir kaynak prosedürü olmakla birlikte fabrika ortamında veya mobil makineler kullanılarak fabrika dışında uygulanabilir [35]. Sabit yakma alın kaynak makinesinin fotoğrafı Resim 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.1. Sabit yakma alın kaynak makinesi [35]

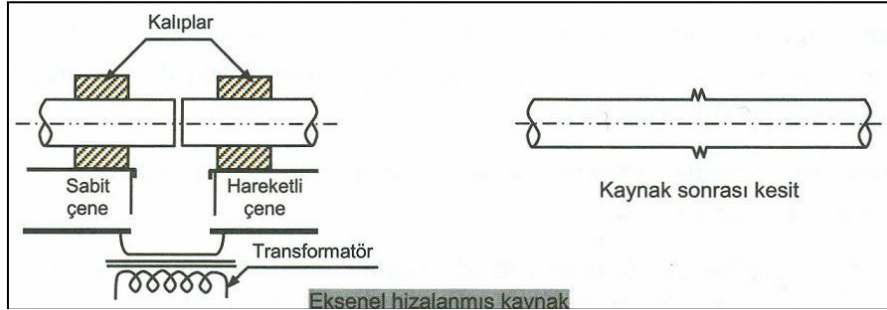
Fabrika dışında mobil makineler kullanılarak yolda yapılan kaynak işlemleri genel olarak demir yollarındaki uzun rayların birleştirilmesinde kullanılmakta olup bu rayların üretilmesinde kullanılan bu prosesin uygulanması ve işlem gereksinimleri tıpkı fabrika ya da atölyedeki gibidir. Metalurjik özellik ve mekanik bağlanma açısından mobil kaynak makinesiyle yapılan bir kaynak işlemi ile sabit bir tesiste yapılan kaynak işlemi aynı kalitededir [36]. Mobil yakma alın kaynağı makinesi aşağıda Resim 4.2'de verilmiştir.



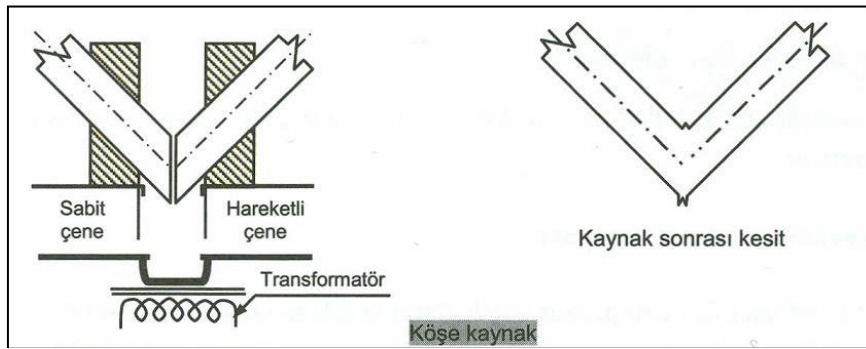
Resim 4.2. Mobil yakma alın kaynağı makinesi [37]

Yakma alın kaynağı yöntemi, demir-demir dışı metal ve alaşımlarıyla değişik malzeme kombinasyonlarının birleştirilebilmesi için kolaylıkla kullanılabilir. Düşük karbonlu çeliklerin yanında takım çelikleri, orta ve yüksek mukavemetli çelikler, östenitik ve martenzitik paslanmaz çelikler, Al, Ni, Ti ve bunların alaşımları da bu kaynak yöntemi için uygun malzeme çeşitleridir. Yöntem dik kesite sahip alın, köşe ve halka biçimindeki düz ve silindirik parçaların kaynağında kullanılabilir [30].

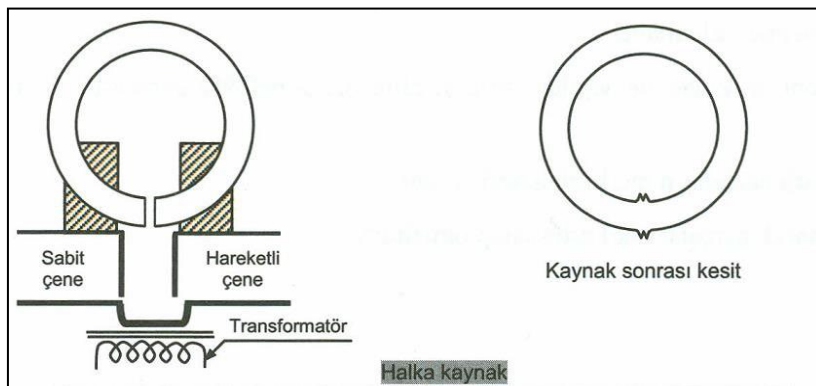
YAK'ın yaygın olarak kullanılan türleri Şekil 4.1-Şekil 4.3'de, endüstriyel kullanım örnekleri Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Eksenel hizalanmış yakma alın kaynağı [38]



Şekil 4.2. Köşe yakma alın kaynağı [38]



Şekil 4.3. Halka yakma alın kaynağı [38]



Şekil 4.4. Yakma alın kaynağının endüstriyel örnekleri [38]

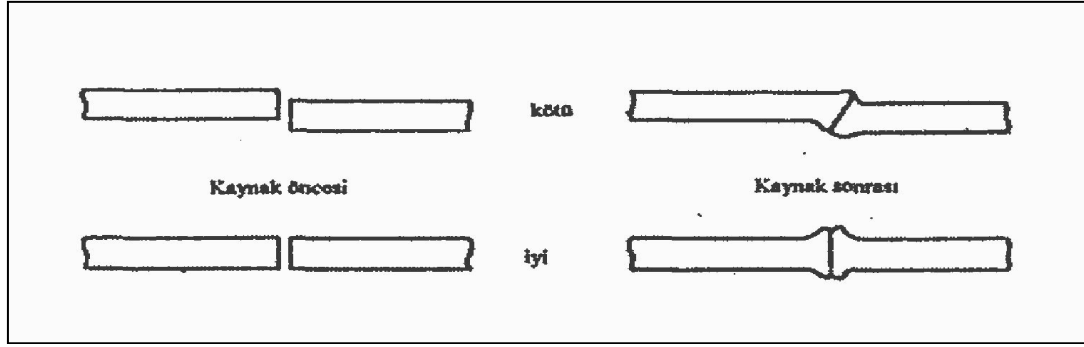
Yakma alın kaynağı genellikle düz sacların, zincirlerin, boruların, kare ve yuvarlak kesitli parçaların, rayların, takım gövdelerinin ve takım kesme parçalarının birleştirilmesinde kullanılır [4].

4.1. Yakma Alın Kaynağı Prensipleri ve Dikkat Edilecek Genel Esaslar

Yakma alın kaynağı için yüzey hazırlığı çok önemli değildir ve çoğu durumlarda gereksizdir. Bu kaynak yönteminde birleştirilecek olan yüzeyler için özel bir hazırlama işlemine ihtiyaç duyulmaması ve birleşmesi istenilen malzeme yüzeyinin her birim alanının kaynaklanabilmesi, dayanımı yüksek ve homojen birleştirmeler elde edilmesini sağlar. Buna karşın parçalarla elektrotlar arasındaki yüzey temizliği önemlidir. Elektrot yüzeyleri gres, toz gibi olumsuz etkilerden temizlenmelidir. Çünkü kaynak yapılacak olan malzemelerin yüzeylerindeki pullanma, gres gibi kirlilikler yığma işlemi esnasında hızlanmış olan malzemelerin kaymasına sebebiyet verebilir [6,14,38].

Kesiti büyük olan parçalarda yakma işleminin başlatılabilmesi için normalden daha yüksek yakma voltajı ihtiyacını ortadan kaldırması sebebiyle birleştirmenin yapılacağı alın yüzeylerinde pah oluşturulur.

Kaynaklanacak parçaların bir merkezde olması kaynak kalitesi bakımından çok önemlidir. Aksi halde yakma olayı sadece karşılık gelen yüzeylerde oluşur ve ısıtma tam olarak gerçekleşmez. Bunun sonucunda da yığma sırasında parçalar kayma eğilimi gösterir. Şekil 4.5’de bağlantı geometrisine parça merkezlenmesinin etkisi gösterilmiştir [6].



Şekil 4.5. Bağlantı geometrisine parça merkezlenmesinin etkisi [6]

Yakma alın kaynağında, kaynak yapılacak olan malzemelerin temas yüzeylerinden akım geçirilerek malzemelerin ergime sıcaklığına getirilmesi esnasında malzemeleri tam hızında tutan, kaynak akımı ve yığma kuvvetini malzemelere ulaştıran elemanlara "elektrot" ya da "germe elemanı" adı verilmektedir. Kullanılan bu elektrotlar, kaynak kalitesine etkisi en fazla olan makine parçası olup kaynak bölgesi ile direkt temas halinde olmadan sabitleme ve akım iletici olarak görev yapmaktadırlar. Boyutları çoğunlukla kaynak edilecek olan malzemelerin geometrisine bağlı olan bu elektrotlar, yığma işlemi esnasında hizalanmış olan parçaların konumunu bozmayacak şekilde dayanıklı olmalıdır [4,38].

Elektrotlar, yığma kuvvetinin taşınmasında ve oluşturulan akımın malzemeye geçirilmesinde birer elektrik iletkeni olarak görevlerini yaparlar. Malzeme ile elektrot yüzeyleri arasındaki temas alanlarında meydana gelen ısı artışının düşük tutulabilmesi ve elektrotların temas ettikleri yüzeylere yapışmaması için ısı iletimi yüksek olan veya suyla soğutulan elektrotlar kullanılmalıdır. Bu elektrotlar şekilleri, malzemeleri, ısı iletkenlikleri ve soğumalarıyla kaynak işlemi sırasındaki ısı bilançosunu etkilerler. Elektrot malzemelerinden beklenen özellikler çok çeşitlidir. Beklenen yaygın özellikler:

- Yüksek elektrik iletkenliği,
- Yüksek ısı iletkenlik,
- Yüksek normal ve sıcakta sertlik,
- Yüksek tavlama direnci,
- Yüksek yumuşama sıcaklığı,
- Kaynak yapılan malzemeyle düşük bir alaşım oluşturma eğilimi,
- Kolayca işlenebilme özelliğidir [39].

Bu farklı ve kısmen birbiriyle çelişen özelliklerin aynı anda sağlanması çok kolay değildir. Bu özellikler, yüksek akımın geçmesine izin veren ve aynı zamanda basınç altında yeterli fiziksel dayanımı gösteren bakır ve özel bakır alaşımları tarafından sağlanabilmektedir. Elektrik akımını ileten, doğrultuyu ve kaynak için gereken basıncı sağlayan bu hareketli tutucuların malzemeyi sabitleme ve hareket ettirme yeteneği vardır. Kaynak işlemi sırasında meydana gelen yüksek akım sebebiyle bu tutucular ısınır ve soğutulmaya ihtiyaç duyarlar. Kaynak edilen malzemeler ince kesitli ise hava soğutmalı, kalın kesitliyse su soğutmalı elektrotlar kullanılır [4,39].

4.1.1. Yakma alın kaynağı kademeleri

- Yakma kademesi,
- Yığma kademesi olmak üzere iki ana kademeden ve
- Ön ısıtma kademesi,
- Soğutma kademesi olmak üzere 4 kademeden oluşmaktadır [38].

Ön ısıtma

Bu kademe diğer kademelere oranla daha yavaş gerçekleşmektedir. Kaynak edilen malzemelerden geçirilen elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesiyle malzeme ısınmaya ve özgül elektrik dirençleri yükselmeye başlar. Direncin artması sebebiyle akım şiddetinin azalıp belli bir ısının altına düşmesi yakma kademesine geçişi sağlar. Kademenin uzun sürmesi sebebiyle malzemelerin ısı iletim katsayıları önem kazanmaktadır [28].

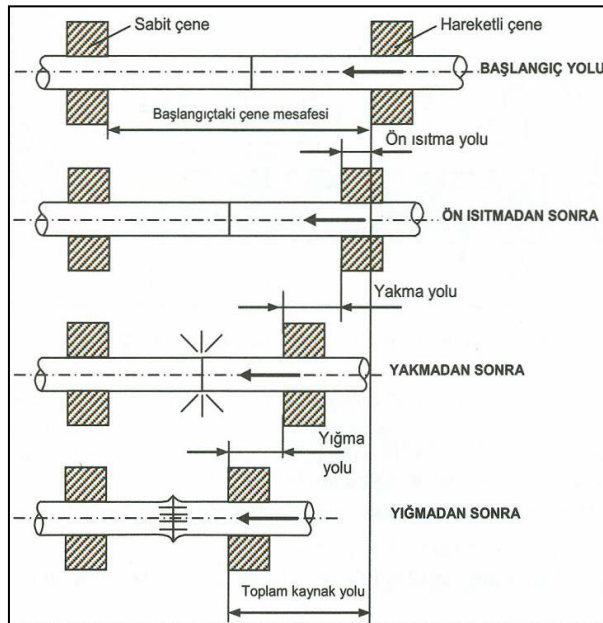
Yakma kademesi

Bu kademenin başında, kaynak edilecek olan malzemenin sıcaklığı ergime sıcaklığına gelmiş haldedir ve malzemedan geçirilen elektrik akımının etkisi altında olan malzemede, kaynak bölgesindeki metal parçacıkları buharlaşmaya başlar. Bu buharlaşan metal parçacıkları, malzemeye uygulanan basıncında etkisi ile dışarı sıçrar. Metal parçacıklarının sıçramalarla malzemedan ayrılması ile birlikte uygulanan akım kesilir ve elektrik arkı oluşturulur. Yüksek bir frekansla devam eden bu işlemde buharlaşan metal parçacıkları aldıkları ısının bir parçasını ayrıldıkları malzemenin kaynak yüzeyinde bırakır. Yakma kademesi çok kısa sürelidir [1].

Yığma kademesi

Belirlenen bir yakma süresinden sonra temas noktaları gerekli sıcaklığa ulaştıklarında malzemelere eksenel bir basınç uygulanır ve ergimiş olan metal ve oksit gibi cüruflar dışarı sürüklenmesi sağlanarak ana malzemeler bir yığmaya maruz bırakılır. Yığma basıncı uygulanmasıyla yakma voltajı kesilir. Düşük olan yığma basınçlarının kullanıldığı bazı durumlarda yığma voltajı kullanılmaktadır [1].

YAK işlem sırası Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Yakma alın kaynağı işlem sırası [38]

Yukarıda anlatılan işlem kademeleri, yapılan yakma alın kaynağı işleminin karakteristiklerindendir ve daima gereklidirler. Bu işlemler genel olarak aşağıda verilen parametrelerin gerekli şekillerde ayarlanması ile kontrol edilebilirler.

- Transformatörün yüksüz gerilimi,
- Yüzeylerin ilerleme durumu (Hız, hareket),
- Malzemelerin kaynak yüzeylerine etki eden kuvvet [38].

Yakma işlemi, dirençle ısıtma işleminden farklılık göstermektedir. Yakma alın kaynağında prensip olarak kaynak edilecek olan malzemelerin yüzeylerinin temas edecek olan alın kısımlarında yüzey sıcaklığının yükselmesi ve ergimenin sağlanması bulunmaktadır. Bu

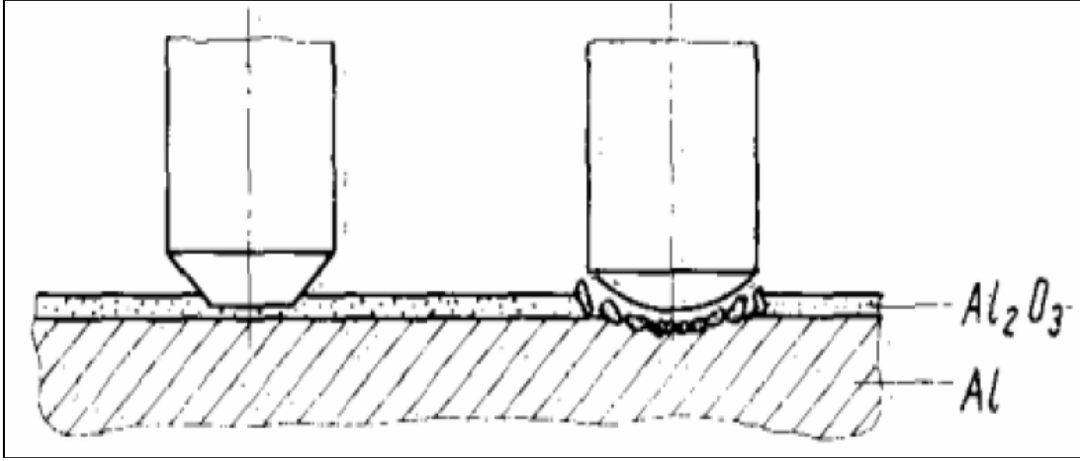
bahsedilen temas yüzeylerinde, temassız yüzeylerin varlığından ötürü yüksek elektrik direncine sahip alanlar bulunmaktadır ve henüz bu yüzeyler temas etmeden malzemelere gerilim uygulanır. Başlangıçta bu malzemeler düşük bir basınç ile temas ettirilmelidir [4,6,38].

Temel olarak, yakma alın kaynağında elektrot-malzeme ve malzeme-malzeme arasında temas direnci ile yakma gerçekleşir. Temas direnci (veya geçiş direnci), bir akımın birinden diğerine geçtiği, iki iletken arasındaki direnç olarak tanımlanır ve yüzeyin pürüzlülüğüne, elektriği hiç iletmeyen ya da çok az ileten pas, yağ, gres veya boya gibi yüzey tabakalarına bağlıdır.

Temas (geçiş) direncini etkileyen faktörlerden biri olan yüzey pürüzlülüğü, kaynak işleminin başında, akımın temas yüzeyinin tamamı üzerinden değil, yalnızca gerçek temas yüzeyi olarak adlandırılan belirli kısımlardan akmasının temelini oluşturur. Elektrot kuvveti arttıkça, plastik deformasyon artar ve böylece temas direnci düşer. Düşük elektrot kuvvetlerinde temas direncinin çok büyük bir aralıkta dağılmaktadır. Bu nedenle düşük elektrot kuvvetleri uygulandığında, kaynak akımının farklı değerlerinde, her bir kaynak noktasının dayanımı da birbirinden çok büyük farklılıklar göstermektedir. Benzer bir durumda oksit gibi malzeme yüzey tabakalarının davranışında görülmektedir. Yeteri kadar yüksek elektrot kuvvetleri, elektrot ucunun formu da uygun olduğu takdirde (örneğin hafifçe küresel uçlu elektrotlar) ince oksit tabakalarını ezebilmektedir. Bu durumda ise yüzeyde, derin elektrot izleri oluşmakta ve elektrotun aşınması artmaktadır. Bu sebeple, genellikle yüzey tabakalarının uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu uzaklaştırma işleri:

- Mekanik yöntemlerle (fırçalama, taşlama vs.)
- Fiziksel-kimyasal yöntemlerle (redükleyici ortamlarda tavlama) yapılabilir.

Yüzeydeki oksit tabakaları, kaynak akımının geçişine karşı bir direnç gösterir ve bu direnç o derece büyük olabilir ki, akımın geçişi imkânsız hale gelebilir. Bu durumda, yine de bir akım geçişi sağlanacaksa, bu oksit tabakasının parçalanması gerekir. Küresel uçlu elektrotlar yardımıyla oksit tabakasına bastırarak bu tabaka parçalanabilir ve elektrot-malzeme temas yüzeyi büyütülebilir. Küresel uçlu elektrot ile yüzey oksidinin parçalanması Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Düz ve küresel elektrot uçlarının kullanımı ve küresel uçlu elektrot ile yüzey oksidinin parçalanması [39]

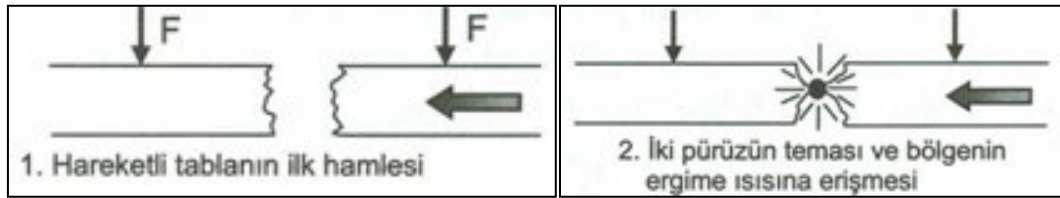
Bu oksit tabakası ne kadar inceyse, o kadar çok çatlak oluşturulabilir. Bu işlem, elektrot-malzeme temas direncinde bir azalmaya yol açar ve daha iyi bir akım akışı sağlar. Düz uçlu elektrotların kullanılması halindeyse, oksit tabakası parçalanmadan, saca birlikte bastırılır. Malzeme-malzeme geçişinde ilk temas, yüzeyde temas eden pürüzlerden olmaktadır. Bu durumda oksit tabakası, yeteri kadar yüksek bir basınçla ezilip parçalanmalıdır. Kalın oksit tabakaları, yüksek elektrot kuvvetlerinde dahi parçalanamayabilir. Bu durumda oksit tabakasının kimyasal yöntemlerle veya fırçalama ve taşlama gibi mekanik yöntemlerle uzaklaştırılması gerekir.

Yakma alın kaynağı ile malzemelerin birleştirilmesi sırasında elektrotların malzemelere bastığı yüzeylerin ve malzeme-malzeme temas yüzeylerinin taşlama ile temizlenmesinin sebebi budur [39].

Malzemelerin gerçek temasının, bu malzemelerin bir önceki üretim yönteminden kaynaklanan, yalnızca pürüzlülük uçlarında meydana gelebildiğini yukarıda açıklamıştık. Bu malzemelerin temas halinde bulunduğu alın yüzeyleri ideal düzlem oluşturmadıklarından, temas esnasında yüzeylerin çok az noktası birbirine temas eder ve bu elektrik geçiş alanını daralttığından bu noktalardaki elektrik direncinin yükselmesine sebep olur. Yakma alın kaynağının karakteristik bir basamağı olarak kaynatılacak malzemelerin alınlarında, normal veya düşük basınçlı bir temasın sağlanıp devam etmesi gerektiği açıklanmıştı. Bu temas ile yukarıda belirtilen o noktalarda ergiyen metal, her iki malzeme arasından elektrik akımının geçişini sağlar. Bu basınçsız temas haline yakma teması adı verilmektedir [1,28].

Malzemelerin kaynak edilecek olan yüzeylerinin toplam alanının çok az bir yüzdesini oluşturan temas yüzeylerindeki bu pürüzler, sekonder elektrik devresinin kapanmasına sebebiyet verirler. Büyük temas direnci ve yüksek şiddetli akımın etkisiyle yüzey pürüzlülük noktaları çok süratli olarak ısınır ve akışkan bir geçiş köprüsü oluştururlar. Yani temas noktaları, Şekil 4.8'deki gibi ani olarak ergime sıcaklığına ulaşır.

Malzemelerin ergime sıcaklıklarına ulaştıkları nokta ise malzeme transferinin başladığı nokta olarak tanımlanır. Ergime sıcaklığına ulaşılması sonrası, manyetik alanın da etkisi ile kesit üzerlerindeki malzeme geçişi başlamaktadır. Yüzey geriliminin etkisiyle geçiş tabakası sürekli ince bir örtü oluşturmaktadır [4,28,38].

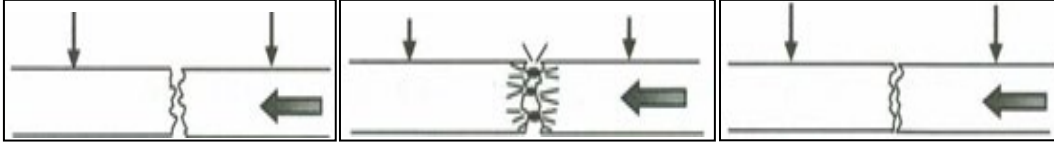


Şekil 4.8. Yakma alın kaynağı safhaları [38]

Metalin buharlaşma basıncının yüksek olması, ergimiş olan ve geniş metalik parçacıklar bulunduran alınlarda kıvılcım demetleri oluşumuna sebebiyet verir. Ergimiş ve yanmış küçük metal parçacıkların hacimlerini patlatır ve kıvılcım demetleri halinde dışarı fırlamasını sağlayarak yeni krater ve çukurlar oluşturur.

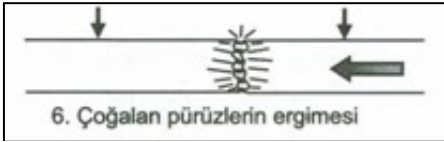
Bu kıvılcımlanmanın süresi, malzemenin ısı iletkenlik ve kesitlerine, kıvılcımlanma çevrimine ve sekonder devre gücüne bağlıdır. Bu durum, yanma işlemi boyunca, art arda devamlılığını korumaktadır. Küçük temas yüzeylerinden yüksek akım geçmesiyle buharlaşan metalin oluşturduğu gaz tabakası, kaynak bölgesi için koruyucu bir atmosfer oluşturmaktadır ve birleşim bölgesini örten sıvı haldeki metalin oksitlenmesine engel olur [4,17,28,29].

Çeneler hareket ettirilerek bu kraterlerin uç noktalarının tekrar temasa geçmesi sağlanır ve alın yüzeyinin tamamının kaynak sıcaklığına gelişine kadar Şekil 4.9'daki gibi sürer. Bir süre sonra malzemelerin alın yüzeyleri yeterli ve eşit bir ısıya sahip hale gelir. Kaynak kalitesinin yüksek olması için yakma işlemi, krater oluşumu olmaksızın temas eden yüzeyleri yumuşatabilmelidir [4,28].



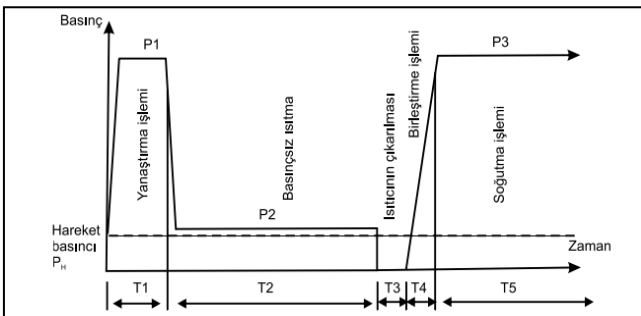
Şekil 4.9. Yakma alın kaynağı işlem safhaları [38]

Yanma işleminin tüm alın yüzeylerini kaplaması ve bu yüzeylerin ergimesinden sonra, tutucuların ani hareketi ile malzemenin alın yüzeyleri aksel olarak birbirine yaklaştırılarak malzemede yığılma başlayınca uygulanan akım kesilir. Bu durumda pürüzlü yüzeylerin temas dirençleri kaybolur ve kıvılcımlanma Şekil 4.10'da gösterildiği gibi biter. Ön ısıtma ve yanma işlemleri kısa sürede gerçekleştiği için oluşturulan yüksek sıcaklık sadece malzemenin kaynak yapılan alın bölgeleri ve bu kısma yakın olan bölgelerde etkisini gösterir [4,38].



Şekil 4.10. Yakma alın kaynağı işlem safhaları [38]

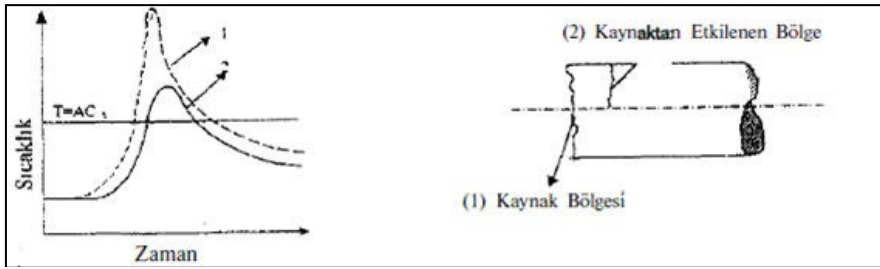
Kaynağı yapılan malzemelerde, bu işlemler sırasında meydana gelen erime ve sıçramalar sebebiyle ortaya çıkan malzeme kayıpları, hareketli olan tutucuların yaklaştırılmasıyla dengelenir. Kaynak dikişindeki metalik olmayan bileşikler, mikro boşluklar ve gözeneklilik gibi durumlara engel olmak için kaynak edilen malzemeler, yığma işlemi sırasında yeterli hareketi sağlamak adına ergime sıcaklığında bulunmalıdır. Böylece o bölgedeki kav, cüruf, yabancı maddeler ve akışkan olan o malzeme fazlalığı dışarı atılabilsin ve de yanma esnasında oluşmuş olan kraterler kapanabilsin [4,16,28]. YAK işleminin grafiksel gösterimi Şekil 4.11' de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Yakma alın kaynak işleminin grafiksel gösterimi [34]

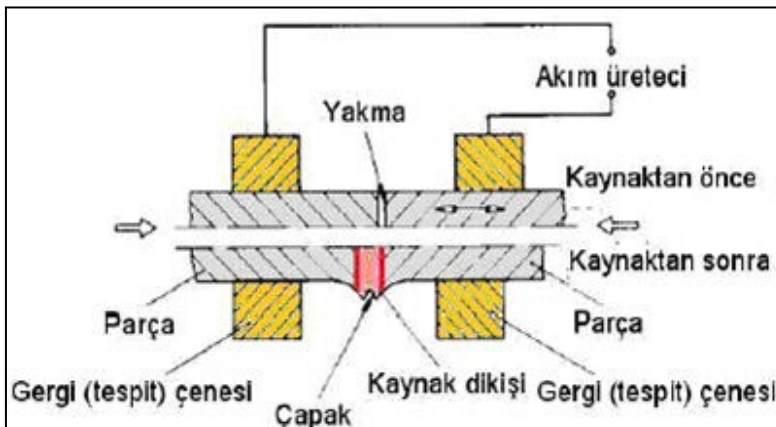
Yakma alın kaynağı yönteminde, ön ısıtma kademesinde kaynak temas bölgeleri başlangıç temasında (pürüzlülük yüzeyleri) tav sıcaklığına kadar ısınırlar ve devamında yakma kademesine geçildiğinde bu ısı, ergiyen alın bölgelerinden malzemenin iç kısımlarına doğru iletmeye başlar. Elektrik akımı ile sağlanan bu ısı, çok yüksek ısıtma ve soğutma hızlarının meydana gelmesine sebep olur [5].

Kaynak ve civarındaki bölgelerde zaman sıcaklık değişimi Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kaynak ve civarındaki bölgelerde zaman-sıcaklık değişimi [5]

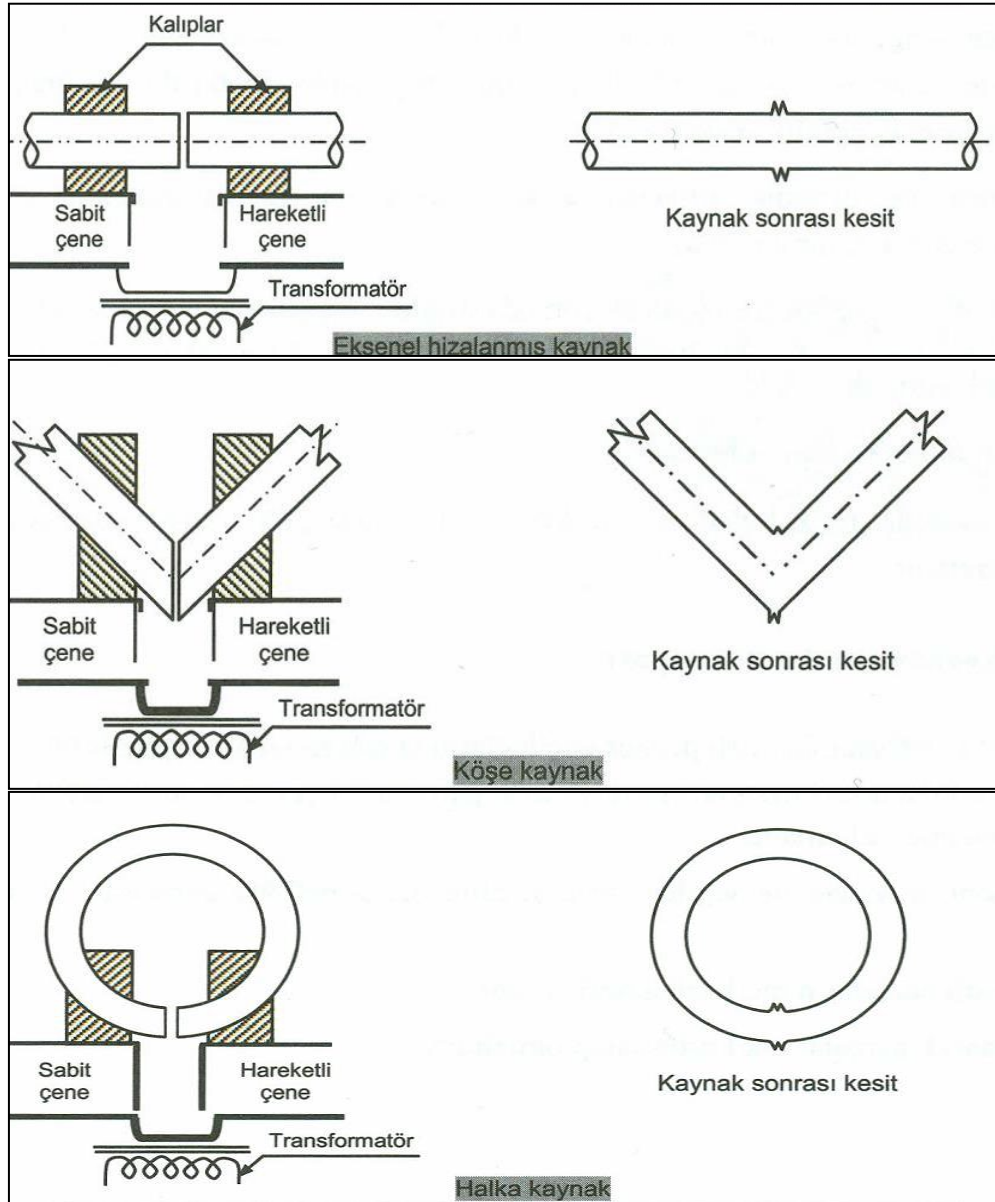
Isıtma hızının yüksekliği sebebiyle ergime bölgesinin çok yüksek sıcaklıklara çıkışının malzeme özelliklerine büyük bir etkisi vardır. Bu hızın yüksek oluşu meydana getirilen yüksek sıcaklık farkından dolayı malzemede, iç gerilmelere sebebiyet verir. Basınç, akım ve süre gibi parametrelerin kaynak işlemi esnasında senkronize olarak kontrol altında tutulması, istenmeyen içyapı oluşumları için önlem teşkil eder. Kaynak parametrelerinin düzgün ayarlanamadığı durumlarda istenilmeyen içyapı değişiklikleri görülmeye başlanır. Kaynak işlemi bitiminde ısı farkı sebebiyle oluşan bu gerilmelerin en alt düzeye inmesi için gerilim giderme ve normalizasyon tavlamalarının uygulanması doğru olacaktır [4,5]. YAK işlemi kaynak öncesi ve sonrası şekilsel olarak Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yakma alın kaynağı [5]

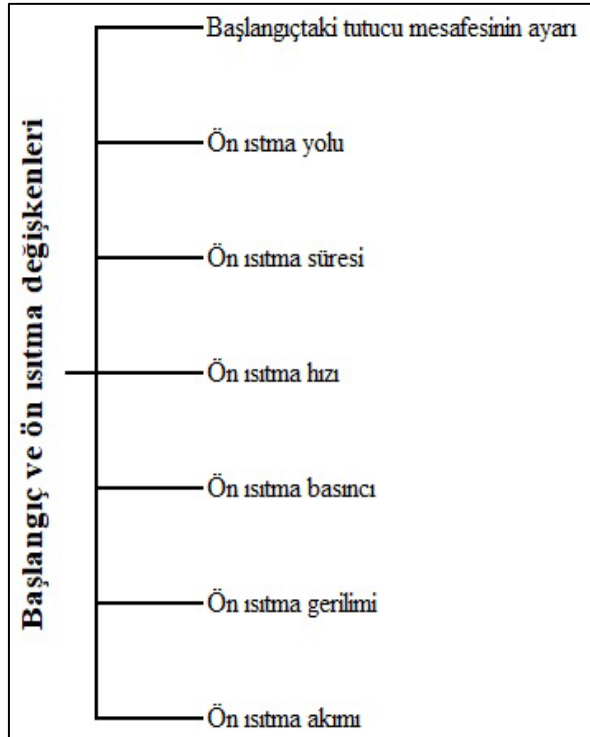
Kaynak işlemi bittikten sonra malzemeden dışarı taşmış olan çapaklar temizlenmelidir. Büyük kesitli malzemelerde bu çapakların temizlenmemesi çekme dayanımını biraz arttırmasına karşın yorulma dayanımının azalmasına neden olur [6].

Yakma alın kaynağı ile Şekil 4.14' de görüldüğü gibi üç ana tip tasarım uygulanabilir.



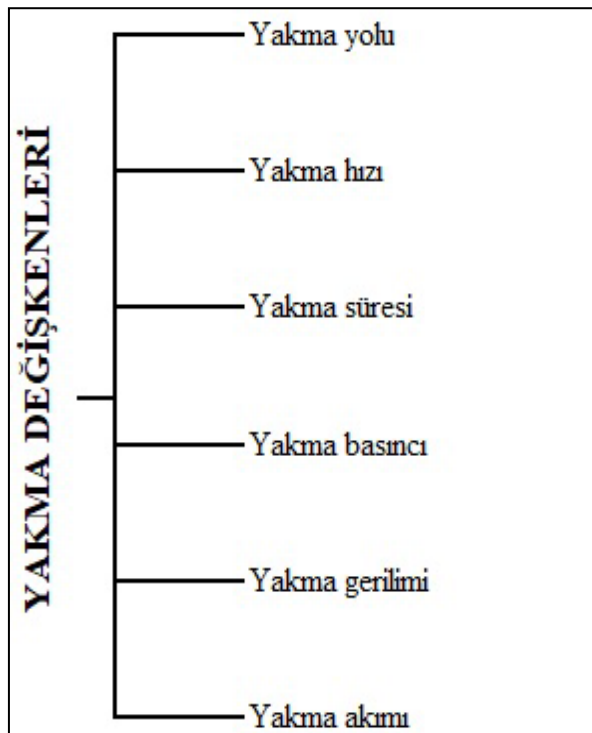
Şekil 4.14. Yakma alın kaynağı kullanım tipleri [38]

Yakma alın kaynağı özellikle ön ısıtma, yakma ve yığma kademelerinde, kaynak kalitesi ve dayanımını etkileyecek olan çok sayıda değişken barındırır. Bu değişkenleri Şekil 4.15'de verildiği gibi 7 ana grup altında toplamak mümkündür. Yakma ve yığma değişkenleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir. Başlangıç ve ön ısıtma değişkenleri;



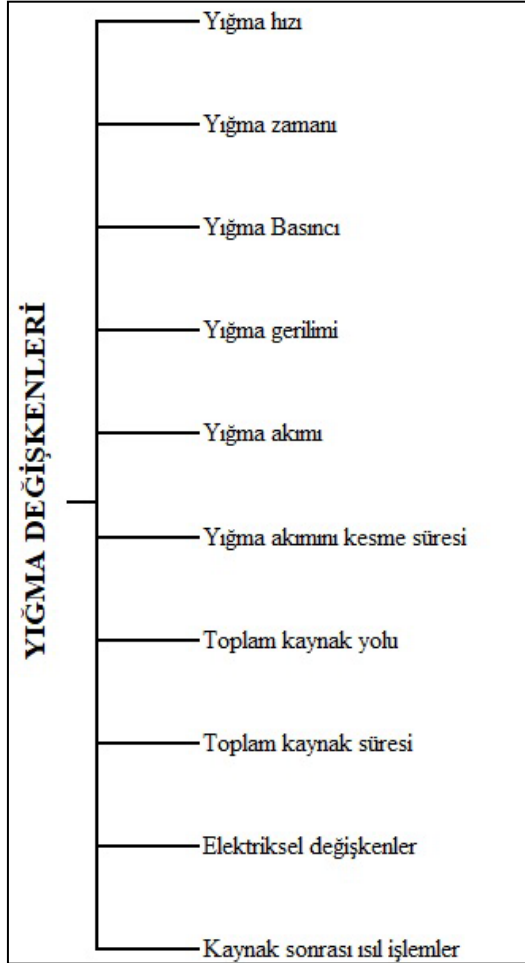
Şekil 4.15. Başlangıç ve ön ısıtma değişkenleri [38]

Yakma değişkenleri;



Şekil 4.16. Yakma değişkenleri [38]

Yığma değişkenleri;



Şekil 4.17. Yığma değişkenleri [38]

Yukarıda sayılan değişkenlerden özellikle yakma ve yığma parametreleri, araştırmalara en çok konu olan ve yöntemi en çok etkilediği düşünülen değişkenlerdir. Yakma sıcaklığı ve yakma süresi de uygulanan kaynak işlemi üzerindeki diğer önemli etkenlerdir. Yakma işlemi, malzemede gerekli olan yakmayı sağlayabilmek için bir zaman aralığında uygulanmalıdır. Gerekli zaman, sekonder voltajı ile metal kaybının oranına bağlıdır.

Yakma gerilimi

Yakma gerilimi, kaynak transformatöründeki ayar kademeleri ile ayarlanır. İyi bir yakma periyodu için gerilim mümkün olduğu kadar küçük seçilmelidir. Çalışmalar göstermiştir ki, kararlı bir yakma 2,5–3 V civarında sağlanabilmektedir; ancak akım makineleri için yakma voltajı 5–10 V civarındadır. Yüksek yakma gerilimi kullanıldığında, yakmayı başlatmak ve beslemek daha kolaydır fakat bu durum yakma kademesi boyunca derin kraterlerin

oluşmasına ve kaba yakmaya neden olabilir. Bu derin kraterlerin erimiş metal ve oksitleri bünyelerinde tutmaları nedeniyle yığma sırasında erimiş metal ve oksitler ara yüzeylerden tamamen alınamazlar; böylelikle kötü kalitede kaynağa neden olurlar. Bundan dolayı mümkün olduğu kadar düşük gerilim ile çalışılmalıdır; ancak yakmanın başlatılabilmesi için de yüksek gerilim gereklidir. Bu problemin çözümü için üç ayrı yöntem önerilmektedir [38].

Yakma alın kaynağı ünitesi azalan bir gerilim kontrol ünitesine sahip ise, yakma, yüksek bir gerilim ile başlatılır ve daha sonra yakma periyodu için gerekli daha düşük bir gerilime indirilir. Yakma gerilimindeki değişimler, sadece transformatörün ayar kademelerinin değişimi ile sağlanmalıdır. İşlem için gerekli olan iki ayrı gerilim değeri, iki primer kontaktör kullanılarak sağlanır. Kontaktörlerden birisi yakmanın birinci safhası sırasında yüksek bir sekonder gerilimi sağlamak için gerekli beslemeyi sağlar. Diğer kontaktör, önceden belirlenmiş bir zaman sonrasında devreye girerek, yakma için gerekli normal sekonder gerilimi sağlar ve bu anda birinci kontaktör devre dışı kalır.

Kaynaklanacak parçaların uç kısımları yivli ya da oluklu hale getirilir. Böylece daha küçük dik kesit elde edilir ve yakma başlangıcı için daha yüksek akım yoğunluğu elde edilmiş olur [38].

Yakma süresi

Yakma olayı, metalin kaynak edilebilmesi için ihtiyaç duyulan yakmanın sağlanabilmesi bakımından ve de mukavemetli bir kaynak dikişi için gerekli olup belli bir zaman aralığında yapılmalıdır [38].

Yakma gerilimi kesme süresi

Genellikle yakma gerilimi, yığma işlemi başladığı zaman kesilir. Gerilim sınırının noktası, mekanik deneyler ile belirlenmelidir [38].

Yığma oranı

Yığma kademesinde, kaynak temas yüzeylerindeki erimiş olan metal ile oksitler dışarı atılabilmelidir. Uygulanacak olan yığma oranı, metal yeterli plastisiteye sahipken, en

uygun yığma gerçekleştirebilecek ve ergimiş metali katılaşmadan önce dışarı atabilecek seviyede olmalıdır. Ayrıca kaynak ara yüzeyinin ince olabilmesi için, uygun sıcaklığa ulaşıldığında yığma uygulanmalıdır [38].

Yığma mesafesi

Uygulanan yığma mesafesi ile ergimiş halde olan metal ve oksitler birleşim bölgesinden uzaklaştırılabilmeli ve alın yüzeyleri birbiriyle açıkça temas edilebilmelidirler. Geçerli bir kaynak kalitesi için yığma mesafesi uygun olmalıdır.

Kaynak işlemi esnasında düzgün bir yakma sağlanabilmişse, daha küçük bir yığma mesafesi çoğu metal için yeterli olabilecektir. Bunun yanı sıra bazı ısıya dirençli alaşımlar için daha büyük yığma mesafeleri gerekmektedir [38].

Yığma akımı

Belirli şartlarda kaynak ara yüzeyi yakma işleminin arkasında, hızlı bir şekilde soğumaya yatkındır. Bu olay istenmeyen yığana ya da yığılan metal malzemede soğuk çatlağa neden olur. Bu durumda kaynak dikişinin mevcut sıcaklığı, kaynak transformatöründen sağlanan ısı vasıtasıyla muhafaza edilmelidir.

Eğer farklı metallerin kaynağı söz konusu olursa, yanma sırasında metal kaybı her bir parça için farklı olacaktır. Bu davranış malzemelerin elektriksel ve ısıl özellikler ile erime noktalarındaki farklılığa atfedilir ve bu durum bağlantı kalitesi üzerinde çok etkilidir.

Bu yöntemle, karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, korozyon ve ısı dirençli alaşımlar, Al alaşımları, Ni alaşımları, Cu alaşımları ve Ti alaşımları kaynaklanabilir. Ancak Ti alaşımları gibi kuvvetli reaktif malzemeler ancak soy gaz koruması altında kaynak edilebilirler [38].

4.2. Yakma Alın Kaynağı Avantajları

- Aynı tür parçaların kaynaklanmasındaki benzer prosesler ile karşılaştırıldığında, daha hacimli yüzeyler birleştirilebilmektedir. Kesit yüzeyine bağlı tezgâh kuvveti vasıtasıyla çalışılması koşuluyla, 90000 mm² alana kadar kaynaklama işlemi yapılabilmektedir.

- Kaynağın yüzeysel olarak yanma ve ergime olayı sayesinde gerçekleştirilmesi, ilk başta gerçekleşen boyutsal kısalmaya izin verilmesinden dolayı parça yüzeyleri için bir ön hazırlamaya ihtiyaç kalmamaktadır.
- Birleşme bölgesinde sınırlı miktarda yığılma meydana gelmektedir. Kaynağın boyca kaybında, yüzde 20-30 yığılma ve %70-80 yanmaya izin verilmektedir. Bu oranlar kaynağı yapılacak ürünün cinsine göre farklılık göstermektedir.
- Yakma alın kaynağı sayesinde dinamik zorlamalara karşı daha fazla dayanım gösteren kaynak birleştirilmeleri elde edilmektedir.
- Yöntem dik kesitlere illa dairesel olarak uygulanacak değildir. Üçgen, H, dikdörtgen kesite sahip örnekler de kolaylıkla kaynaklanabilmektedir. Ayrıca kaynaklanacak parçalar dönel simetriye sahip olmak zorunda değildir [1].
- Yanma olayı sırasında metal malzemenin buharlaşması, koruyucu gazın yaptığı etkiye benzer şekilde, kaynak banyosunda oksidasyon olmasına izin vermemektedir [30].
- Malzemeye verilen elektrik akımının oluşturduğu ısıdan hariç olarak, herhangi bir ısı uygulanmamaktadır.
- İlave malzemeye ihtiyaç yoktur. Meydana gelen ısı elektrotlar sayesinde uzaklaştırılır [5].
- Zamandan tasarruf edilir.
- Köşeler rahatlıkla birleştirilebilir.
- ITAB bölgesi dardır [28].
- Isıdan etkilenmiş bölge (HAZ) dardır.
- Malzeme kullanımı en az olan yöntemdir.
- Çevreye zarar bakımından en çevreci kaynak yöntemidir [36].

4.3. Yakma Alın Kaynağı Dezavantajları

- Kaynaktaki yakma işleminde dışarı çıkan sıvılaşmış metal parçacıkları etrafa olumsuz etki yapabilir. Bunun için önlem alınmalıdır.
- Kaynak sonrası yanan ve yığılan malzemenin temizlenmesi çoğunlukla gerekmektedir ve özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır [30].
- Tek faza sahip güç ihtiyacı, üç fazlı primer güç hatlarında dengesizlik oluşturur.
- Küçük kesitli parçaların merkezlenmesi zordur.
- Kaynaklanacak parçalar dik kesite sahip olmalıdır [1].
- Yüksek elektrik bağlantı değerleri gereklidir.

- Büyük yığılma kuvvetleri gereklidir.
- Büyük ve düzensiz oluşan kenar taşması (çapak).
- Kaynak kısmında çok fazla sertlik ve homojen olmayan dokusal durum oluşabilir. Bahsettiğimiz ve buna yakın sorunları önlemek düşüncesiyle ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge) alanının daraltılması ve çatlak gelişmesinden kaçınabilmek için kaynak parametrelerin şartlara göre düzenlenmesi gereklidir.
- Kaynatılacak malzemelerin eş doğrultuda olması gerekir. Eş doğrultuya konulmadan birleştirilen malzemelerde eksenel sapmalar meydana gelmekte ve bu da işlemin kalitesini olumsuz etkileyen bir neden olmaktadır [4].

5. YAK İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, YAK'a ilişkin çalışmalar kronolojik sırayla incelenmiştir.

Yumurtacı ve arkadaşları 2001 yılında, S 6-5-2 ile 4140 çeliği numunelerinin yakma alın kaynağı ile birleştirilmesini ve bu birleştirmenin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda kaynak bölgesinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinde hemen hemen %50'lik bir azalma gözlemlenmiştir [34].

Kökçe 2002 yılında, demir yolları taşıt ve raylarının üretim yöntemleri ile tamir-bakımda kullanılan kaynak yöntemlerini bir arada incelemiş ve bu yöntemlerin kullanılmasındaki etken unsurları belirlemiştir. Mobil kaynak makinalarıyla da gerçekleştirilebilen YAK metodunun, uzun kaynaklı rayların ve bağlantılarının üretiminde, yüksek yorulma dayanımına sahip olmasından dolayı yaygın olarak kullanıldığını ve en etkili metod olduğunu ortaya koyarken, yollarda daha çok alümin-termit kaynak metodunun kullanıldığını gözlemlenmiştir [22].

Arabacı 2003 yılında, zincir üretiminde kullanılan 16MnCr5 çeliğine yakma alın kaynağı uygulanması ve bu uygulanan yöntemin mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Yapılan YAK uygulamasında değiştirilen parametrelerin ve kaynak sonrasında uygulanan ısı işlemin, kaynak kalitesini değiştirdiği ve kaynak bölgesinde en yüksek sertlik değerlerinin elde edildiğini gözlemlenmiştir [1].

Çetinkaya ve Arabacı 2004 yılında, YAK yönteminde yığma akım zamanının 16MnCr5 zincir çeliğinin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda en yüksek sertlik değerleri kaynak bölgesinde gözlemlenirken, yığma akım zamanının artmasıyla birlikte sertlik değerlerinin düştüğü ve çekme değerlerinde önemli bir artış meydana geldiği gözlemlenmiştir [40].

Çetinkaya ve Arabacı 2006 yılında, YAK ile birleştirilmiş olan 16MnCr5 zincir çeliklerinin mekanik ve mikro yapı özelliklerine yığma basıncının etkisi araştırılmışlardır. Yığma akım süresi 2 saniyeye sabitlenerek, yığma basıncı sırasıyla 2, 2,5 ve 3 bar olarak değiştirilmiştir ve yapılan deneyler sonucunda en yüksek sertlik değerlerinin kaynak birleşme bölgesinde olduğu gözlemlenirken, yığma basıncı arttıkça kaynak bölgesindeki

sertlik değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Numunelere uygulanan yığma basıncı arttıkça, numunelerin çekme değerlerinin arttığı tespit edilmiştir [41].

Çetinkaya, Arabacı ve Akay 2006 yılında, X40CrMoV5 1 (H13) sıcak iş çeliği ile Ç1030 çeliklerinin YAK yöntemiyle birleştirilmesini ve yapılan bu birleştirmede kaynak kalitesine yığma akım zamanının etkisini incelemişlerdir. En yüksek sertlik değerleri, Ç1030 numunelerinin birleşme ara yüzeyinde gözlemlenirken, H13 numunelerinde iri taneli bölgede (ITAB) gözlemlenmiştir. Fakat yığma akım zamanı arttırıldığında sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir [42].

Selalmaz 2008 yılında, istatistiksel süreç kontrol (İSK) metodlarını uygulayarak üretilmiş olan zincirin yakma alın kaynağı sonrasında kontrol dışında olan durumları tespit etmeye çalışmıştır. Yapılan 3 aylık çalışmanın sonucunda malzeme üretim kaybında, üretim maliyet kaybında ve üretim süre kaybında %50'lik iyileştirmeler elde edilmiştir [6].

Onay 2011 yılında, Aksaray-Havalimanı Metro hattındaki rayların kaynaklarında, aluminotermite kaynak yöntemi ile YAK yöntemini ekonomik ve mekanik özellikler bakımlardan incelemiştir. Aluminotermite yöntemi yerine YAK kullanılarak HAZ bölgesi daraltılmış ve ray teker yuvarlanma yüzeylerinde, aşınma ve sertlik farkları minimize edilmiş olup kaynakta tokluğun arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda maliyet olarak da YAK yönteminin, aluminotermite yöntemine göre 2,1 kat daha düşük maliyetli olmasıyla yöntemin ekonomikliği de tekrar onaylanmıştır [36].

Şimşek 2015 yılında, S235JR (St 37), S355JR (St 52) ve AISI 304 Paslanmaz Çelik malzemelerden oluşan deney gruplarını farklı akımlar kullanarak YAK yöntemi ile birleştirerek, bu kaynak yönteminin bu malzeme gruplarının mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışması sonucunda kaynak metali merkezinden ana malzemeye doğru ilerledikçe, sertlik değerlerinde düşmeler gözlemlenmiş olup, kaynak akımının artışının kopma dayanımını olumsuz etkilendiği görülmüştür [5].

Çimen 2015 yılında, AISI 304, AISEI 430 ve AISI 1050 çelik malzemelerden oluşan numunelerin YAK yöntemiyle birleştirilmesi ve bu birleşimin mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. İncelemeleri sonucunda AISI 304 ve AISI 1050'de en yüksek sertlik değerleri ITAB da gözlemlenirken, AISI 430 malzemenin sertlik değerlerinin kaynak bölgesinde

düştüğü tespit edilmiş ve AISI 1050 malzemesinin kaynak ile birleştirildiği numune çiftlerinde sertlik ve çekme mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir [28].

Biçer 2015 yılında, 60 E1 ray gruplarını (-5)°C, nötr ray sıcaklığı aralığı (21°C ve 27°C) ve (51) °C sıcaklıklarında YAK yöntemiyle birleştirmiş ve numunelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmaları sonucunda düşük sıcaklıklarda kaynak edilmiş rayların mekanik özelliklerinin kötüleştiği ve daha kolay kırıldığı gözlemlenmiştir [39].

Özakgöl ve arkadaşları 2015 yılında, Türk Demir Yolu ağlarında kullanılan YAK yöntemiyle birleştirilen 49E1 ve 60E1 ray kesitlerine sahip rayları bükme ve yorulma testlerine tabii tutarak arıza modlarını tanımlamışlardır [35].

2015 yılında L.B. Godefroid, G.L. Faria, L.C. Cândido, T.G. Viana, demiryollarında meydana gelen kazaların sayısını azaltmak amacıyla YAK yöntemiyle birleştirilmiş olan orta karbonlu çelik raylarda yorulma çatlakları başlatarak çatlak ilerlemesi incelemesi gerçekleştirerek demir yollarındaki kazaların nedenlerini araştırmışlardır. Kaynak bölgesinin yakınında başlayan yorulma çatlaklarının gevrek bir mod ile yayılarak malzemenin erken kırılmasına neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Rayların derinlemesine bir analizi, kaynak dikişinin yüzey temizliğinin uygun olmadığını ve istenmeyen stres konsantrasyonu oluşturduğunu göstermiştir. Aynı zamanda kaynak bölgesindeki yorulma çatlakları çekirdeklenmesine karşı düşük direnç gösteren yumuşak bölgelerin varlığı gözlemlenmiştir [43].

Yu ve arkadaşları 2015 yılında, YAK yöntemiyle birleştirilmiş U71Mn rayın kırılma problemini, kırılma yüzey morfolojisi, mikroyapı ve mikro sertlik özellikleri bakımından incelemişlerdir. Kırılma yüzeyi yakınlarındaki metalografik morfolojinin, inklüzyonların ve mikro sertliğin normal seviyelerde olduğu tespit edilirken, rayın kırılma yüzey incelemesinde, kırılma özelliğinin, yorulma kırılması olduğu tespit edilmiş olup, analiz sonuçlarında ray kırılma yüzeyinde korozyon tespit edilmiştir.

Rayın düzleştirme, taşıma, döşeme ve servis işlemi sırasında, eğilme stresinin etkisiyle yapısında çatlaklar oluşmuş olduğu ve bu oluşan çatlakların rayın kullanım süresi boyunca maruz kaldığı stres sebebiyle kırılma safhasına ulaştığı sonucuna varılmıştır [44].

Xu ve arkadaşları 2016 yılında, jantta kullanılan ve yakma alın kaynağıyla birleştirilmiş 380 CL çeliğinin mikroyapı ve kırılma mekanizmasını incelemişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucunda, ITAB'daki sürekli bantlı yapı ve kaynaktaki ciddi widmanstatten ferritin, jantın kırılma mekanizmasının başlıca nedenleri olduğu sonucuna varılmış olup, birleşim bölgesinin kırılma mekanizmasının sünek ve gevrek kırılma modlarının karışımı olduğu gözlemlenmiştir. ITAB'daki büyük ferrit tanelerinin varlığının, gevrek-sünek geçişin başlıca nedeni olduğu gözlemlenmiştir. [45].

2016 yılında Yanjun Fan, Xiaohui Zhao, Yu Liu, yüksek hızlı demir demir yollarındaki ana arıza modunun, yorulmadan kaynaklı olmasını göz önünde bulundurarak, YAK yöntemiyle birleştirilmiş U75V malzemenin yorulma performansını iyileştirmek için ultrasonic peening treatment (UPT) işleminden öncesi ve sonrasında mikro yapı, sertlik, aşınma dayanımı, korozyon direnci ve yorulma kırılma mekanizması incelenmiştir. UPT'den sonra kaynaklı bağlantının yüzeyinde nano kristallerin oluştuğu ve UPT'nin neden olduğu yüzey kuvveti kaynaklı bağlantının yorulma ömrü, aşınma dayanımı ve korozyon direncinin iyileştiği gözlemlenmiştir [46].

Xi ve arkadaşları 2016 yılında, yakma alın kaynağıyla birleştirilen RS590CL çeliğinin kaynak ısı döngüleri, mikro yapı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. İncelemeler sonucunda, kaynak ısı çevrimlerinin yüksek tepe sıcaklıkları ve hızlı ısıtma-soğutma hızları ile karakterize edildiği gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesi ve kaba taneli bölgelerde çoğunlukla kaba üst beynit yapısı gözlenirken, ince taneli bölgenin NbC çökeltileriyle ferrit ve perlit içeren eş eksenel bir tane yapısına sahip olduğu, kaynak bölgesi ve kaba taneli bölgenin diğer bölgelere kıyasla daha yüksek sertlik değerinde olduğu gözlemlenmiştir [47].

2017 yılında Şafhak Turan, demiryollarında kullanılan ve ısı işlem görerek beynitik mikro yapı elde edilen R260 kalite ray çeliğinin YAK yöntemiyle birleştirilmesini incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiş olan beynitik içyapının kaynak işlemi sonucunda kısmen dönüşümlere uğradığı ve ana malzemeye doğru ilerledikçe yine kendi içyapısını koruduğu tespit edilirken, kaynak bölgesinde sertlik ve çekme değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir [11].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, S355 J2 malzeme yine S355 J2 malzemeye Ø28x300 mm boyutlarında 35 adet deney çubuğu olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler sırasıyla 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°'lik birleştirme açıları kullanılarak YAK yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynakları yapılan deney çubukları 10°C, 15°C ortam sıcaklığında doğal soğumaya bırakılmış, su veya yağ ile soğutma yapılmamıştır. Ø28x300 mm'lik deney numunelerinde kaynak bölgesindeki 10 mm'lik yığılmadan dolayı boyda kısalma meydana gelmiştir. Hazırlanmış olan deney numuneleri kaynak eksenleri merkezde kalacak şekilde boyca kısaltılıp, devamında çekme deneyi yapılabilmesi için torna tezgâhında çapları 5 mm'ye düşürülmüştür. Tornalanan numunelerin yüzeyleri zımparayla pürüzsüzleştirildikten sonra çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan diğer numunelere de makrosertlik ve mikrosertlik testleri yapılmış olup mikroyapı fotoğrafları alınarak kaynak kalitesi incelenmiştir.

6.1. Malzeme

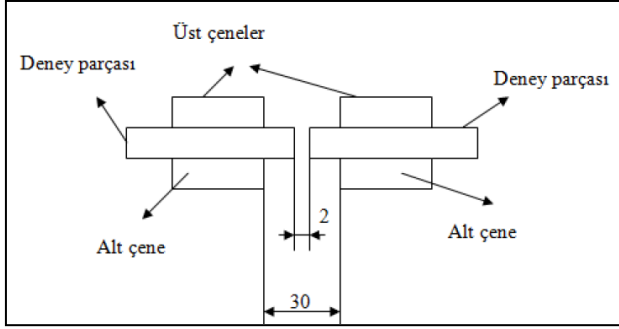
Bu çalışmada, farklı birleştirme yüzey açıları kullanılarak birleştirilen malzeme S355 J2'dir. YAK metoduyla kaynaklanacak olan malzemenin kimyasal bileşimi TS EN 10025-2'ye göre Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çalışmalarda kullanılan S355J2 malzemenin spektral analizi Medaş Metalurji Döküm Mak. San. Tic. A.Ş. fabrikasında yapılmıştır.

Çizelge 6.1. S355 J2 malzemenin kimyasal bileşimi

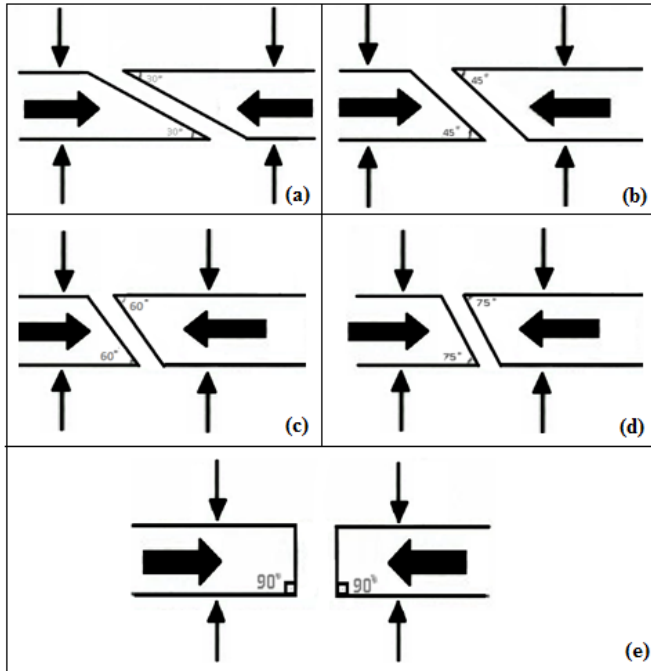
Kısa gösteriliş		Oksit giderme metodu ^b	Anma mamul kalınlığı (mm) için C (% en çok)			Si % En çok	Mn % En çok	P % En çok ^d	S % En çok ^{d,e}	N % En çok ^f	Cu % En çok ^g	Diğer % En çok ^h
EN 10027-1 ve CR 10260'a göre	EN 10027-2'ye göre		≤ 16	> 16 ≤ 40	>40 ^c							
S235JR	1.0038	FN	0,19	0,19	0,23	-	1,50	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S235J0	1.0114	FN	0,19	0,19	0,19	-	1,50	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S235J2	1.0117	FF	0,19	0,19	0,19	-	1,50	0,035	0,035	-	0,60	-
S275JR	1.0044	FN	0,24	0,24	0,25	-	1,60	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S275J0	1.0143	FN	0,21	0,21	0,21 ⁱ	-	1,60	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S275J2	1.0145	FF	0,21	0,21	0,21 ⁱ	-	1,60	0,035	0,035	-	0,60	-
S355JR	1.0045	FN	0,27	0,27	0,27	0,60	1,70	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S355J0	1.0553	FN	0,23 ^j	0,23 ^k	0,24	0,60	1,70	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S355J2	1.0577	FF	0,23 ^j	0,23 ^k	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60	-
S355K2	1.0596	FF	0,23 ^j	0,23 ^k	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60	-
S450J0 ^l	1.0590	FF	0,23	0,23 ^k	0,24	0,60	1,80	0,040	0,040	0,027	0,60	^m

6.2. Yakma Alın Kaynak İşlemi

Çalışmada kullanılan numunelerin kaynak işlemi, Yapaş Zincir Ve Döğme San. Tic. Ltd. Şti. fabrikasında SCHLATTER marka yakma alın kaynak makinesi ile yapılmıştır. Ø28x300 mm boyutlarında S355 J2 malzemeler kendi aralarında aşağıdaki Şekil 6.1' de gösterildiği gibi tutuculara sabitlenerek, Şekil 6.2'de gösterildiği gibi hizalanarak sırasıyla 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°'lik birleştirme açıları kullanılarak yakma alın kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynak yapılacak olan parçaların çenelere uzaklık mesafesi, kaynak makinesi firmasının verilen tablolara göre belirlenmiş olup çeneler arası mesafe 30 mm, kaynaklanacak olan parçaların alın yüzeyleri arasındaki mesafe ise 2 mm olarak hazırlanmıştır.



Şekil 6.1. Numunelerin tutucuya bağlanması [22]



Şekil 6.2. YAK için birleştirme yüzey açıları (a) 30°, (b) 45°, (c) 60°, (d) 75°, (e) 90°

Kaynak makinesinin özellikleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. Numunelerin bağlandığı elektrotların tutma yüzeylerinde herhangi bir temas direnci oluşturmaması için bu yüzeyler kir ve pastan arındırılarak, yakma alın kaynağı ile birleştirme süresince, birleştirme yüzey açıları hariç bir şekilde, Çizelge 6.3'de verilen kaynak parametreleri sabit tutulmuştur.

Çizelge 6.2. YAK makinesinin özellikleri

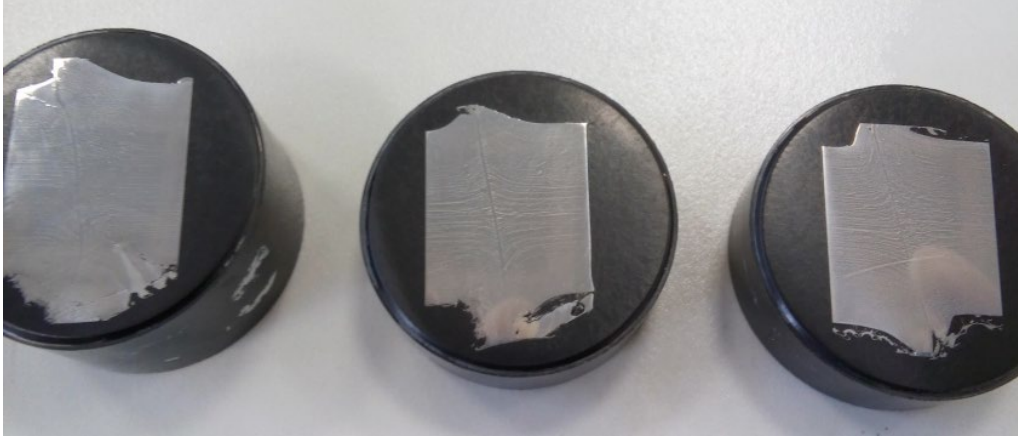
Makine adı	Schlatter A9
Ön ısıtma, yakma ve yığma kademeleri	Otomatik
Yığma gücü (kN)	90
Kenetleme gücü (kN)	230
İlerleme mesafesi (mm)	30
Hidrolik basıncı (Bar)	5
Transformatör gücü (kVA)	56
Akım kademesi	3
Max. sekonder akımı (V)	7,1
Nominal sekonder akımı (kA)	11,3

Çizelge 6.3. YAK işlemi için sabitlenen parametreler

Ön ısıtma zamanı (sn)	3
Voltaj (V)	3
Ampermetre (A)	30
Vuruş Basıncı (Bar)	2
Yığma Basıncı (Bar)	3
Çene Sıkma Basıncı (Bar)	3
Yığma Akım Zamanı (sn)	2

6.3. Mikroyapı

Mikroyapı için kullanılacak olan numunelere, kaynak ara yüzeyinin görülebileceği bir şekilde kesildikten sonra, bakalit ile sıcak gömme prosedürü uygulanmıştır. Bakalite gömme işleminden sonra sırasıyla 180, 240, 400, 600, 800 ve 1200 meshlik zımparalarla zımpara işlemi yapılmıştır. Zımpara işleminden sonra numuneler, sırasıyla 6 μ ve 3 μ 'luk elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatılarak hazırlığı tamamlanan numuneler %1 Nital ile dağlanmış olup, görüntüleri alınmak için Resim 6.1'de ki gibi hazır hale getirilmişlerdir.



Resim 6.1. Mikroyapı görüntüleri alınmak üzere hazırlanmış olan numune örnekleri

Hazırlanan numuneler, daha sonra farklı büyötmelerde Leica DM 4000M model metal mikroskobu ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Görüntüleri almada kullanılan mikroskop Resim 6.2'de gösterilmiştir.



Resim 6.2. Mikroyapı görüntülerinin alındığı mikroskop

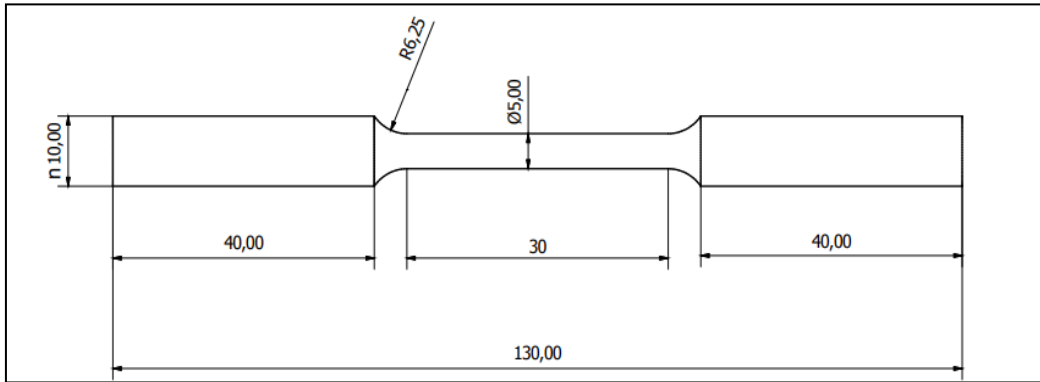
6.4. Çekme Deneyleri

YAK yöntemiyle birleştirilen malzemelerden çekme testi için kullanılacak olan numuneler, işleme için gönderilmeden önce, kaynak bölgelerindeki çapak kısımları, Resim 6.3'deki gibi taşlanarak işlemeye hazır hale getirilmişlerdir.



Resim 6.3. Taşlama işlemi öncesi ve sonrası numune örnekleri

Numuneler, ASTM E 8M-04 standartına uygun bir şekilde Şekil 6.3'de gösterilen ölçülerde, Resim 6.4'da gösterilen şekilde hazırlanmıştır.

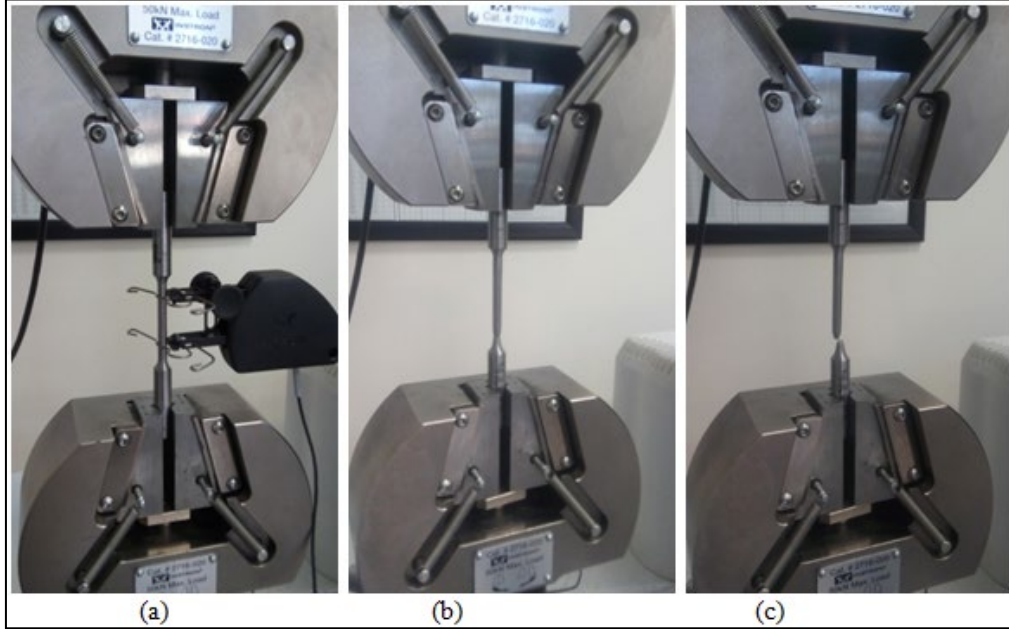


Şekil 6.3. Çekme test numunesi boyutları (mm)



Resim 6.4. Belirtilen boyutlara göre hazırlanan çekme numuneleri

Hazırlanmış olan numuneler, INSTRON 3369 model çekme test cihazında teste tabii tutulmuşlardır. Test sırasında numunelerin % uzamaları ölçülmüş ve boyun verme durumları Resim 6.5'de gösterildiği gibi gözlemlenmiştir.



Resim 6.5. (a) gerinim ölçer aparatının bağlanması, (b) çekme testi, (c) numunenin kopması

6.5. Kopma Yüzeyleri

YAK ile kaynağı yapıp çekme deneyine tabii tutulan numunelerin kırık yüzey incelemeleri, Gazi Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nde bulunan JEOL JSM-6060 LV model SEM cihazında yapılmış olup, cihaz Resim 6.6'da gösterilmiştir.



Resim 6.6. Kırık yüzey görüntülerinin alındığı SEM cihazı

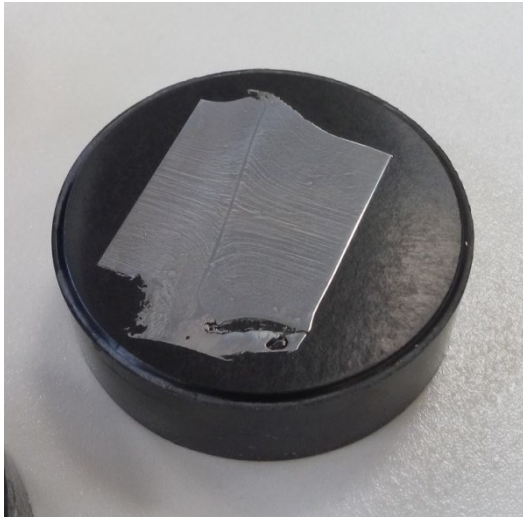
6.6. Sertlik Testleri

Sertlik ölçümü için kullanılacak olan numuneler, kaynak ara yüzeyinin görülebileceği bir şekilde kesilip, devamında yapılacak olan mikroyapı incelemesi için bu numunelere, bakalit ile sıcak gömme işlemi uygulanmıştır. Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Metalografi laboratuvarında bulunan cihazlar Resim 6.7'de gösterilmiştir.



Resim 6.7. Numunelerin (a) kesme ve (b) bakalite alınması işleminde kullanılan cihazlar

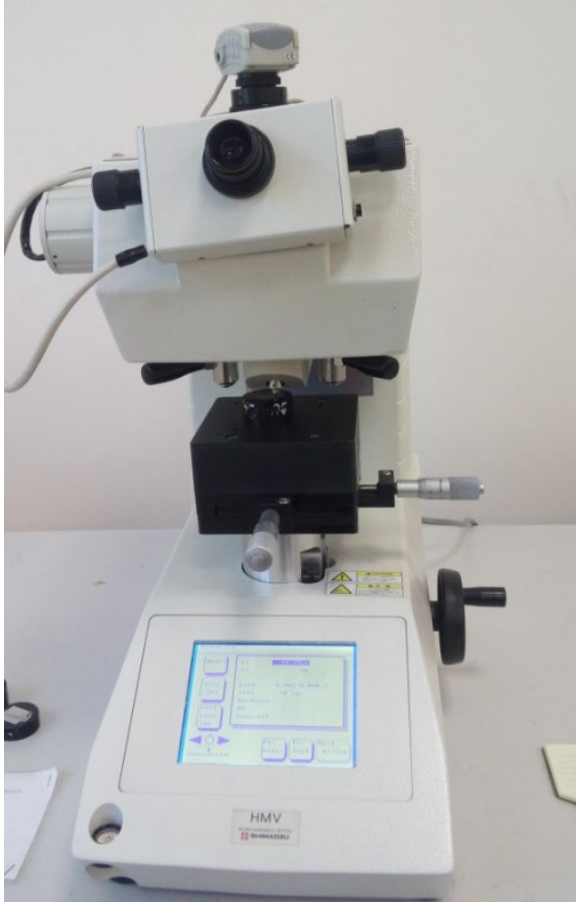
Bakalite alma işleminden sonra 180, 240, 400, 600, 800 ve 1200 meshlik zımparalarla zımpara işlemi yapılmıştır. Zımpara işleminden sonra numuneler sırasıyla 6 μ ve 3 μ 'luk elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatılmış olan numuneler dağlandıktan sonra sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bakalite gömüldükten sonra parlatılıp dağlanan numune Resim 6.8'de verilmiştir.



Resim 6.8. Bakalite gömülmüş olan bir numune örneği

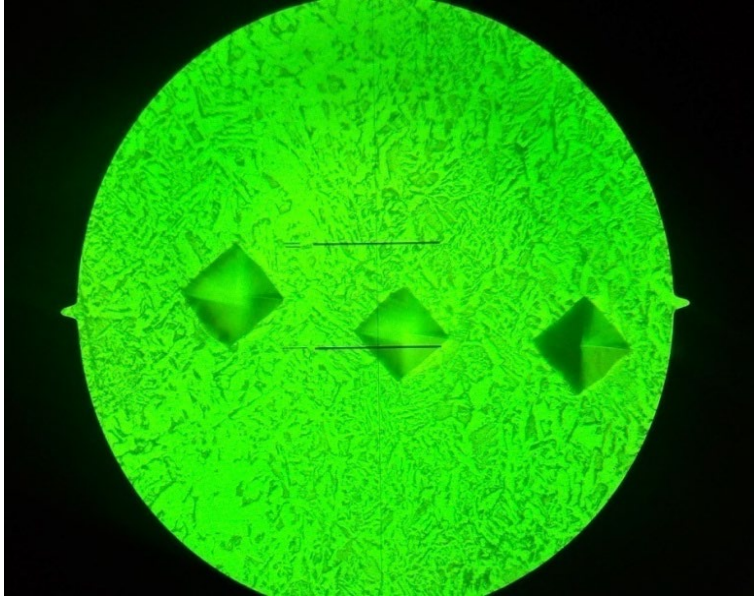
6.6.1. Mikro sertlik ölçümleri

Mikrosertlik ölçümleri, Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Metalografi laboratuvarında bulunan Shimadzu HMV model mikro sertlik ölçme cihazında, 0,5 kg yük uygulanarak yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümünde kullanılan cihaz Resim 6.9'de verilmiştir.



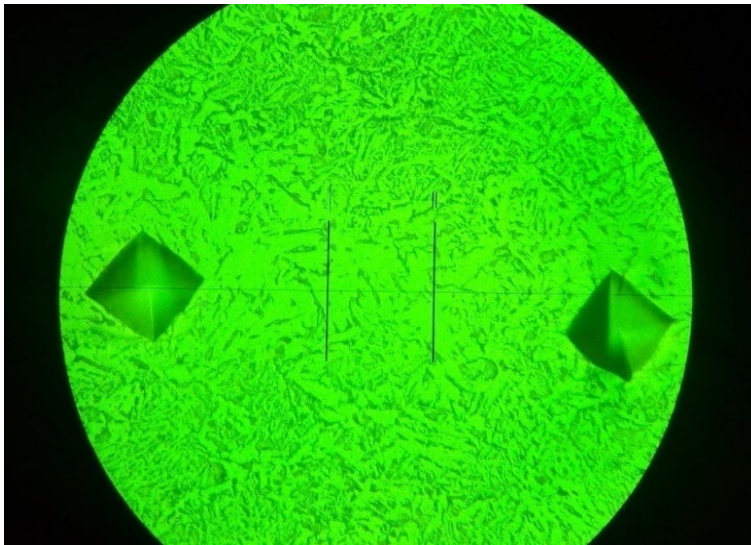
Resim 6.9. Mikrosertlik ölçme cihazı

Mikrosertlik deneyinde, kaynak bölgesi "0" (referans) kabul edilerek, her iki taraftan ITAB ve ana malzemeye ilerleyecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Kaynak dikiş alanının darlığı sebebiyle "0" konumundan itibaren alınan (sağ ve sol tarafa ilerleme adımlarının ikisi de dâhil) ölçümlerin adımları, önce 0,1 mm alınıp, ana malzemeye ilerledikçe 0,2 mm adım aralığında ölçümler yapılmıştır. Alınan mikrosertlik ölçümlerinin cihaz altındaki görüntüsü Resim 6.10'da verilmiştir.



Resim 6.10. Mikrosertlik ölçümü yapılan numunenin cihaz altındaki görüntüsü

Hazırlanmış olan numunelerde, kaynak dikişi boyunca 0,2 mm aralıklarla da ölçümler alınmış olup cihaz altındaki görüntüsü Resim 6.11'de verilmiştir.



Resim 6.11. Mikrosertlik ölçümü yapılan numunenin cihaz altındaki görüntüsü

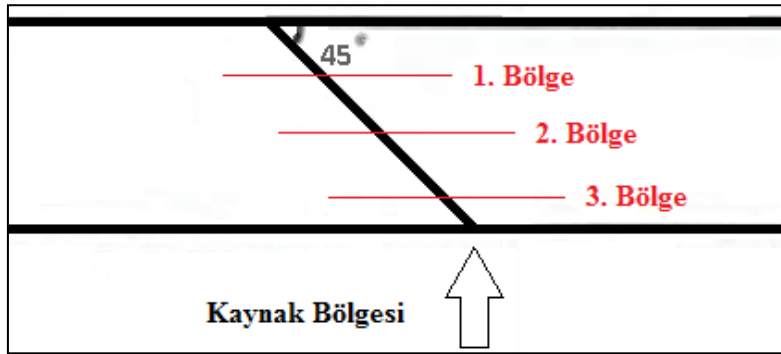
6.6.2. Makrosertlik ölçümleri

Makrosertlik ölçümleri, Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Metalografi laboratuvarında bulunan Duravision 2000 Emco model makro-sertlik ölçme cihazında, 5 kg yük uygulanarak yapılmıştır. Makrosertlik ölçümünde kullanılan cihaz Resim 6.12'de verilmiştir.



Resim 6.12. Makrosertlik ölçüm cihazı

Makrosertlik deneyinde, kaynak bölgesi "0" (referans) kabul edilerek her iki taraftan ITAB ve ana malzemeye ilerleyecek şekilde ölçümler yapılmıştır. Kaynak dikiş alanının darlığı sebebiyle "0" konumundan itibaren alınan (sağ ve sol tarafa ilerleme adımlarının ikisi de dâhil) ölçümlerin adımları 2 mm adım aralığına alınmıştır. Numuneler üzerinden alınacak olan ölçümlerin şematik gösterimi Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Sertlik ölçümü alınan bölgelerin kaynak yapılmış numune üzerindeki gösterimi

Hazırlanmış olan numuneler üzerinden alınan ölçümlerin, şematik gösterime göre belirlenen yerlerinden alınan ölçümleri Resim 6.13' de verilmiştir.

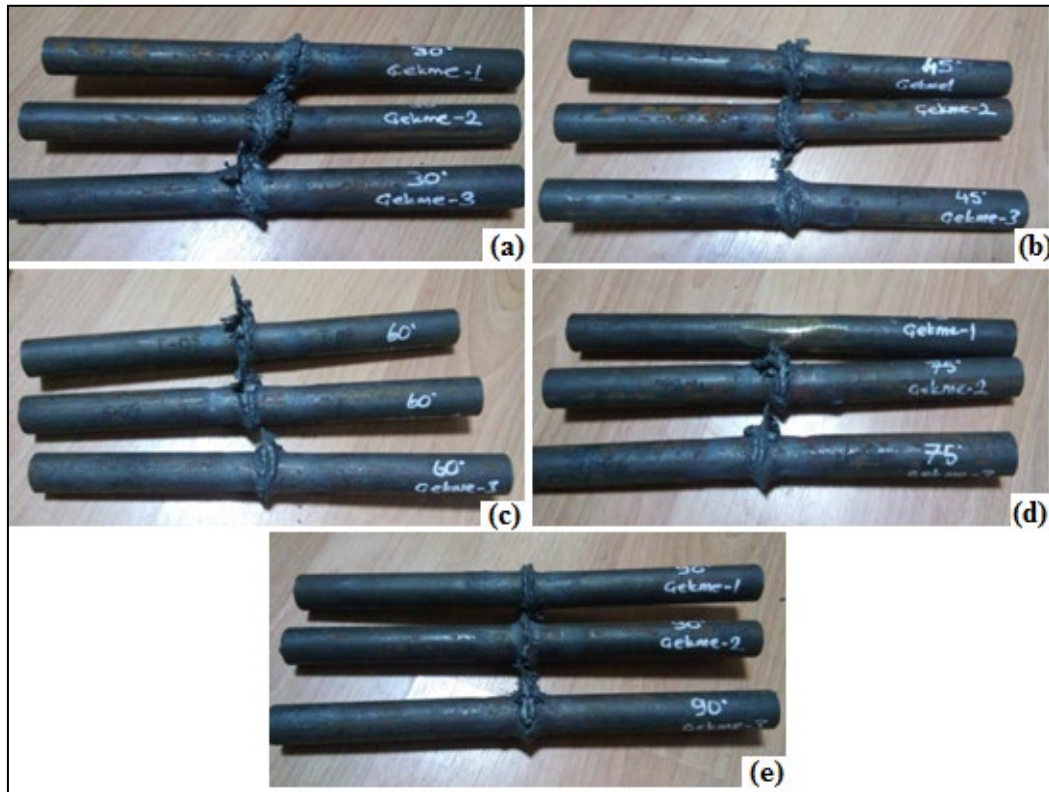


Resim 6.13. Makrosertlik ölçümünün sonucunda numune üzerindeki izler

7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Yakma Alın Kaynak ile Birleştirme İşlemi Sonuçları

Ø28x300 mm boyutlarındaki S355J2 malzemeler kendi aralarında daha önce Şekil 6.1'de gösterildiği gibi tutuculara sabitlenerek ve Şekil 6.2'de gösterildiği gibi hizalanıp, sırasıyla 30°,45°,60°,75° ve 90°'lik birleştirme açıları kullanılarak yakma alın kaynağı yöntemiyle kaynaklanmıştır. Kaynakları yapılan numuneler, aşağıda Resim 7.1'de gösterilmiştir. Yakma alın kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilmiş bu gruplar, daha sonra tabii tutulacakları testlere göre işlenmek üzere gruplara ayrılmıştır.



Resim 7.1. Farklı birleştirme açıları ile yakma alın kaynağı uygulanmış numuneler, birleştirme yüzey açıları sırasıyla (a) 30°, (b) 45°, (c) 60°, (d) 75°, (e) 90°

7.2. Kimyasal Analiz Sonucu

YAK yöntemiyle kaynaklama işleminin gerçekleştirildiği S355 J2 malzemelerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Kimyasal analiz sonucu

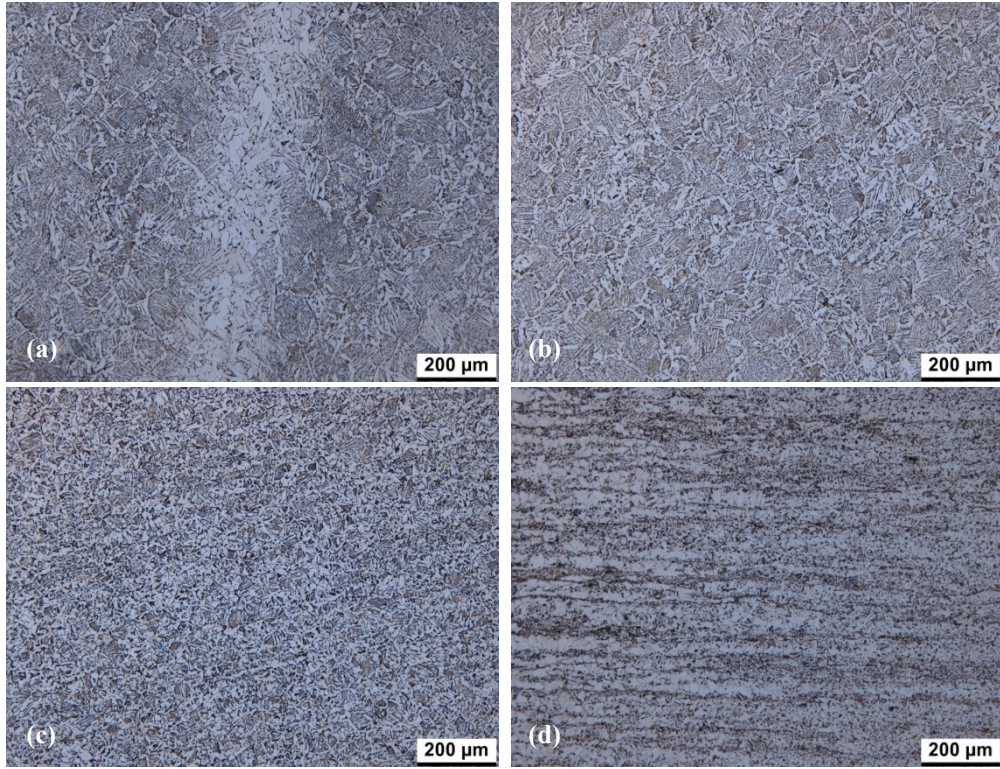
SPEKTRAL ANALİZ SONUÇLARI				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,15	0,0075	1,48	0,014	0,0037
%W	%Pb	%B	%Sb	%Sn
0,024	0,0041	<0,0002	0,032	0,014
%Cr	%Ni	%Mo	%Al	%Cu
0,022	0,025	0,005	0,033	0,014
%Zn	%As	%Bi	%Ta	%Ca
0,0031	0,0041	0,005	0,034	0,002
%Co	%Ti	%Nb	%V	%N
0,01	0,0006	0,018	0,0062	0,011
%Ce	%Zr	%La	%Se	%Fe
<0,0020	<0,0015	0,0004	0,046	98

7.3. Mikroyapı Sonuçları

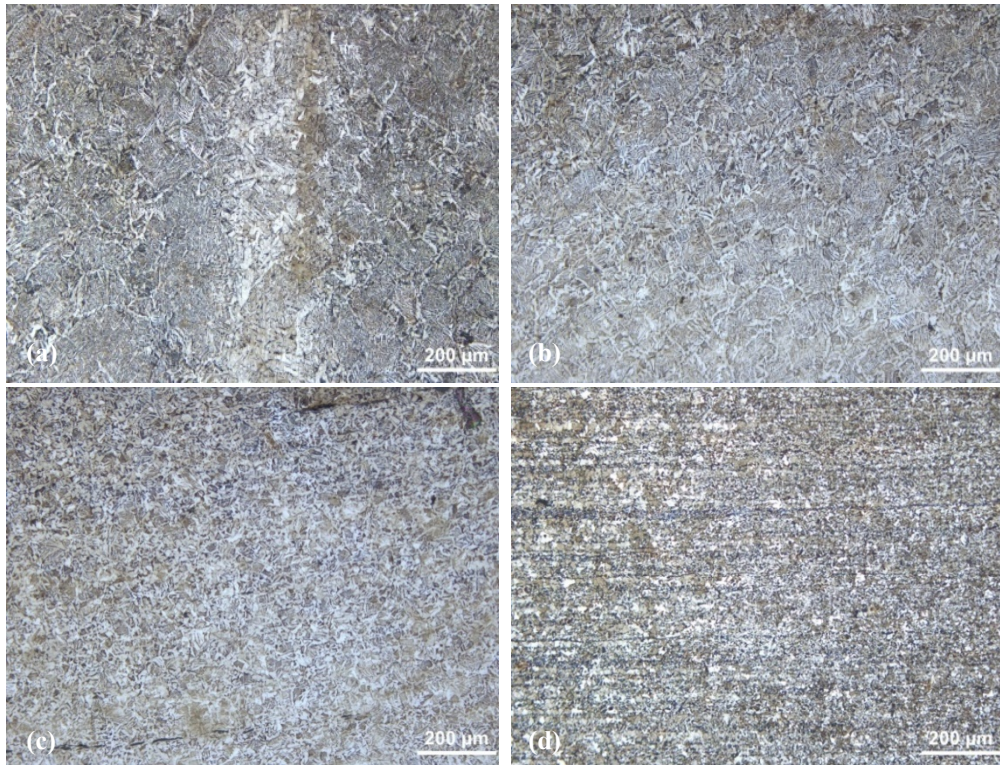
Ana malzemenin mikroyapısı Resim 7.2'de gösterilmiş olup, yapılan hazırlıklar sonucunda elde edilen mikroyapı görüntüleri Resim 7.3-Resim 7.7'da gösterilmiştir.



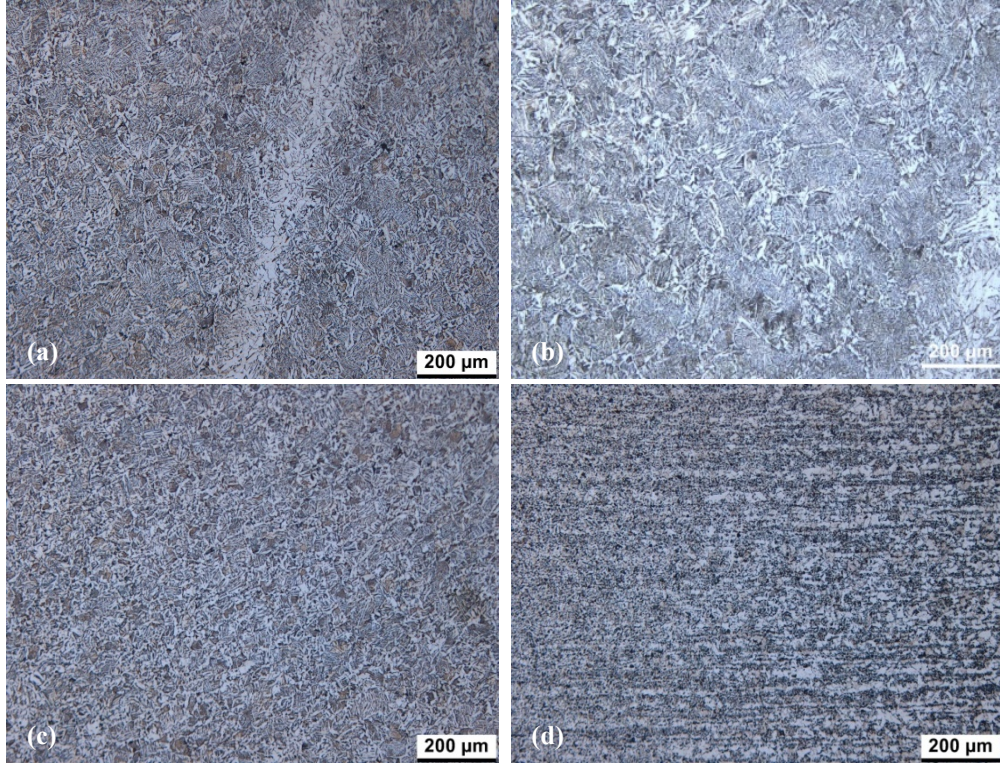
Resim 7.2. Ana malzemenin mikroyapı görüntüsü



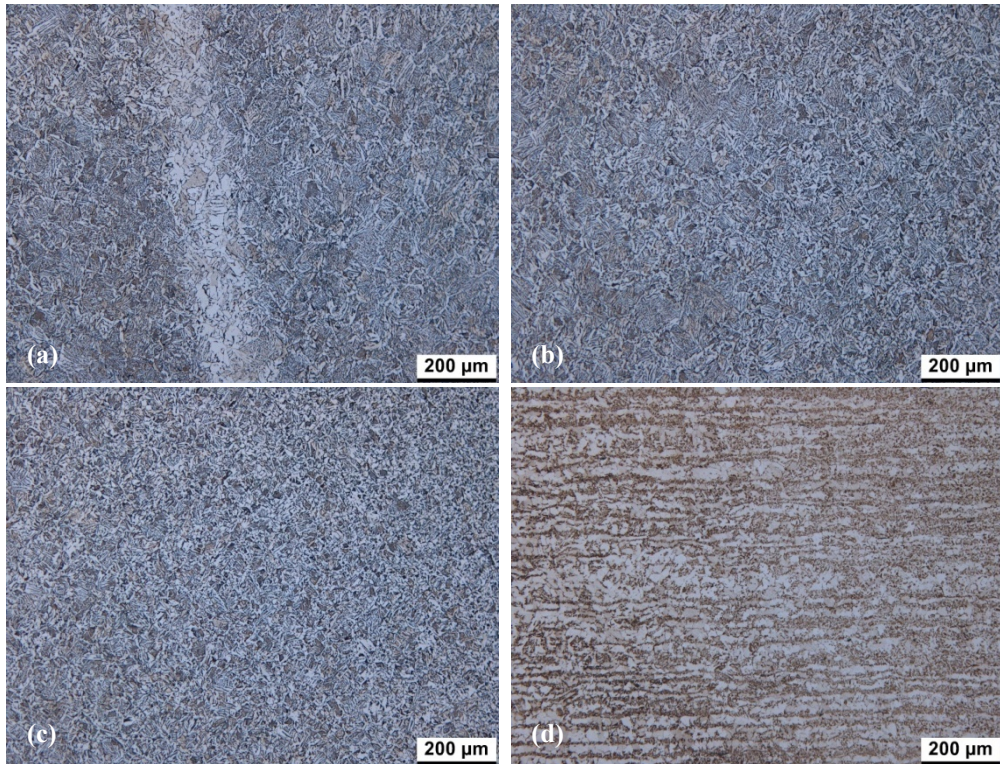
Resim 7.3. 30° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi



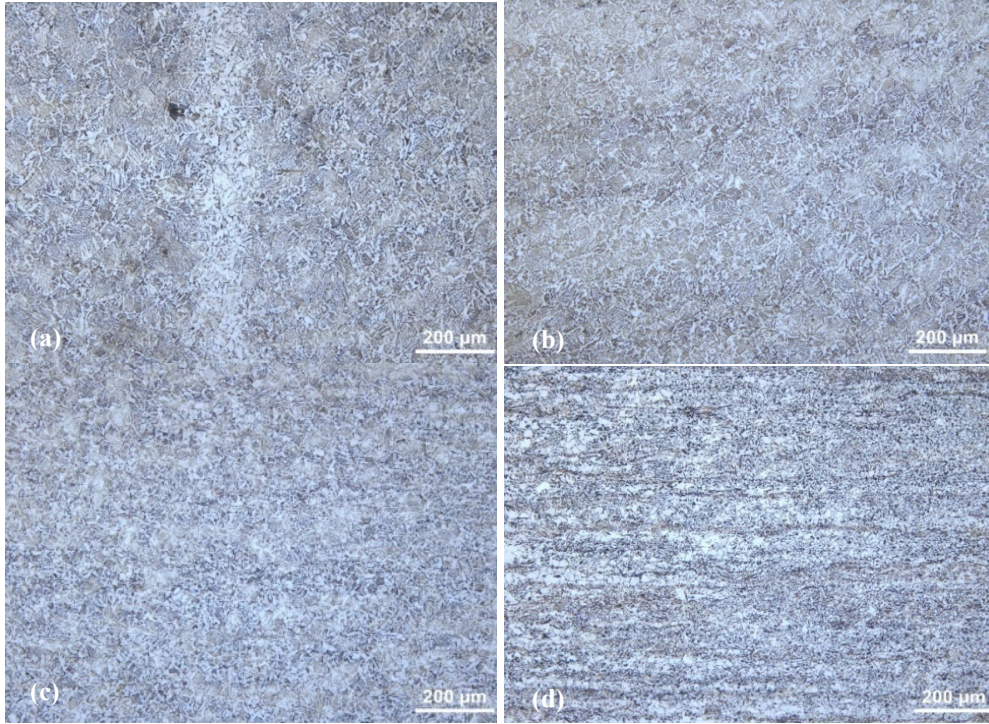
Resim 7.4. 45° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi



Resim 7.5. 60° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi



Resim 7.6. 75° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi



Resim 7.7. 90° açıyla birleştirilen numunelerin (a) Kaynak bölgesi, (b) İri taneli bölge, (c) İnce taneli bölge, (d) Geçiş bölgesi

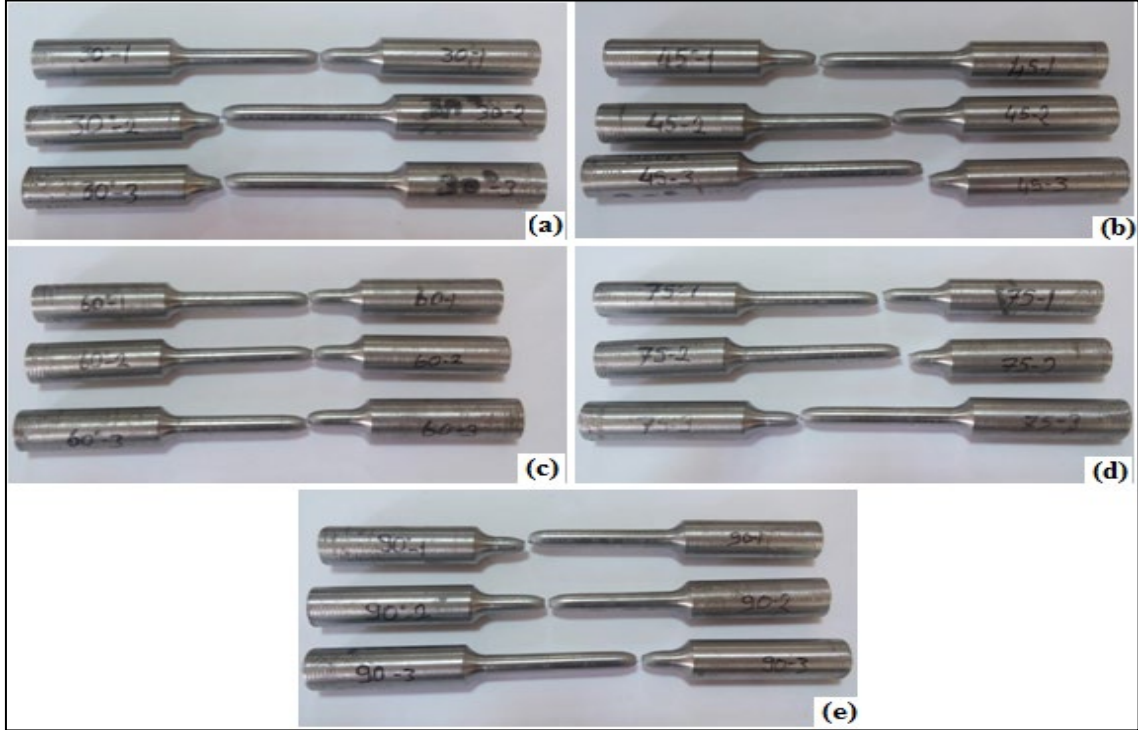
Kaynak merkezlerine ait bölgeler incelendiğinde; birleşme yüzeylerinde, yoğun ferritik yapı bulunurken, birleşme çizgisinin hemen yanında yer yer asiküler ferrit ve widmanstatten ferritten oluşan iri taneli bir yapı mevcuttur. Geçiş bölgesinde, yine bu yapılar varlığını korurken, daha homojen bir görünüme sahip oldukları gözlemlenmiş olup, ana malzemeye geçildiğinde ise ferrit ve perlitten oluşan bantlı bir yapının varlığı görülmüştür.

Farklı birleştirme açılarına sahip bu numunelere ait mikro yapı fotoğrafları değerlendirildiğinde, farklılaştırılan birleşme yüzey açılarının, diğer bölgelerdeki tanelerin yönlenmesini etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca verilen eğime bağlı olarak, ITAB bölgesinin de eğimli olduğu ve birleşme ara yüzeyine paralellik oluşturduğu görülmüştür.

Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, birleşme yüzey açılarındaki farklılığın tane yapılarını etkilediği görülmektedir. 30°'lik yüzey açısına sahip numunelerde, daha fazla yüzey temas alanına bağlı olarak, ITAB bölgesinin ve özellikle iri taneli bölgenin daha fazla olduğu ve açının 90°'ye doğru büyütüldüğü birleşme yüzeylerine sahip numunelerde ise, ITAB bölgesinin gittikçe daraldığı ve iri taneli bölgenin daha sınırlı olduğu görülmektedir.

7.4. Çekme Test Sonucu

YAK ile birleştirilen numunelerin çekme testleri gerçekleştirildiğinde, Resim 7.8'de görüldüğü gibi tüm numunelerde kopmalar ana malzemelerde gerçekleşmiştir.



Resim 7.8. (a) 30°, (b) 45°, (c) 60°, (d) 75°, (e) 90° ile birleştirilen numuneler

Bu durum, tüm numunelerde farklı birleştirme açıları ile birlikte YAK yöntemi işleminin başarılı olabildiğini göstermektedir. Aynı zamanda ana malzemede kopma bölgelerinin, tutma başlarının radyusuna hemen hemen aynı mesafede kopması da ana malzemenin kararlılığını göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen çekme test sonuçlarıyla, birleştirme bölgesinin mekanik davranışından ziyade ana malzemenin çekme karakteristiğine yoğunlaşmıştır.

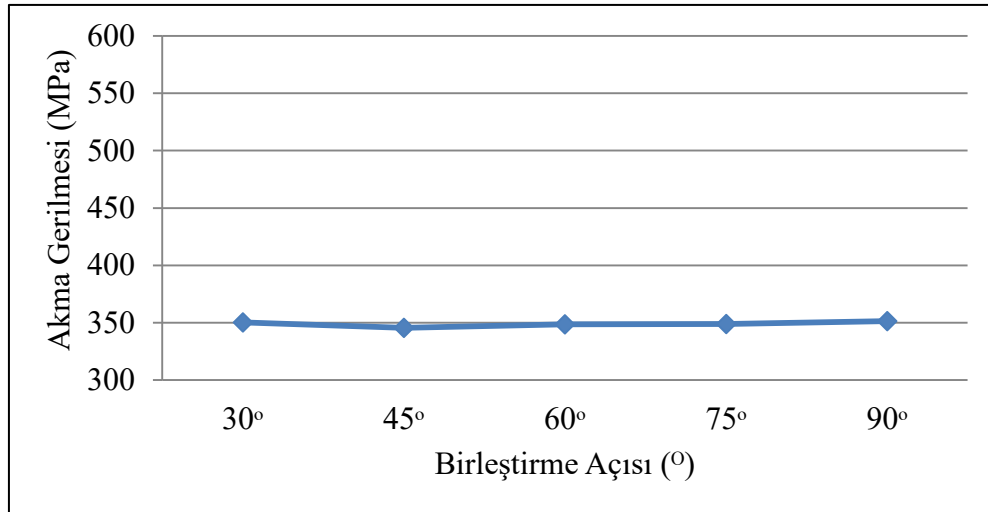
Genel olarak birleştirme açılarının artışı ile maksimum çekme değerlerinin kısmen arttığı görülebilir. Bu durumun birleştirme açısının (30°'den 90°'ye) artışı ile birlikte muhtemelen YAK ısısının, numune yüzey alanından daha kısa sürede uzaklaşmasına sebebiyet verirken, 30°'lik açıyla birleştirilen yüzeyin, 90°'lik açıyla birleştirilen yüzeyden daha sıcak olmasına ve 90°'li numunelerin kısmen daha küçük taneli kalmasına, önceden soğuk çekilmiş ham numunenin gerinim yaşlanmasına da bağlı olarak, kısmen daha yüksek çekme değerleri sergilemesine yol açmış olabileceği düşünülmektedir.

Diğer bir taraftan birleştirme açısının 90°'den uzaklaşması ve ısı dağılımının homojen olmaması, ana malzemedeki ısı dağılım gradyanını etkileyebileceğinden, ana malzemenin mikroyapısının homojenliğinin bozulmasına neden olabileceği zayıf da olsa bir ihtimaldir. Bu durumun varlığı, homojen olmayan mikroyapının daha farklı bir kırılma mekanizması (örneğin tane içi kırılma) ile kırılması gibi sonuçlara neden olabilir.

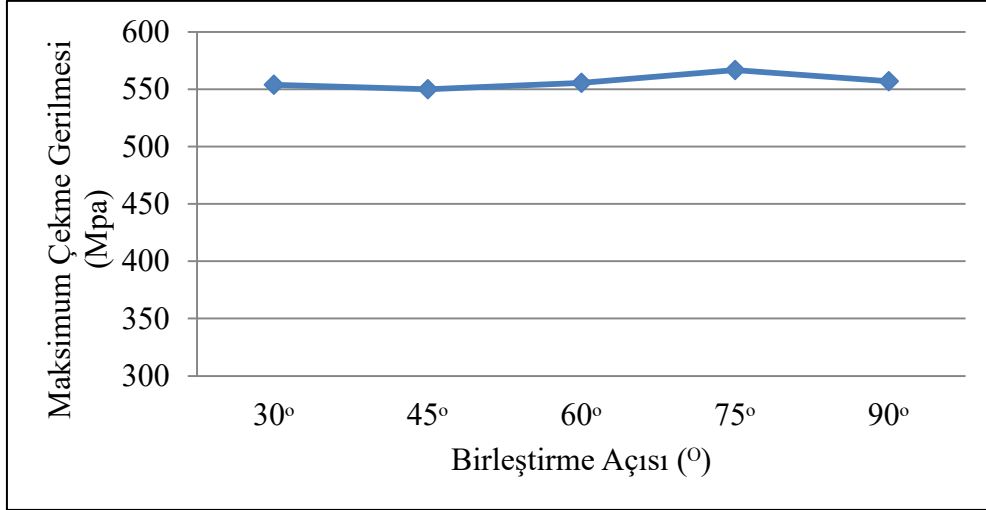
Oda sıcaklığında sırasıyla 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°'lik birleştirme açıları kullanılarak, YAK ile kaynaklama işleminin gerçekleştirildiği tüm numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen çekme değerleri, Çizelge 7.2'de verilmiş olup, çekme değerlerinin farklı birleştirme açılarına göre grafikleri Şekil 7.1-Şekil 7.5'de grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 7.2. Çekme değerleri

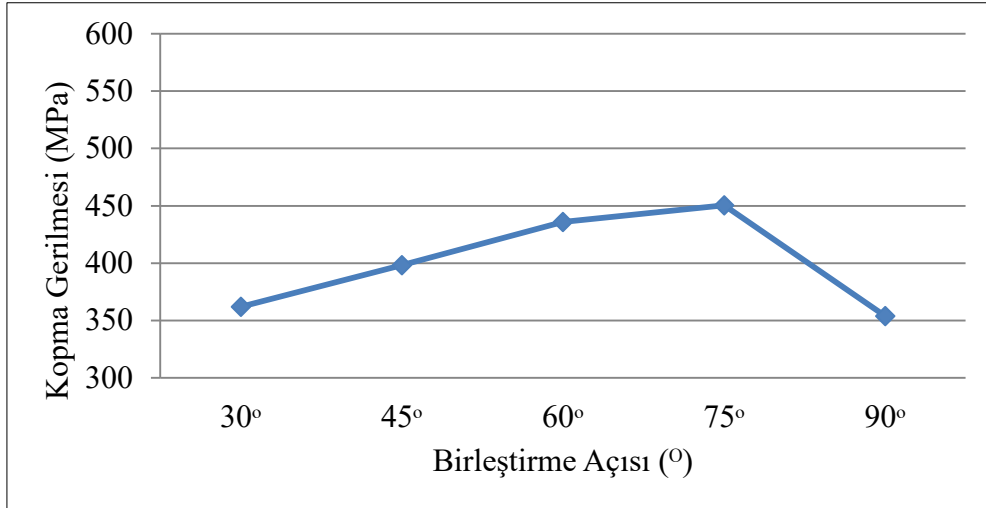
Birleştirme Açısı	Akma gerilmesi (MPa)	Maksimum çekme gerilmesi (MPa)	Kopma gerilmesi (MPa)	Max. çekme uzaması (%)	Kopma uzaması (%)
30°	350 ± 5	554 ± 5	362 ± 6	17±1	27±1
45°	346 ± 6	550 ± 5	398 ± 60	17±1	25±1
60°	349 ± 11	556 ± 3	436 ± 64	19±1	28±3
75°	349 ± 4	567 ± 4	450 ± 65	21±2	29±1
90°	351 ± 4	557 ± 6	354 ± 4	18±1	29±1



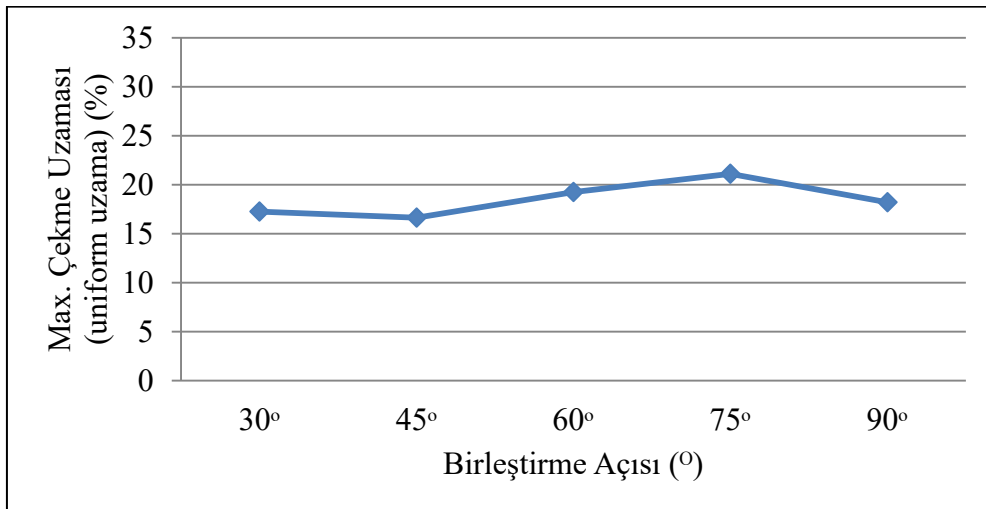
Şekil 7.1. Farklı birleştirme açılarına göre akma gerilmesi grafiği



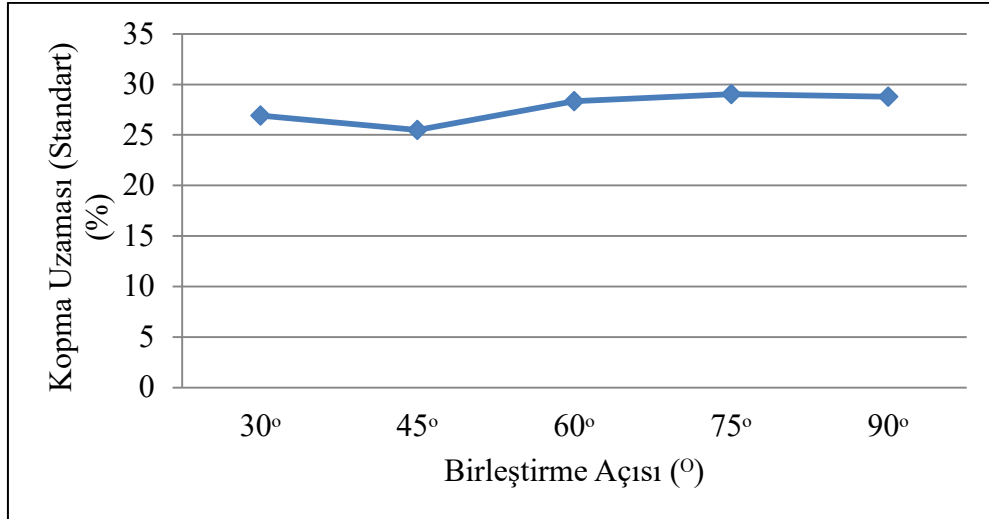
Şekil 7.2. Farklı birleştirme açılarına göre max. çekme gerilmesi grafiği



Şekil 7.3. Farklı birleştirme açılarına göre kopma gerilmesi grafiği



Şekil 7.4. Farklı birleştirme açılarına göre max. çekme uzaması (%) grafiği



Şekil 7.5. Farklı birleştirme açılarına göre kopma uzaması (%) grafiği

Çekme testi sonucunda meydana gelen kopmalar, kaynak bölgesinden değil de ana malzeme bölgesinde meydana geldiği için, grafikleri incelediğimizde, sonuçların ana malzeme karakteristiği gösterdiği görülmektedir. Bu sebeple elde edilen sonuçlara göre hazırlanan bu grafiklerde farklı birleştirme açılarına bağlı olarak büyük bir fark görülmemektedir.

Hem tablo hem grafiklerde görüldüğü gibi, farklı birleştirme açılarına bağlı olarak bu malzemelerin akma gerilmesi ve max. çekme gerilmesi değerlerinde ciddi bir farklılık görülmemiştir.

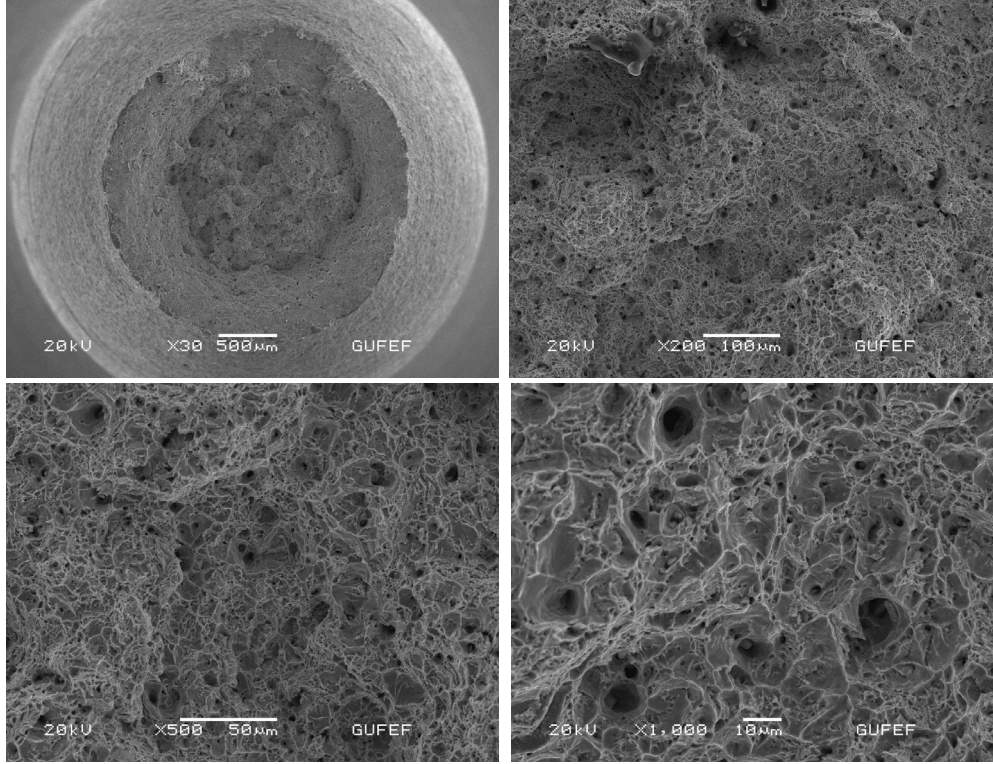
Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda malzemenin max. çekme uzamasından sonra, kopma uzamasına kadar %8-%10'luk bir uzama daha göstermesi kullanılan malzemenin sünek bir özellik gösterdiğini desteklemektedir.

7.5. Kopma Yüzeyleri

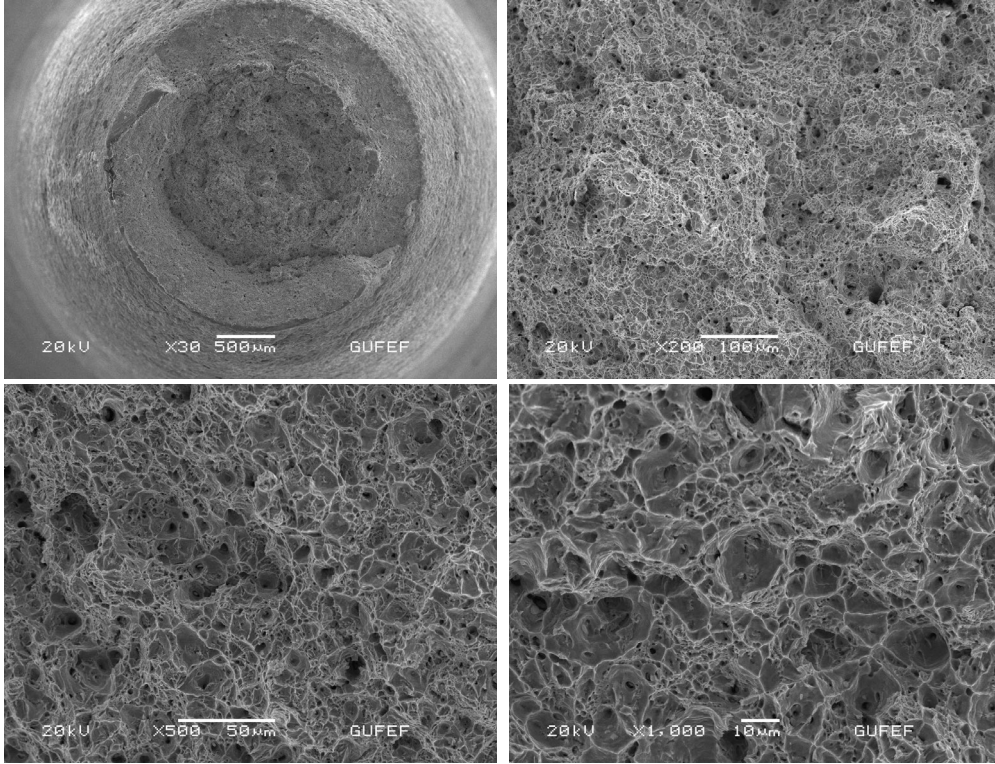
Farklı birleştirme açıları kullanılarak sırasıyla 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°'lerde yakma alın kaynağı yöntemi ile birleştirilen malzemelerin kopma yüzey incelemeleri için alınan SEM görüntüleri Resim 7.9-7.13'de sırasıyla verilmiştir.

Tüm numunelerin X30 büyütme kopma yüzeyleri genel olarak incelendiğinde, tüm numunelerde boyunlaşmaya bağlı olarak etkili kesit daralması ve ardından numune kesitinin orta bölgelerinde çoğunlukla derin kadeh veya gamzeli kopma tipi (dimple-

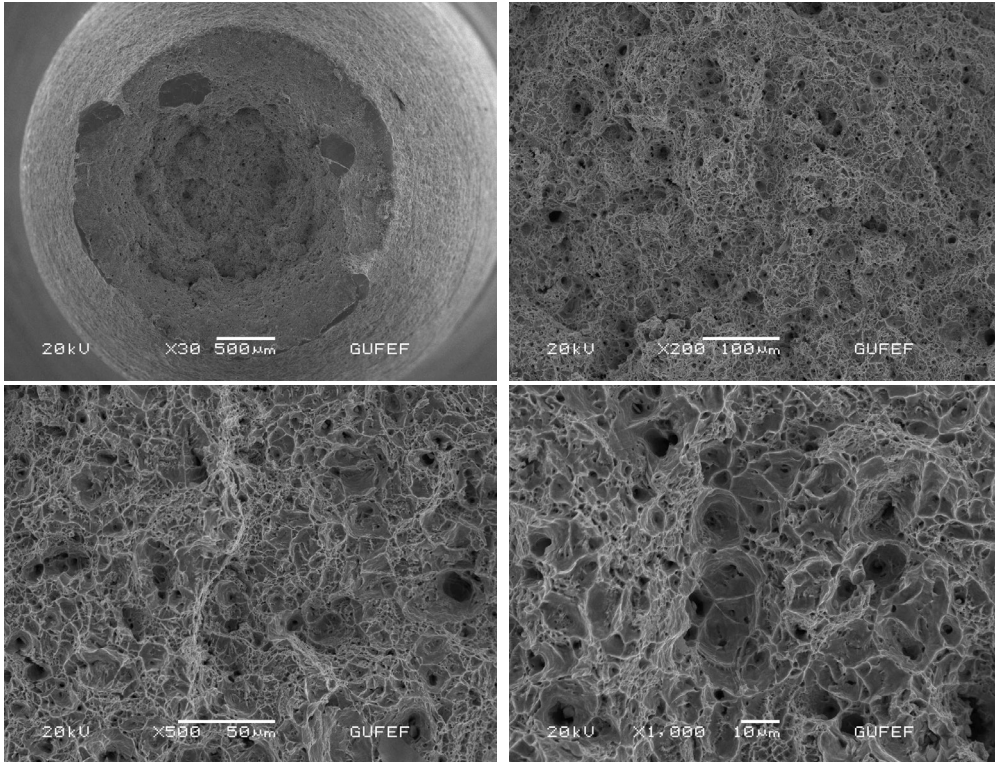
fracture mode) şeklinde kendini göstermiştir. Bunun tüm numunelerde hemen hemen benzer olmasının temel nedeni, çalışmada tüm birleştirme parametrelerinde numunelerin, ana malzemenin hemen hemen benzer bölgesinden (birleştirme bölgesi ile çekme çubuğu radiusunun ortasından) kopmasından kaynaklanmaktadır.



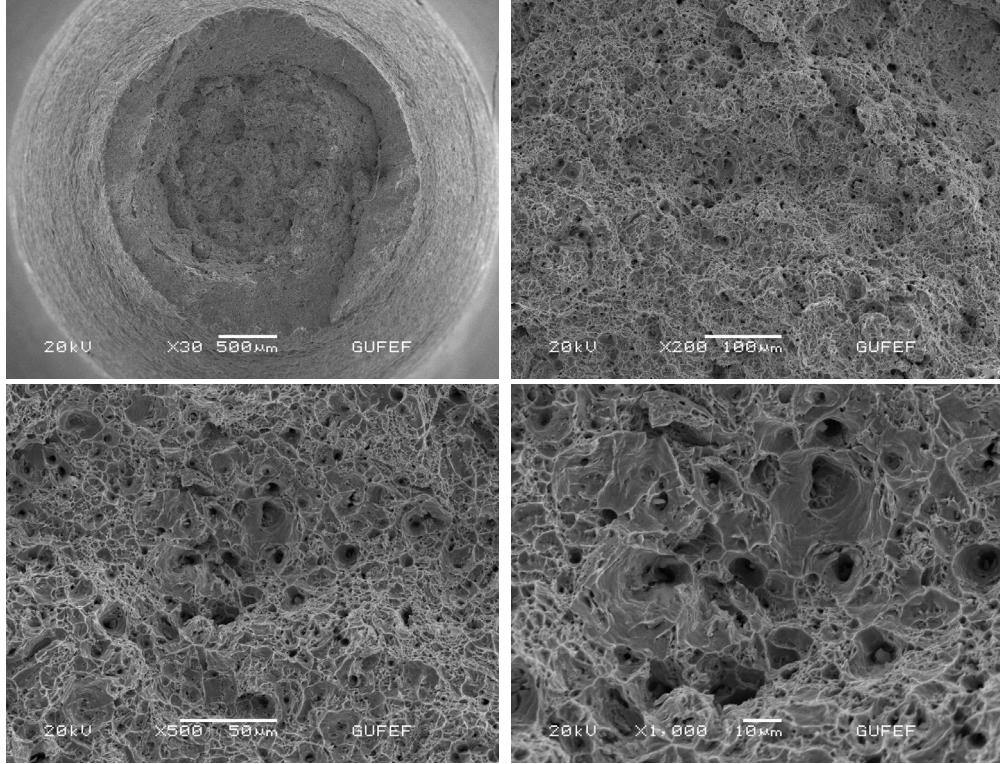
Resim 7.9. 30° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelerde elde edilen SEM görüntüleri



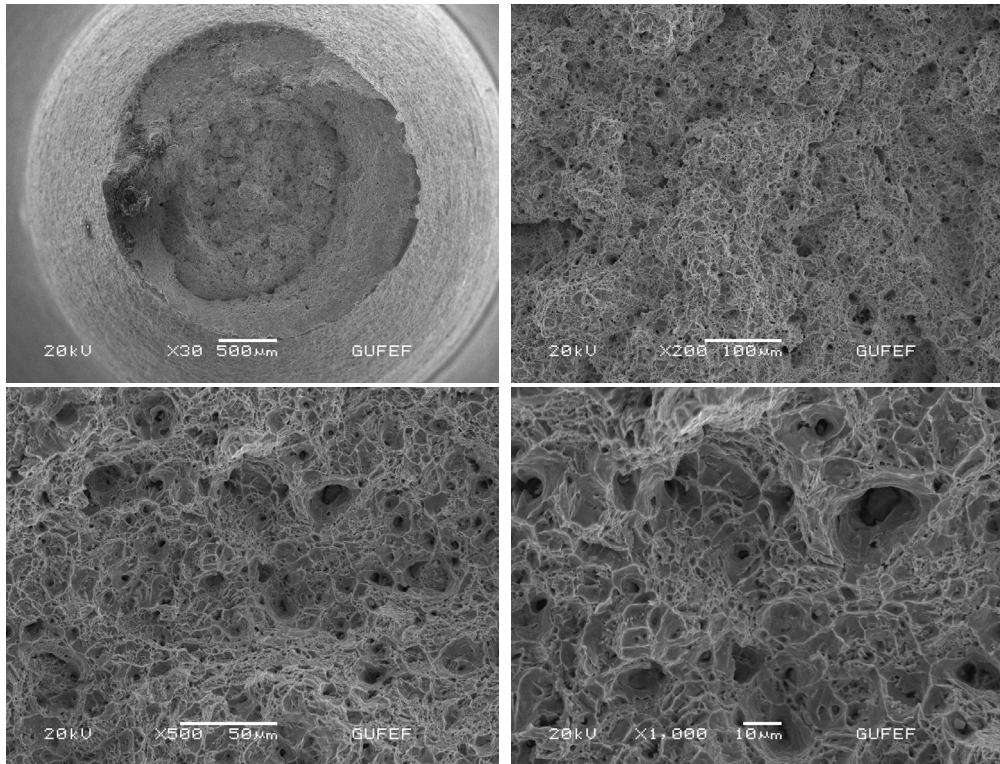
Resim 7.10. 45° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelerde elde edilen SEM görüntüleri



Resim 7.11. 60° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelerde elde edilen SEM görüntüleri

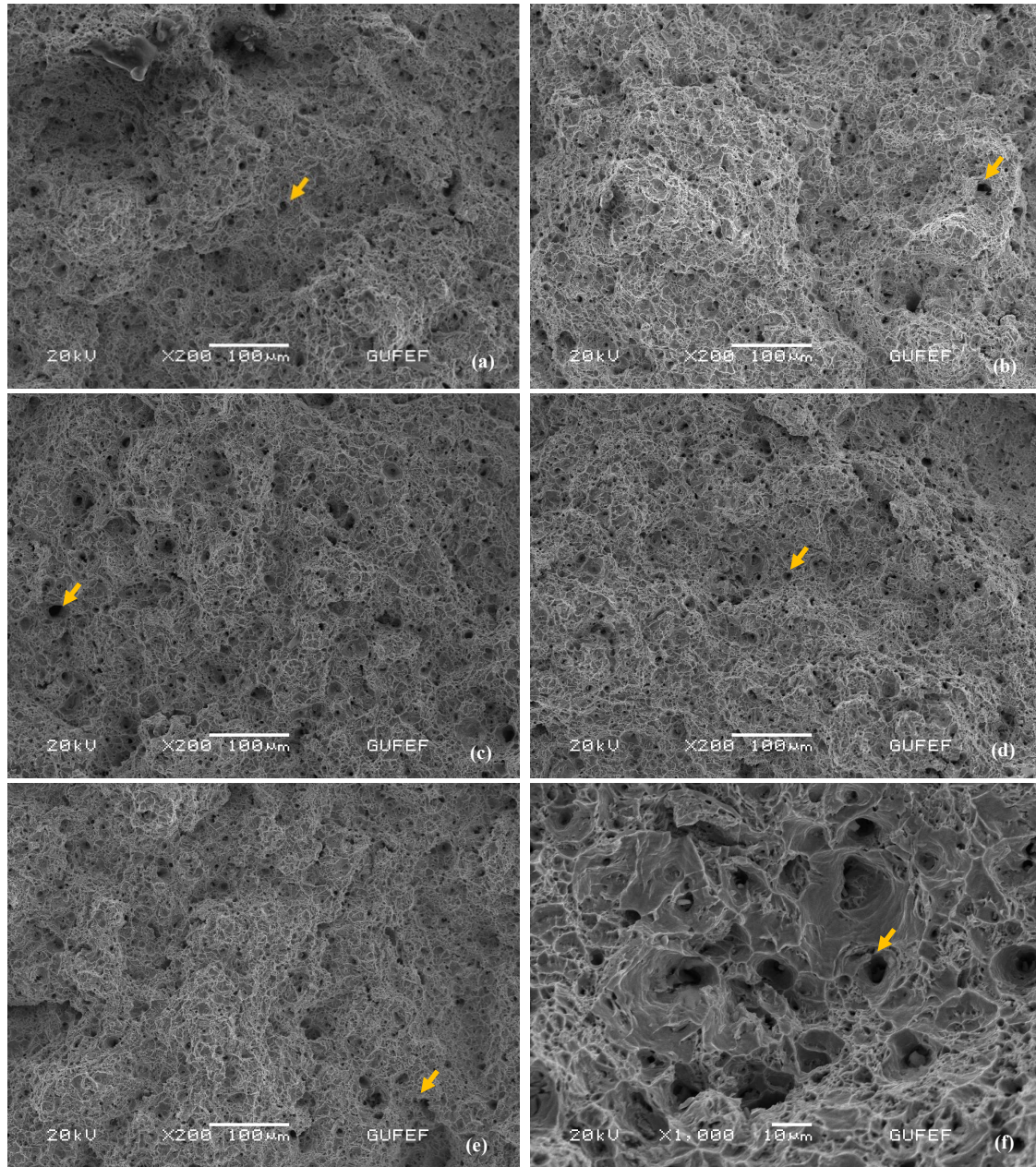


Resim 7.12. 75° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelerde elde edilen SEM görüntüleri



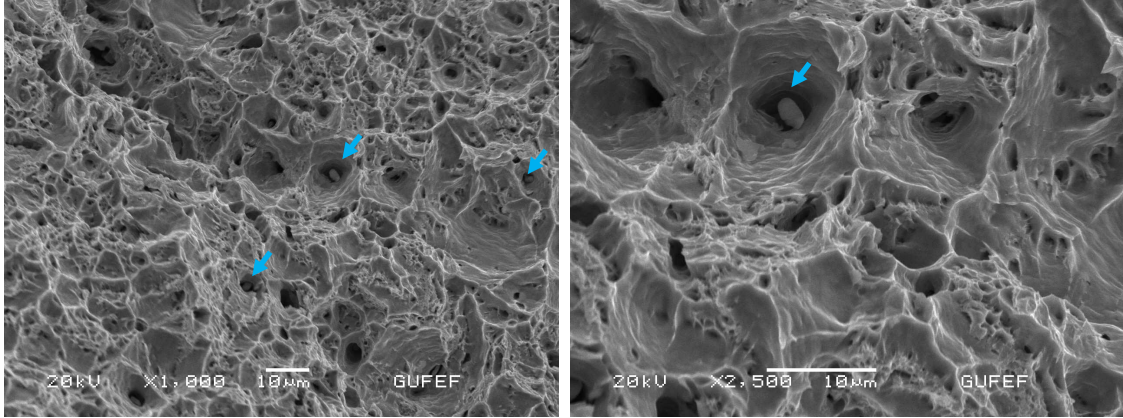
Resim 7.13. 90° birleştirme açısıyla kaynaklanan numunenin farklı büyütmelerde elde edilen SEM görüntüleri

Bununla beraber, daha yüksek büyütme SEM kopma yüzeylerinde, akma ve çekme gerilmesinde bağımsız ancak, çekme uzaması ve kopma uzamasına bağlı olarak kopma yüzeylerin morfolojilerinde nispeten farklılıklar görülebilmektedir. 30° ve 45° birleştirme açlarına sahip numunelerin kopma yüzeylerinde, sünekliğin göstergesi ve ölçüsü sayılan gamzeli tip kopma yüzeyleri, belirgin bir şekilde görülmekte olup, tüm birleştirme açıları için Resim 7.14’de hem X200 hem de daha yüksek X1000 büyütme görüntülerde açıkça görülebilmektedir.



Resim 7.14. (a) 30°, (b) 45°, (c) 60°, (d) 75°, (e) 90°, (f) 75°'li numunelerin X200 ve X1000 büyütme SEM görüntüleri

Resim 7.15'deki X2500 büyütmede de görülebileceği gibi, numunelerde inklüzyonlara (kalıntılara) da rastlanmıştır. Bunlar genellikle malzemelerin süneklik değerlerine zarar verebilmektedir. Bu nedenle, 45°'lik birleştirme uygulanmış numunenin süneklik değerlerinde, nispeten diğer numunelere oranla düşüş göstermesinin bir nedeni görülebilir.

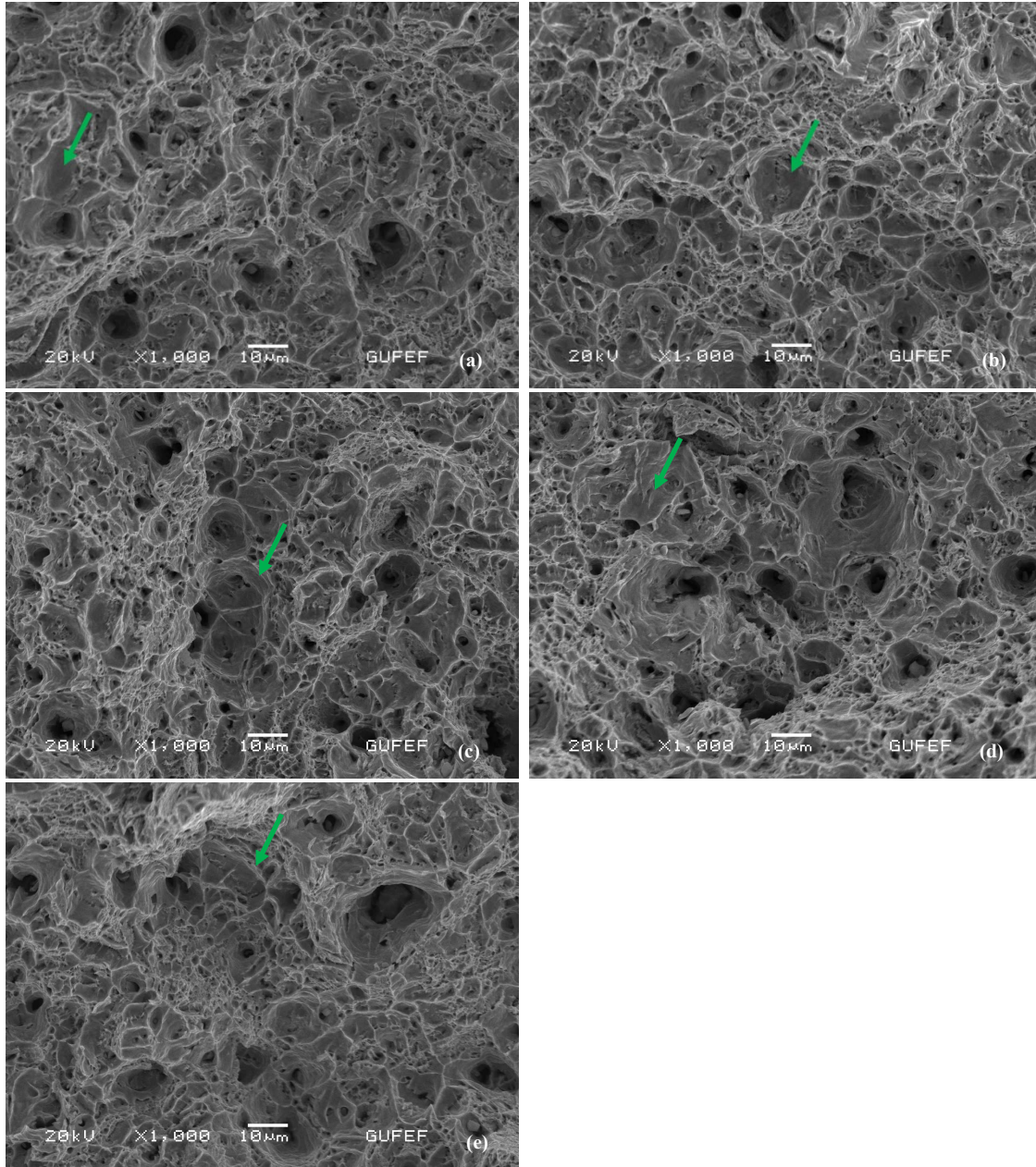


Resim 7.15. 45° açıyla birleştirilmiş sülfür kalıntıları

Özellikle 60° ve üzeri birleştirme uygulanmış numunelerin (Resim 7.11-7.13) kopma yüzeylerinde, gamzeli tip kopma bölgelerinin daha yoğun ve daha da derinleştiği görülmektedir. Bu numunelerde, sünekliğin (hem çekme uzaması hem de kopma uzamasının) yükselmesi ile sonuçlanmıştır.

Daha öncede belirtildiği üzere birleştirme açılarının 90°'den 30°'ye düşmesi sebebiyle, kaynak ısı girdisinin, ana malzemenin tane ve tane sınırlarının yeniden düzene girmesine neden olacağı aşikârdır. Kopma çatlağının tane sınırlarını izlemesi ile taneler arası kopma yanı gamzeli tip kopma modu sergilemiştir.

Nispeten düşük süneklik sergileyen numunelerde, kısmen de olsa tane içi kopma (Cleavage; Klivaj) benzeri morfoljiler görülmektedir ve Resim 7.16'de yeşil okla gösterilmiştir. Bu oluşumu farklı ısı girdine bağlı olarak ana malzemenin Ekikohesif sıcaklıklarını kısmen etkilemiş olabildiğini göstermektedir.



Resim 7.16. (a) 30°, (b) 45°, (c) 60°, (d) 75°, (e) 90°'li numunelerin X1000 büyütmeli SEM görüntüleri

7.6. Sertlik Testleri Sonuçları

7.6.1. Mikrosertlik ölçüm sonuçları

Mikrosertlik deneyinde, kaynak bölgesi “0” kabul edilerek bu bölgenin her iki tarafından ITAB ve ana malzemeye ilerleyecek şekilde ölçümler yapılmıştır. “0 bölgesi” olarak kabul edilen kaynak dikişi üzerinden, 2 mm aralıkla alınan 3'er ölçüm sonucu ve ortalamaları Çizelge 7.3'de verilmiştir. Ana malzeme, ITAB ve kaynak bölgelerini kapsayarak yapılan ölçümlerin sonuçları Çizelge 7.4'de verilmiştir.

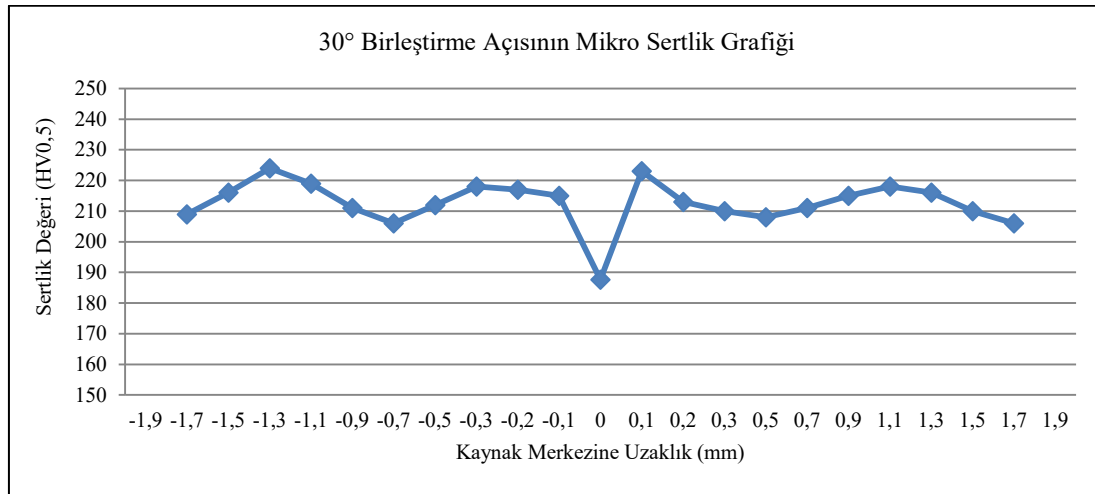
Çizelge 7.3. Kaynak bölgelerinin mikro sertlik sonuç ve ortalamaları

Kaynak Açısı	Kaynak Bölgesi			Kaynak Bölgesi Ort.
30°	183	187	193	188 ± 4
45°	166	168	169	168 ± 1
60°	165	169	173	169 ± 3
75°	185	187	190	187 ± 2
90°	168	176	185	176 ± 7

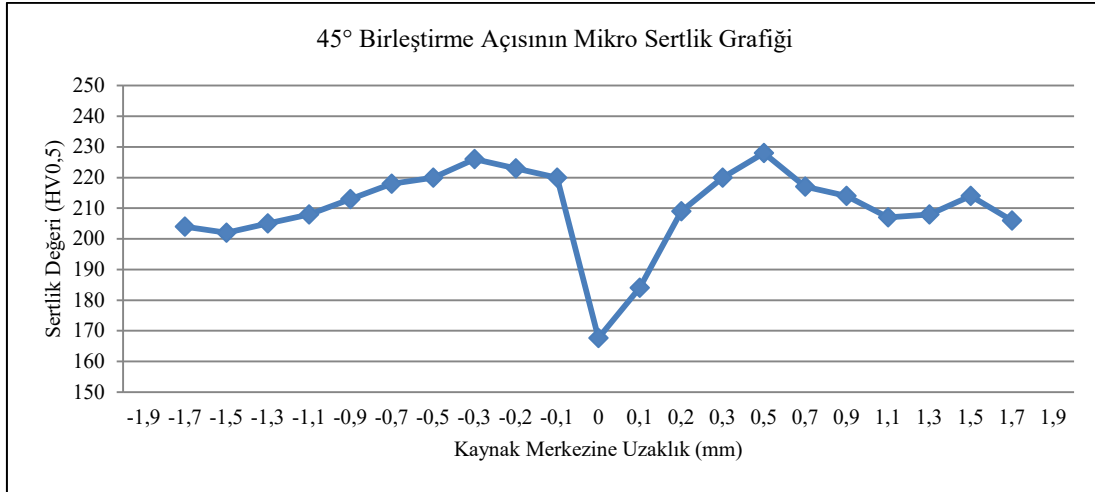
Çizelge 7.4. Kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru alınan mikro sertlik sonuçları

Kaynak Açısı / mm	ITAB	0 (kaynak bölgesi)	ITAB
30°	215 ± 5	188 ± 4	213 ± 5
45°	214 ± 8	168 ± 1	211 ± 11
60°	207 ± 7	169 ± 3	207 ± 6
75°	211 ± 7	187 ± 2	217 ± 4
90°	211 ± 8	176 ± 7	211 ± 7

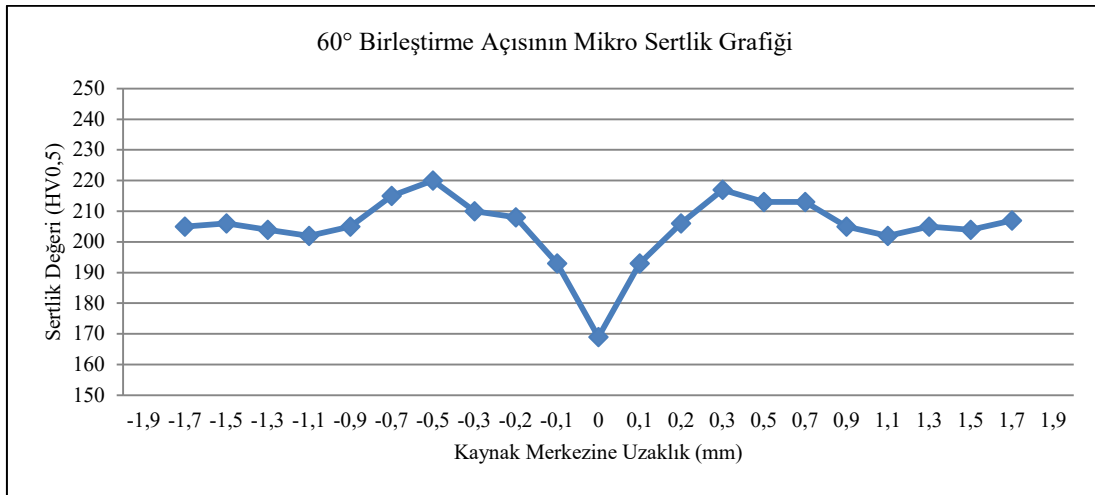
Çizelge 7.4'de verilen ölçüm sonuçlarının grafikleri, açılara göre tek tek ve hepsi bir arada olacak şekilde Şekil 7.6-7.11'de verilmiştir.



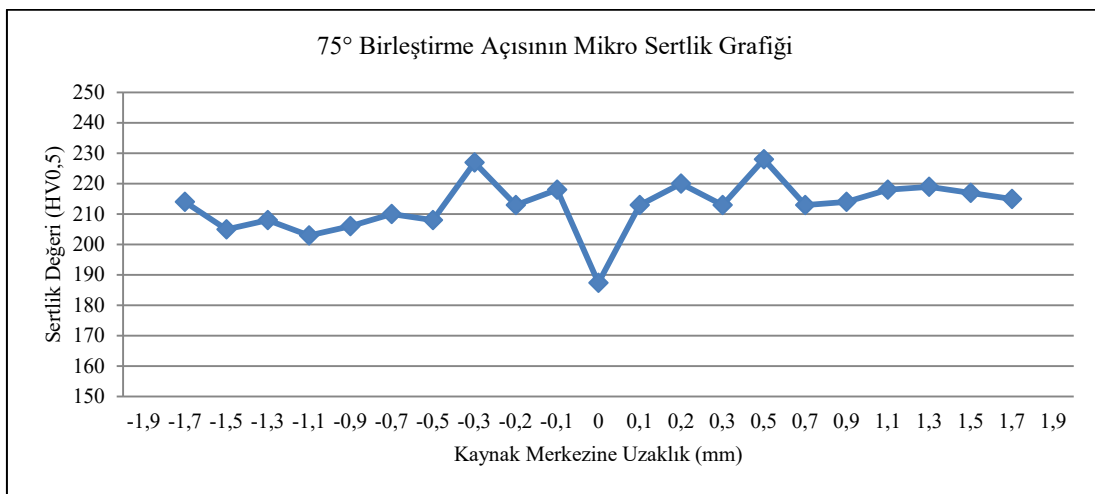
Şekil 7.6. 30° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği



Şekil 7.7. 45° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği



Şekil 7.8. 60° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği



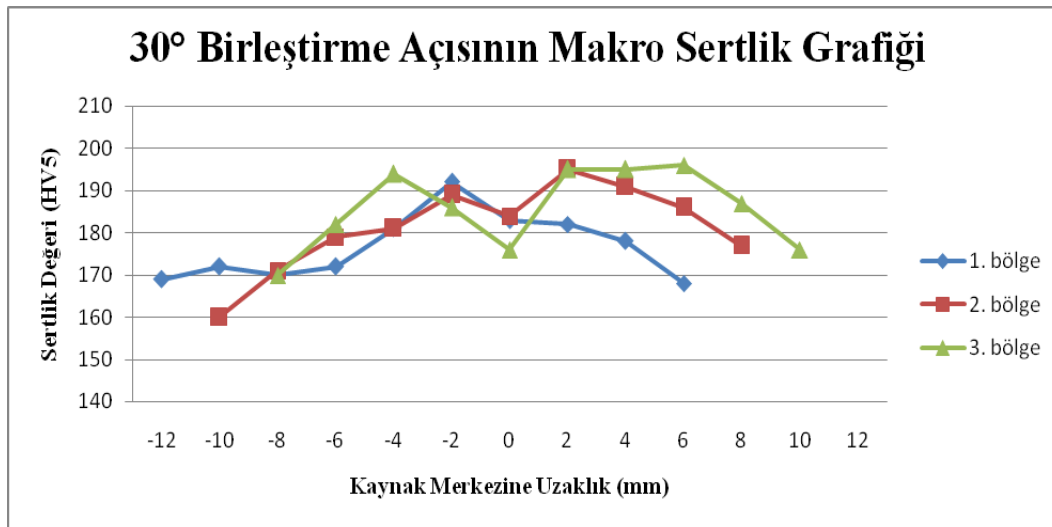
Şekil 7.9. 75° açıyla birleştirilen numunenin mikro sertlik sonucu grafiği

7.6.2. Makrosertlik ölçüm sonuçları

Makrosertlik deneyinde de, mikrosertlik deneyinde olduğu gibi, kaynak bölgesi “0” kabul edilerek bu bölgenin her iki tarafından ITAB ve ana malzemeye ilerleyecek şekilde yapılan ölçümlerin sonuçları 30°, 60°, 45°, 75° ve 90°'lik birleştirme açıları için sırasıyla Çizelge 7.5-Çizelge 7.8'de verilmiştir. Tablolarda verilmiş olan ölçüm sonuçlarının grafikleri sırasıyla Şekil 7.12-7.16'da verilmiştir.

Çizelge 7.5. 30° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları

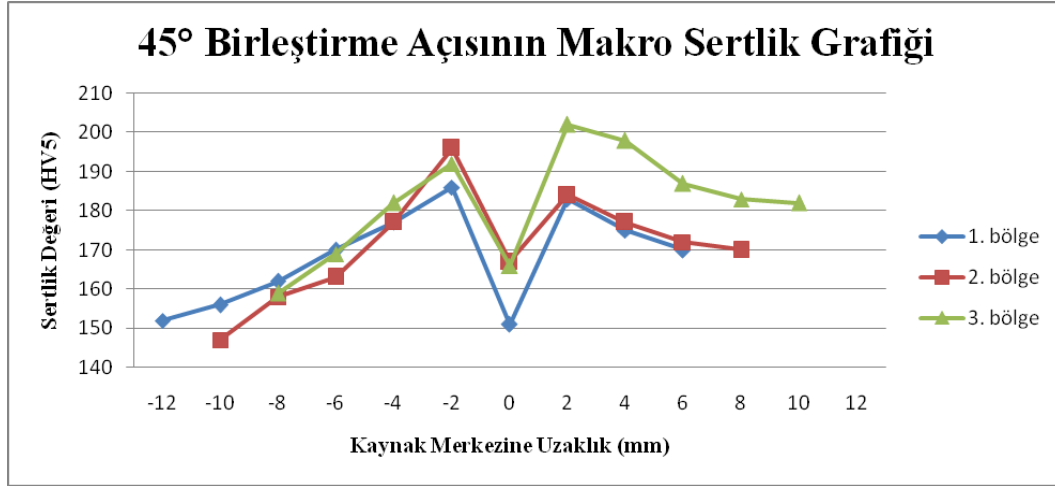
Ölçüm bölgesi/mm	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
1. Bölge	169	172	170	172	181	192	183	182	178	168		
2. Bölge		160	171	179	181	189	184	195	191	186	177	
3. Bölge			170	182	194	186	176	195	195	196	187	176



Şekil 7.12. 30° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği

Çizelge 7.6. 45° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları

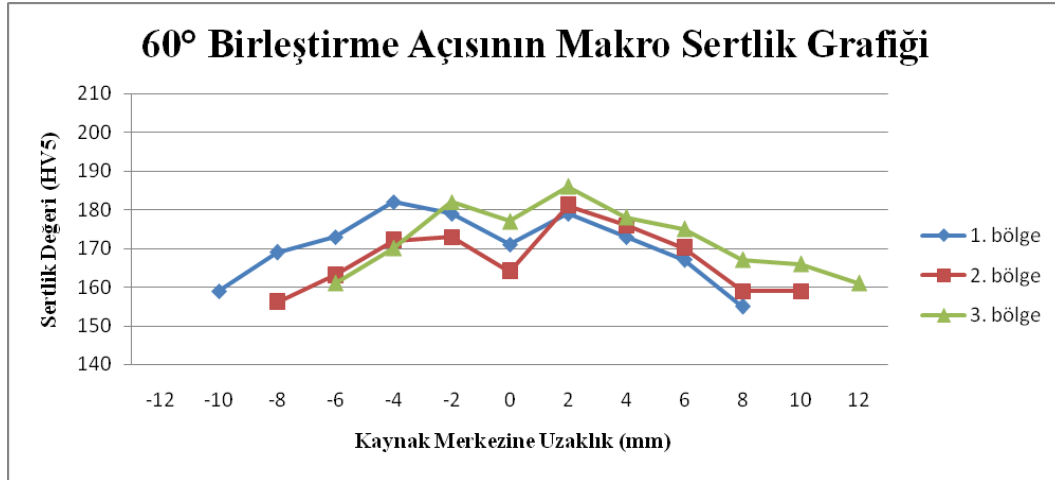
Ölçüm bölgesi/mm	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
1. Bölge	152	156	162	170	177	186	151	183	175	170		
2. Bölge		147	158	163	177	196	167	184	177	172	170	
3. Bölge			159	169	182	192	166	202	198	187	183	182



Şekil 7.13. 45° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği

Çizelge 7.7. 60° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları

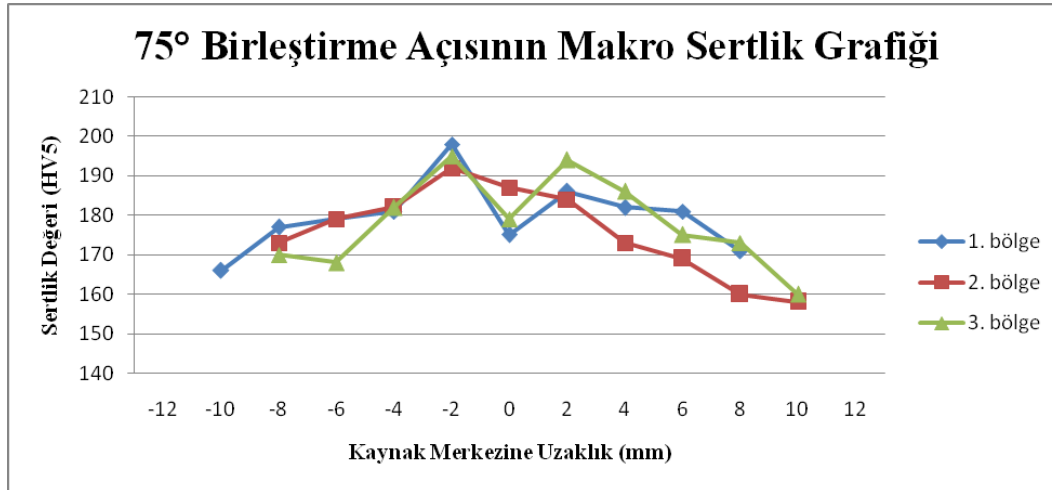
Ölçüm bölgesi/mm	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12
1. Bölge	159	169	173	182	179	171	179	173	167	155		
2. Bölge		156	163	172	173	164	181	176	170	159	159	
3. Bölge			161	170	182	177	186	178	175	167	166	161



Şekil 7.14. 60° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği

Çizelge 7.8. 75° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları

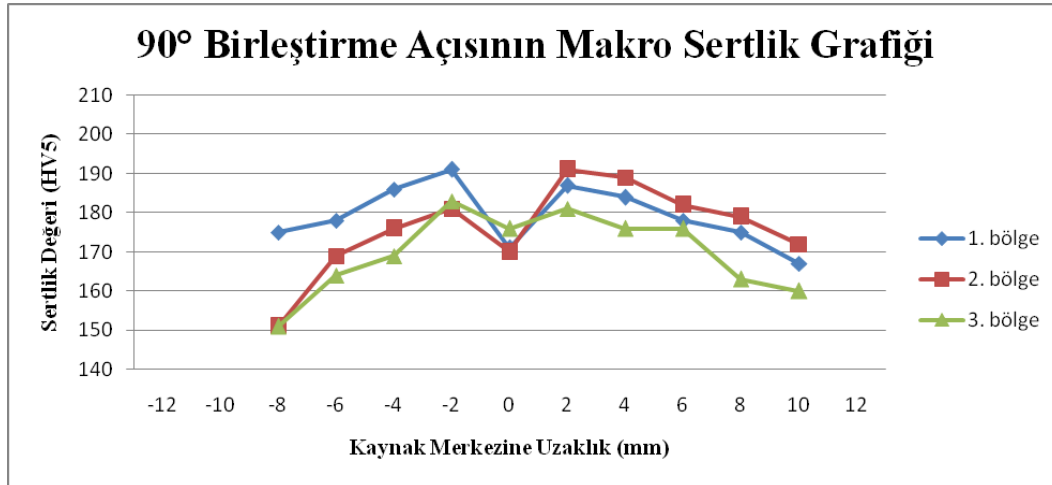
Ölçüm bölgesi/mm	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
1. Bölge	166	177	179	181	198	175	186	182	181	171	
2. Bölge		173	179	182	192	187	184	173	169	160	158
3. Bölge		170	168	182	195	179	194	186	175	173	160



Şekil 7.15. 75° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği

Çizelge 7.9. 90° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları

Ölçüm bölgesi/mm	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
1. Bölge	175	178	186	191	171	187	184	178	175	167
2. Bölge	151	169	176	181	170	191	189	182	179	172
3. Bölge	151	164	169	183	176	181	176	176	163	160



Şekil 7.16. 90° açıyla birleştirilen numunenin makro sertlik sonuçları grafiği

Sertlik testlerinin sonuçları incelendiğinde, çekme testlerinin sonuçları ile paralellik gösterdiği, daha düşük sertlik değerlerine sahip olan 45°'lik birleşme yüzeyine sahip numunelerde daha düşük çekme dayanımları elde edildiği, fakat daha yüksek sertlik değerlerine sahip olan 90°'lik yüzey açısına sahip numunelerde kısmen daha yüksek çekme dayanımlarının elde edildiği tespit edilmiştir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Birleştirme yüzey açılarının değiştirildiği S355 J2 malzemelerin, yakma alın kaynağı yöntemi ile birleştirildiği ve elde edilen birleştirmelerin çekme değerlerinin, mikro sertlik değerlerinin, makro sertlik değerlerinin ve mikroyapı sonuçlarının incelendiği bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Uygun parametreler dâhilinde S355 J2 malzemeler, standart yakma alın kaynağı birleşme açısı olan 90°'den farklı açılarda da yakma alın kaynağı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilebilmektedir.
- ITAB bölgesinde oluşan taneler ısı akış yönüne ters olacak şekilde kaynak metali merkezine doğru yönelmektedir.
- Kaynak metalinde oluşan taneler farklı bir birleşim materyali kullanılmadığı için ana malzeme tanelerinin bir devamı şeklinde oluşmakta ve kaynak metali herhangi bir gözenek, oksit gibi olumsuzluk içermemektedir.
- Malzemede meydana gelebilecek olan gözeneklilik gibi süreksizlerin yığılma bölgelerine ilerlediği ve işlem sonucunda uygun temizleme işlemlerinin yapılması halinde bu ilerlemenin, mekanik özellik bakımından olumlu bir özellik olduğu görülmüştür.
- Kaynak bölgesine etki eden basınç, direnç ve soğuma şartlarına bağlı olarak oluşan etkiler sebebiyle herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamaktadır.
- Kaynak merkezine ait bölge incelendiğinde birleşme yüzeyinde yoğun ferritik yapı bulunurken, birleşme çizgisinin hemen yanında asiküler ferrit ve widmanstatten ferritten oluşan iri taneli yapı mevcuttur. Geçiş bölgesinde yine bu yapılar varlığını korurken, daha homojen bir görünüme sahip olduğu görülmektedir.
- Birleşme yüzeylerinin açılal olarak 30°'ye doğru düşürölerek kesilmesi ile temas alanları artmıştır. Böylelikle normal prosedür dışında kullanılan diğer açılal (30°, 45°, 60° ve 75°) kesilen yüzeylerdeki ısıdan etkilenen numune alanları, 90° ile kesilen numunelerin yüzey alanlarına göre daha da artmış olup, numunelerde daha yavaş bir soğuma gözlemlenmiştir.
- Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, birleşme yüzey açılarındaki farklılığın tane yapılarını etkilediği görülmektedir. 30°'lik birleştirme yüzey açısına sahip numunelerde daha fazla yüzey temas alanına bağlı olarak, soğuma esnasında ısının daha yavaş uzaklaşıyor olması sebebiyle ITAB bölgesinin ve özellikle iri taneli bölgenin daha

fazla olduğu, açının 30°'den 90°'ye büyüdükçe, ITAB bölgesinin daha dar olduğu ve iri taneli bölgenin daha sınırlı olduğu görülmektedir.

- Birleşme yüzeylerinin açısal olarak 90°'den 30°'ye doğru düşürülerek kesilmesi ile temas alanlarının artarak ısıdan etkilenen yüzey alanındaki artış ile daha yavaş bir soğuma elde edilmesi sonucunda daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir.
- Birleştirme açısının değişimi sebebiyle aç 90°'den 30°'ye düşürüldükçe, eksenel kayma meydana gelmiş ve bu kaynak kalitesini kısmen düşürmüştür.
- Çekme test sonuçlarında, max. çekme gerilmeleri, 30°'lik açıyla birleştirilen numuneler için ortalama 554 ± 5 MPa, 45°'lik açıyla birleştirilen numuneler için ortalama 550 ± 5 MPa, 60°'lik açıyla birleştirilen numuneler için ortalama 556 ± 3 MPa, 75°'lik açıyla birleştirilen numuneler için ortalama 567 ± 4 MPa değeri elde edilirken, 90°'lik açıyla birleştirilen numuneler için ortalama 557 ± 6 MPa değeri elde edilmiştir.
- Çekme test sonuçları incelendiğinde sertlik sonuçları ile paralellik gösterdiği, daha düşük sertlik değerlerine sahip olan 30° ve 45°'lik birleşme yüzeyine sahip numunelerde kısmen daha düşük çekme dayanımları elde edildiği, fakat daha yüksek sertlik değerlerine sahip olan 60°, 75° ve 90°'lik yüzey açısına sahip numunelerde kısmen daha yüksek çekme dayanımlarının elde edildiği tespit edilmiştir.
- Çekme test sonuçları doğrultusunda grafikler incelendiğinde, numunelerde meydana gelen kopmaların kaynak bölgesinde meydana gelmediği, ana malzemede meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yani bu durumda sonuçlar, ana malzeme karakteristiği göstermiş olup, farklı birleştirme açılara bağlı olarak malzemelerin akma gerilmesi ve max. çekme gerilmesi değerlerinde ciddi bir farklılık beklendiği üzere görülmemiştir. Aynı zamanda ana malzemede kopma bölgelerinin, tutma başlarının radyusuna hemen hemen aynı mesafede kopması da ana malzemenin kararlılığını göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada elde edilen çekme test sonuçlarıyla, birleştirme bölgesinin mekanik davranışından ziyade ana malzemenin çekme karakteristiğine yoğunlaşmıştır.
- Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda malzemenin max. çekme uzamasından sonra, kopma uzamasına kadar %8-%10'luk bir uzama daha göstermesi kullanılan malzemenin sünek bir özellik gösterdiğini desteklemektedir. Bu durum tüm numunelerde farklı birleştirme açıları ile birlikte yakma alın kaynak yöntemi işleminin başarılı olabildiğini göstermektedir.

- Genel olarak birleştirme açılarının artışı ile maksimum çekme değerlerinin kısmen arttığı görülebilir. Bu durumun birleştirme açısının (30° 'den 90° 'ye) artışı ile birlikte muhtemelen yakma alın kaynağı ısısının, numune yüzey alanından daha kısa sürede uzaklaşmasına sebebiyet verirken, 30° 'lik açıyla birleştirilen yüzeyin, 90° 'lik açıyla birleştirilen yüzeyden daha sıcak olmasına ve 90° 'li numunelerin kısmen daha küçük taneli kalmasına, önceden soğuk çekilmiş ham numunenin gerinim yaşlanmasına da bağlı olarak, kısmen daha yüksek çekme değerleri sergilemesine yol açmış olabileceği düşünülmektedir.
- Birleştirme yüzey açısı dışındaki parametreleri aynı tutulan numunelerin hemen hemen benzer bölgelerden kopması, malzemenin kendi karakteristiğini göstermesi sebebiyle numunelerde boyunlaşmaya bağlı olarak etkili kesit daralması ve ardından kesitin orta bölgelerinde derin kadeh veya gamzeli kopma tipinin kendini göstermesinden kaynaklanmaktadır.
- Sünekliğin göstergesi ve ölçüsü sayılan gamzeli tip kopma yüzeyleri, akma ve çekme gerilmesinde bağımsız ancak çekme uzaması ve kopma uzamasına bağlı olarak yüzey morfolojilerinin farklılaşması şeklinde, daha yüksek büyütmeli olan SEM görüntülerinde belirgin şekilde gözlemlenmiştir.
- Farklı birleştirme açılarıyla birleştirilmiş olan deney numunelerinde, genellikle malzemenin süneklik değerlerine zarar verebilen inklüzyonlara (kalıntılara) rastlanmıştır. Özellikle 45° 'lik birleştirme uygulanmış numunenin süneklik değerlerinde, nispeten diğer numunelerin süneklik değerlerine oranla bir düşüşün görülmesinin bir nedeni olarak bu inklüzyonlar düşünülmektedir.
- Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sertlik değerlerine bakıldığında 45° birleştirme açısı ile birleştirilen numunelerin kaynak bölgesinin sertliğinin, 30° , 60° , 75° ve 90° 'lik birleştirme açısı ile birleştirilmiş olan diğer numunelerin kaynak bölgesinin sertliğinden daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Arabacı, U. (2003). *Zincir Üretiminde Kullanılan 16mncr5 Çeliğine Yakma Alın Kaynak Uygulanması Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitim Anabilim Dalı, Ankara.
2. Anık, S. (1983). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, İstanbul: Birsen Basımevi, 7-34.
3. Kalvala, P., Rao, K., Kannurpatti, N. (1990). Effect of Welding Parameters on the Quality ant Corrosion Characteristics of Flash Butt Welded Austenitic Steels. *Schweissen Und Schneiden*, 42, No 1, 4-6.
4. Turan, Ş. (2017). *Ray Çeliklerine Östemperleme Isıl İşleminin Uygulanması Ve Yakma Alın Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
5. Esin, T. Ş. (2015). *Farklı Malzemelerin Yakma Alın Kaynağı İle Birleştirilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
6. Selalmaz, E. (2008). *İstatistiksel Süreç Kontrol Metodunun Zincir Üretiminde Uygulanması*, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
7. Yılmaz, M., Kaluç, E., Tülbentçi, K. (1993). C45 Karbonlu Çelik İle Hss 6-5-2 Yüksek Hız Çeliğinin Yakma Alın Kaynağında Kaynak Ara Yüzeyinin İncelenmesi. *Science Technology Weld Join*, 286-288.
8. Sandal, O. (1988). *Farklı İki Takım Çeliğin Elektrik Direnç Yakma Alın Kaynağında Kaynak Ara Yüzeylerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
9. Karabulut, T. Y.(2019). *Aa5005 Alüminyum Alaşımının Lazer Ve Tıg Kaynak Yöntemi Kullanılarak Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
10. Tanses, A. (2019). *Demir Aluinat Metallerarası Bileşiğinin Direnç Nokta Kaynağı İle Birleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
11. Kapıcı, T. (2005). *İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri Ve Tersanelerde Kaynak Prosesine Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri Ve Mühendisliği Enstitüsü, İstanbul.
12. İnternet: Howard, B. C. (1998). Modern Welding Technology. URL: <https://weldwolf.com/Kaynak-Teknolojisinin-Tarihi/>, Son Erişim Tarihi: 03.07.2019.
13. Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler Ve Donanımlar*. Gev Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma Ve Muayene Enstitüsü.

14. Aksoy, M.(2000). *Basınç Kaynağı Ve Uygulama Alanlar*, Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.
15. Yüksel, C. (2019). *Hibrit Plazma Ark Kaynağı (Hpak), Gaz Metal Ark Kaynağı (Gmak) ve Soğuk Metal Transfer Kaynağı (Cmt) Yöntemleri ile Armox 500t Zırh Çeliğinin Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi İleri Metalurji Ve Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun.
16. Aslanlar, S. (2009). *Kaynak Teknolojisi ve Uygulamaları, Elektrik Ark Kaynak ve Gaz Eritme Kaynak Teknolojisi*. Ders Notu, Sakarya Üniversitesi Metal Eğitim Bölümü, Sakarya.
17. Turan, Ş. (2015). Rayların Yakma Alın Kaynağı. *Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, 69-80.
18. Tezcan, T. (2017). *Elektrik Direnç Kaynağı*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
19. Kumru, E. (2007). *Farklı Malzemelerin Sıcak Basınç Kaynağı İle Birleştirilmesinde İşlem Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
20. Ateş, F. (2016). *Projeksiyon Kaynağında Fıskırma Ve Çapaklanma Düzeyi İçin Bir Sayısal Göstergenin Araştırılması Ve Kaynak Parametreleri İle Değişiminin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
21. Aksu, İ. (2019). *Kaynak İşçilerinde Mesleki Maruziyete Bağlı Olası Toksik Etkilerin Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
22. Kökçe, Y. (2002). *Demiryolu Taşıt Ve Raylarının Üretim Ve Tamir-Bakımında Uygulanan Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
23. İnternet: Erdin, E. URL: <http://Web.Hitit.Edu.Tr/Dosyalar/Materyaller/Eminerdin@Hitit.edu.tr/300320186q3c516n.Pdf>, Son Erişim Tarihi: 14.08.2019.
24. Kaya, Y. Kahraman, N. (2011). Titanyum Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Çekirdek Oluşumuna Etkisi. *Politek Dergisi*, 14, no. 4, 263–270.
25. İnternet: Direnç Kaynağı Çeşitleri Ders Notu (2013). URL: www.detayquality.com/teknik/46.pdf, Son Erişim Tarihi: 06.07.2019.
26. İnternet: Temiz, V. (2019). Lehim Bağlantıları Sunu. URL: <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Lehim.pdf>, Son Erişim Tarihi: 21.09.2019.

27. Coşkun, H. (2009). *Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan If7114 ve Dp600 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (Rsw) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı(Fssw) Yöntemleri İle Birleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
28. Çimen, M. Y. (2015). *AISI 1050, AISI 304 Ve AISI 430 Tip Çeliklerin Yakma Alın Kaynak Yöntemiyle Kaynatılması ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
29. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı (2013). Motorlu Araçlar Teknolojisi Direnç Kaynağı, Lehimleme ve Perçinleme. URL: http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Diren%C3%A7%20Kayna%C4%9F%C4%B1,%20Lehimleme%20Ve%20Per%C3%A7inleme.pdf, Son Erişim Tarihi: 20.09.2019.
30. Çetinkaya, C. (2015). Mem526 İleri Kaynak Teknolojileri Ders Notları-2. Gazi Üniversitesi, Ankara.
31. Vural, M. (2019). Üretim Yöntemleri Sunu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
32. Gülenç, B. (2000).Elektrik Direnç Kaynağı Ders Notları.Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, Ankara, 3-8.
33. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı (2012). Elektrik Direnç Kaynağı. URL: http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Elektrik%20Diren%C3%A7%20Kayna%C4%9F%C4%B1.pdf, Son Erişim Tarihi: 27.08.2019.
34. Yumurtacı, U., Sönmez, S., Karaaslan N., Aslan, A. (2001). S 6-5-2 İle 4140 Çeliğinin Yakma Alın Kaynağı Yöntemi İle Birleştirilmesi. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB, Ankara.
35. Ozakgul, K., Piroglu, F., Caglayan, O. (2015). An Experimental Investigation On Flash Butt Welded Rails. *Eng. Fail. Anal.*, vol. 57, 21–30.
36. Onay, M. (2011). *Demir Yollarında Aluminotermi Kaynak İle Yakma Alın Kaynak Yöntemlerinin Teknik Ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
37. İnternet: AMS200 Taşınabilir Ray Kaynak Makinesi URL: <https://www.schlattergroup.com/en/news/article/system-ams200-the-latest-mobile-rail-welding-machine/>, Son Erişim Tarihi: 01.09.2019.
38. İnternet: Aslanlar, S. (2015). Alın Direnç Kaynağı Sunu. URL: <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/71097/46669/4.yadk.pdf>, Son Erişim Tarihi: 23.09.2019.
39. Biçer, U. (2015). *Farklı Sıcaklıklarda Yakma Alın Kaynak Yöntemi İle Kaynaklanmış Rayların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

40. Godefroid, L. B., Faria, G. L., Cândido, L.C., Viana, T.G. (2015). Failure Analysis Of Recurrent Cases Of Fatigue Fracture in flash Butt Welded Rails. *Engineering Failure Analysis*, 58, 407–416.
41. Yu, X., Feng, L., Qin, S., Zhang, Y., He, Y. (2015). Fracture Analysis Of U71Mn Rail Flash-Butt Welding Joint. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 4, 20-25.
42. Xu, Z., Lu, P., Shu, Y. (2016). Microstructure And Fracture Mechanism Of A Flash Butt Welded 380 CL Steel. *Engineering Failure Analysis*, 62, 199-207.
43. Fan, Y., Zhao, X., Liu, Y. (2016). Research On Fatigue Behavior Of The Flash Welded Joint Enhanced By Ultrasonic Peening Treatment. *Materials and Design*, 94, 515-522.
44. Çetinkaya, C., Arabacı, U. (2004). Yakma Alın Kaynağında Yığma Akım Zamanının Bağlantının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 7, 327-333.
45. Çetinkaya, C., Arabacı, U. (2006). Yakma Alın Kaynağında Yığma Basıncının 16MnCr5 Zincir Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 9, 295-301.
46. Çetinkaya, C., Arabacı, U., Akay, A. (2006). Yakma Alın Kaynağı İle Kaynatılmış İki Farklı Çeliğin Kaynak Kalitesine Yığma Akım Zamanının Etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21, 519,525.
47. Xi, C., Sun, D., Xuan, Z., Wang, J., Song, G. (2016). Microstructures and Mechanical Properties Of Flash Butt Welded High Strength Steel Joints. *Materials & Design*, 96, 506-514.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KÖROĞLU, Merve
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.06.1990, İstanbul
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 543 494 45 12
 E-mail : mervekoroglu12@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Met. Malz. Müh.	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/Met. Malz. Müh.	2014
Lise	Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016	Yapaş Zincir ve Döğme San. Tic. Ltd. Şti.	Kalite Sorumlusu
2017	UMT Kalite Kontrol San. Tic. Ltd. Şti.	Kalite Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Köroğlu M., Arabacı U. (2019). *The Effect Of Different Joint Angles On The Welding Quality And Metallurgical Properties in S355 J2 Materials Combined With Flash Butt Welding*. The International Conference on Materials Science, Machine and Automotive Engineerings and Technology Symposium, Kapadokya, 21-23 Haziran 2019.

Hobiler

Halk dansları, Türk sanat müziği, Kitap



GAZİ GELECEKTİR..



Gazi gelecektir...

