

**AISI 1050, AISI 304 VE AISI 430 TİP ÇELİKLERİN YAKMA ALIN
KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNATILMASI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

Muhanmet Yaşar ÇİMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2015

Muhanmet Yaşar ÇİMEN tarafından hazırlanan “AISI 1050, AISI 304 VE AISI 430 TİP ÇELİKLERİN YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNATILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Metal Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Uğur ARABACI

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi.

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

.....

Başkan : Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi.

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

.....

Üye : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

İmalat Mühendisliği, Karabük Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 25/06/2015

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

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

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.

Muhanmet Yaşar ÇİMEN

25.06.2015

AISI 1050, AISI 304 VE AISI 430 TİP ÇELİKLERİN YAKMA ALIN KAYNAK
YÖNTEMİYLE KAYNATILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhanmet Yaşar ÇİMEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2015

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 304, AISI 430 paslanmaz çelikleri ile AISI 1050 tip çeliğe yakma alın kaynağı uygulanmış ve bu uygulamanın malzemelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Birleştirilen numunelerin sertlikleri, çekme mukavemetleri ve mikroyapı özellikleri incelenerek birbirleri ile mukayeseleri yapılmıştır. Deney çalışmaları esnasında yakma alın kaynak parametreleri sabit tutulmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçların, yakma alın kaynak yöntemini kullanarak AISI 304, AISI 430 paslanmaz çeliklerin ve AISI 1050 çeliğinin kaynağını yapan imalatçıların kullanabileceği verilerin tespitleri amaçlanmıştır. Araştırma sonunda AISI 304 ve AISI 1050 malzemelerinin en yüksek sertlik değerleri kaynak bölgesinde (ITAB) görülürken, AISI 430 paslanmaz çeliğinin sertlik değerlerinin kaynak bölgesinde düşüşler yaşadığı tespit edilmiştir. AISI 1050 malzemesinin kaynak edildiği numune çiftlerinde sertlik değerlerini ve çekme mukavemetini artırdığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 710. 1. 093

Anahtar Kelimeler : Paslanmaz çelikler, yakma alın kaynağı, mekanik özellikler, AISI 430, AISI 304, AISI 1050

Sayfa Adedi : 91

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Uğur ARABACI

THE INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND WELDING WITH
FLASH BUTT WELDING OF AISI 1050, AISI 304 AND AISI 430 TYPES STEELS

(M. Sc. Thesis)

Muhanmet Yaşar ÇİMEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2015

ABSTRACT

In this study, AISI 304, AISI 430 stainless steel AISI type 1050 steel butt welding has been applied and its effects on the microstructure and mechanical properties of these materials were investigated application. The combined stiffness of the specimen, tensile strength, and are compared with each other microstructural features have been examined. Flash-butt welding parameters are kept constant during the test run. The results obtained in this study, using the flash-butt welding AISI 304, AISI 430 and AISI stainless steel are intended to identify the source of data for use by manufacturers, who in 1050 steel. Research at the end of AISI 304 and AISI 1050 material resources in the high hardness values (HAZ), while sources in AISI 430 stainless steel hardness have been found to experience a decline. AIA was found that the stiffness values of duplicate samples where the material source 1050, and improve the tensile strength.

Science code : 710. 1. 093

Key Words : Stainless steels, flash butt welding, mechanical properties, AISI 430, AISI 304, AISI 1050

Number of pages : 91

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Uğur ARABACI

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Yrd. Doç. Dr. Uğur ARABACI'ya sonsuz şükranlarımı sunarım. Tez çalışmasının ilk deney safhalarında yardımlarını esirgemeyen Yapaş Zincir fabrikası çalışanlarına, bütün çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü ve Makine Eğitimi Bölümü Öğretim Elemanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca değerli katkılarından dolayı Doç. Dr. Ahmet GÜRAL hocama teşekkürü borç bilirim.

Beni bugünlere getiren ve tez çalışmam boyunca benden manevi desteğini hiç esirgemeyen çok değerli AİLEME ve arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	XI
RESİMLERİN LİSTESİ	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI	3
2.1. Elektrik Direnç Kaynağı Çeşitleri	4
2.1.1. Nokta direnç kaynağı	4
2.1.2. Dikiş direnç kaynağı	7
2.1.3. Kabartılı direnç kaynağı	8
2.1.4. Alın direnç kaynağı	10
3. YAKMA ALIN KAYNAĞI	13
3.1. Yakma Alın Kaynak Yönteminin Çalışma Prensipleri	15
3.2. Yakma Alın Kaynağında Dirençlerin Etüdü.....	18
3.3. Yakma Alın Kaynağında Yakma Olayı	19
3.4. Yakma Alın Kaynak Parametreleri	23
3.5. Yakma Alın Kaynağında Kaynak Edilecek Malzemelerin Bağlantı Özellikleri	26
3.6. Yakma Alın Kaynağının kullanım Alanları ve Yakma Alın Kaynak Makineleri	28

3.6.1. Yakma alın kaynağının kullanım alanları	28
3.6.2. Yakma alın kaynak makineleri.....	30
3.7. Yakma Alın Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları.....	33
4. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	35
4.1. Paslanmaz Çelik Türleri	36
4.1.1. Ferritik paslanmaz çelikler	37
4.1.2. Östenitik paslanmaz çelikler	40
4.1.3. Martenzitik paslanmaz çelikler	43
4.1.4. Östenitik-ferritik (Çift fazlı) paslanmaz çelikler.....	44
4.1.5. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler.....	45
4.2. Paslanmaz Çeliklerin Alaşım Elementleri ve Metalurjik Etkileri.....	46
4.3. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	48
4.3.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti	49
4.3.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti	53
4.4. AISI 1050 Karbon Çeliği	56
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	57
5.1. Malzeme	57
5.2. Materyal	57
5.3. Mekanik Deneyler	59
5.3.1. Sertlik deneyi	59
5.3.2. Çekme deneyi.....	60
5.4. Mikroyapı İncelemesi.....	61
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR.....	63
6.1. AISI 1050 - AISI 1050 Deney Numunesi.....	63

	Sayfa
6.2. AISI 1050 - AISI 304 Deney Numunesi	65
6.3. AISI 1050 - AISI 430 Deney Numunesi	69
6.4. AISI 304 - AISI 304 Deney Numunesi	72
6.5. AISI 430 - AISI 304 Deney Numunesi	74
6.6. AISI 430 - AISI 430 Deney Numunesi	77
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
7.1. Sonuçlar	83
7.2. Öneriler	84
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	91

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dikiş kaynağının kullanıldığı malzemeler ve kalınlıkları.....	8
Çizelge 3.1. Yumuşak çelikler için çalışma değerleri	15
Çizelge 3.2. Çelik için kaynak parametreleri	15
Çizelge 3.3. Yakma alın kaynağı ile birleştirilebilecek bazı metal kombinasyonları ...	30
Çizelge 4.1. AISI 430 paslanmaz çeliğin; standart numaraları, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	39
Çizelge 4.2. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin (%) kimyasal bileşimleri.....	40
Çizelge 4.3. Yaygın olarak kullanılan 304 kalite östenitik paslanmaz çelik türleri	42
Çizelge 4.4. 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri.....	43
Çizelge 4.5. 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin (%) kimyasal bileşimleri.....	43
Çizelge 4.6. AISI 1050 çeliğinin mekanik özellikleri	56
Çizelge 4.7. AISI 1050 çeliğinin (%) kimyasal bileşimi	56
Çizelge 5.1. Kaynak parametreleri	58
Çizelge 5.2. AISI 430 paslanmaz çeliğine ait (%) kimyasal bileşim	59
Çizelge 5.3. AISI 304 paslanmaz çeliğine ait (%) kimyasal bileşim	59
Çizelge 5.4. AISI 1050 çeliğine ait (%) kimyasal bileşim.....	59
Çizelge 6.1. Test numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme deney sonuçları	80
Çizelge 6.2. Kaynak çelik çiftlerinin kaynak merkezindeki sertlik değerleri.....	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi	5
Şekil 2.2. Nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi detayı ...	6
Şekil 2.3. Yığma alın kaynağında dikişin durumu.....	12
Şekil 3.1. Yakma alın kaynak makinesinin prensibi.....	16
Şekil 3.2. Yakma alın kaynağının işlem prensipleri	18
Şekil 3.3. Yakma alın kaynağı akım devresi.....	19
Şekil 3.4. Yakma olayı.....	21
Şekil 3.5. Yakma olayının kademeleri	22
Şekil 3.6. Kaynak şekli ve bağlantısı üzerine ısı ve yığma etkisi	26
Şekil 3.7. Geniş kesitli parçalar için kaynak ağzı hazırlığı.....	27
Şekil 3.8. Bağlantı geometrisine parça merkezlenmesinin etkisi	27
Şekil 3.9. Yakma alın kaynağının çeşitli konstrüksiyonlara uygulanması	28
Şekil 4.1. Demir krom faz diyagramı	36
Şekil 4.2. Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (ÇS: Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen).....	37
Şekil 4.3. Schaeffler diyagramı.....	52
Şekil 5.1. Kaynak numunesinin ölçüleri	58
Şekil 5.2. Numunelerin çeneye bağlanması	58
Şekil 5.3. Çekme numuneleri standardı (TS 138).....	61
Şekil 6.1. AISI 1050 - AISI 1050 numunesinin sertlik grafiği	64
Şekil 6.2. AISI 1050 - AISI 1050 numune çiftinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği.....	64
Şekil 6.3. AISI 1050 - AISI 304 numunesinin sertlik grafiği	67

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. AISI 1050 - AISI 304 numune çiftinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği.....	68
Şekil 6.5. AISI 1050 - AISI 430 numunesinin sertlik grafiği	70
Şekil 6.6. AISI 1050 - AISI 430 numune çiftinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği.....	71
Şekil 6.7. AISI 304 - AISI 304 numunesinin sertlik grafiği	73
Şekil 6.8. AISI 304 - AISI 304 numunesinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği	73
Şekil 6.9. AISI 430 - AISI 304 numunesinin sertlik grafiği	76
Şekil 6.10. AISI 430 - AISI 304 numunesinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği	76
Şekil 6.11. AISI 430 - AISI 430 numunesinin sertlik grafiği	78
Şekil 6.12. AISI 430 - AISI 430 numunesinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği	79

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Dikiş direnç kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı.....	8
Resim 2.2. Kabartılı direnç nokta kaynak makinesi	10
Resim 2.3. Kabartılı kaynak.....	10
Resim 2.4. Direnç alın kaynak makinesi.....	12
Resim 3.1. Yakma alın kaynağı ile üretilen aletler.....	29
Resim 3.2. Rayların birleştirilmesinde kullanılan yakma alın kaynak makinesi.....	31
Resim 3.3. Zincir yapımında kullanılan kaynak makinesi	31
Resim 3.4. Bisiklet jantlarının kaynağında kullanılan kaynak makinesi	32
Resim 3.5. Çelik ve alüminyum kaynak makinesi	33
Resim 4.1. Ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı	38
Resim 4.2. Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı.....	41
Resim 4.3. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı.....	44
Resim 4.4. Östenitik- ferritik(Çift fazlı) paslanmaz çeliğin mikroyapısı	45
Resim 5.1. Sertlik test cihazı.....	60
Resim 5.2. Çekme test cihazı	61
Resim 5.3. Zımpara ve parlatma cihazı.....	62
Resim 5.4. Optik mikroskop	62
Resim 6.1. AISI 1050 - AISI 1050 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 1050 ana malzemesi, (b) kaynak ara yüzeyi ve ITAB	63
Resim 6.2. AISI 1050 - AISI 1050 çekme numunelerinin kopma bölgeleri.....	65
Resim 6.3. AISI 1050 - AISI 304 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 304 ana malzemesi, (b) AISI 1050 ana malzemesi, (c) kaynak ara yüzeyi ve ITAB	66
Resim 6.4. AISI 1050 - AISI 304 çekme numunelerinin kopma bölgeleri.....	68
Resim 6.5. AISI 1050 - AISI 430 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 430 ana malzemesi, (b) AISI 1050 ana malzemesi, (c) kaynak ara yüzeyi ve ITAB	69

Resim	Sayfa
Resim 6.6. AISI 1050 - AISI 430 çekme numunelerinin kopma bölgeleri.....	71
Resim 6.7. AISI 304 - AISI 304 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 304 ana malzemesi, (b) kaynak ara yüzeyi ve ITAB	72
Resim 6.8. AISI 304 - AISI 304 çekme numunelerinin kopma bölgeleri.....	74
Resim 6.9. AISI 430 - AISI 304 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 430 ana malzemesi, (b) AISI 304 ana malzemesi, (c) kaynak ara yüzeyi ve ITAB..	75
Resim 6.10. AISI 430 - AISI 304 çekme numunelerinin kopma bölgeleri.....	77
Resim 6.11. AISI 430- AISI 430 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 430 ana malzemesi, (b) kaynak ara yüzeyi ve ITAB.....	78
Resim 6.12. AISI 430 - AISI 430 çekme numunelerinin kopma bölgeleri.....	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

mm²	Milimetrekare
Kg	Kilogram
R_m	Parçaların, çenelerle temas bölgesindeki temas direnci
R_p	Malzemelerin, çenelerden taşan kısımlarının dirençleri
R_c	Birbirine temas eden yüzeylerdeki temas direnci
V	Voltaj (volt)
Ω	Direnç
kVA	Güç
kA	Akım şiddeti
kN	Kuvvet
kcal	Kilokalori

Kısaltmalar

Açıklamalar

AISI	American Iron and Steel Institute
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge
KYM	Kübik yüzey merkezli
KHM	Kübik hacim merkezli
HV	Vickers sertliği
MPa	Megapaskal

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması farklı özelliklere sahip malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır [1, 2 - 3]. Böylece farklı metallerin kaynakla birleştirilmesi ile o malzemelerin spesifik özelliklerinden birlikte yararlanılmaktadır [4].

Endüstride çok yaygın olarak uygulama alanı bulan paslanmaz çelikler, değişik kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler ancak paslanmaz çeliklerde farklı bileşimlerin, mekanik ve fiziksel özellikleri etkilemesi, kaynak kabiliyeti açısından kaynak problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu problemler, oluşturulacak yapıların servis ömrü açısından da önem taşırlar [5].

Yakma alın kaynağı yöntemi hemen hemen her türlü alaşımın birleştirilmesinde kullanılır. Bu yöntemle çok sayıda demir esaslı ve demir dışı alaşımları kaynakla birleştirmek mümkündür; günümüz endüstrisinde geniş kullanım alanına sahip sade karbonlu çelikler, alüminyum alaşımları büyük bir hazırlık ve özel bir önlem gerektirmeden bu yöntem ile kaynatılabilmektedir. Son yıllarda bu yöntem soygaz koruması altında titanyum ve alaşımlarına da uygulanmış uygun sonuçlar alınmıştır [6].

Bu yöntem, en ilkel kaynak yöntemi olan demirci kaynağının modernize edilmiş şeklidir. Demirci kaynağında birleştirilecek parçaların uçları kaynak sıcaklığına kadar tavlanıp, üst üste getirilip dövülerek birleştirme sağlanır. Bu dövülme sırasında arada kalan yabancı maddeler kısmen dışarı atılır ve yine dövme etkisi ile kaynak ara yüzeyi incelmış olur [6]. Yakma alın kaynağı işlemi aslında elektrik direnç kaynağı işleminin bir türüdür ve ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur [7].

Yakma alın kaynağı matkap uçlarının üretiminde kullanılmaktadır. Günümüzde talaşlı imalat endüstrisinde en çok kullanılan takım grubunu matkap uçları oluşturmaktadır. Bu takımlar kullanıldıkları yerlere göre HSS' den imal edilmektedirler. HSS çeliklerinin, normal çelikler ile kıyaslanmasında 15 katına varan fiyat farkları ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda da takımın tamamen HSS'den yapılması takımın fiyatını aşırı miktarda

artırmakta, özellikle bilenme sonucunda uç kısmındaki aşınmadan dolayı hurdaya atılmakta, bu da maliyetin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle 10 mm'yi aşan çaplardaki matkap uçları sap kısmı karbonlu çelik, uç kısmı HSS olacak şekilde imal edilme yoluna gidilmektedir. Matkap uçlarında olduğu gibi bir şaftın tamamının paslanmaz çelik yerine gerekli kısmı paslanmaz çelik, diğer kısımları karbonlu çelik olarak tasarlanıp imal edildiğinde maliyet % 45 azalmaktadır [8].

Farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde, eğer boyutları ve şekilleri müsaade ediyor ise ergitme kaynağına nazaran bir ergitme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve kaynak sonrası iç gerilmelere sahip olması nedeniyle katı hal kaynak yöntemleri büyük bir üstünlük göstermektedir. Bu nedenle yakma alın kaynağı günümüzde farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde en ideal kaynak yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır [9].

Bu çalışmada, AISI 304, AISI 430 ve AISI 1050 malzemeleri hem kendileriyle hem de birbirleriyle eşleştirilerek kaynak test numuneleri belirlenmiştir. Bu kaynak numuneleri, yakma alın kaynağı yöntemiyle sabit kaynak parametreleri altında kaynaklanarak, mikroyapı özellikleri, sertlik ve çekme deney sonuçları elde edilip karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçların, yakma alın kaynak yöntemini kullanarak paslanmaz çeliklerin ve AISI 1050 çeliğinin kaynağını yapan imalatçılara kılavuzluk edecek veriler içermesi amaçlanmıştır.

2. 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 [10].

Direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçasının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda, basıncın tatbikiyle yapılan bir kaynak usulüdür. Malzemeden geçen elektrik akımının meydana getirdiği ısıнын dışında, herhangi bir ısı tatbik edilmemektedir. Isı, kaynak edilecek kısımlarda meydana gelir ve basınç kaynak makinesindeki elektrodlar veya çeneler vasıtası ile uygulanır.

Elektrik direnç kaynağı için gerekli alçak gerilim ve yüksek akım şiddetindeki elektrik gücü, kaynak transformatörlerinden elde edilir [7].

Elektrik direnç kaynağı, seri imalata uygun ve oldukça yaygın kullanılan bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi, bir düğmeye veya bir ayak pedalına basarak makineyi devreye sokan ve devreden çıkaran bir operatör tarafından büyük bir hızla gerçekleştirilir. Elektrik direnç kaynağı, metal parçalardan geçirilen elektrik akımına karşı, bu parçaların gösterdiği dirençten oluşan ısı yardımıyla yapılan birleştirmedir. Parçalar kısmi olarak ergitilerek kaynak için gerekli kaynak banyosu oluşturulur. Kaynak banyosunun oluşumundan itibaren elektrik akımı kesilerek iş parçalarına basınç uygulanır ve bu basınç altında soğuma gerçekleştirilerek sökülemeyen türden bir birleşim sağlanmış olur. Bu yöntemle yapılan kaynak işleminin genel adı elektrik direnç kaynağı olarak adlandırılır.

Otomotiv sektörü, uzay ve uçak teknolojileri, çelik yapılar, çelik eşya imalatı, hassas cihazların imalatı, elektroteknik, boru üretimi, makine sektörü gibi pek çok alanda kullanılan ince kesitli metal malzemelerin kaynağında yaşanan sorunlar, farklı kaynak türlerinin gelişimini sağlamıştır. İnce kesitli malzemeler yüksek ısı altında kaldıklarında kalıcı şekil bozukluklarına neden olur. Bu nedenle kaynaklama işleminin asgari ısıda ve en kısa sürede gerçekleştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Kaynaklı bağlantıların hızlı bir

şekilde en az deformasyonla gerçekleştirilmesi, ekonomik ve kaynak mukavemetinin yüksek olması istenilen yerlerde, elektrik direnç kaynağı ilk seçim olarak karşımıza çıkmaktadır [10].

2.1. Elektrik Direnç Kaynağı Çeşitleri

Ana esasa bağlı kalmak şartıyla, elektrik direnç kaynağını 4 farklı uygulama gurubuna ayırmak mümkündür:

- Nokta direnç kaynağı
- Dikiş direnç kaynağı
- Kabartılı direnç kaynağı
- Alın direnç kaynağı [11].

Bütün direnç kaynak yöntemleri, uygun bir kaynak zamanı - akım şiddeti düzenlemesini gerektirir.

Kaynak sırasında çeşitli işlemlerin sırası, en genel halde şu şekilde ifade edilebilir; önce sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bundan sonra da bu metalin basınç altında yeniden soğumasıyla katılaşmasına imkan sağlamaktır. İş parçasının ısınma ve soğuma hızları, zaman tasarrufu ve ısı kayıplarının azaltılması bakımından mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Eğer soğuma hızı gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksek ise yine kaynak makinesinde gerçekleştirilen bir temperleme işlemine ihtiyaç duyulacaktır [10].

2.1.1. Nokta direnç kaynağı

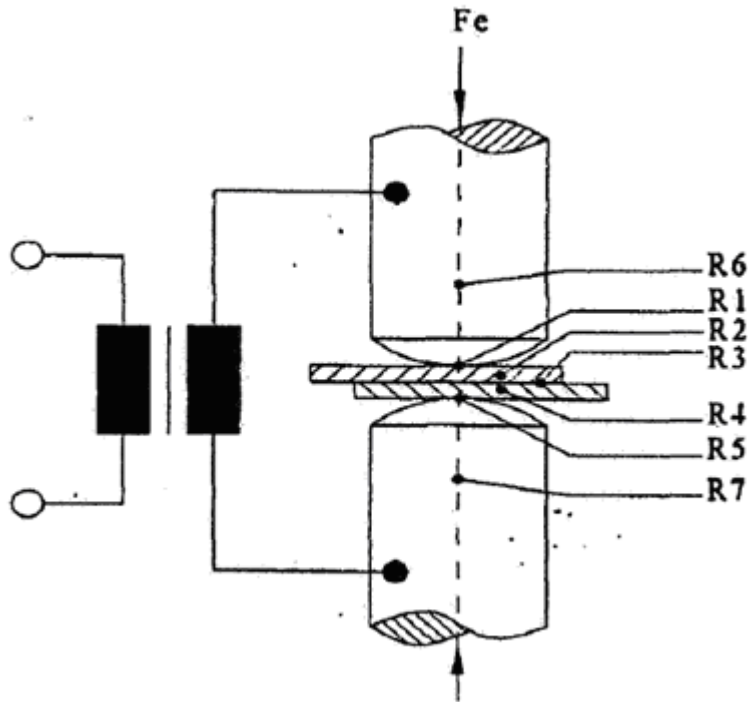
Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi, elektrodlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir [12-14].

Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinesinden sağlanır. Gerekli basınç veya elektrod kuvveti, hidrolik, pnömatik veya

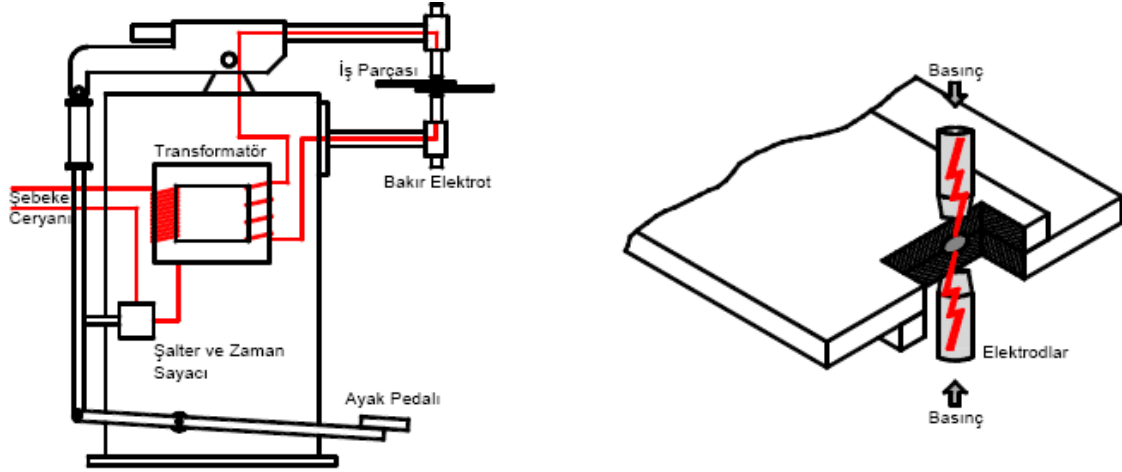
mekanik donanımlarla gerçekleştirilir [12,13]. Şekil 2.1’de elektrik nokta direnç kaynağının prensibi, Şekil 2.2’de nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi detayı gösterilmiştir.

Genel olarak nokta kaynağı, dört aşamadan meydana gelir:

- a- Basma süresi: Elektrod kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süredir.
- b- Kaynak süresi: Kaynak akımının geçtiği zaman aralığıdır.
- c- Tutma süresi: Kaynak akımının kesilmesinden sonra, elektrod kuvvetinin etkisinin devam ettiği süredir.
- d- Ölü süre: Elektrodların iş parçası ile temasta olmadığı zaman aralığıdır [14,15].



Şekil 2.1. Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi [12]



Şekil 2.2. Nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi detayı [16]

Nokta kaynak yöntemiyle 12 mm kalınlığa kadar çelik sacların, 1 mm kalınlığa kadar bakır levhaların ve 5 mm kalınlığa kadar alüminyum levhaların kaynağı yapılabilmektedir. Bakır ve alüminyumun yüksek ısı iletkenlikleri ve düşük elektrik dirençleri, daha kalın levhalarda kaynak işlemini zorlaştırmaktadır [17].

Malzeme dirençleri, kaynak yapılacak malzemelerin ve elektrodların öz dirençlerine, akım yolunun büyüklüğüne (elektrod çapı, levha kalınlığı v.b.) ve akım yolundaki sıcaklığa bağlıdır [17].

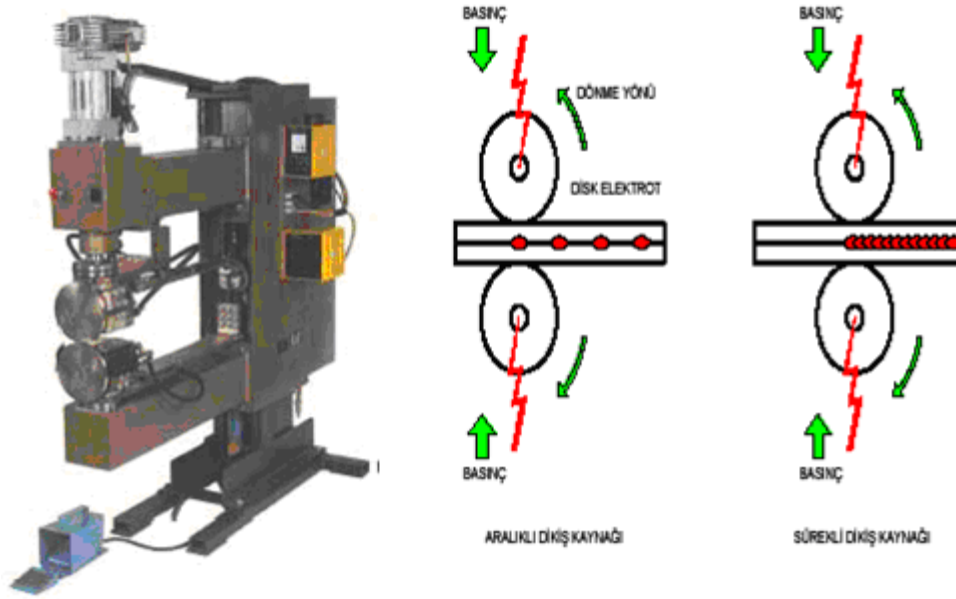
İki iletkenin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci, sadece sıcaklığa ve malzemeye değil, aynı zamanda yüzey şartlarına ve elektrod kuvvetine bağlıdır. Bu direnç, yüzeylerin doğal pürüzlülükleri nedeniyle akım yollarının, temas yüzeyindeki gerçek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralmasıyla ortaya çıkan daralma direnci ve parça yüzeyleri üzerinde mevcut olan oksit filmlerinin meydana getirdiği film direnci toplamına eşittir. Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrod kuvveti arttıkça, temas yüzeyindeki oksit filmlerinin parçalanması, temas noktalarının sayılarının ve alanlarının artması nedeniyle temas direnci azalır [18].

2.1.2. Dikiş direnç kaynağı

Direnç dikiş kaynağı, yapım tekniği bakımından nokta direnç kaynağına benzer. Nokta kaynağında ardışık olarak noktaların sıralanması dikiş direnç kaynağını oluşturur. Dikiş kaynağı, nokta kaynağındaki gibi birbiri üzerine bindirilen sac parçaların, temas yüzeylerinden geçen elektrik akımına gösterdiği direnç ile ergiyerek basınç altında birleştirilmesidir. Resim 2.1’de dikiş direnç kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı gösterilmiştir. Kaynağı yapılacak olan sac malzemeler, bakır alaşımından yapılmış disk biçimindeki iki elektrod arasına konularak pnömatik veya hidrolik bir sistemle sıkıştırılır. Bakır disk elektrodlar dönmeye başladığında elektrik akımı da verilerek kaynak işlemi gerçekleştirilir. Tekerleklerin dönmesi sırasında akım kesilerek dönme devam ederse aralıklı dikiş kaynağı yapılmış olur. Sürekli elektrik akımı kullanılırsa kesintisiz bir kaynak birleşimi sağlanır. Bu tür kaynaklar sıvı ve gazlar için sızdırmazlık özelliğine sahiptir.

Elektrodların soğutulması merkezi bir dolaşım sistemi ile veya elektrot üzerine su püskürtülerek yapılır. Soğutma sıvısı olarak % 5 oranında bor yağı karışımı su kullanılır. Dikiş direnç kaynağında amper ayarı kaynatılan malzemenin cinsine, kaynatma hızına, kaynatılan malzemelerin kalınlığına ve soğutma suyu olarak kullanılan sıvının miktarına göre farklılıklar gösterebilir. En uygun amper ayarını deneme yanılma yoluyla bulmak, en uygun yöntemdir.

Dikiş direnç kaynağında kullanılan elektrodlar ısı işlem görmüş, bakır alaşımlarından üretilir. Kullanılan elektrod çapları 50 – 600 mm arasındadır. Elektrodların malzemeye temas eden yüzey genişliği, kaynatılacak malzemenin kalınlığına göre farklılık göstermektedir. Elektrodun malzemeye uyguladığı basınç nokta kaynağına göre daha fazla olmaktadır. Kaynak kabiliyetini etkileyen unsurlardan birisi de malzemelerin kaynak öncesi boya, kir, yağ, pas vb. temizlenmesidir [16].



Resim 2.1. Dikiş direnç kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı [16]

Dikiş direnç kaynağı yöntemiyle farklı malzemeler kaynaklanabilmektedir. Dikiş kaynağının kullanıldığı malzemeler ve kalınlıkları Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Dikiş kaynağının kullanıldığı malzemeler ve kalınlıkları [16]

MALZEME	SAC KALINLIĞI (mm)	
	Min.	Max.
Çelik sac	0,1	3,5
Paslanmaz çelik	0,1	3,0
Alüminyum	0,2	2,5
Pirinç	0,1	1,5
Çinko	0,2	1,0

2.1.3. Kabartılı direnç kaynağı

Kabartılı nokta kaynağı, yöntem olarak nokta direnç kaynağına benzer. Nokta direnç kaynağında kaynatılacak sac malzemeler üst üste bindirilip, elektrotlar arasında sıkıştırılıyor ve elektrik akımı geçiriliyordu. Bu yöntemle elektrot başlıklarının boyut ve şekilleri, geçen akımı sınırlandırırken, kabartılı nokta kaynağında akım, kaynatılacak malzemelerin en az birinde bulunan kabartılarla sınırlıdır [16].

Kabartılı kaynakta, basma kuvveti ve kaynak akımının geçişi, birleştirilecek parçaların birinde bulunan kabartılarla sınırlanan noktalarda gerçekleşir. Resim 2.3’de gösterilmiştir.

Kabartılı kaynakta, nokta kaynağında olduğu gibi, levhaların bindirme kaynağı ve ayrıca çeşitli tiplerdeki kaynakları gerçekleştirmek mümkündür [18].

Kabartılı kaynak yönteminde kaynak bölgesi, kaynak yapılacak saclardan birinde bulunan kabartının olduğu bölgedir. Saclar üst üste bindirildiğinde sadece kabartının olduğu noktadan birbirlerine temas eder. Bu noktadan geçen elektrik akımı kabartı üzerinde yoğunlaşır ve bu nedenle kabartı hızla ısınır. Isınmadan dolayı kabartı ergiyerek çöker ve iki sac arasında erimiş bir bölge oluşur. Elektrik akımı kesilerek basınç uygulamaya bir müddet daha devam edilir ve kaynak tamamlanır. Kabartılı direnç nokta kaynak makinesi Resim 2.2’de gösterilmiştir.

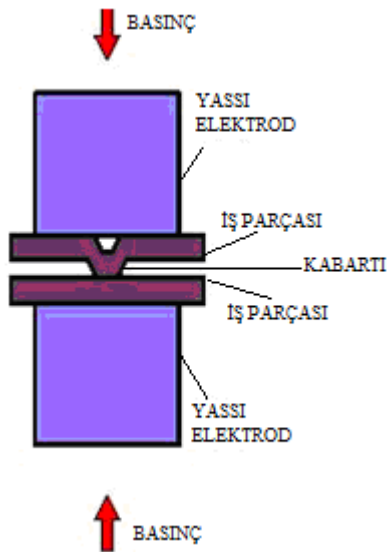
Kabartılı nokta kaynak makineleri, temelde nokta kaynak makineleri ile aynıdır. Ancak bu yöntemde nokta kaynağında kullanılan elektrot tipleri yerine eşit basınç uygulanabilen yassı elektrotlar kullanılır. Kabartılı nokta direnç kaynağı, sac yapıları küçük bağlantı parçalarının birleştirilmesinde kullanılır. Bu yöntem özellikle otomotiv sektöründe, sabit somunların şasiye bağlantılarında, ev aletlerinin vida bağlantılarında, büro mobilyalarında, makine parçalarının imalatında, dişli saplamalarda vb. pek çok alanda kullanılmaktadır. Kabartılı kaynak yöntemi inşaat sektöründe takviyeli beton uygulamalarındaki çelik hasırların üretiminde de kullanılmaktadır [16].

Kabartılı direnç kaynağı uygulaması yönteminden çoğunlukla sac malzemelerin, tek işlemde iki veya daha çok noktasının birleştirilmesi gerçekleştirilmektedir. Yöntemde kaynak akımı, oluşturulan çıkıntılardan aktığı için, kaynak belirli bir kısım olarak sınırlandırılmış olur.

Kabartılı kaynak için düzenlenmiş, tek faz beslemeli kaynak makinelerinde, en yüksek güç 800 kVA, akım şiddeti ise 100 kA’ e kadar olabilmektedir. Elektroda uygulanan kuvvet ise, hidrolik olarak üretilmekte ve 40 kN’a kadar çıkabilmektedir. Bu tür kaynak makinelerinde, basınç ve akım şiddetlerinin kumandası, elektronik bir zaman ayarlayıcı aracılığıyla sağlanmaktadır. Kaynak ünitesinin kazalara karşı güven yönünden, çift kademeli sigortalarla donatılmış olmaları gerekmektedir [18].



Resim 2.2. Kabartılı direnç nokta kaynak makinesi [16]



Resim 2.3. Kabartılı kaynak [16]

2.1.4. Alın direnç kaynağı

Alın direnç kaynağı, kaynak dikişi oluşum mekanizması bakımından yığma alın kaynağı ve yakma alın kaynağı olarak iki kısımda incelenebilir. Yığma alın kaynağı bu bölümde, yakma alın kaynağı ise Bölüm 3’de bölümde açıklanmıştır.

Yığma alın kaynağı

Yığma alın kaynağı; kaynak edilecek parçalar, kaynak transformatörünün kutuplarına elektriksel olarak bağlanmış çeneler vasıtasıyla sıkıştırılır. Sıkıştırma çeneleri sabit tezgâhtan bağımsızdır [7].

Elektrik akımı hareketli çeneler üzerinden iletilir. Kaynak işlem başlangıcında elektrik akım devresi açılarak, hareketli çeneler ile iş parçaları yüzeyleri arasında küçük bir boşluk kalıncaya kadar birbirine yaklaştırılır. Düzgün olmayan yüzeydeki birkaç çıkıntıdan iş parçalarının birbirine teması sağlanır [16].

Parçaların temas yüzeylerinde direnç yüksek olduğundan, bu bölgelerde ergime başlar. Aynı anda parçaların, sıkıştırma kuvvetlerine karşı mukavemetleri azalır. Böylece plastik hale gelen ve ergiyen uçlar birbirine kaynar [19].

Temas noktaları kıvılcım ve patlama halinde parçalanır ve metal damlacıkları dışarı fırlatılır. İş parçalarının yüzeyini ısıtan arklar bu şekilde oluşur. Aynı zamanda oluşan metal buharı, kaynak bölgesini kaplayarak havanın olumsuz etkilerinden kaynak bölgesini korur. İş parçalarının hareketli çenelerle yavaş yavaş birbirine yaklaştırılmasıyla oluşan yeni temas noktaları da yanarak tüm kesitte kaynak ısısına ulaşılır. Bu noktadan sonra hareketli çeneler basınçla itilerek iş parçaları birbirine bastırılır ve elektrik akımı kesilir. Kaynak için geçen süre birkaç saniyedir ve akım kesildikten sonra bir müddet daha basınç uygulanmasına devam edilerek kaynaklama işlemi tamamlanır [16]. Yığma alın kaynağında oluşan kaynak dikişi Şekil 2.3’de gösterilmektedir.

Elektrik akımını ileten, doğrultuyu ve kaynak için gerekli basıncı sağlayan hareketli çenelerin iş parçasını bağlama ve hareket ettirme yeteneği vardır. Kaynak sırasında oluşan yoğun akımdan dolayı bu çeneler ısınır ve soğutulmaları gerekir. Makine üzerindeki merkezi bir su dolaşım sistemi ile hareketli çenelerin soğutulması sağlanır. Resim 2.4’de Direnç alın kaynak makinesi gösterilmektedir [16].

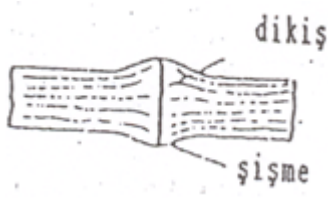
Yığma alın kaynak yöntemi, basit geometrik kesitli, düşük C’lu çeliklerin 200 mm²’ye kadar yüzeylerinin birleştirilmesinde uygulanmakta ve demir olmayan metallerin birleştirilmesinde de kullanılmaktadır.

Kaynak bölgesindeki sıcaklığın 850 °C - 1250 °C'ye ulaşması sonrası etki ettirilen yığma kuvveti ile birleştirme tamamlanmaktadır. Bu yöntemin kullanılması için bazı sınırlamalar ve esaslar vardır, bunlar [11];

- Sadece küçük kesitli parçaların kaynağında kullanılır.
- Alın yüzeylerinin, paralellik şartı sağlamalıdır.
- Yüzeyler eş kesitli olacak şekilde işlenmesi, yabancı maddeler bulamayacak şekilde olması gerekmektedir.
- Elde edilen kaynaklı birleştirmenin dayanımı, özellikle dinamik zorlamalara karşı yeterli bulunmamaktadır.



Resim 2.4. Direnç alın kaynak makinesi [16]



Şekil 2.3. Yığma alın kaynağında dikişin durumu [19]

3. YAKMA ALIN KAYNAĞI

Elektrik direnç kaynağının en önemli dallarından birini oluşturan yakma alın kaynağı, eşit veya farklı kesitteki çubukların, boruların, profillerin vb. birçok malzemelerin birleştirilmesi problemini en ekonomik şekilde gerçekleştiren yöntemlerinden bir tanesidir.

Yakma alın kaynak yöntemi, ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur. Metallerin elektriğe karşı gösterdikleri omik ve temas dirençlerinden dolayı oluşan ısı sebebiyle yüzeylerin ergime durumuna gelmesi, daha sonra mekanik ve hidrolik sistemler yardımıyla uygulanan yığma ve dövme sonucu oluşan kaynağa yakma alın kaynağı denir. Yakma alın kaynağı, bitişik alın yüzeyinin tüm alanını kapsayan bir direnç basınç kaynağı yöntemidir. Bu yöntem, en ilkel kaynak yöntemi olan demirci kaynağının modernize olmuş şeklidir [20].

Bugünkü yakma alın kaynak sistemine 1930 – 1935 yıllarında geçilmiştir. İlk uygulamalar Rusya tarafından yapılmıştır. Dünyada ancak 1955 yılından sonra yaygınlaşmaya başlamıştır [21].

Alın direnç kaynağında, kabartılı kaynakta olduğu gibi, parçanın toplam temas yüzeyinin akım geçirilerek bu kısım kaynak sıcaklığına getirilmektedir. Bu uygulamada elektrod olarak tanımlanan elemanlar, parçaları tamamen veya kısmen kuşatmaktadır. Bu germe elemanlarının tipini kaynağı yapılacak parçaların şekli, büyüklüğü ve bileşimleri belirlemektedir [22, 23].

Yakma alın kaynağı (direkt yakma kaynağı), soğuk yakma kaynağı olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemin üstün yönü, birleştirilecek yüzeyler için özel bir hazırlama işlemine gerek duyulmamasıdır. Bu özelliğiyle, homojen ve dayanım güvenilirliği yüksek birleştirmeler elde edilebilmektedir [7].

Yakma alın kaynağında, kaynak edilecek parçalar düşük basınç altında birbirleriyle temas ettirilmektedir. Gerçek temas, parçaların bir önceki imal yöntemine bağlı olarak, sadece pürüzlülük uçlarında meydana gelebilmektedir. Büyük kontak direnci ve yüksek akım şiddetinin etkisi ile yüzey pürüzlülük uçları çok hızlı olarak ısınmakta, akışkan bir kontak

köprüsü oluşturmaktadır. Ergime sıcaklığına ulaşılması sonrası, manyetik alanın da etkisi ile kesit üzerindeki malzeme transferi başlamaktadır. Yüzey gerilimin etkisi ile köprü tabakası daima ince bir örtü oluşturmaktadır. Metal buharlaşma basıncının yüksekliği nedeni ile, ergimiş ve geniş metalik parçacıklar alınlarda kıvılcım demetleri oluşturmaktadır. Bu oluşum, yanma işlemi süresince, birbirini ardı sıra devamlılığını korumaktadır. Yanma esnasında metal buharlaşması bir koruyucu gaz ile engellenmekte, ergiyik yüzeyde oksidasyona mani olmaktadır. Belirli bir yanma süresinden sonra, alın yüzeyleri eşit ve yeterli bir ısıya sahip olmaktadır. Son aşamada, yüzeyler hızla vuruş şeklinde kapatılmaktadır. Böylece alından cüruf, kav, yabancı elemanlar ve akışkan malzeme fazlalığı dışarıya atılmaktadır. Bu arada yanma ile oluşmuş kraterlerde kapanmaktadır. Uygulamadaki yığılma oranı, alın yığma kaynağına kıyasla daha azdır [11].

Soğuk alın yakma kaynağında, yakma ve yığma işlemleri bir arada yapılmaktadır. Bu, özellikle rölatif küçük kesit ve çevre uzunluklarına sahip yüzey birleştirilmelerinde uygun görülmektedir. Dönel ve benzer kesitler, çelikler, hafif metaller, pirinç ve bronz gibi alaşımlarda yaklaşık 300 mm²'ye kadar kesitler bu tür birleştirmeler uygun görülmektedir. Daha büyük kesitlerin kaynağında, ön ısıtmalı alın yakma kaynağı uygulamasından yararlanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda, parçalar yakma aşamasından önce, direnç esnasından yararlanılarak bir ön tavlama işlemine tabi tutulmaktadır. Yeteri derecede bir ön tavlama sonrası parçalar elle kumandalı makinelerde basınç altında tutulmakta, bu aşamada yanma olayını da sağlayacak kaynak akımı defalarca devreye sokulmaktadır. Kesite bağlı olarak 0,5-1,0 s'lik periyotlarda bu işlem 5 - 20 kez tekrarlanmaktadır.

Otomatik tezgâhlarda yapılan uygulamalarda ise, 10-20 N/mm²'lik temas yüzeyi basınçlarında ve örnek olarak çelik için, 8-10 A/mm²'lik akım yoğunluğunda işlemler gerçekleştirilmektedir. Çizelge 3.1'de yumuşak çelik malzemeler için, kaynak edilecek yüzeylere bağlı çalışma değerlerine ait örnekler verilmektedir [17].

Çelik için yakma alın kaynak parametreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yumuşak çelikler için çalışma değerleri [24]

Birleşme kesiti (mm ²)	Kaynak akımı (kA)	Makine gücü (kVA)	Yığma kuvveti (kN)
500	15	50	40
1000	25	120	80
2000	35	320	160
4000	47,5	600	320
8000	55	1260	640

Çizelge 3.2. Çelik için kaynak parametreleri [19]

1	Parça ucu ile çeneler arası mesafe = 2 x (yakma + yığma kayıpları)
2	Yakma kaybı = (0,7 – 0,9) x toplam kayıp
3	Yakma süresi = Her 650 mm ² için 20 saniye ve her 2,54 mm sac kalınlığı 10 saniye
4	Yakma akımı = (1/3 – 1/5) x kısa devre akımı
5	Yığma kuvveti = C – çeliğinde $P_{st} = 3-6 \text{ kgf/mm}^2$, alaşımlı çelikte $P_{st} = 6-24 \text{ kgf/mm}^2$, yığma kuvveti $P_{st} = P_{st} \cdot F$
6	Çene kuvveti = $P_{sp} = (1,5-2) \cdot \text{yığma kuvveti}$
7	Makine gücü = 4-8 kVA / cm ² (birim kesit başına)
8	Yakma akımı = 3A / mm ² (birim kesit başına)

3.1. Yakma Alın Kaynak Yönteminin Çalışma Prensipleri

Bu kaynak yönteminde kaynak edilecek parçalar aynı kesite sahip olmalıdırlar. Çok iyi bilindiği gibi kaynak edilen iki çubuğun birleştirilmesi için, öncelikle alın kısımlarındaki sıcaklığı yükseltmek ve ergimeyi sağlamak gereklidir. Birleştirilecek alın yüzeyleri ergime sıcaklığına ulaşır, uç kısımları yeterince tavlandıktan sonra, iki parça eksenel yönde birbirine bastırılarak tavlanmış bölgelerin yığılması sağlanarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bu amaçla alınları temas halinde bulunan her iki çubuktan düşük gerilimde, yüksek şiddette bir elektrik akımı geçirilir. Çubukların temas halinde bulunduğu alın yüzeyleri ideal düzlem oluşturmadıklarından, temas sırasında yüzeylerin çok az noktası birbirine değeri ve bu elektrik geçiş alanını daralttığından bu noktalardaki elektrik direncinin yükselmesine yol açar ve bu noktaların sıcaklığı hızla yükselerek ergime noktasına ulaşılır. Elektrik akımı birkaç kez kesilip verilerek, alındaki elektrik temasları

başka noktalardan da gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında çubukların alınlarından itibaren oluşan ısı “Eş. 3.1” bağlantısı ile hesaplanabilir [6].

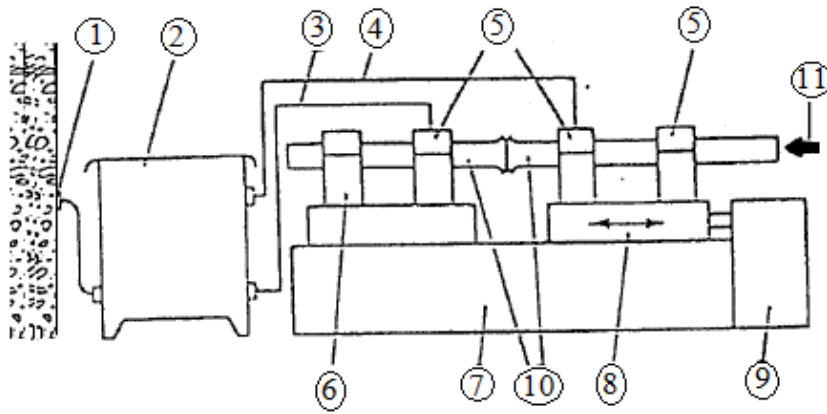
$$Q = 0,239 \cdot I_s^2 \cdot R \cdot Z \text{ (kcal)} \quad (3.1)$$

I_s = Sekonder efektif kaynak akımı (A)

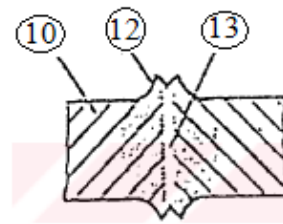
R = Kaynak makinesinin çeneleri arasında toplam elektrik direnci (Ω)

Z = Elektrik akımının geçtiği zaman süresi (s)

Şekil 3.1’de şematik olarak yakma alın kaynak makinesinin prensibi gösterilmiştir [24].



1. Şebeke bağlantısı
2. Kaynak akım menbaı
3. Kaynak akımı hattı (sabit)
4. Kaynak akımı hattı (hareketli)
5. Sıkıştırma çeneleri (akım geçiren)
6. Ek sıkıştırma çeneleri (akım yok)
7. Makina gövdesi
8. Kızak
9. Kızak tahriki
10. Parça
11. Yığma kuvveti
12. Yığma çapağı
13. Yüksek sıcaklık bölgesi



Şekil 3.1. Yakma alın kaynak makinesinin prensibi [24]

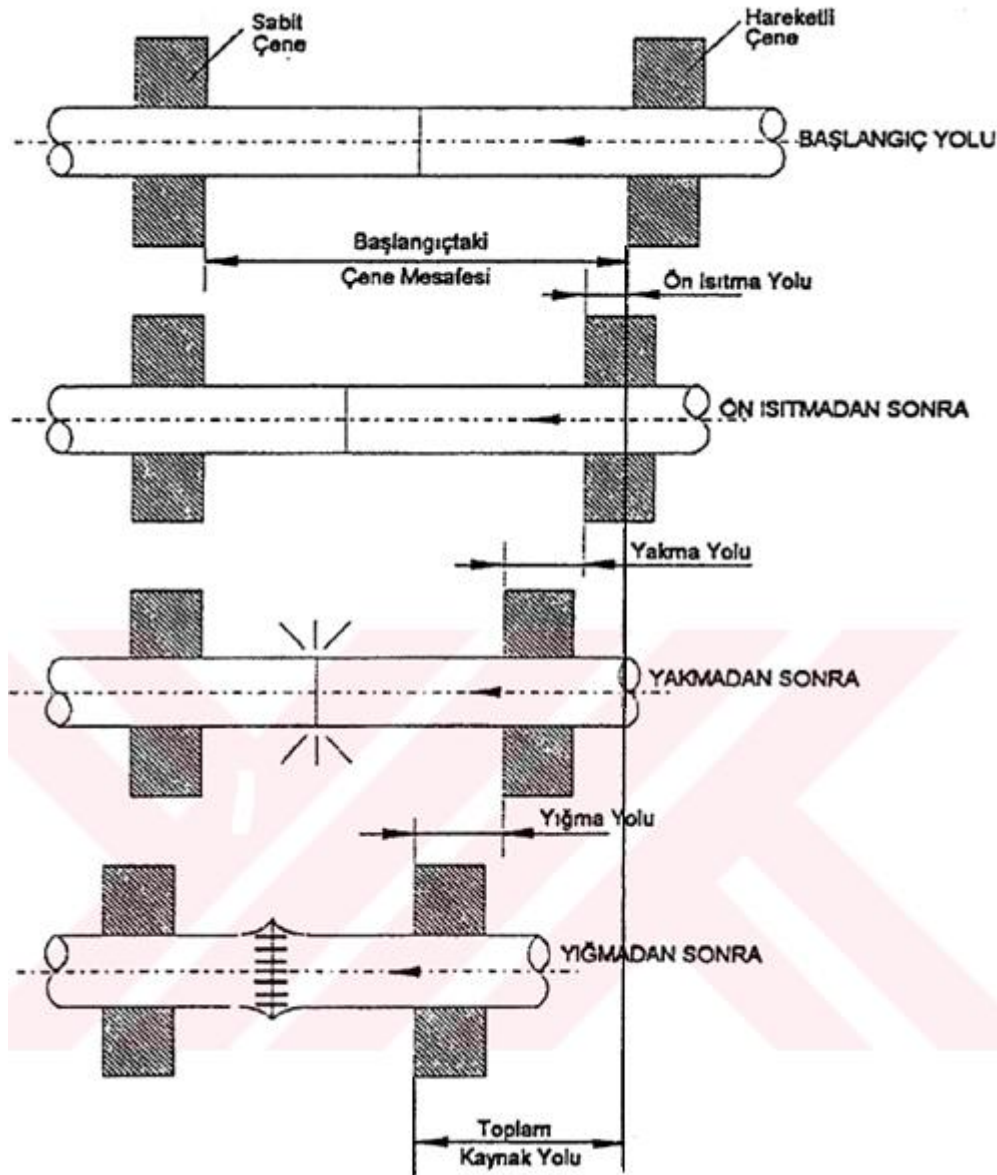
Yakma alın kaynağının bir karakteristiği olarak kaynatılacak çubukların alnında normal veya az basınçlı bir temasın sağlanıp devam etmesi gerekir. Bu temas sayesinde yukarıda

tanımlanan noktalarda ergiyen malzeme, her iki çubuk arasından elektrik akımını iletir. Bu basınçsız temas şekline yakma teması adı verilir [25].

Yüksek kalitede kaynak elde etmek için yakma operasyonu krater oluşumu olmaksızın temas yüzeylerini yumuşatmalıdır [26].

Kaynak işlemi Şekil 3.2’de gösterilen prensiplere bağlı olarak yapılır [25].

- Parçalar birbiri ile temas etmeden çeneler arasına sıkıştırılır.
- Transformatöre, dolayısı ile parçalara akım tatbik edilir.
- Hareketli tabla yavaş yavaş hareket eder.
- Tabla hareketinin devamıyla, parçalar birbiri ile temas eder ve sekonder elektrik devresi kapanır.
- Parçaların temas noktalarında kıvılcımlar çıkarak, ergime başlar. Böylece parçaların alınları kaynak sıcaklığına ulaşır.
- Tablanın ani hareket ile birbirlerine temas eden alınlarda kaynama meydana gelir.



Şekil 3.2. Yakma alın kaynağının işlem prensipleri [25]

3.2. Yakma Alın Kaynağında Dirençlerin Etüdü

Yakma alın kaynağında kaynatılacak parçaların birbirleriyle ve çenelerin parçalara temasından dolayı dirençler meydana gelmektedir. Şekil 3.3’de yakma alın kaynağındaki direnç noktaları gösterilmektedir. Şekilde verilen (M) hareketli tabla, (F) basınç, (T) transformatör, parçaların çenelerle temas bölgesindeki temas direnci (R_m), Malzemelerin çenelerinden taşan kısımlarının dirençleri (R_p), Birbirine temas eden yüzeylerdeki temas direnci (R_c)’dir. R_c ile gösterilen temas direnci, R_p ve R_m dirençlerine nazaran çok yüksektir ve değeri elektrik köprüsü oluşturan temas noktalarının sekline ve sayısına bağlıdır. R_p ile gösterilen değer ise çubukların özgül dirençleri ve bağlama uzunluklarına

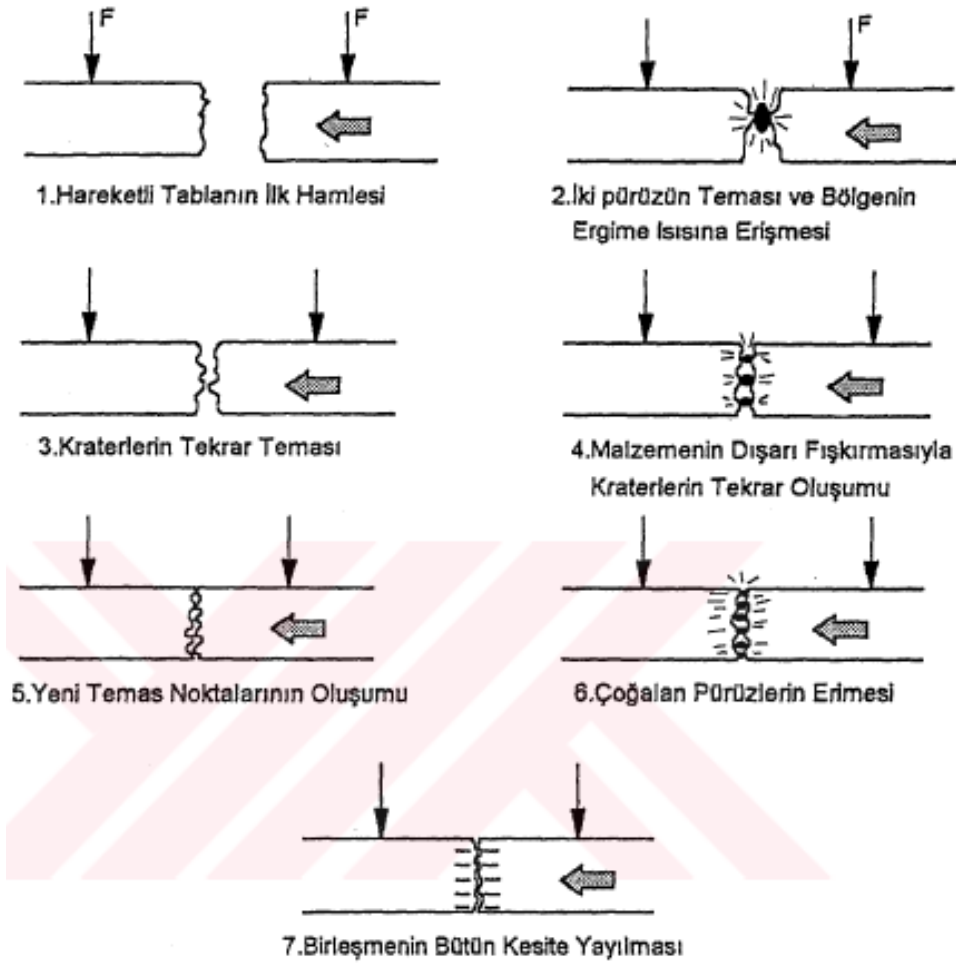
Yakmanın başlamasından itibaren metal buharı, ergimiş metal kıvılcımları zerrecikler halinde dışarı atılır. Fırlamadan sonra bu temas noktaları tekrar yeni krater ve çukurlar oluştururlar. Bu kraterlerin uç noktaları tekrar temasa geçer ve böylece temas noktası tüm alana yayılana kadar devam eder. Dolayısıyla malzemelerin uç kısmı ergime sıcaklığına ulaşır. Oluşan metal buharı aynı zamanda koruyucu gaz atmosferi oluşturarak, havanın kaynak bölgesine ve kaynak bölgesine olumsuz etkilerini önler [17].

Yakma işlemi, dirençle ısıtma işleminden farklılık gösterir. Metalik bir yüzey hiçbir zaman tam bir yüzey düzgünlüğüne sahip değildir. Genelde mikro düzeydeki birçok girinti ver çıkıntı parçanın yüzeyini kaplar. Pürüzlülüğün derecesi yüzeye uygulanan işleme bağlıdır. Yüzeydeki pürüzler temas anında temas yüzeyinin küçük oluşuna, bu da direncin artmasına neden olacaktır. Bu direncin büyük olması, ısınma işlemi yanmaya dönüştürecektir. Parçaların yavaş yavaş birbirine yaklaştırılmasıyla oluşan yeni temas noktaları da yanar ve bu şekilde yanma giderek tüm kesite yayılır. İlk temas noktalarının yanıp dışarı fırlayan kısımları, ısılarını parçanın ucuna bırakırlar [17].

Kaynak edilecek parçaların yüzeyleri, yüzeysel pürüzlülük vasıtasıyla temas ederler. Temas noktalarının sayısı, hareketli çenenin itme eksenine dik yüzeylerinin geometrisine ve yüzey durumuna bağlıdır [17].

Temas yüzeylerinden çok yoğun bir akım geçtiğinden, pürüzler üzerinde çok kuvvetli bir ısınma meydana gelir. Ergime halindeki bu küçük malzeme hacimleri patlar ve yanan kısımlar dışarıya fırlar. Ergimeler, patlamalar ve buharlaşmalar sebebi ile meydana gelen malzeme kaybı, hareketli çenelerin yaklaştırılması ile telafi edilir [17].

Yanmanın bütün yüzeyi kaplaması ve birleştirilecek yüzeyin tamamının ergimesinden sonra tablanın ani hareketi ile yüksek sıcaklıktaki yüzeyler birbirine bastırılır. Böylece pürüzlerin temas dirençleri ortadan kalkar ve kıvılcımlanmada biter. Kıvılcımlanma süresi; malzemenin ısı iletkenliğine, parçaların kesitine, kıvılcımlanma çevrimine ve sekonder devre gücüne bağlıdır [25].



Şekil 3.4. Yakma olayı [17]

Yakma alın kaynağı işlemlerini 4 aşamada toparlamamız mümkündür [17].

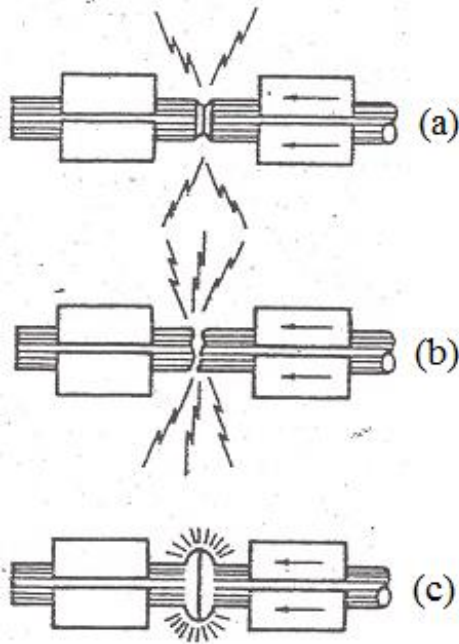
- Ön ısıtma
- Yakma
- Basma ve yığma (şişirme)
- Soğutma

a) Ön ısıtma: Bu olay nispeten yavaş gerçekleşir. Kaynatılan çubuklardan geçen elektrik enerjisi, ısı enerjisine dönüşür. Malzemelerin ısınmasıyla birlikte özgül elektrik dirençleri de yükselmeye başlar. Direncin artmasıyla azalan akım şiddeti belli bir ısının altına düşünce yakma kademesine geçilir. Bu kademe uzun sürdüğü için malzemelerin ısı iletim katsayıları önemlidir [17].

b) *Yakma kademesi:* Bu kademe çok kısa sürelidir. Bu kademenin basında, kaynak edilecek malzemeler, ergime sıcaklığına kadar yükselmiş durumdadır. Elektrik akımının etkisi altında kaynak bölgesindeki metal parçacıklar buharlaşır. Ergiyen ve buharlasan metal parçacıkları basıncın etkisiyle dışarı fırlar. Metal parçacıklarının yeniden ayrılması ile beraber akım kesilir ve elektrik arkı oluşur. Metal parçacıkları aldıkları ısıнын bir kısmını çubukların alın yüzeylerine bırakırlar. Bu işlemin birkaç kez tekrarlanması sonrasında yığma işlemine geçilir [17].

c) *Yığma kademesi:* Yakma olayı kaynatılacak numunelerin tüm yüzey alanına yayılınca ve numunelerin uç kısımları ergime sıcaklığına ulaşınca, hareketli çeneler vasıtasıyla uygulanan aksel basınç ile yığma işlemi gerçekleştirilir. Yığma basıncının uygulanmasıyla yakma voltajı kesilir. Düşük yığma basınçlarının uygulandığı bazı durumlara yığma voltajı uygulanır [17].

Şekil 3.5’de yakma olayının kademeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yakma olayının kademeleri [29]

Yukarıdaki işlemler kaynak işleminin kademeleridir ve daima gereklidirler. Bu işlemler aşağıdaki parametrelerin gerektiği şekilde ayarlanması ile kontrol edilir [28].

- Transformatörün yüksüz voltajı
- Çenelerin birbirine doğru ilerlemesi (hız, hareket)
- İş parçalarının uç kısımlarını etkileyen kuvvetler

3.4. Yakma Alın Kaynak Parametreleri

Yakma alın kaynağında ön ısıtma, yakma ve yığma kademelerinde, kaynak mukavemetlerini ve kalitesini etkileyecek çok sayıda parametreye sahiptir. Bu parametreleri 7 ana grup altında toplamak mümkündür [30].

A) Başlangıç ve ön ısıtma parametreleri

- Başlangıçtaki çene mesafesi
- Ön ısıtma yolu
- Ön ısıtma süresi
- Ön ısıtma hızı
- Ön ısıtma basıncı ve gerilimi
- Ön ısıtma akımı

B) Yakma parametreleri

- Yakma yolu
- Yakma hızı
- Yakma süresi
- Yakma basıncı
- Yakma gerilimi
- Yakma akımı

C) Yığma parametreleri

- Yığma zamanı
- Yığma hızı
- Yığma basıncı
- Yığma gerilimi
- Yığma akımı
- Yığma akımını kesme zamanı

D) Toplam kaynak yolu

E) Toplam kaynak süresi

F) Elektriksel değişkenler

G) Kaynak sonrası ısıl işlemler

Yukarıda sözü edilen kaynak değişkenlerinin uygun bir şekilde seçilmesi sayesinde kaynak bölgesinde arzu edilen metalurjik içyapı ve fiziksel özelliklerinin oluşması amaçlanmıştır. Bütün amaç kaynak bölgesinde eş alaşımlı malzemelerde temel malzeme özelliklerini, farklı alaşımlı malzemelerin kaynağında ise iyi bir geçiş bölgesi elde etmektir [30].

Wodora ve Hinzpeter, yığma basıncının kaynak bağlantısının mekanik özelliklerine etkisi konusunda, “1,5 - 4 kg/mm² yığma basıncı aralığında, yığma basıncının yükselmesiyle kaynak bağlantısının mekanik özelliklerinin de yükseldiğini ifade etmişlerdir” [31].

Yakma alın kaynak yönteminde, yakma en önemli yere sahiptir. Yapılan araştırmalar, kaynak bağlantısının mekanik özelliklerinin ideal olabilmesi için ergiyen metal miktarının her iki parçada da eşit kalınlıkta olması gerektiği ortaya konulmuştur [32].

Yakma kademesindeki yakma voltajı kaynak transformatöründeki ayar kademeleri ile ayarlanır. İyi bir yakma periyodu için voltaj mümkün olduğu kadar küçük seçilmelidir. Çalışmalar göstermiştir ki sabit bir yakma 2,5 - 3 V civarında sağlanabilmektedir. Ancak akım makineleri için yakma voltajı 5 - 10 V civarındadır [33].

Yüksek yakma voltajı kullanıldığında, yakmayı başlatmak ve beslemek daha kolaydır. Fakat bu durum yakma kademesi boyunca derin kraterlerin oluşmasına ve kaba yakmaya sebep olabilir. Bu derin kraterlerin ergimiş metal ve oksitleri bünyelerinde tutmaları nedeniyle yığma sırasında ergimiş metal ve oksitleri ara yüzeylerden tamamen atılamazlar ve böylelikle kaynak kalitesini de kötü yönde etkilerler [34].

Bu kötü etkiyi ortadan kaldırmak için mümkün olduğunca düşük voltajla çalışılmalıdır. Ancak yakmanın başlaması için de yüksek voltaj gereklidir. Bu problemi çözmek için üç ayrı yöntem önerilmektedir [35].

1- Yakma alın kaynağı ünitesi azalan bir voltaj kontrol ünitesine sahip ise, yakma yüksek bir voltaj ile başlatılır ve ondan sonra yakma periyodu için gerekli daha düşük bir voltaja düşürülür. İşlem için gerekli iki voltaj değeri, iki primer kontaktör tarafından sağlanır. Kontaktörlerden birisi yakmanın birinci safhasında yüksek bir sekonder gerilim sağlamak

için gerekli beslemeyi sağlar. Bu yüksek gerilim yakma olayının başlamasına yardımcı olur. Diğer kontaktör, önceden belirlenmiş bir zaman sonrasında devreye girerek yakma için gerekli normal sekonder gerilimi sağlar ve bu anda birinci kontaktör devre dışı kalır.

2- Kaynaklanacak parçaların son kısımları yivli yada oyuklu hale getirilmiştir. Böylece daha küçük dik kesit elde edilir. Yakma başlangıcı için daha yüksek akım yoğunluğu elde edilmiş olur.

3- Yakma için önce, çalışma araçlarının uçları sabit bir basınç altında bir araya getirilir ve direnç ön ısıtması sağlanır. Direnç ile ısıtma, temas halindeki yüzeylerin kalitesine bağlı olarak üniform değildir ve sıklıkla lokalize olmuş ısı spotları formlanır. Bu durumu telafi etmek için işlem kısa bir süre için uygulanır. Parçalar bu şekilde bir kaç defa bir araya getirilip ayrılarak yüzeylerde arzu edilen ön ısıtma sağlanarak bundan sonra yakma kademesine geçilir.

Yakma parametresi ile birlikte yakma süresi de kaynak üzerinde önemli bir etkidir. Yakma olayı, metalde gerekli yakmanın elde edilmesi için bir zaman aralığında uygulanmalıdır [36].

Gerekli zaman, sekonder voltaja ve metal kaybı oranına bağlıdır. Belirli minimum yakma mesafeleri için, belirli zaman aralıklarında, düzgün yakma işlemi için gereklidir [37].

Yakma alın kaynağında yığma kademesi ve buna bağlı parametreler kaynak kalitesi üzerinde etkilidir. Bu parametreler şunlardır [38];

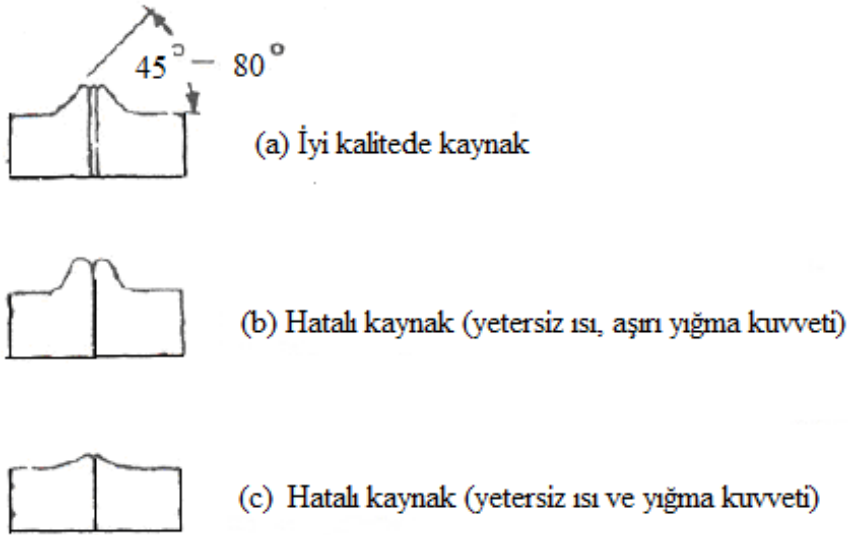
a- Yakma voltajı kesme süresi: Çoğu durumda yakma voltajı, yığma işlemi baslar başlamaz kesilir. Voltaj sınır noktası mekanik deneyler ile ayarlanabilmektedir.

b- Yığma oranı: Yığma kademesinde yüzeylerde mevcut olan ergimiş metal ve oksitler dışarı atılır. Uygulanacak yığma oranı, metal yeterli plastisiteye sahip iken, optimum yığma gerçekleştirilecek ve ergimiş metali katılaşmadan önce dışarı atabilecek düzeyde olmalıdır. Ayrıca kaynak bölgesinin ince olabilmesi için uygun sıcaklığa ulaşıldığı anda yığma uygulanmalıdır.

c- Yığma mesafesi: Uygulanan yığma mesafesi ile, oksitler ve ergimiş metal bağlantı bölgesinden uzaklaştırılabilmesi ve alın yüzeyler birbiriyle çıplak olarak temas ettirilebilmelidir. Optimum bir kaynak kalitesi için yığma mesafesi uygun olmalıdır. Şayet kaynaklı parçalarda düzgün bir yakma sağlanabilmişse, daha küçük yığma mesafesi çoğu metal için tatminkâr olabilecektir. Bununla birlikte bazı ısı dirençli alaşımlar için daha büyük yığma mesafeleri gerekmektedir.

d- Yığma akımı: Bazı durumlarda kaynak bölgesi yakma işlemi sonrasında hızla soğumaya meyillidir. Bu durum elverişsiz yığma veya yığılan metalde soğuk çatlak ile sonuçlanır. Bağlantı sıcaklığı, kaynak transformatöründen sağlanan akım ile sürdürülmektedir.

Şekil 3.6’da ısı ve yığma kuvvetinin kaynak şekli ve bağlantısı üzerine etkisi verilmiştir.

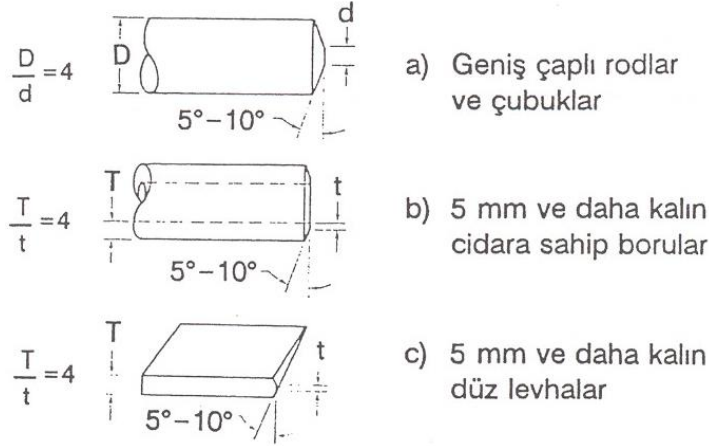


Şekil 3.6. Kaynak şekli ve bağlantısı üzerine ısı ve yığma etkisi [8]

3.5. Yakma Alın Kaynağında Kaynak Edilecek Malzemelerin Bağlantı Özellikleri

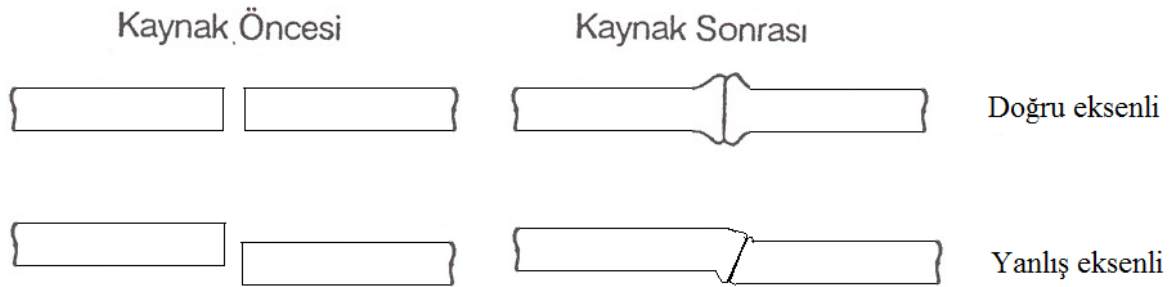
Yakma alın kaynağı için yüzey hazırlığı çok önemli değildir ve çoğu durumlarda gereksizdir. Sıkma çeneleri eğer aşırı derecede bir kabuk bağlamamışlarsa özel bir hazırlama işlemine gerek yoktur. Geniş yüzeyler için iyi bir kontak alanı oluşturabilmek amacı ile Şekil 3.7’de görülen düzenlemeler yapılabilir [6].

Genelde kaynaklanacak iki parça bağlantıda aynı dik kesite sahip olmalıdır. Büyük kesitler kaynaklanacağı zaman yakma olayının başlatılabilmesi için alın yüzeylerde pah oluşturulur. Bu gibi pahlar normalden daha yüksek yakma voltajı gerekliliğini ortadan kaldırır [39,40].

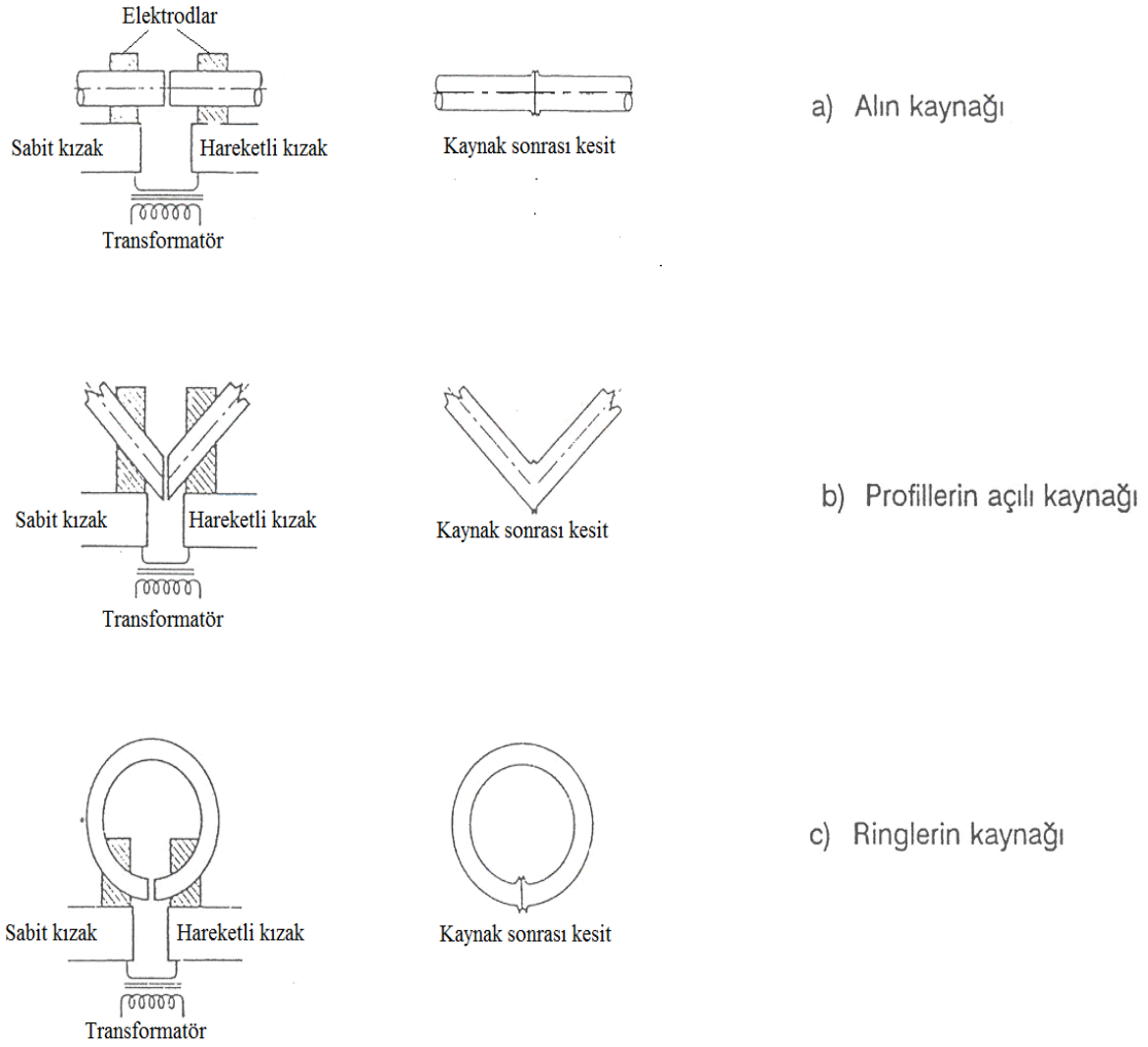


Şekil 3.7. Geniş kesitli parçalar için kaynak ağzı hazırlığı [6]

Yakma ve yığma işleminin üniform olabilmesi ve kaynak mukavemetinin güvenliği açısından kaynatılacak parçaların eksenleri birbirini karşılamalıdır (Şekil 3.8). Yakma alın kaynağın çeşitli konstrüksiyonlara uygulanması Şekil 3.9’da verilmiştir [6].



Şekil 3.8. Bağlantı geometrisine parça merkezlenmesinin etkisi [6]



Şekil 3.9. Yakma alın kaynağının çeşitli konstrüksiyonlara uygulanması [6]

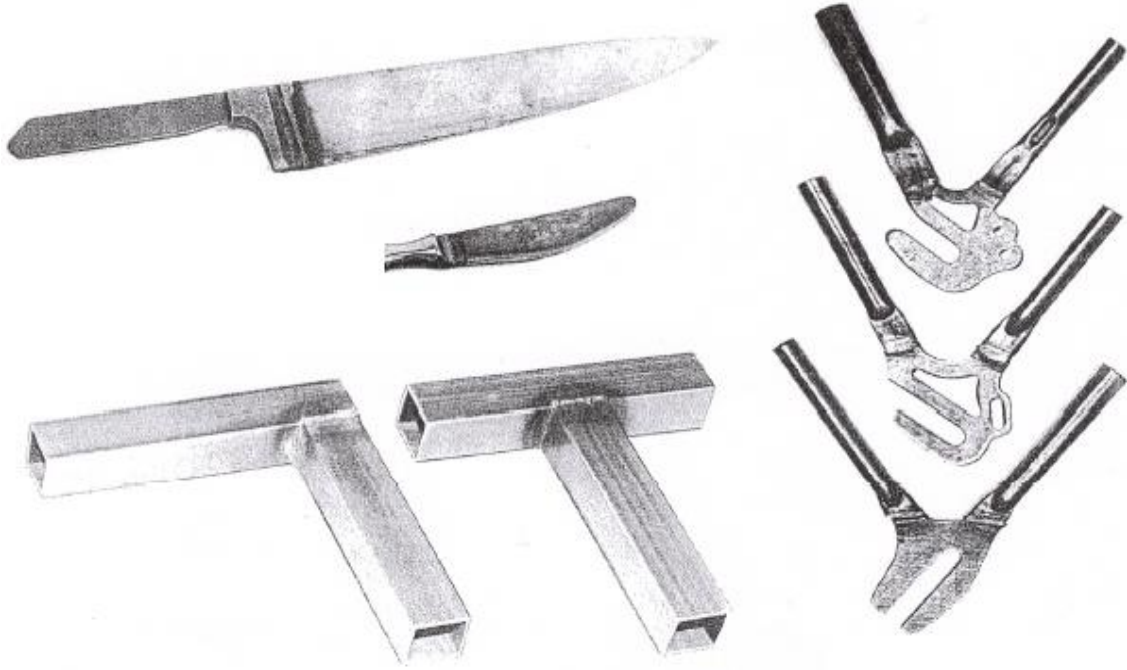
3.6. Yakma Alın Kaynağının Kullanım Alanları ve Yakma Alın Kaynak Makineleri

Yakma alın kaynağı ile çok sayıda demir esaslı ve demir dışı alaşımları kaynakla birleştirmek mümkündür. Günümüz endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahip sade karbonlu çelikler, alüminyum alaşımları büyük bir hazırlık ve özel bir önlem gerektirmeden bu yöntemle kaynatılabilmektedir [27].

3.6.1. Yakma alın kaynağının kullanım alanları

Günümüzde yakma alın kaynak yöntemi çok katlı betonarme yapılarda kullanılan çelik çubukların, petrol boru hatlarının, rayların, kapı pencere üretiminde profillerin, otomobil

tekerleklerinin jantları, motor ve jeneratör freylerinin, uçak iniş takımlarının, pervane palalarının, matkap uçlarının üretiminde, takım sanayinde, zincir üretiminde, mutfak aletlerinin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Resim 3.1’de yakma alın kaynağı ile kaynatılan malzemelerden bazı örnekler verilmiştir [41].



Resim 3.1. Yakma alın kaynağı ile üretilen aletler [41]

Sertleştirilebilir karbonlu ve alaşımlı çeliklere yakma alın kaynağı uygulandığında, ısının tesiri altındaki bölgedeki (ITAB) özellikler esas metalin özelliklerinden farklılıklar gösterir ve kaynak sonrası üniform özellikler elde edebilmek için parçaya ısıtma işlemi uygulanması gerekebilir [42].

Düşük karbonlu çeliklerin yakma alın kaynağı, ön ısıtmasız olarak kolayca uygulanabilir. Kabul edilebilir bir kaynak bağlantısı, maksimum kaynak kalitesi elde etmek için malzemenin kimyasal bileşimine bağlı olarak ısıtma işlemi gerekebilir. Değişik türdeki çelikler için gereken basıncı, çeliklerin yığılma bölgesindeki sıcaklık gradyanına ve yüksek sıcaklıklardaki çeliğin yığılma dayanımına bağlıdır. Eş veya farklı çelik çiftleri yakma alın kaynağı ile kolaylıkla kaynatılabilir. Ancak bazı çelikler için özel işlemler gerekir [43].

Farklı metal kombinasyonlarına uygun kaynak koşullarında ve düzgün iş parçası dizaynlarında kolaylıkla yakma alın kaynağı uygulanabilir. Yakma alın kaynağı ile birleştirilebilecek bazı metal kombinasyonları Çizelge 3.3’de verilmiştir [17].

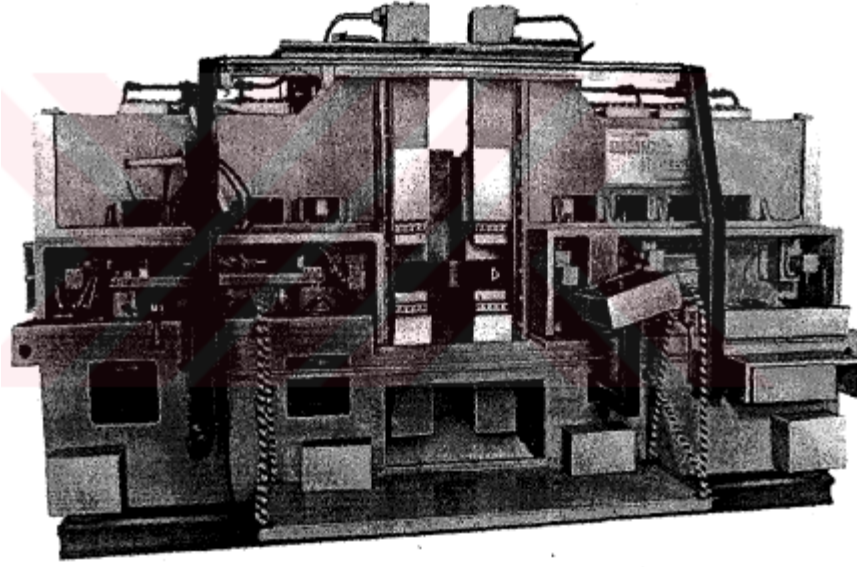
Çizelge 3.3. Yakma alın kaynağı ile birleştirilebilecek bazı metal kombinasyonları [17]

Ana metal	Al	Cu	Mg	Ni	Paslanmaz çelik	Mo	Ti	W
Al	♦	♦	♦	♦			♦	
Cu	♦	♦	♦	♦	♦		♦	
Mg	♦	♦	♦					
Ni	♦	♦		♦	♦	♦		♦
Paslanmaz çelik		♦		♦	♦	♦	♦	♦
Ti	♦	♦			♦			
W				♦	♦			♦

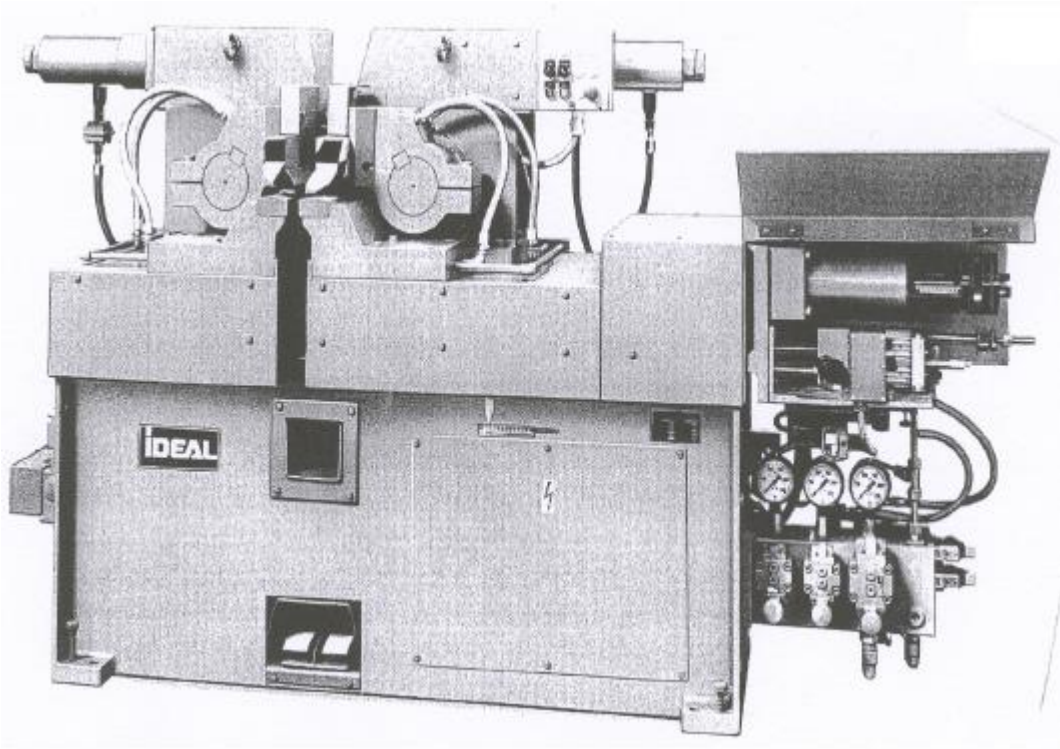
3.6.2. Yakma alın kaynak makineleri

Yakma alın kaynak makinelerinin hemen hemen hepsi yarı otomatik ya da tam otomatiktir. Yarı otomatik makinelerde operatör genellikle yakmayı elle başlatır. Diğer işlemler otomatik olarak devam eder. Tam otomatik makinelerde ise, parçalar makineye yüklenir. Kaynak parametreleri önceden operatör tarafından girilir ve kaynak işlemi ve müteakip işlemler otomatik olarak yapılır [41].

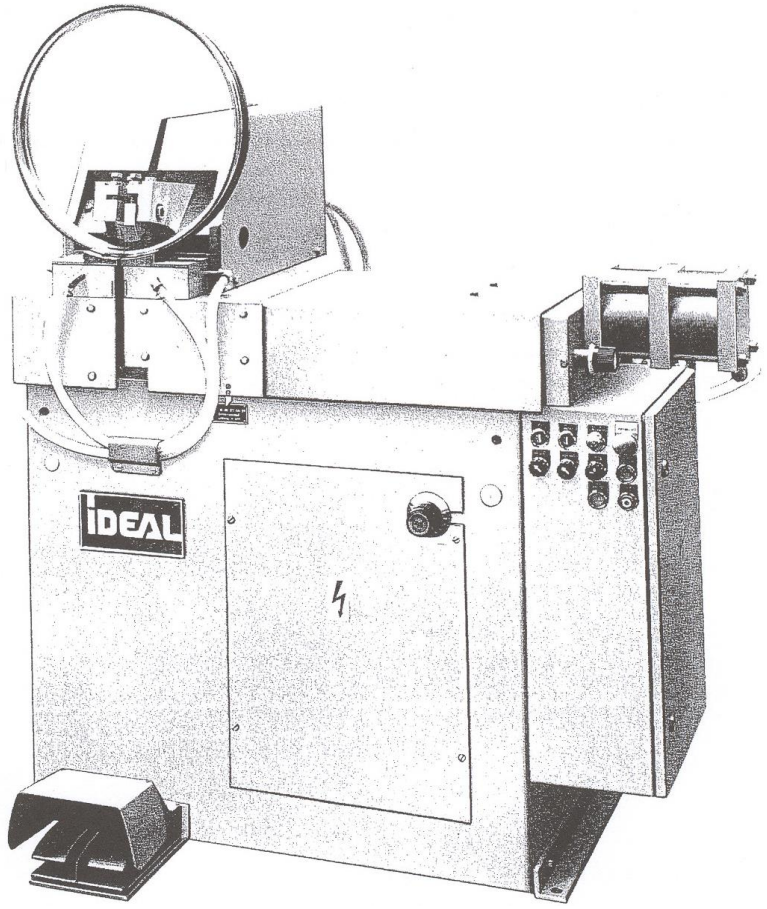
Resim 3.2, Resim 3.3, Resim 3.4. ve Resim 3.5’de bazı yakma alın kaynak makineleri gösterilmiştir.



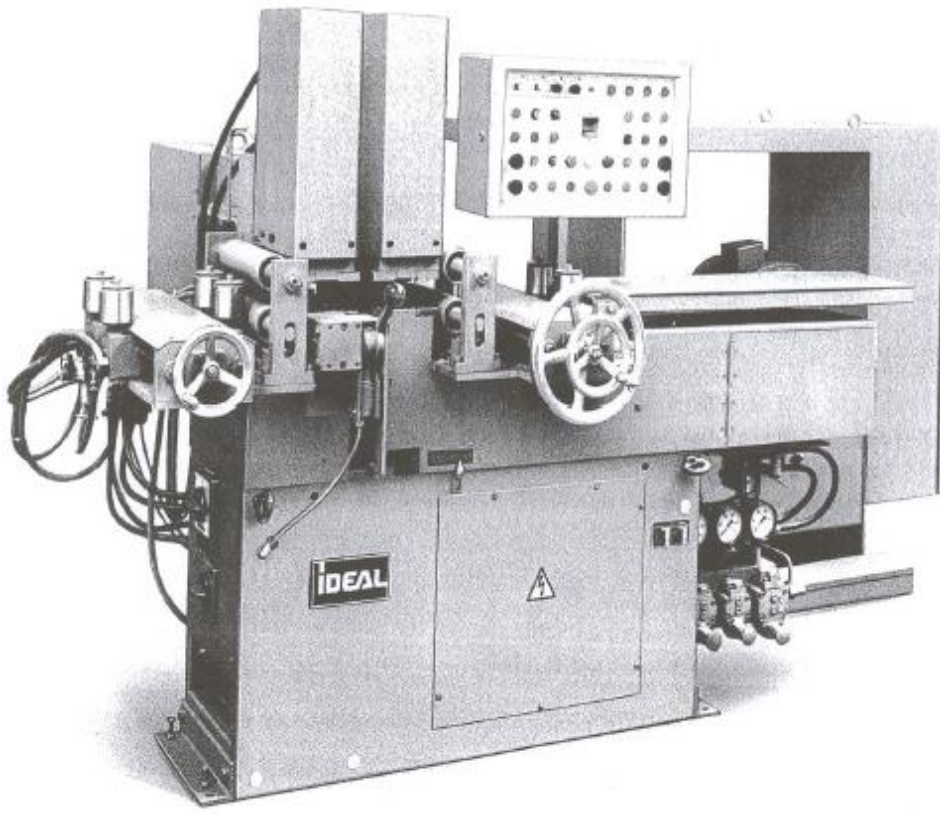
Resim 3.2. Rayların birleştirilmesinde kullanılan yakma alın kaynak makinesi [17]



Resim 3.3. Zincir yapımında kullanılan kaynak makinesi [41]



Resim 3.4. Bisiklet jantlarının kaynağında kullanılan kaynak makinesi [41]



Resim 3.5. Çelik ve alüminyum kaynak makinesi [41]

3.7. Yakma Alın Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Yakma alın kaynağını sınırlayan bazı unsurlar şunlardır [44];

- Tek fazlı güç ihtiyacı, üç fazlı primer güç hatlarında dengesizlik oluşturur.
- Yakma sırasında dışarı fırlayan ergimiş metal partikülleri çevreye zarar verebilir
- Yanan ve yığılan metalin alınması genellikle gereklidir ve özel teçhizat gerektirir.
- Küçük kesitli parçaların merkezlenmesi zordur.
- Kaynaklanacak parçalar dik kesite sahip olmalıdır.

Yakma alın kaynağının diğer kaynak yöntemlerine göre üstünlükleri [38,45];

- Aynı tür parçaların birleştirilmesinde yararlanılan benzer yöntemlere kıyasla daha büyük yüzeyler kaynatılabilir (90000 mm² kesitlere kadar)
- Alın yüzeylerde detaylı bir ön hazırlığa gerek yoktur.

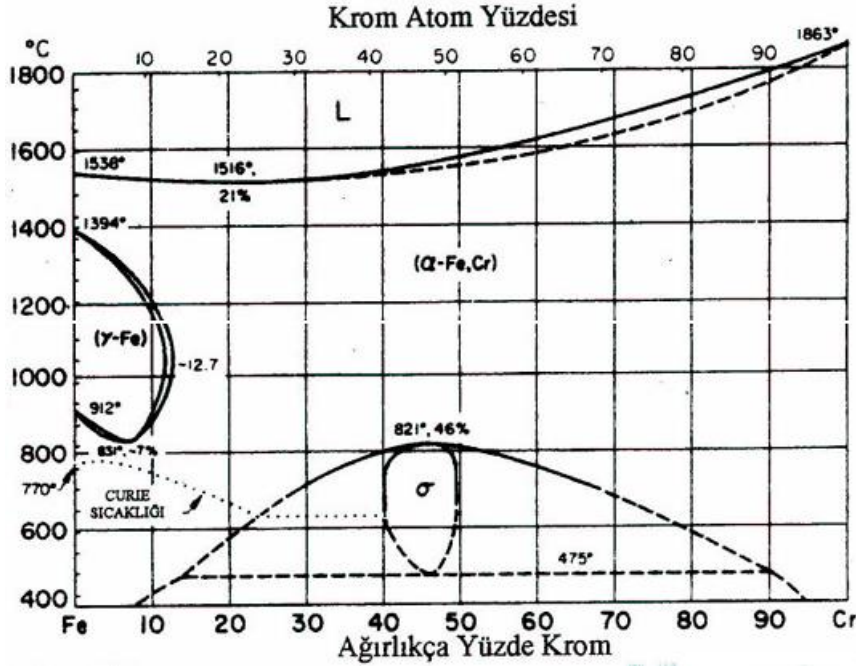
- Açıp-kapama periyotlarında, yabancı maddeler dışarı atıldığından birleştirme bölgesinde istenilen dayanıma ulaşır.
- Birleştirme bölgesinde sınırlı bir yığma olur.
- Yüksek dayanıma sahip kaynak bağlantıları elde edilir.
- Zamandan tasarruf edilir.
- Köşeler rahatlıkla birleştirilebilir.
- ITAB bölgesi dardır.

4. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler son yılların keşfi değildir. Faraday 1822 yılında, demir içine krom katıldığında atmosferik oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşım oluştuğunu göstermiştir. 1838 yılında Mallet, kromlu çeliklerin bazı ortamlarda korozyona dayanıklı özellik gösterdiğini keşfetmiştir. 19'uncu asrın sonuna kadar kromlu çelikler yalnızca sıcak sülfirik asit kapları için kullanılmıştır. 1904 yılında Monnartz, krom ilave edilmiş çeliklerin oksitleyici ortamlarda pasifleşme özelliğinin daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur. Bu metallerin korozyon dayanıklılığının metal yüzeyinde oluşan pasif tabakadan ileri geldiğini ispatlamıştır. Fakat pasif filmin oluşması alaşımların her ortamda korozyona karşı dirençli olabilmeleri için yeterli değildir. Paslanmaz çelikleri ortama daha dirençli kılmamanın yollarından birisi krom, nikel gibi ana alaşım elementlerinin oranını arttırmak, karbon içeriğini azaltmaktır [46].

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az %10,5 (bazı kaynaklarda ise en az % 12) oranında (ağırlıkça) krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan ince fakat yoğun kromoksit tabakası korozyona karşı yüksek dayanım sağlar ve oksidasyonun daha derine doğru ilerlemesini engeller [47].

Paslanmaz çeliklerin temelini demir-krom sistemi oluşturmakta olup Şekil 4.1'de demir krom faz diyagramı verilmiştir. Krom hacim merkezli kübik (HMK) yapısına sahiptir. Demir karbon denge diyagramında yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapısına sahip östenitik yapı oluşturan bölge olan östenit (γ) kapalı hale getirir ve 1000 °C sıcaklığında % 12 kadar krom çözünürlüğe sahiptirler. Eğer yapıda % 12'den fazla krom içeriği olursa demir krom alaşımları YMK'den HMK'ye dönüşüm göstermezler [48].



Şekil 4.1. Demir krom faz diyagramı [48]

4.1. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilebilir. Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır [49].

Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler (Şekil 4.2) [49].

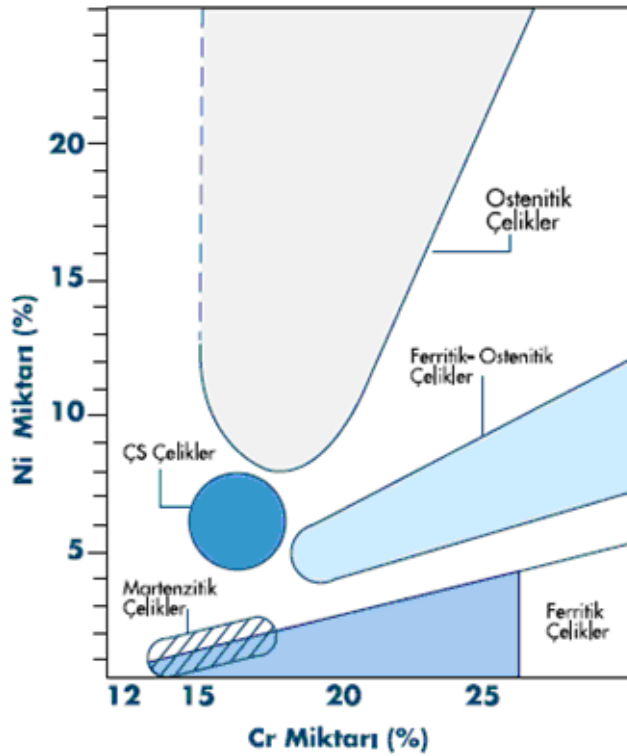
Paslanmaz çelikler beş ana grupta toplanırlar;

- 1- Ferritik paslanmaz çelikler
- 2- Östenitik paslanmaz çelikler
- 3- Martenzitik paslanmaz çelikler
- 4- Östenitik-Ferritik (Çift Fazlı) paslanmaz çelikler
- 5- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler [49].

4.1.1. Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, esas olarak % 12-30 Cr içeren demir-krom alaşımlarıdır. Bu alaşımlar ferritik olarak adlandırılırlar. Çünkü bunların yapıları, normal ısı işlem şartları altında çoğunlukla ferritik olarak kalırlar (KHM α demir tip). Bu alaşımlar başlıca genel yapım malzemeleri olarak kullanılırlar. Bu yapım malzemeleri özel korozyon ve ısı direncinin istendiği malzemelerdir. Ferritik paslanmaz çelikler tasarım mühendisliği açısından öneme sahiptir. Çünkü bunlar nikel içeren paslanmaz çelikler gibi aynı korozyon direncini sağlarlar fakat alaşım elementi olarak nikel ihtiyacı olmadığı için ekonomiktirler. Buna karşın ferritik paslanmaz çelikler sünekliklerinin azlığı, çentik hassaslıkları ve düşük kaynaklanabilirliklerinden dolayı kullanımları östenitik paslanmaz çeliklerden daha sınırlıdır.

Standart ferritik paslanmaz çeliklerin süneklik problemini aşmak için düşük karbon ve azot içerikli yeni ferritik paslanmaz çelikler geliştirilmiş ve ticari olarak üretilmiştir. Bu alaşımlar iyileştirilmiş korozyon direnci ve kaynaklanabilirliğe sahiptir [48].

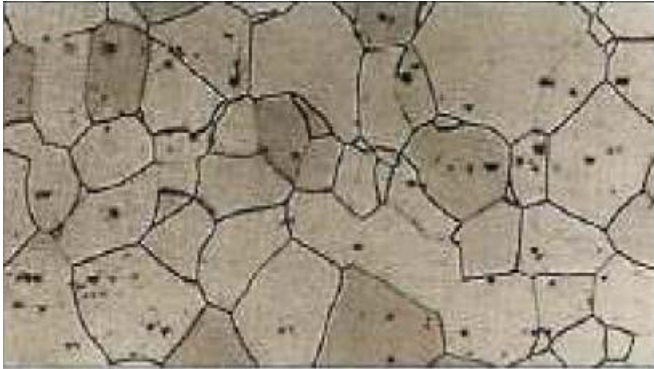


Şekil 4.2. Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (ÇS: Çökeltilme sertleşmesi uygulanabilen) [49]

Oldukça parlak ve dekoratif görünüşe sahip olan bu tür paslanmaz çelikler, dünya paslanmaz çelik tüketiminde östenitik paslanmaz çeliklerden hemen sonra en büyük pazar payı ile ikinci sıradadırlar.

Bu tür çeliklerin ısı genleşme katsayıları, az alaşımlı çeliklerinkine yakındır. Bu özellik, mimari yapılarda olduğu gibi büyük konstrüksiyonlarda sade karbonlu çeliklerle bir arada kullanılmaları halinde ısı genleşme farkının doğuracağı sorunları önler. Buna karşın, bu tür çeliklerin ısı iletkenlik katsayıları normal çeliklerin yarısı kadardır [50].

Ferritik paslanmaz çeliklerin darbe tokluğu üzerine parça kalınlığının önemli bir etkisi vardır. Bu çelikler, aynı zamanda soğutma hızı hassasiyetine sahiptirler. Soğutma hızına bağlı olarak karbür ve nitrür çökelmeleri tane sınırları boyunca aynı hızda, matraste ise rastgele dağılıma sahiptir. Bu yüzden tane boyutu, süneklik ve tokluk açısından önemli bir faktördür. Büyük miktarda krom ve az miktarda karbon ihtiva ettiklerinden martenzit oluşmaz. Bundan dolayı kaynak esnasında ısının tesiri altında kalan bölgede birçok zorluklar ortadan kalkmış olur. Yapıları normal olarak ferrit ve karbürlerden oluşmaktadır. Faz dönüşümü yoktur. Bu yüzden çabuk soğuma ile sertleştirilemezler [51]. Resim 4.1’de ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı gösterilmektedir.



Resim 4.1. Ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [49]

AISI 430 paslanmaz çelikler:

AISI 430 kalite paslanmaz çelik özellikleri bakımından ferritik sınıfına giren, düşük karbonlu ve krom içerikli bir paslanmaz çelik kalitesidir. AISI430 paslanmaz malzemelerin kaynak yapılabilirliği sınırlıdır. Öte yandan AISI 430 paslanmaz çelikler nikel ve molibden

içermedikleri için 300 serisi paslanmaz çeliklere oranla fiyat açısından daha uygunlardır. Bu kalitedeki paslanmazlar kullanıldığı malzemelerde iyi bir yüzey görünümü sağlarlar. AISI 430 kalite paslanmaz çelik malzemeler nikel içermediği için mıknatıslanma yapabilir. AISI 430 kalite paslanmaz çelik 1.4016 paslanmaz çelik olarak da adlandırılmaktadır.

AISI 430 paslanmaz çelik çubuk ve bu kaliteden üretilen malzemelerin kullanımı son dönemlerde dünyada ve Türkiye'de hızlı bir biçimde artış göstermektedir. Bu kalitedeki malzemelerin hareketli parçalarda ve çarpışmanın olduğu parçalarda kullanılması tavsiye edilmemektedir. AISI 430 paslanmaz çubuk çeşitli şekillerde işlenerek dekoratif amaçlı yapılarda, otomotiv endüstrisinde, yıkama makinelerinde, parlak yüzey istenen uygulamalarda, ev gereçlerinde ve mutfak eşyalarında kullanılmaktadır. Özellikle bulaşık makinelerinde ve buzdolaplarında sıklıkla 430 kalite malzemeler kullanılmaktadır [52].

Çizelge 4.1. AISI 430 paslanmaz çeliğin; standart numaraları, fiziksel ve mekaniksel özellikleri [49]

Standart numaraları	ASTM 430	EN 1.4016	UNS S43000	
Fiziksel Özellikler				
Elastik modülü (GPa)	220			
Özgül ağırlık (gr/cm3)	7,7			
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	10			
Elektrik direnci(Ω mm ² /m)	0,60			
Özgül ısı(J/kg.K)	460			
Isıl iletkenliği (W/m.K)	25			
Manyetiklik Var	Var			
Mekanik Özellikler				
	%0,2 Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (Brinell)
Tavlanmış durumda	En az 210	430-600	20	150-190
Yüksek sıcaklık özellikleri				
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400
Elastik modülü (GPa)	216	212	206	197
%0,2 Akma dayanımı (MPa)	220	210	200	190
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	10	10	10,5	10,5

Çizelge 4.2. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin (%) kimyasal bileşimleri [53]

AISI	UNS	Kimyasal Bileşim (%)							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
430	S43000	0,12	1,00	1,00	16,0-18,0	-	0,04	0,03	-
430F**	S43020	0,12	1,25	1,00	16,0-18,0	-	0,06	0,15min	0,06 Mo
430FSe**	S43023	0,12	1,25	1,00	16,0-18,0	-	0,06	0,06	Min0,15 Se
430Ti	S43036	0,10	1,00	1,00	16,0-19,5	0,75	0,04	0,03	Min5x%C-Ti

4.1.2. Östenitik paslanmaz çelikler

Bilindiği gibi, östenitik yapıda demir alaşımları elde etmek bu asrın başından beri metalurjistlerin en önemli uğraşlarından birisi olmuştur. Günümüzde AISI 300 serisi olarak adlandırılan östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler, işte bu çalışmaların ürünüdür. Bugünün östenitik paslanmaz çelikleri % 16-26 krom, % 10-24 nikel, % 0,4' e kadar karbon ve diğer bazı özellikleri geliştirmek için katılmış molibden, titanyum, niyobyum, tantal ve azot gibi elementler içerirler. Son yıllarda geliştirilmiş olan ve tam veya süper östenitik paslanmaz çelikler diye adlandırılan gruplarda östenit yapıcı elementlerin miktarı daha da arttırılmıştır [50].

18 Cr / 8 Ni içeren östenitik çeliklerin ve bunların türevlerinin erime sıcaklıkları içerdikleri karbon miktarına göre 1400 ile 1430 °C arasında değişir. Bazı elementler eklenmesiyle bu sıcaklık düşürülebilir. Östenitik içyapı dönüşüm göstermediği için normalleştirme ve sertleştirme ısı işlemleri uygulanamaz. Kromun ferrit yapıcı etkisi östenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir. Östenit yapıcı temel element nikeldir. Sertlik, sadece soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Manyetik olmayan bu tür paslanmaz çelikler AISI 3XX serisi içinde gruplandırılmalarının yanı sıra DIN 17440, EU 88, EU 95 ve TS 2535'e göre yüksek alaşımlı çelikler halinde olduğu gibi simgelenirler [54,55].

Östenitik paslanmaz çelikler düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerden daha zor işlenirler. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere göre dayanımlarının ve sünekliklerinin yüksek olması, yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri östenitik paslanmaz çeliklerin zor işlenmelerinin nedenleri olarak kabul edilir [56].

Östenitik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında östenitik yapıya sahip olduğundan ısı ile işlemle çok önemli bir seviyede sertleşmezler. Buna karşılık soğuk deformasyon uğradıklarında dayanımları artırılabilir. Östenitik paslanmaz çelikler mikroyapıda ki östenit'in kararlı hale gelebilirliğine göre kararlı veya yarı kararlı östenitik çelikler olmak üzere iki grupta toplanabilir. Kararlı östenitik çelikler mikroyapıları soğuk deformasyondan sonra östenitik olarak kalmaktadır. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler ise soğuk deformasyondan sonra belirli düzeyde yapı martenzit'e dönüşerek östenit ve martenzit karışımı meydana getirmektedir [48].

Östenitik paslanmaz çeliklerin ısı iletim kabiliyeti karbonlu çeliklerin sahip olduğu değerden 3 kat daha düşüktür. Bu durumda, kaynak sırasında oluşan sıcaklığın kaynak bağlantısında daha uzun süre kalmasıyla bazı problemlerle karşılaşılmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerde ısı genleşme katsayısı karbonlu çeliklerle kıyaslandığında % 50 daha fazladır. Böyle bir özellik kaynaklı konstrüksiyon tasarımlarda önemli olup bazı sınırlamalar gerekmektedir [47].

Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde kullanılan en yaygın tipler AISI 200 ve 300 serisi alaşımlardır. Ayrıca, alaşım katkıları ve özel alaşım bileşimi, kaynak edilebilirlik ve kaynak bölgesinin mikroyapısı üzerine büyük bir etkiye sahiptir. Bu alaşımlardan AISI 300 serisi, genellikle % 8-20 Ni ve % 16-25 Cr içerir. Düşük oranlardaki alaşım katkılarında % 1 Si dezoksidasyon için, % 0.02-0.08 C östenitin kararlılığı için ve % 1.5 Mn ise hem östenitin kararlılığı hem de sülfür ve Si ile bileşik oluşturması açısından katılmaktadır [57].



Resim 4.2. Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [49]

AISI 304 paslanmaz çelikler:

AISI 304 kalite paslanmaz çelik, paslanmaz çeliğin temel çeşitlerinden biri olup, en yaygın kullanılanıdır. Bu paslanmaz çelik kalitesi; kimyasal bileşiminin, mekanik özelliğinin, kaynak yapılabirliğinin ve korozyon-oksidasyon direncinin fiyatına oranla çok iyi olması sebebiyle tercih edilir. Bu kalitedeki malzemelerin korozyona dayanımı 303 kalite paslanmaz çeliklere oranla daha yüksektir. 304 paslanmazların düşük sıcaklıklardaki özellikleri ve işleme sertleştirmesine verdiği tepki mükemmele yakındır. AISI 304 kalite paslanmaz, östenitik paslanmazlar grubuna girmektedir.

En yaygın paslanmaz çelik kalitelerinden biri olan 304 paslanmaz çelik; kimya, petrokimya, ev aletleri, endüstriyel mutfaklar, otomotiv yan sanayi, gıda sanayi ve buna benzer çeşitli alanlarda sıkça kullanılır [52].

304 (X5CrNi1810) ve özellikle bunun düşük karbonlu modeli olan 304L tipi paslanmaz çelikler kaynaklanabilme özelliği sayesinde taşıma tanklarında ve kaynatma kazanlarında tercih edilir [58].

Çizelge 4.3. Yaygın olarak kullanılan 304 kalite östenitik paslanmaz çelik türleri [59]

ASTM AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Adı
304 (S30400)	1.4301	X5CrNi18-10
304L(S30403)	1.4306	X2CrNi 19-11
	1.4307	X2CrNi 18-9

Çizelge 4.4. 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [60]

UNS NO	Çelik Türü	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı %0.2 (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HRB)
S30400	304	515	205	40	88
S30403	304L	480	170	40	88
S30451	304N	550	240	30	-

Çizelge 4.5. 304 kalite bazı östenitik paslanmaz çeliklerin (%) kimyasal bileşimleri [60]

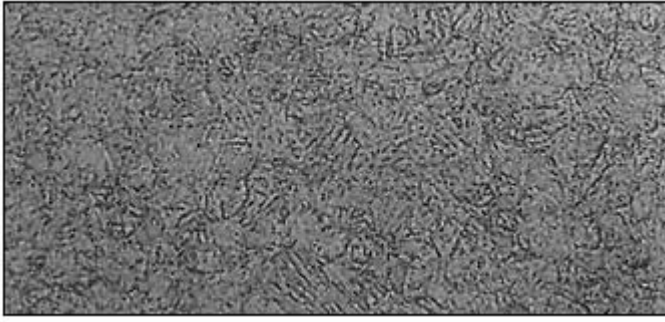
% Kimyasal Kompozisyon								
AISI Tip	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğerleri
304	0,08	2,00	1,00	18-20	8-10,5	0,045	0,03	-
304L	0,03	2,00	1,00	18-20	8-12	0,045	0,03	-
304LN	0,03	2,00	1,00	18-20	8-12	0,045	0,03	0,1-0,16N

4.1.3. Martenzitik paslanmaz çelikler

Karbon miktarı % 0,1'den fazla olan çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik içyapıya sahiptirler. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950 - 1050°C arasındadır. Bu sıcaklıkta tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde edilen yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavlanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavlanmış olarak satın alınan ürünler biçim verildikten sonra ıslah işlemine (su verme + temperleme) tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek değişik özellikler elde edilir. En iyi korozyon dayanımı elde etmek için, tavsiye edilen ısı işlem sıcaklığına uyulması çok önemlidir [61].

Martenzitik paslanmaz çelikler; valfler, bağlantı elemanları, dişliler, pim, yük aktaran miller, zincirler, cerrahi dişçilik aletleri, makaslar yaylar, düşük karbonlu olanları ise ise türbin kanat ve çarklarında, buhar türbinlerinde kullanılır. Ferromanyetiklerdir, martenzitik paslanmaz çelikler genellikle atmosferik korozyona karşı dirençlidirler. İçyapıları kübik hacim merkezli (KHM) veya sertleştirilmiş halde hacim merkezli tetragonal kristal kafes sisteminden meydana gelen yapıdadır [53].

Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle su verilmiş ve menevişlenmiş veya tavllanmış halde kullanılırlar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hızlarının çok yavaş olması, yavaş soğuma halinde, örneğin sakin havada soğuma, martenzit oluşumuna neden olur. Martenzitik durumda korozyon dirençleri çok iyidir. 815°C'ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler. Ancak uzun süre yüksek sıcaklıklarda kalırlarsa hafif bir korozyon başlangıcı olur. Dolayısı ile bunlar endüstride 700°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar [5].



Resim 4.3. Martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [49]

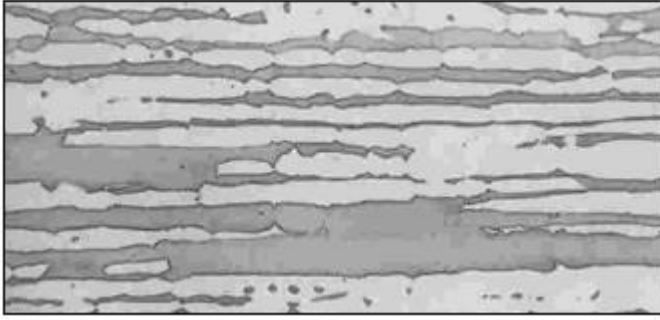
4.1.4. Östenitik-ferritik (Çift fazlı) paslanmaz çelikler

Çift fazlı (dupleks) çelikler olarak da adlandırılan bu çeliklerin içyapısında her iki faz bir arada bulunur ve bu sayede östenitik ve ferritik çeliklerin her birinin de ötesinde iyileştirilmiş özellikler gösterir. Böylece östenitik çeliklere kıyasla daha iyi gerilme korozyonu dayanımına; ferritik çeliklere kıyaslandığında ise daha iyi tokluk ve sünekliğe sahip olurlar. Ayrıca, iki fazın bir arada bulunması halinde tavllanmış durumda bile 550 ile 690 MPa akma dayanımı gösterirler ki, bu değer fazların tek başına türdeki çeliklerin akma dayanımının yaklaşık iki katıdır. Mevcut ticari kaliteler % 22 - % 26 krom, % 4 - % 7 nikel, azami % 4,5 molibden, yaklaşık % 0,7 bakır ve volfram ile % 0,08 - % 0,35 azot içerirler [62].

Dupleks paslanmaz çelikler; Fe, Cr, Ni sistemine dayalı iki fazlı alaşımlardır. Bu alaşımlar, mikroyapıda eşit oranda HMK ferrit ve YMK östenit bulundurlar. Dupleks paslanmaz çelikler düşük karbon içeriği ($\% < 0.03$) ve Mo, N, W ve Cu katkılarıyla bilinirler. Genellikle % 20-30 Cr ve % 5-10 Ni içerirler. Dupleks paslanmaz çeliklerin geleneksel 300 serisi paslanmaz çeliklerden üstün özellikleri; gerilmeli korozyon kırılma dayanımı,

mukavemet ve oyuklaşma (pitting) korozyonu dayanımıdır. Bu malzemeler asitler ve sudan kaynaklanan kloro karşı direncin gerektiği orta dereceli sıcaklık (-60 ile +300°C) alanlarında kullanılırlar [63].

Bu tür paslanmaz çelikler üstün özelliklerinden dolayı değişik biçim ve boyutlarda endüstrinin hizmetine sunulurlar. Isı eşanjörü, petrol, gaz ve deniz suyu boruları ile bağlantı elemanlarında, deniz petrol platformlarında, gaz kuyularında, basınçlı kaplarda, döküm pompa ve vana gövdelerinde, gemi pervanesi ve parçaları yapımında, jeo-termal uygulamalarda, kimyasal teçhizat imalatında, arıtma tesislerinde büyük çapta kullanılmaktadırlar [64].



Resim 4.4. Östenitik - ferritik (Çift fazlı) paslanmaz çeliklerin mikroyapısı [49]

4.1.5. Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri içeren, bu elementlerin bir veya birkaçının etkisi ile çökelme sertleşmesi gösteren Fe-Cr-Ni' li paslanmaz çelikler ailesinin bir grubudur [50].

Bu çeliklere gerekli mukavemeti kazandırmak için kontrollü olarak çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanmaktadır. Çökelti oluşumunu sağlamak için alüminyum (Al), molibden (Mo), titanyum (Ti), niyobyum (Nb) ve bakır (Cu) elementleri ile alaşımlama yapılır.

Çökelme sertleşmesi prensip olarak alaşımı çözeltiye alma tavından sonra uygulanan hızlı soğumayı takip eden bir yaşlandırma işlemidir. Çeliğin içerisinde bulunan alaşım elementleri çözeltiye alma tavi sırasında çözünürler ve yaşlandırma işlemi sırasında da çok

küçük zerrecikler halinde çökelerek matrisin sertlik ve mukavemetini arttıırırlar. Bu işlem sonucu çelik, martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine östenitik paslanmaz çeliğin korozyon direncine sahip olabilmektedir. Mukavemetleri yaklaşık 1700 MPa'a kadar çıkabilmekte ve böylece, martenzitik paslanmaz çeliklerin mukavemetlerinin üzerinde değerlere ulaşılabilir [5].

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, çözeltiye alma tavlamasından sonraki işlemler sonucu çeliğin yapısal değişimine ve özelliklerine bağlı olarak üç türde gruplanmaktadır. Bunlar:

- Martenzitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler,
- Yarı-östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler,
- Östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdir [50].

4.2. Paslanmaz Çeliklerin Alaşım Elementleri ve Metalurjik Etkileri

Paslanmaz çeliklerin içerisinde paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanı sıra, diğer bazı gereksinimleri karşılamak üzere ilave edilen alaşım elementleri ve kaçınılmaz olarak bulunan karbon ve bazı empüriteler bulunmaktadır [50].

Alaşım elementlerinin en önemli özelliği belli bir fazın oluşumunu geliştirmek veya onu kararlı hale getirmektir. Bu özelliği veren alaşım elementlerini şöyle sıralayabiliriz: Östenit oluşturuu, ferrit oluşturuu ve nitrür oluşturuudur [65].

Karbon: Kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Yüksek mukavemetli alaşımlara sertleştirme ve mukavemet artırıcı etki için katılmaktadır. Kaynak metalinin korozyon direncini ve düşük sıcaklıktaki tokluğunu negatif yönde etkiler.

Krom: Bir karbür ve ferrit yapıcıdır. Korozyon ve tufalleşme direncini sağlayan alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıkta mukavemet ve sürünme mukavemetine belirgin bir etkisi yoktur.

Nikel: Kuvvetli östenit yapıcı ve dengeleyicidir. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır. Mukavemeti artırır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda kaynak metalinin tokluğunu negatif yönde etkiler.

Mangan: Östenit yapıcıdır. Tam östenitik alaşımlarda kaynak metalinin çatlama direncini yükseltir.

Alüminyum: Kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Yüksek sıcaklıkta tufalleşme direncini artırır. Titanyum ile beraber bazı yüksek mukavemetli alaşımlara katılarak yaşlanma sertleşmesi etkisini azaltır. Kuvvetli nitrür yapıcıdır. %12 krom içeren kaynak metaline katılarak yapıyı ferritik yani sertleşmez hale getirir.

Niobyum: Kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çelikleri krom karbür çökmesine karşı dengelemede kullanılır. Yüksek mukavemetli bazı alaşımlara sertliği ve mukavemeti etkilemek için katılmaktadır. Bazı martenzitik paslanmaz çelik türlerine karbonu bağlayarak, çeliğin sertleşme eğilimini azaltmak amacıyla ilave edilir.

Azot: Kuvvetli östenit yapıcıdır. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır. Mukavemeti artırır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda kaynak metali tokluğunu negatif yönde etkiler.

Kükürt: Fosfor ve selenyum elementlerinden bir tanesi molibden veya zirkonyum ile az miktarda katılarak paslanmaz çeliğin talaşlı işlemeye yatkınlığını artırır. Bu üç element de kaynak metalinde çatlamayı teşvik eder.

Silisyum: Bir ferrit yapıcıdır. Östenitik çeliklerde korozyon direncini arttırmak için kullanılır. Yüksek sıcaklıkta tufalleşme direncini artırır. Yüksek sıcaklıkta kullanılacak çeliklerin karbürizasyon direncini arttırmak için katılır.

Titanyum: Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini önlemek için dengeleme elementi olarak kullanılır. Kuvvetli ferrit yapıcıdır. Bazı yüksek sıcaklığa dayanımlı alaşımlara sertlik ve mukavemet arttırıcı etkilerinden dolayı katılır. Bazı yüksek mukavemetli ve ısıya dayanıklı alaşımlara yaşlanma sertleşmesini etkilemek için alüminyum ile beraber katılır.

Tungsten: Kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Bazı yüksek sıcaklık alaşımlarının mukavemet ve sürünme direncini arttırmak için ilave edilir [50].

Molibden: Ferrit oluşumunda etkili olup malzemenin yüksek sıcaklıklarda dayanıklı olmasını ve redükleyici ortamlarda malzemelerin korozyona karşı dirençlerinin artmasını sağlamaktadır.

Bakır: Paslanmaz çeliklere, bazı ortamlardaki korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla katılmakla beraber gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik etmektedir [66].

Kobalt (Co): Birçok paslanmaz alaşımının yüksek sıcaklıklardaki sürünme ve mukavemet özelliklerini geliştirmek amacı ile katılır [67].

4.3. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ışın ve lazer kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Bu yöntemlerin hemen hemen hepsinde birleştirilecek yüzeylerin ve dolgu metalinin temiz olması gerekmektedir. Bu karakteristikleri şöyle sıralayabiliriz [5];

- Paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletme katsayıları.
- Yüksek ısı genleşme katsayıları.
- Yüksek elektrik iletme direnci.
- Soğuk şekillendirmeye karşı hassasiyet.
- Kaynakta izlenen yapısal değişimler (tane irileşmesi, karbür oluşumu, sigma fazı, delta ferrit).
- Korozyona karşı hassasiyet.

Bazı sınırlamalar dışında diğer çelikler için kullanılan tüm kaynak yöntemleri (gaz ergitme kaynağı dışında) paslanmaz çelikler içinde kullanılır. En yaygın olarak kullanılan yöntemler şunlardır [68];

A) Ergitme Kaynağı Yöntemleri

- Elektrik ark kaynağı
- Gazaltı kaynağı
- Wolfram koruyucu gaz (TIG) kaynağı
- Metal koruyucu gaz (MIG) kaynağı
- Plazma ark kaynağı
- Lazer ışını kaynağı
- Tozaltı kaynağı

B) Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri

- Direnç-basınç kaynağı (nokta, makaralı dikiş ve yakma alın)
- Saplama kaynağı

C) Katı Hal Kaynak Yöntemleri

- Difüzyon kaynağı
- Sürtünme kaynağı
- Ultrasonik kaynak
- Soğuk basınç kaynağı
- Patlama kaynağı
- Sürtünme karıştırma kaynağı [68].

4.3.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

Tüm kaynaklı paslanmaz çelik imalatlarının % 90'dan daha fazlasında östenitik paslanmaz çeliklerin kullanılmasının nedeni iyi kaynaklanabilirliğidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde kaynaklar, çoğunlukla ana metalle karşılaştırılabilen kimyasal bileşimlere ve mekanik özelliklere sahiptirler. Östenitik paslanmaz çelikler çeşitli kaynak yöntemleri ile kolaylıkla kaynaklanabilir. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti açısından en önemli özellikleri şunlardır [69,70];

- Isıl iletme katsayıları oda sıcaklığında, az alaşımlı ve karbonlu çeliklerin yaklaşık üçte biri kadardır.
- Isıl genleşme katsayıları karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin yaklaşık 1,5 katı yani % 50 fazladır.
- Bu tür çeliklerin elektrik iletme dirençleri, alaşımsız çeliklere karşın dört ila yedi kat daha büyüktür.

Bu özelliklerinden dolayı östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde sade karbonlu çeliklerin kaynağından daha fazla kendini çekme oluşur. Kaynak dikişinin soğuması sırasında büyük çekmelerin oluşumu sonucunda bu bölgede gözlemlenen iç gerilmeler çatlama tehlikesine yol açar. Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlıdır. Kaynak sırasında düşük ısı girdisi ile çalışılması önerilir. Çünkü oluşan ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşamaz. Malzemenin direnci yüksek olduğu için direnç kaynağında, düşük akım değerleri ile çalışılabilir [52].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan problemler

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca üç kaynak problemi ile karşılaşılır. Bunlar sırası ile [71];

- 1- Isının etkisi altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı,
- 2- Kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu,
- 3- Yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu riskleridir [71].

Krom karbür oluşumu:

Isının etkisi altında kalan bölgenin 427-871°C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde yeralan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran krom karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına neden olurlar. Bu oluşum sırasında bir miktar krom, çözeltiden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer.

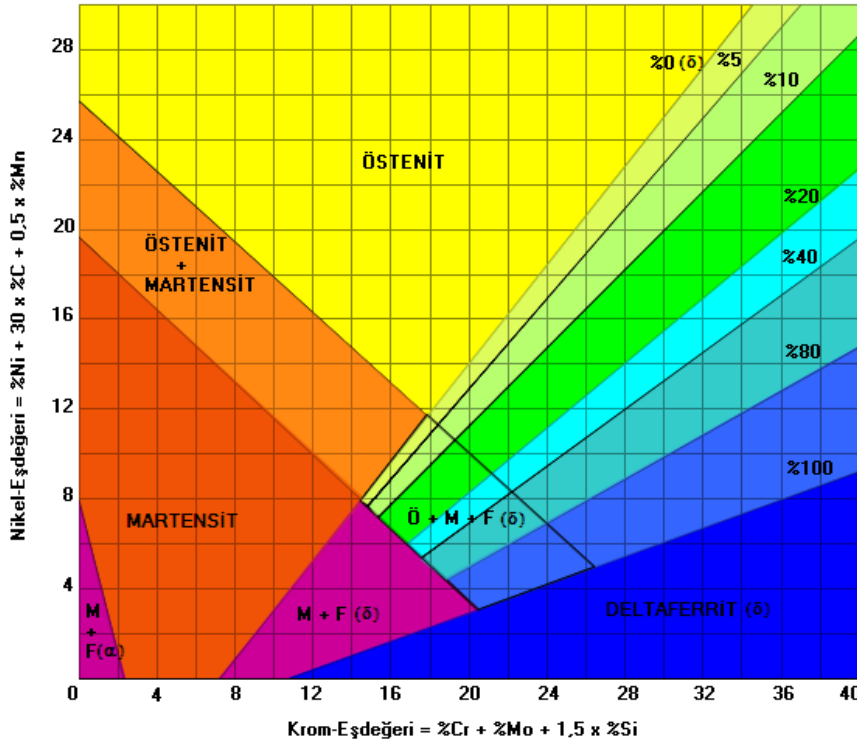
Bu sorun, kromla birleşerek krom karbür oluşmasına neden olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metallerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıyla önlenabilir. Bunun yanında kaynak işleminin ön tav uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulmasına özen gösterilmesi ve bakır altlık kullanılarak hızlı soğuma sağlanması hassas sıcaklık aralığında kalma süresinin kısa tutulması açısından oldukça yararlıdır [71].

Bu konuda uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonudur. Bu da, kroma karşı karbondan daha yüksek ilgiye sahip bir elementin, çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir; bu şekilde çeliğin birleşimindeki karbonla bu yeni element karbür oluşturur ve dolayısı ile iç yapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması meydana gelmez. Genelde stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niobyum ve tantal'dır [72].

Sıcak çatlak oluşumu:

Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük erime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar. Sıcak çatlak oluşumu, dolgu metalinin ve ana metalin kimyasal analizinin östenitik matriksde düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenabilir. Ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik-östenitik yapıya sahip olan tane sınırları oluşturarak sıcak çatlak oluşumunu engeller. Bu sorun "S" ve "P" miktarlarının çok düşük seviyelerde tutulması ile de giderilebilir, ancak bu durumda, çeliklerin üretim maliyetleri belirgin bir şekilde artacaktır [73].

Sıcak çatlama riskine karşı dayanım elde edebilmek için yapıdaki ferrit miktarının en az % 4 olması önerilmektedir. Bunun dışında; dolgu malzemesinin ve ana metalin kimyasal analizi biliniyorsa, çeşitli diyagramlar kullanılarak da bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu diyagramlardan Şekil 4.3'de görüldüğü gibi bilineni ve en eski olanı 1948 yılında SCHAEFFLER tarafından geliştirilen "Schaeffler Diyagramı"dır. Bu diyagramda Cr eşdeğeri yatay eksen, Ni eşdeğeri ise dikey eksen yer almaktadır.



Şekil 4.3. Schaeffler Diyagramı [74]

$$(\text{Cr}) \text{ eş} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5 \% \text{Si} + 0.5 \% \text{Nb} \quad (4.1)$$

$$(\text{Ni}) \text{ eş} = \% \text{Ni} + 30 \% \text{C} + 0.5 \% \text{Mn} \quad (4.2)$$

Schaeffler Diyagramı çok uzun yıllar kullanılmasına karşın, azotun (N) etkisini hesaba katmaması ve diyagramdan elde edilen verilerin, konusunda bilgili birkaç ölçüm uzmanı tarafından belirlenen ferrit yüzdeleri ile farklılıklar göstermesi nedeniyle günümüzde etkinliğini kaybetmiştir. 1973 WCR - DeLong Diyagramını Schaeffler Diyagramından ayıran en önemli özellik nikel eşdeğeri hesaplanırken yapıdaki azot (N) miktarının da göz önüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN - Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir [74].

Sigma fazı oluşumu:

"Sigma Fazı", çok sert (700–800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metaller arası bir bileşiktir. Röntgen ışını ile yapılan analizde bileşiminin yaklaşık olarak % 52 krom ve % 48 demirden oluştuğu ancak bunun yanında molibden gibi diğer alaşım elementlerini de içerebildiği görülmüştür. Sigma fazı, kromlu veya krom-nikel esaslı paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinde oluşur. Saf östenitik bir yapıdaki

sigma fazı oluşum hızı, östenitik kütle içerisinde ferrit içeren yapıdakine oranla daha düşüktür.

Sigma fazı ile krom karbür çökmesi birbirinden tamamen farklı iki oluşumdur. Sigma fazı kırılabilirliği 650-850°C sıcaklıklar arasında görülür ve bu sıcaklık aralığında kalma süresi ile oluşan yapının yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır. Faz dönüşüm hızının en yoğun olduğu sıcaklık 720°C civarındadır. Yapıda bulunan ferrit miktarının % 3-4 ile sınırlı tutulması durumunda, östenit tanelerinin etrafı ferrit ile çevrilemeyecek ve kırılabilirlik riski önlenecektir. Buna karşın ferrit miktarının % 12'yi geçmesi ile birlikte esneklik kabiliyeti hızla azalacaktır [75].

4.3.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

Ferritik paslanmaz çelikler martenzitik paslanmaz çeliklere oranla daha kolay kaynak edilir. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan en önemli sorun bu malzemenin 1150°C üzerindeki sıcaklıklarda tane büyümesine karşı olan aşırı eğilimidir. Kaynak sırasında ısının etkisi altında kalan bölgenin bir bölümü 1150°C üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısınır ve bu bölgede aşırı bir tane büyümesi oluşur. Bu malzemede katı halde östenitin ferrite dönüşmesi olayı meydana gelmediğinden bir ısıtma işlemi yardımı ile tanelerin küçülmesi imkanı yoktur. Normal halde ferritik paslanmaz çelikler çok ince taneli sünek bir yapıya sahiptirler. Kaba taneli bir yapı haline geçince gevrekleşir, çentik darbe dayanımı düşer ve geçiş sıcaklığı yükselir. Tane büyümesini önlemek için bazı ferritik paslanmaz çeliklerin bileşimine azot eklenir (Örneğin; AISI normuna göre 444 çeliği 0,035 maksimum ve 446 çeliği 0,25 maksimum).

Elektroda eklenen azot kaynak metalinin katılaşma sonunda ince taneli olmasına yardımcı olur. Bu tip paslanmaz çeliklerin kaynağında öyle bir kaynak yöntemi uygulanmalıdır ki ısının etkisi altında kalan bölgede 1150°C'yi aşan sıcaklıklarda mümkün mertebe az kalmalıdır. Bu ise kaynağın çok kısa pasolarda yapılması ve hemen soğutulması ile gerçekleşebilir. Kromlu ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında bir başka sorunda krom ve demirin bir metaller arası fazı olan çok kırılabilir ve gevrek (δ) sigma fazının oluşmasıdır. Bu olay çeliğin uzun süre 400 -550°C arasında tutulması sonucu ortaya çıkar. Bu bakımdan bu çeliklere hiçbir zaman 400°C üzerinde bir ön tavlama uygulanmamalıdır. Ancak

200°C'lik bir ön tavlama uygulanabilir. Diğer durumlarda bu çeliklerin kaynağında ön tav uygulanmaz.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan bir tehlike de, ITAB'de taneler arası korozyona karşı aşırı hassasiyettir. Özellikle stabilize edilmemiş, yüksek krom ve karbon içeren türlerde karşılaşılan önemli bir sorundur. Bu olay, östenitik paslanmaz çeliklerde oluşanın aksine, ferritik türlerde 900°C'nin üzerindeki sıcaklıklardan hızlı soğumada ortaya çıkmaktadır. Çünkü östenitik bir yapıya nazaran ferritik yapı içinde krom karbür çökmesi daha yüksek oranlardadır. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler kaynak edildiklerinde, dikişe komşu bölgede taneler arası korozyona karşı hassastırlar. Zira krom karbürler önce çözülürler, soğuma sırasında yer alabildiğince çabuk geriye doğru giderek tane sınırlarına partiler halinde çöklerler. Stabilize edilmemiş % 17 Cr'lu çeliklerden yapılan kaynaklı bağlantılar, kaynaktan hemen sonra 750°C'de tavlama işlemine tabi tutularak taneler arası korozyona karşı dirençli hale getirilebilirler. Eğer bu tür çelikler Ti veya Nb ile stabilize edilmiş ise kaynaklı bağlantılar taneler arası korozyona karşı ısı işlemsiz halde bile dirençli olacaklardır.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında yapılacak bir ön tavlama, martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağından farklı metarlurjik etkilere sahiptir. Bu tür çeliklerin kaynaklı bağlantıları yavaş soğutulduğu zaman tane irileşmesi ve tokluk azalması gösterirler. Bazı ferritik paslanmaz çelikler de tane sınırlarında martenzit oluşumuna eğilimlidirler. Bu çeliklere uygulanan ön tavlama ITAB'de çatlama tehlikesini ortadan kaldırır ve kaynaktan doğan gerilmeleri sınırlar. Ön tavlama sıcaklığı, bileşime arzu edilen mekanik özelliklere, kalınlığa ve artık gerilmelere bağlı olarak saptanır. Ön tav sıcaklığı normalde 150 – 250 °C arasında uygulanır ve pasolar arası sıcaklıklar da ön tav sıcaklığının biraz üzerinde tutulabilir. Kaynaktan sonra 750-850 °C 'lik bir tavlamaı takiben hızlı bir soğutma, bu çeliklerde ITAB'nin sünekliğinin ve taneler arası korozyona direncinin artmasına yardımcı olur [76].

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan problemler

Bu çeliklerin kaynağında en büyük engel malzemenin 1150 °C'nin üstünde tane büyümesine olan eğilimidir. Diğer bir engel de sigma fazının oluşumudur. 400 ila 550 °C

de tutulduğu haller hariç kromlu ferritik çeliklerde sigma fazının oluşması normal halde ortaya ciddi bir problem çıkartmaz [51].

Krom oranı %20'den daha fazla olan ferritik paslanmaz çelikler 550°C ve 850°C arasındaki sıcaklıklarda uzun süre tavlandıklarında sigma (σ) fazı oluşur. Yüksek sıcaklıktaki uygulama sırasında ortaya çıkan bu durum, çeliğin sertliğini artırdığı için bazen yararlı olabilir, ancak gevrekleşmeye neden olduğu ve korozyon direncini azalttığı için genellikle istenmez [59].

%21'den daha fazla krom içeren ferritik paslanmaz çeliklerde, tavlama sırasında östenit oluşmamasına karşın, uygun miktarda karbon içerdiklerinden yüksek sıcaklıklardan itibaren hızlı soğuma halinde ferrit tanelerinin sınırlarında krom karbür çökmesiyle karşılaşılabilir. Ana yapıdan kromun azalması çeliği taneler arası korozyona hassas hale getirir. Optimum korozyon direncini sağlamak için bir tavlama gereksinim duyulur. Yüksek kromlu bu çeliklerde, demir-krom metaller arası bileşiği olan sigma fazı, 430-760°C sıcaklık aralığında oluşmaya eğilimlidir. Çeliğin bileşiminde silisyum ve molibden gibi ferrit yapıcıların varlığı sigma fazının oluşumunu hızlandırdığı gibi bulunduğu sıcaklık alanını da genişletir. Tavlama için 760 ila 820°C önerilir ve sigma fazının oluşumunu önlemek için de hızlı soğutma yapılır.

1150°C'den yüksek sıcaklıklarda % 17 kromlu çelik, genellikle tamamen ferritik olmaktadır ve ferrit taneleri de çok çabuk irileşme eğilimi göstermektedir. Soğuma sürecinde ise östenit çoğu kez ferrit tane sınırlarında bir ağ şeklinde ve tanelerin içersinde Widmannstatten yapısında dilimler şeklinde çökmektedir. Bu çökme olayının, bu çeliklerin kaynak kabiliyeti ile büyük bir ilişkisi vardır. Çünkü östenitleşme sıcaklığında veya soğuma sürecinde oluşacak östenit, oda sıcaklığına soğuma sonucunda martenzite dönüşür. Bu martenzitin, östenitin olduğu 780°C sıcaklığa yeniden temperlenmesiyle ferrit+karbür oluşumu gerçekleşir [50].

Yüksek miktarlarda krom ve karbon içeren ferritik kromlu paslanmaz çeliklere, ITAB'ın özelliklerinin iyileştirilmesi bakımından 200 °C'lik bir ön tavlama uygulanabilir, diğer hallerde bu çeliklerin kaynağında bir ön tavlama uygulanmaz. Bu tür çeliklerde kaynaktan sonra 750 - 850 °C'lik bir tavlamaı takiben hızlı bir soğutma, ITAB'nin sünekliliğinin ve tanelerarası korozyona direncinin artmasına yardımcı olur [77].

4.4. AISI 1050 Karbon Çeliği

AISI 1050 çeliği, cer (vagon çeki kancası) kancaları, dişliler, kazmalar, krom kaplı miller, piston pimi, zincir pimleri, dişli miller, sonsuz dişliler, tırtıllı merdane, kam milleri, lift milleri, frezeli miller, otomobil ve motor aksamlarında kullanılırlar [78].

AISI 1050 çeliğinin mekanik özellikleri Çizelge 4.6'da, (%) kimyasal bileşimi ise Çizelge 4.7'de görülmektedir.

Çizelge 4.6. AISI 1050 çeliğinin mekanik özellikleri [79]

Malzeme	d 1000 (kg/m ³)	Poisson Oranı	E (GPa)	Max. Çekme Muk. (MPa)	Akma Muk. (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (HB)
AISI 1050	7,7-8,03	0,27- 0,30	190-210	636	365,4	23,7	39,9	187

Çizelge 4.7. AISI 1050 çeliğinin (%) kimyasal bileşimi [80]

Malzeme	Kimyasal Bileşim (%)				
AISI 1050	C	P(Max)	Mn	S(Max)	Si
	0,45- 0,55	0.04	0,6-0,9	0,05	0,15-0,35

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, AISI 304 kalite östenitik ve AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelikler ile AISI 1050 tip çelik malzemesi, Çizelge 5.1’de verilen kaynak parametreleri kullanılarak yakma alın kaynak yöntemiyle birleştirilip, birleştirilen numunelerin sertlikleri, çekme mukavemetleri ve mikroyapı özellikleri incelenerek birbirleri ile mukayeseleri yapılmıştır.

5.1. Malzeme

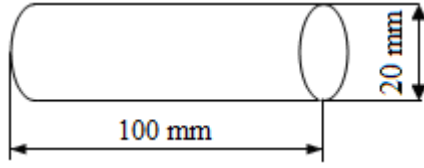
Çalışmalarda kullanılan AISI 430, AISI 304 ve AISI 1050 malzemelerinin kimyasal bileşimleri, Çizelge 5.2’de (AISI 430), Çizelge 5.3’de (AISI 304) ve Çizelge 5.4’de (AISI 1050) verilmiştir.

5.2. Materyal

Numuneler Şekil 5.1’de gösterildiği gibi 20 mm çapında ve 100 mm boyunda hazırlanarak, yüzey temizlikleri yapılmıştır. Hazırlanan numune çiftleri OSTİM’deki YAPAŞ ZİNCİR FABRİKASI’NDA, SCHLATTER marka yakma alın kaynak makinesi ile Çizelge 5.1’deki kaynak parametrelerine göre kaynatılmıştır. Kullanılan kaynak makinesinin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

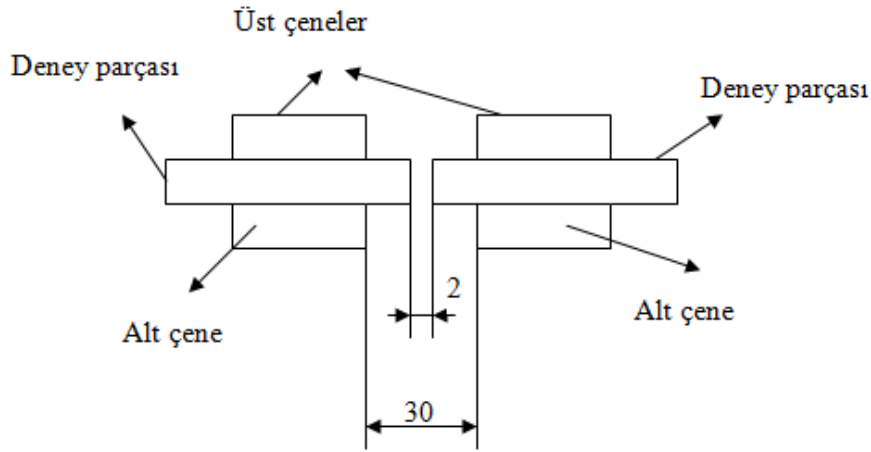
Yakma alın kaynak makinesinin özellikleri

Makine adı	Schlatter Aa 9/
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



Şekil 5.1. Kaynak numunesinin ölçüleri

Şekil 5.2’de gösterildiği gibi iki çene arası uzaklık 30 mm, parçaların alın yüzeyleri arasındaki uzaklık ise 2 mm olarak belirlenmiştir. Kaynak işleminde parçaların çenelere uzaklık mesafeleri belirlenirken kaynak makinesi firmasının verilen tablolara bağlı kalınmıştır.



Şekil 5.2. Numunelerin çeneye bağlanması

Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri

Malzeme (AISI)	Ön ısıtma (sn)	Voltaj (V)	Vuruş Basıncı (Bar)	Yığılma Basıncı (Bar)	Çene sıkma basıncı (Bar)	Yığılma Akım Zamanı (sn)	Akım kademesi	Numune Sayısı
304 - 304	2	20	2	6	2,5	2	1	5
304 - 430	2	20	2	6	2,5	2	1	5
430 - 430	2	20	2	6	2,5	2	1	5
304 - 1050	2	20	2	6	2,5	2	1	5
430 - 1050	2	20	2	6	2,5	2	1	5
1050 - 1050	2	20	2	6	2,5	2	1	5

Deneylerde, çenelerin sıkma yüzeylerinin temas direnci oluşturmaması için çene yüzeyleri temiz tutulmuştur.

Çizelge 5.2. AISI 430 paslanmaz çeliğine ait (%) kimyasal bileşim

Malzeme	(%) Kimyasal Bileşim						
AISI 430	C	Mn	Si	Cr	S	P	Fe
	0,12	1,00	0,905	17,801	0,03	0,04	80,104

Çizelge 5.3. AISI 304 paslanmaz çeliğine ait (%) kimyasal bileşim

Malzeme	(%) Kimyasal Bileşim							
AISI 304	C	Cr	Si	Mn	Ni	Fe	P	S
	0,08	19,404	0,95	1,904	8,298	69,299	0,040	0,025

Çizelge 5.4. AISI 1050 çeliğine ait (%) kimyasal bileşim

Malzeme	(%) Kimyasal Bileşim						
AISI 1050	C	P	Si	S	Mn	Cr	Ni
	0,55	0,04	0,319	0,04	0,801	0,12	0,018
	Nb	Ti	Fe	-	-	-	-
	0,004	0,003	98,105	-	-	-	-

5.3. Mekanik Deneyler

Sabit kaynak parametreleri kullanılarak kaynaklanan numunelere, çekme ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Test numuneleri, kaynak işleminden sonra her biri (5'er adet), çekme deneyi, sertlik ölçümleri ve mikroyapı fotoğrafları için gruplara ayrılmış ve her grup gerekli işlemlere tabi tutulmuştur. Numune hazırlıkları, kullanılan cihazlar ve özellikleri ile deneylerin yapıları konu başlıkları altında detaylı olarak belirtilmiştir.

5.3.1. Sertlik deneyi

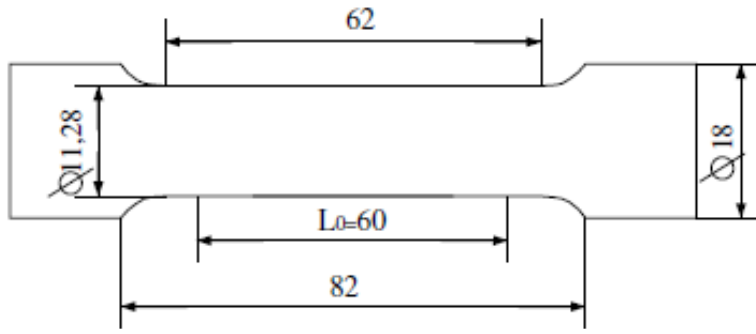
Bu deney için, kaynak numune çiftlerinden birer adet numune kullanılmıştır. Sertlik test numuneleri, 200, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanıp daha sonra keçeleme işlemiyle parlatılarak deney için standart yüzey kalitesi oluşturulmuştur. Yüzey kalitesi oluşturulan test numuneleri üzerinde boydan boya çizgisel bir hat belirlenip, belirlenen bu hat üzerinde 1 mm aralıklarla sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri için HV₅ sertlik ölçüm test metodu kullanılmıştır. Sertlik ölçümlerinde, EMCO - TEST marka SP - 1000 model cihaz kullanılmış olup Resim 5.1'de gösterilmiştir. Ölçülen sertlik değerleri kullanılarak sertlik grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Bölüm 6'da verilmiştir.



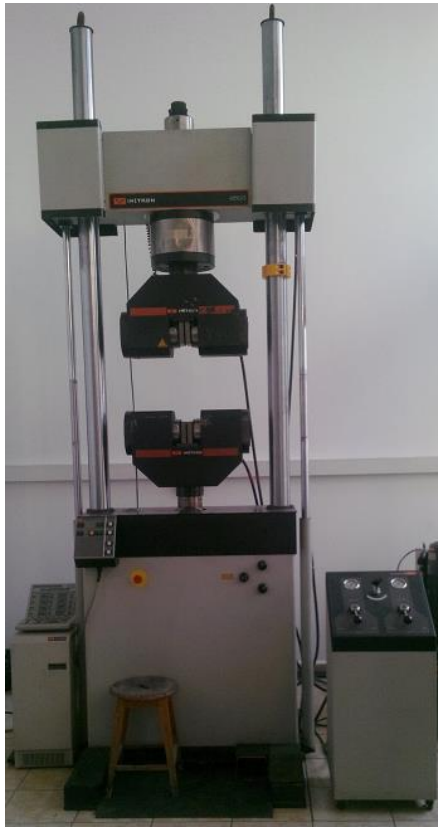
Resim 5.1. Sertlik test cihazı

5.3.2. Çekme deneyi

Çizelge 5.1’de verilen parametrelerde yakma alın kaynağı ile kaynatılan numune çiftlerinin her birinden dörder adet hazırlanmış, daha sonra Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde, TS 138 standartlarına uygun olarak CNC tezgahında çekmeye hazır hale getirilmiştir. Bu standartlara göre hazırlanan çekme numunesinin ölçüleri Şekil 5.3’de verilmektedir. Çekme testleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan INSTRON marka çekme test cihazında yapılmıştır. Test cihazı, Resim 5.2’de gösterilmektedir. Çekme cihazında 18 adet test gerçekleştirilerek veriler bilgisayar çıktıları olarak alınmıştır. Alınan sonuçlar Excel’de düzenlenerek numune çiftlerinin gerilim - gerinim grafikleri bulunmuştur. Bu grafikler Bölüm 6’da verilmiştir.



Şekil 5.3. Çekme numuneleri standardı (TS 138)



Resim 5.2. Çekme test cihazı

5.4. Mikroyapı İncelemesi

Mikroyapı incelemeleri için numuneler, Resim 5.3'de gösterilen zımpara ve parlatma cihazında sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalarla su altında zımparalanmış ve daha sonra özel mikroyapı incelemelerinde kullanılan keçe üzerinde sırasıyla 6 ve 3 μm elmas süspansiyonlar kullanılarak parlatmaları yapılmıştır. Kaynak numune çiftlerinin AISI 1050 kısımları %2 Nital dağlayıcı ile 2 sn süresince cam beher

içerisinde elde dağlanıp, AISI 304 ve AISI 430 kısımları ise 10 gr Oxcalid asit + 100 ml H₂O ile karıştırılarak elde edilen dağlayıcıda elektrolitik dağlama yöntemiyle dağlanmıştır. Elektrolitik dağlama cihazında numuneler, 15 V, amper 1,6 A kullanılarak 175 sn boyunca dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra parçalar yıkanıp yüzeyleri alkol ile temizlenip kurutularak mikroyapı resimleri çekilmiştir. Mikroyapı resimleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan LEİCA marka DM 4000M model metal optik mikroskobuyla çekilmiştir. Resim 5.4’de optik mikroskop gösterilmiştir.



Resim 5.3. Zımpara ve parlatma cihazı



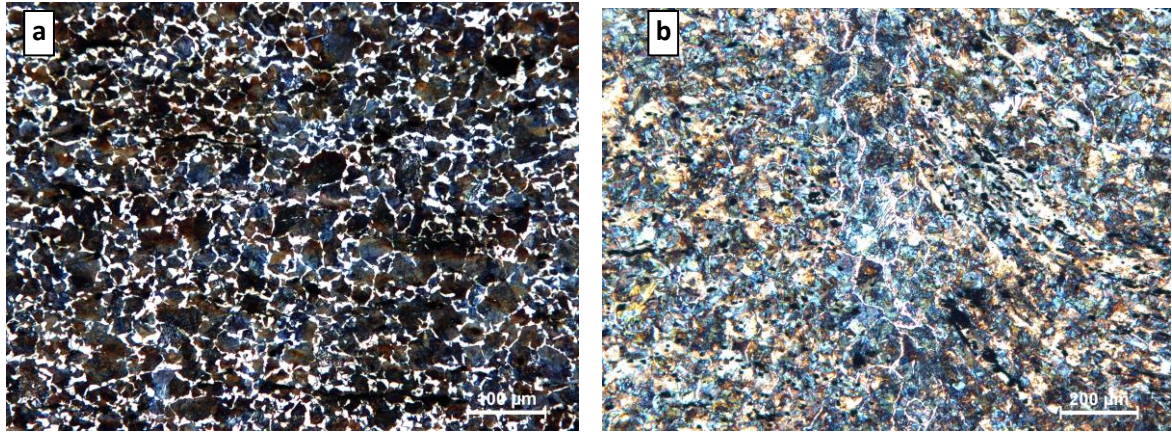
Resim 5.4. Optik mikroskop

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR

Endüstride birçok alanda kullanılan AISI 304, AISI 430 ve AISI 1050 malzemeleri sabit parametreler kullanılarak yakma alın kaynağı yöntemiyle kaynatılmış, kaynatılan numunelerin sertlikleri, çekme mukavemetleri ve mikroyapı özellikleri incelenmiş, bütün numunelere ait deney sonuçları, tartışmaları ve mukayeseleri aşağıda bölümler halinde verilmiştir. Deneylerde sabit olarak; yığma basıncı 6 bar, yığma akım zamanı ise 2 sn olarak belirlenmiş ve işlemler gerçekleştirilmiştir.

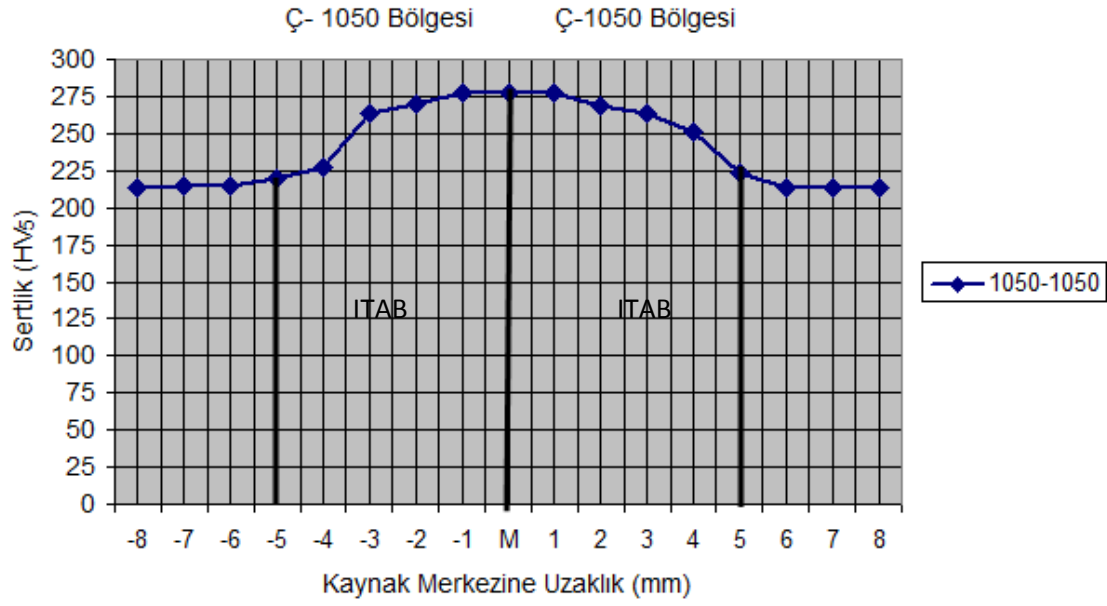
6.1. AISI 1050 - AISI 1050 Deney Numunesi

AISI 1050 - AISI 1050 numune çiftine ait kaynak ara yüzeyi ve ITAB ile ana malzeme mikroyapı fotoğrafları Resim 6.1’de verilmiştir.



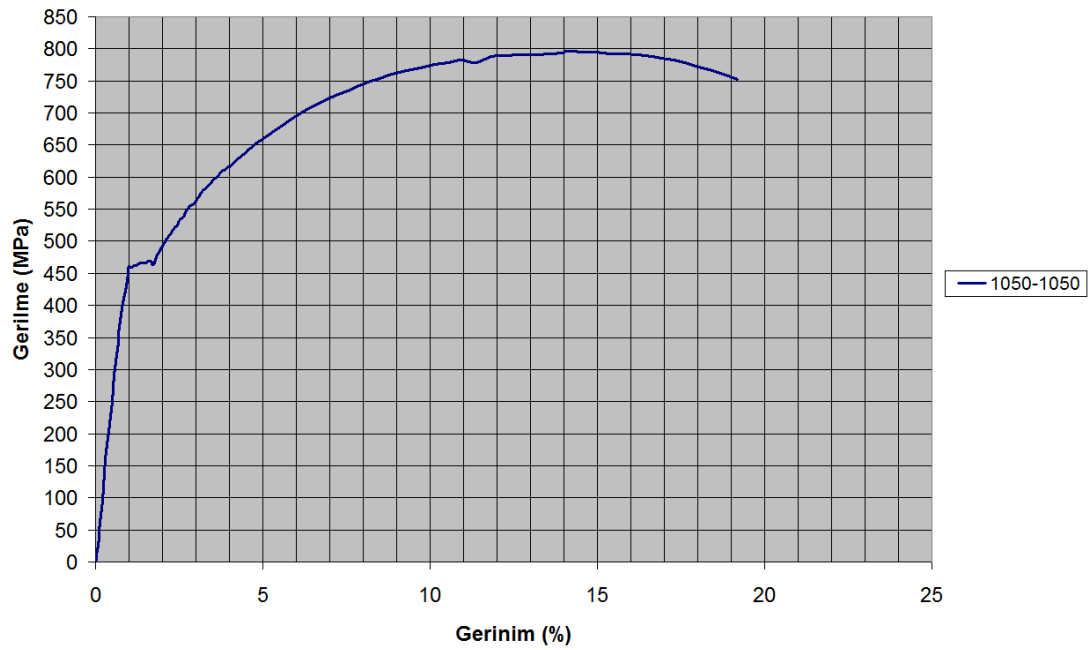
Resim 6.1. AISI 1050 - AISI 1050 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 1050 ana malzemesi, (b) kaynak ara yüzeyi ve ITAB

AISI 1050 - AISI 1050 çelik malzemelerinin birleşmelerine ait mikroyapı resimleri incelendiğinde ana malzemedeki (a), tipik homojen dağılmış perlitik yapıdan söz edilebilir. Birleşme bölgesine ait resim (b) incelendiğinde ise birleşme hattında widmanstatten kenar plakaların az miktarda varlığı görülmektedir, bu durum bölgede ergimenin net olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.1. AISI 1050 - AISI 1050 numunesinin sertlik grafiği

Şekil 6.1'de verilen AISI 1050 - AISI 1050 numunesine ait sertlik grafiğinde, klasik sertlik eğrisinin oluştuğu görülmektedir. Ana malzemeden, merkeze yani kaynak metaline (M noktası) doğru gidildikçe sertlik değerlerinin arttığı, merkezde en yüksek sertliğin elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.2. AISI 1050 - AISI 1050 numune çiftinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği

AISI 1050 - AISI 1050 çelik numune çiftlerinden alınan ortalama değer ile elde edilen gerilme - gerinme (uzama) grafiği Şekil 6.2’de verilmektedir. Şekil 6.2’de verilen çekme deney sonuçları incelendiğinde, çekme mukavemetinin 796 N/mm^2 ve uzama değerinin % 14,4 olduğu görülmektedir. Tüm test numune çiftleri içerisinde en yüksek çekme dayanımına sahip olanının AISI 1050 - AISI 1050 numune çiftinin olduğu tespit edilmiştir. AISI 1050 tip çeliğin çekme dayanımının yüksek olmasının gerek malzeme yapısı, gerekse kaynak yöntemlerine olan uygunluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Uygulanan kaynak işlemi ile birlikte AISI 1050 tane yapısının sünekleştiği, çekme dayanımının arttığı, aynı zamanda en yüksek % uzama miktarına sahip deney gruplarından biri olduğu görülmektedir.

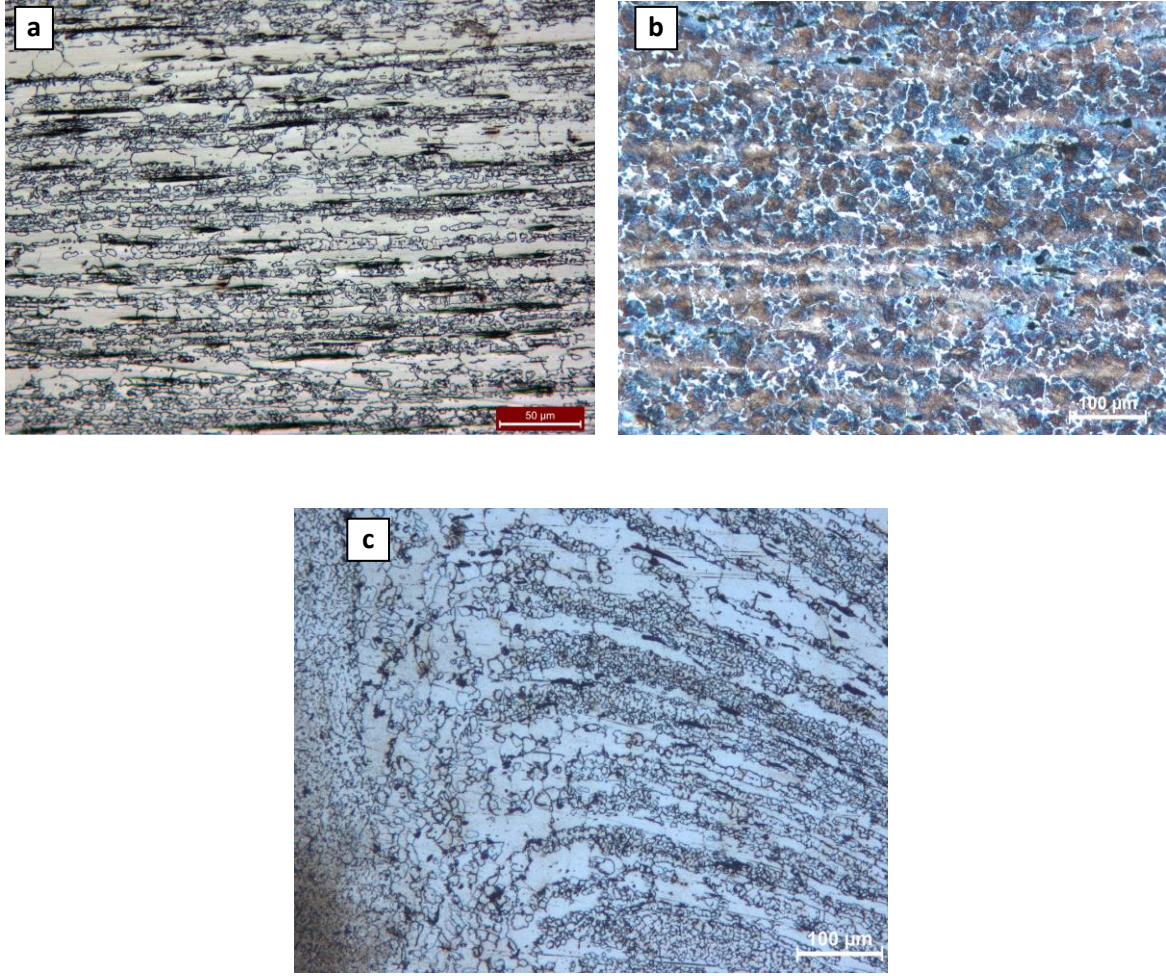


Resim 6.2. AISI 1050 - AISI 1050 çekme numunelerinin kopma bölgeleri

AISI 1050 - AISI 1050 çelik numune çiftlerine uygulanan çekme testlerinde, Resim 6.2’de görüldüğü üzere kopmaların ana malzemelerde gerçekleştiği görülmektedir.

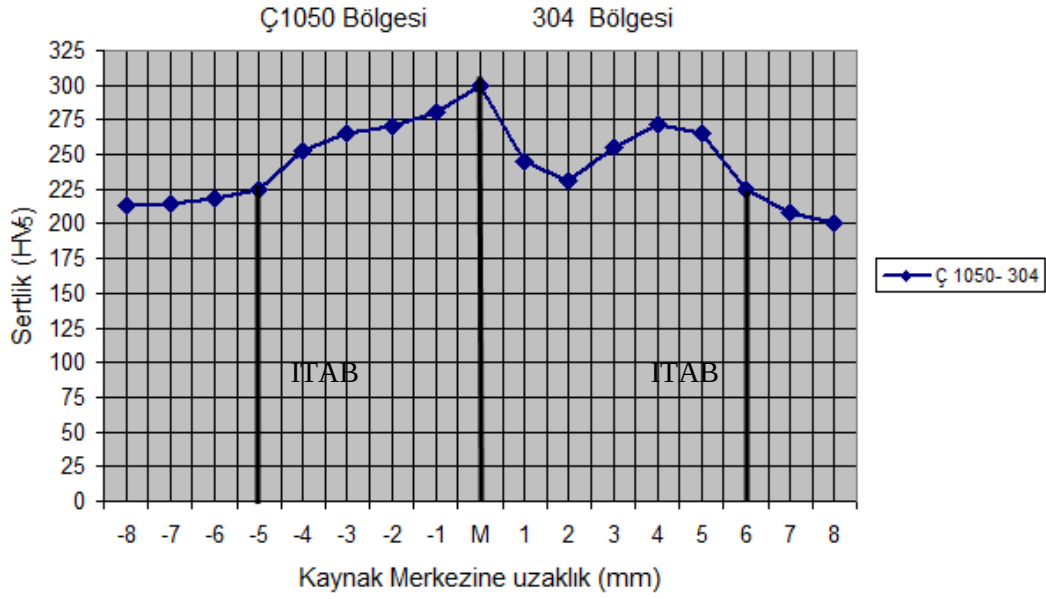
6.2. AISI 1050 – AISI 304 Deney Numunesi

AISI 1050 - AISI 304 numune çiftine ait kaynak ara yüzeyi ve ITAB ile ana malzeme mikroyapı resimleri Resim 6.3’de verilmiştir.



Resim 6.3. AISI 1050 - AISI 304 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 304 ana malzemesi, (b) AISI 1050 ana malzemesi (c) kaynak ara yüzeyi ve ITAB

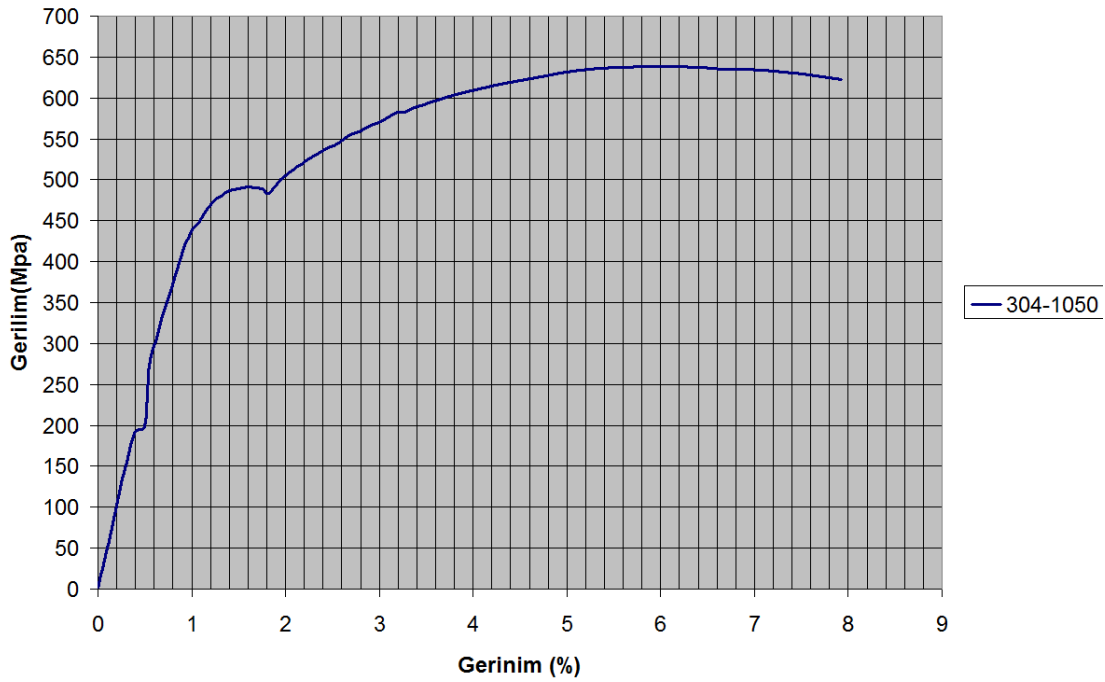
AISI 304 malzemesinin AISI 1050 ile yaptığı kaynaklı birleştirmeye ait mikroyapı resimleri incelendiğinde AISI 1050 tarafında tipik perlitik yapının varlığı belirgin olmayıp, aşırı ısınma ve hızlı soğumadan dolayı perlitlerin oldukça incelendiği ve izotermal dönüşüm sonucu üst beynitik yapılara benzer yapılardan söz edilebilir. Sertlik sonuçlarında bu bölgelerde alınan ortalama 300 HV₅'lik değerlerde bu yapıların varlığını belirler. AISI 304 tarafında ise birleşme bölgesinde fişkırmmanın net bir şekilde oluştuğu, birleşme bölgesinin bitiminde tane irileşmesinin oluştuğunu, ana malzeme tarafına geçildikçe tanelerin incelendiğinden ve bantlaşmanın varlığından söz edebiliriz.



Şekil 6.3. AISI 1050 - AISI 304 numunesinin sertlik grafiği

AISI 1050 - AISI 304 sertlik grafiği (Şekil 6.3) incelendiğinde, AISI 304’de daha düşük değerler elde edilirken, kaynak merkezine doğru ilerledikçe sertliğin ITAB’da bir miktar artarken, iri taneli bölgede düştüğü gözlenmiştir. Daha sonra ise ince taneli bölgede sertlik değerleri yükselmeye başlamış, kaynak merkezinde (kaynak metalinde) en yüksek değerlere ulaşılmıştır.

AISI 1050 tarafında ise sertlik değerinde ana malzemedan kaynak merkezine doğru ilerledikçe bir artış meydana gelmiştir. ITAB’da çok büyük düşüşler yaşanmamıştır. Yine merkez çizgide en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.4. AISI 1050 - AISI 304 numune çiftinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği

AISI 1050 - AISI 304 numune çiftlerinden alınan ortalama değerlerle elde edilen gerilme-gerinim(% uzama) grafiği Şekil 6.4’de verilmektedir. Şekil 6.4’de verilen çekme deney sonuçları incelendiğinde, çekme mukavemetinin 637 N/mm^2 ve uzama değerinin % 6,46 olduğu görülmektedir. AISI 304 paslanmaz çelik ile AISI 1050 tip çelik çiftinde çekme dayanımının daha düşük çıkmasının, malzemelerin sahip oldukları farklı ergime dereceleri, tane yapıları ve mekanik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

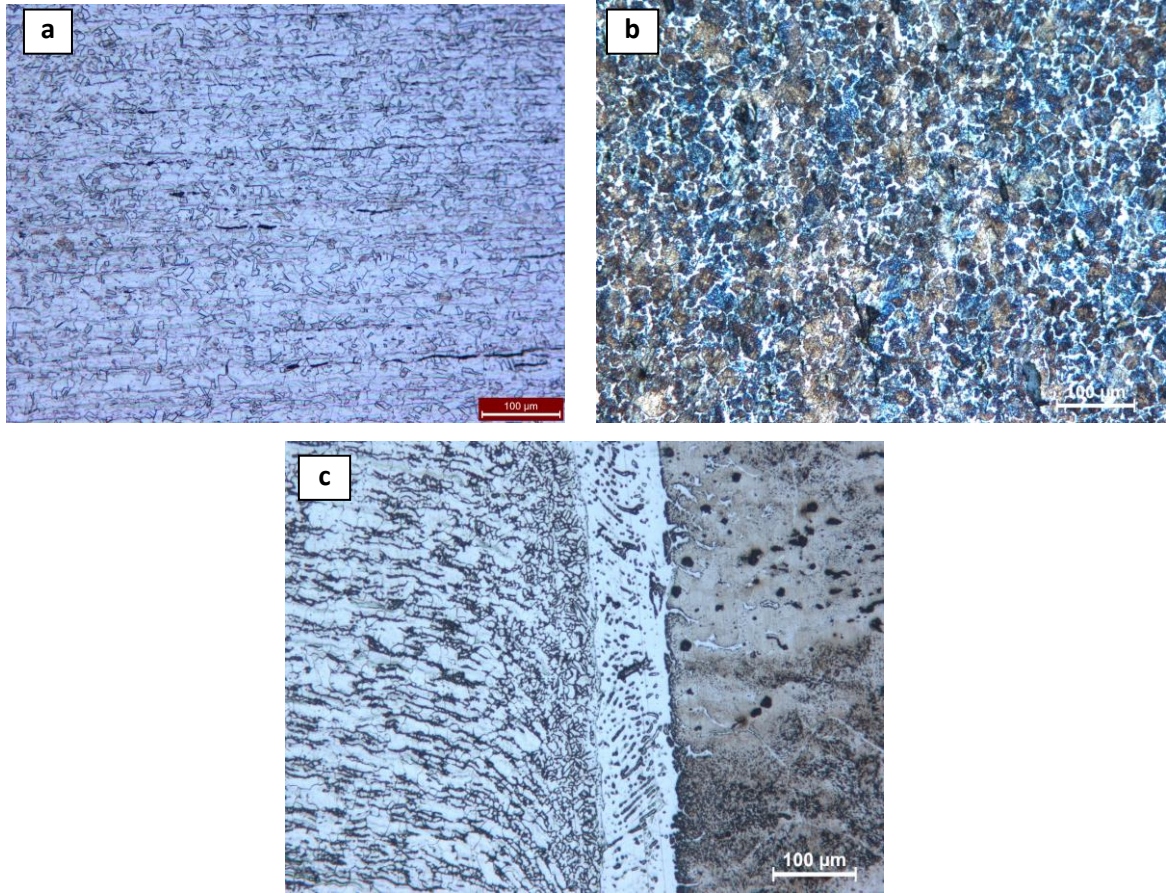


Resim 6.4. AISI 1050 - AISI 304 çekme numunelerinin kopma bölgeleri

AISI 1050 - AISI 304 numune çiftlerine uygulanan çekme testlerinde, kopmaların AISI 304 tarafında ITAB'da gerçekleştiği tespit edilmiştir (Resim 6.4).

6.3. AISI 1050 – AISI 430 Deney Numunesi

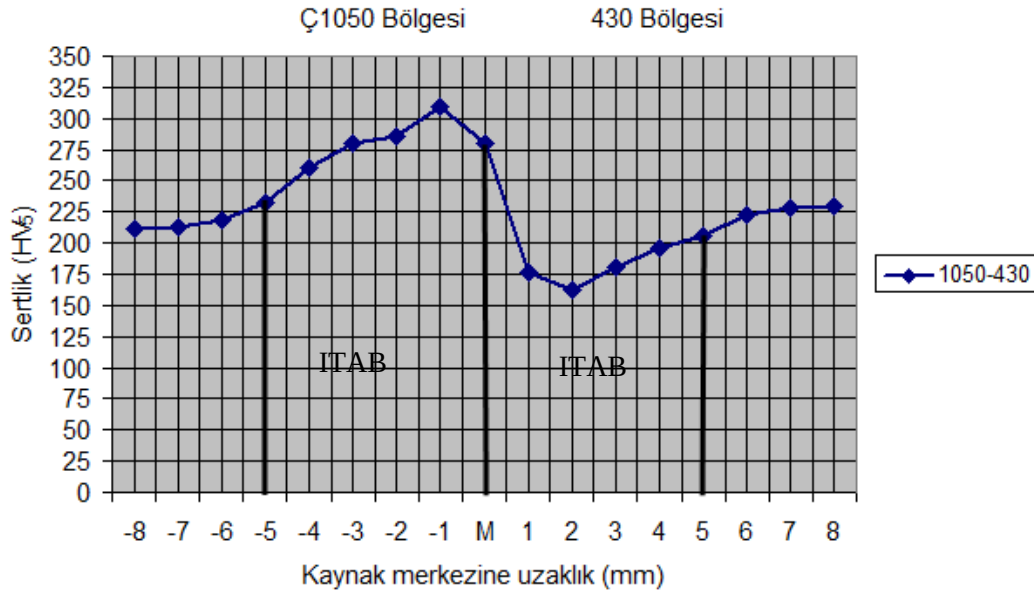
AISI 1050 - AISI 430 numune çiftine ait kaynak ara yüzeyi ve ITAB ile ana malzeme mikroyapı resimleri Resim 6.5'de verilmiştir.



Resim 6.5. AISI 1050 - AISI 430 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 430 ana malzemesi, (b) AISI 1050 ana malzemesi, (c) kaynak ara yüzeyi ve ITAB

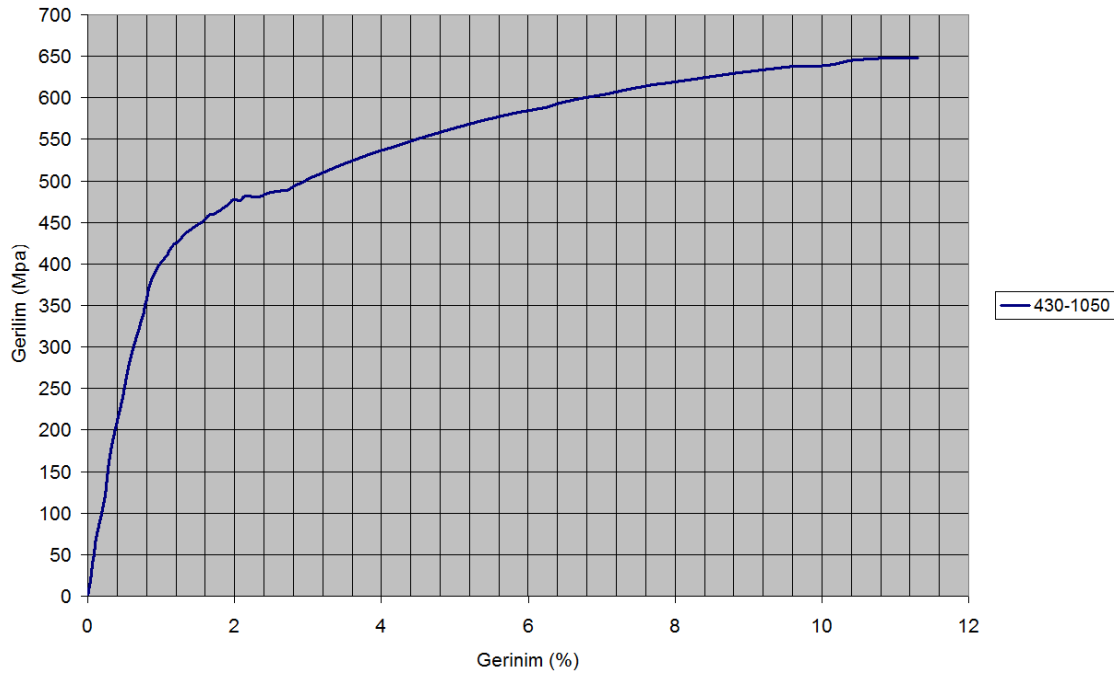
AISI 430 ferritik çelik malzemenin AISI 1050 ile birleştirilmesi sonucu oluşan mikroyapı resimleri incelendiğinde, AISI 430 ana malzeme tarafında daha iri taneler mevcuttur. Birleştirilen malzemelerin farklı ergime dereceleri ve yine farklı elektrik ve ısı iletkenliklerinden dolayı birleşme bölgesinde AISI 430 tarafında fişkırmaya bağlı bir yönelme ve tane incelmesi görülürken, AISI 1050 tarafında ise daha iri taneli bir yapı mevcuttur. Ayrıca tam ortada tamamen ergimiş hat olduğu da görülmektedir. Ana

malzeme resimleri incelendiğinde ise AISI 430 tarafında (a) ferritik bir yapıdan söz edilirken, AISI 1050 tarafında (b) ise tipik homojen dağılmış perlitik yapıdan söz edebiliriz.



Şekil 6.5. AISI 1050 - AISI 430 numunesinin sertlik grafiği

AISI 1050 - AISI 430 sertlik grafiği (Şekil 6.5) incelendiğinde, AISI 1050 ana malzemesinden kaynak merkezine doğru gidildikçe sertlikte artışlar meydana geldiği ve kaynak merkezinde biraz düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. AISI 430 tarafında ise özellikle ITAB'da ince taneli bölgede büyük sertlik düşüşlerinin olduğu ve yine merkezde en yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği görülmüştür.



Şekil 6.6. AISI 1050 - AISI 430 numune çiftinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği

AISI 1050 - AISI 430 numune çiftlerinden alınan ortalama değerlerle elde edilen gerilme - gerinim (% uzama) grafiği Şekil 6.6'da verilmektedir. Şekil 6.6'da verilen çekme deney sonuçları incelendiğinde, çekme mukavemetinin 648 N/mm^2 ve uzama değerinin % 11,3 olduğu görülmektedir. AISI 430 paslanmaz çelik ile AISI 1050 tip çelik çiftinde çekme dayanımının düşük çıkmasının yine, malzemelerin farklı ergime dereceleri, tane yapıları ve mekanik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

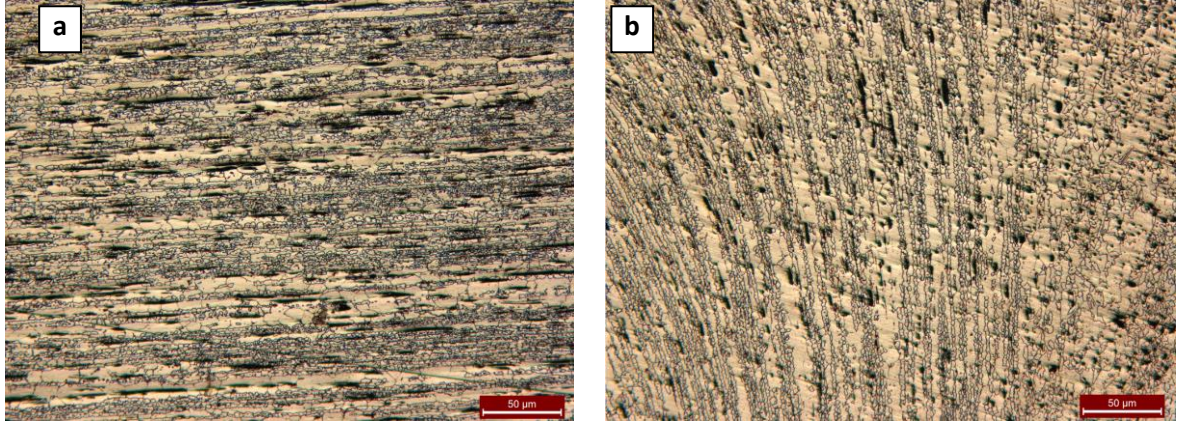


Resim 6.6. AISI 1050 - AISI 430 çekme numunelerinin kopma bölgeleri

AISI 1050 - AISI 430 numune çiftlerine uygulanan çekme testlerinde, kopmaların kaynak merkezinde yani ara yüzeyde gerçekleştiği tespit edilmiştir (Resim 6.6).

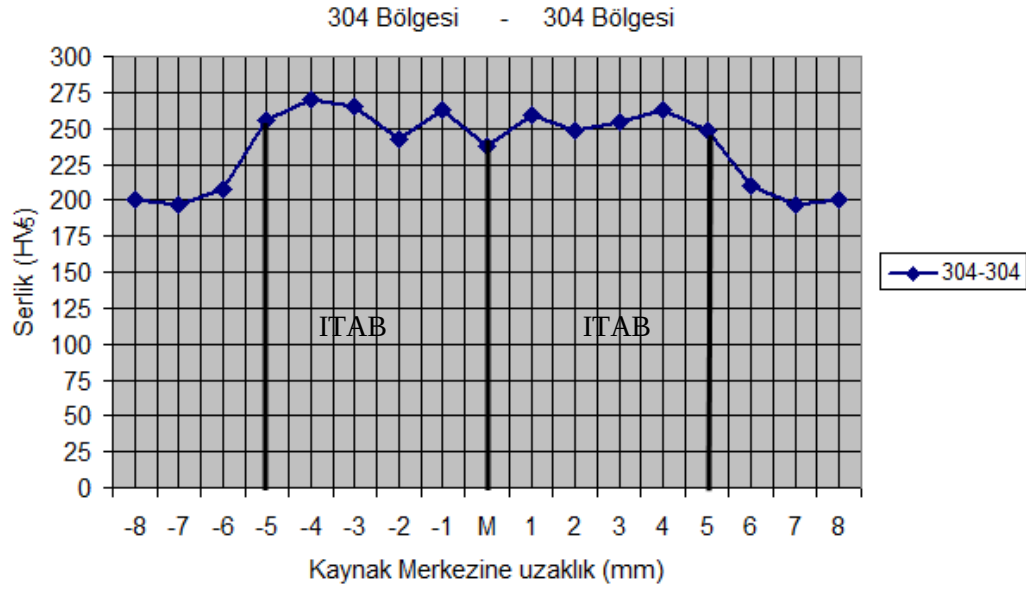
6.4. AISI 304 – AISI 304 Deney Numunesi

AISI 304 - AISI 304 numune çiftine ait kaynak ara yüzeyi ve ITAB ile ana malzeme mikroyapı resimleri Resim 6.7’de verilmiştir.



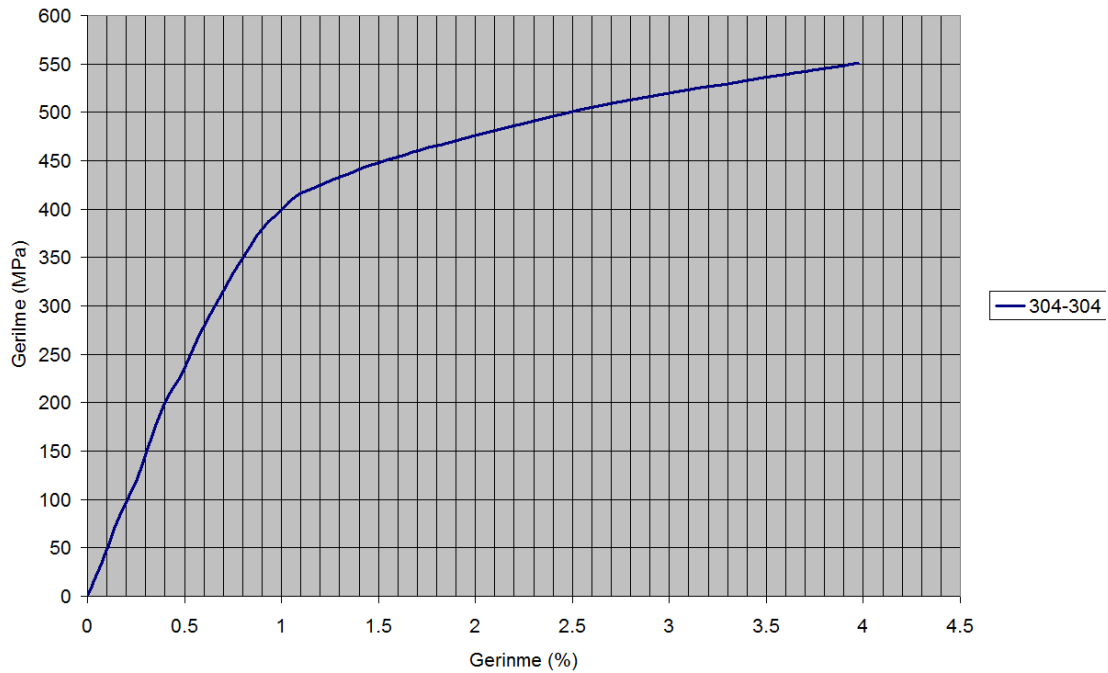
Resim 6.7. AISI 304 - AISI 304 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 304 ana malzemesi, (b) kaynak ara yüzeyi ve ITAB

AISI 304 - AISI 304 deney çiftinin birleştirilmesine ait mikroyapı resimleri incelendiğinde, birleşme bölgesinde uygulanan basınçla fişkırmaya bağlı yönlenmenin olduğu görülmektedir. Bu bölgede yeni oluşan tanelerle birlikte, ana malzemedeki bantlaşma eğilimindeki incelmış tanelerin ortadan kalktığı açıkça anlaşılmaktadır. Resimde görüldüğü gibi widmanstatten kenar levhalara benzer tane sınırlarından tane içlerine doğru büyümelerin olduğu görülmüştür. Ayrıca tane sınırı ideomorf ve topaksı çökeltilerin varlığından söz edilebilir.



Şekil 6.7. AISI 304 - AISI 304 numunesinin sertlik grafiği

AISI 304 - AISI 304 paslanmaz çelik çiftinde elde edilen sertlik eğrisinde (Şekil 6.7) ana malzemeden merkeze doğru sertlik artarken, sertlik farkı diğer grafiklere göre çok büyük fark göstermemektedir. Birleşme çizgisinde (M) yüksek ergimeye bağlı bir sertlik düşüşü görülmüştür. Burada en yüksek sıcaklık olduğunda, toparlanma ve yeniden kristalleşmenin bu bölgede daha etkili olduğu ve deformasyonun etkilerini azalttığı düşünülmektedir.



Şekil 6.8. AISI 304 - AISI 304 numunesinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği

AISI 304 - AISI 304 numune çiftlerinden alınan ortalama değerlerle elde edilen gerilme-gerinim (% uzama) grafiği Şekil 6.8’de verilmektedir. Şekil 6.8’de verilen çekme deney sonuçları incelendiğinde, çekme mukavemetinin 551 N/mm^2 ve uzama değerinin % 3,97 olduğu görülmektedir. En düşük çekme dayanımı AISI 304 - AISI 304 tipi paslanmaz çelik çiftinde tespit edilmiştir. Çekme dayanımının düşük olmasında mikro yapı fotoğraflarında da görülen topaksı ve ideomorf yapının etkili olduğu düşünülmektedir. Bu topaksı ve ideomorf yapının mekanik özellikleri düşürdüğü bilinmektedir.

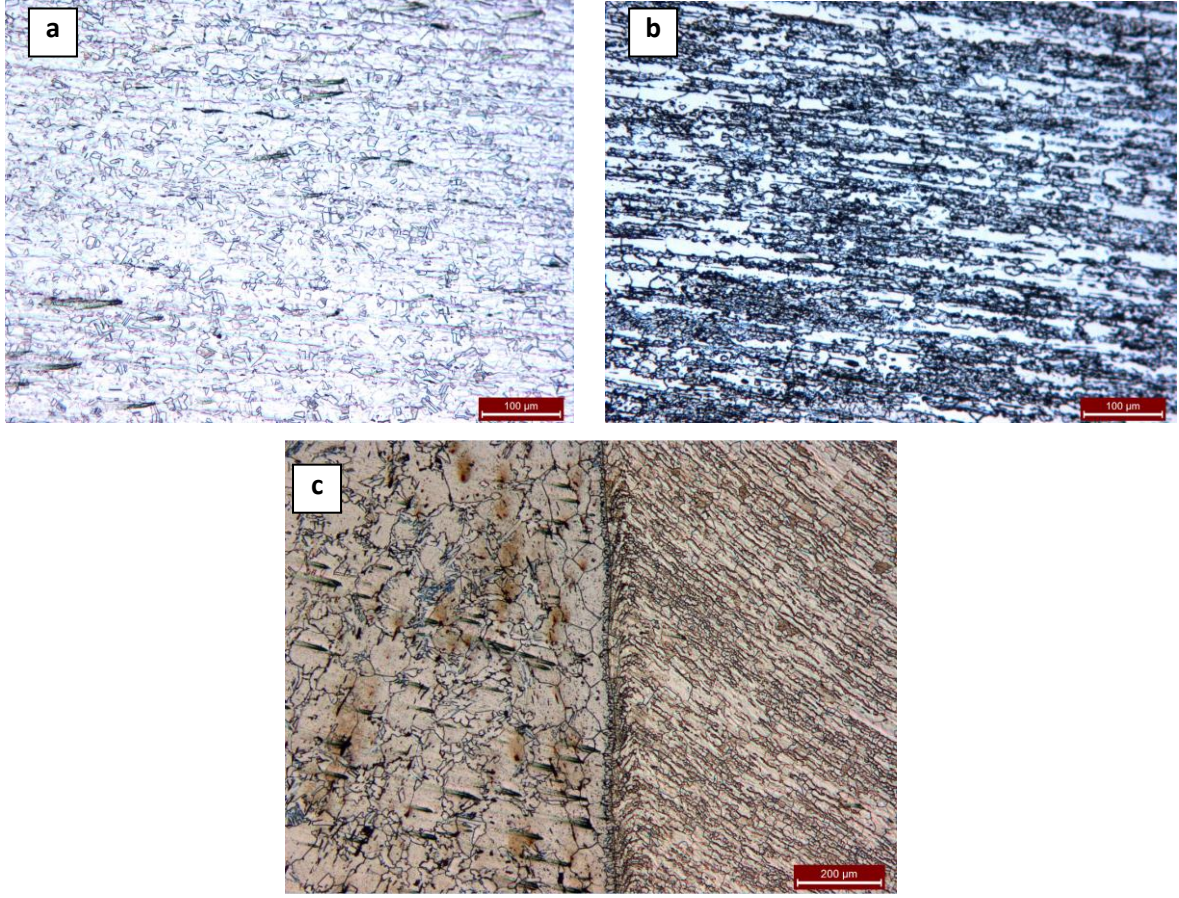


Resim 6.8. AISI 304 - AISI 304 çekme numunelerinin kopma bölgeleri

AISI 304 - AISI 304 numune çiftlerine uygulanan çekme testlerinde, kopmaların tümünün ara yüzeylerde gerçekleştiği tespit edilmiştir (Resim 6.8).

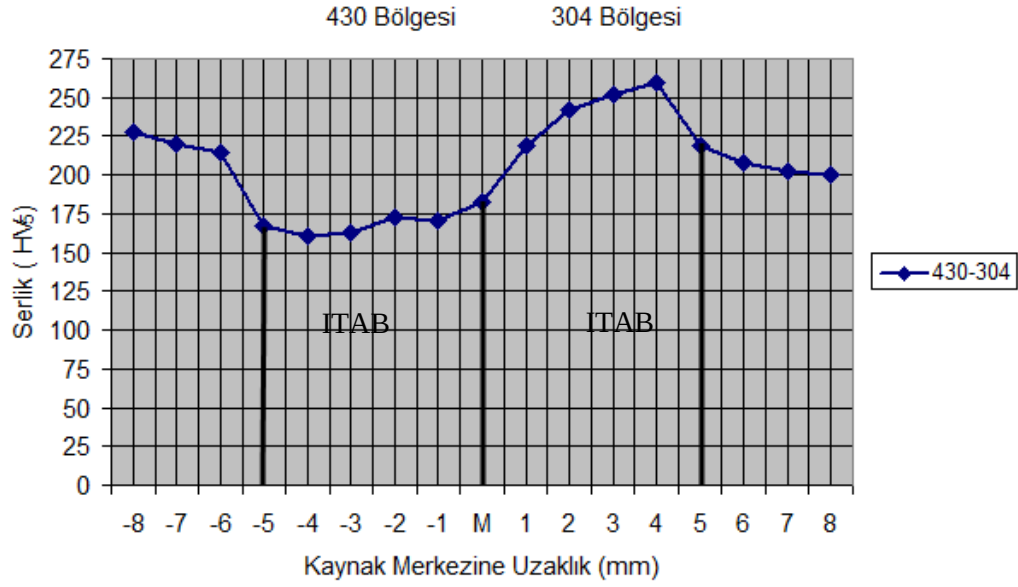
6.5. AISI 430- AISI 304 Deney Numunesi

AISI 430 - AISI 304 numune çiftine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı resimleri Resim 6.9’da verilmiştir.



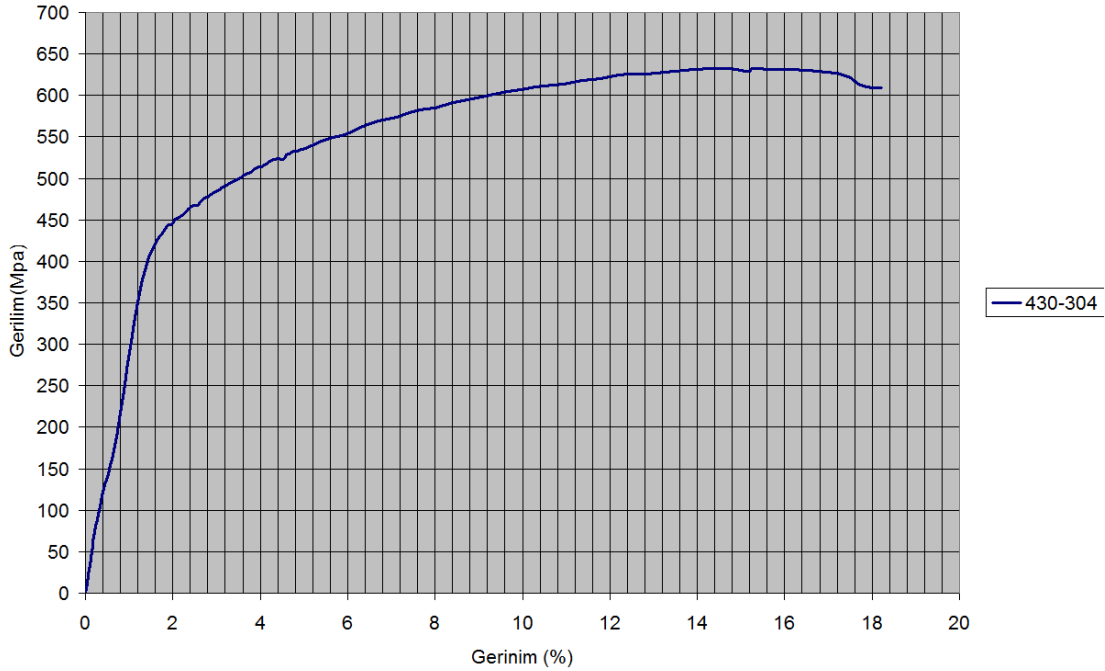
Resim 6.9. AISI 430 - AISI 304 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 430 ana malzemesi, (b) AISI 304 ana malzemesi, (c) kaynak ara yüzeyi ve ITAB

AISI 430 - AISI 304 deney çiftine ait mikroyapı resimleri incelendiğinde, AISI 304 tarafında birleşme hattının hemen yanında ergime olmadığı, yüksek sıcaklığa bağlı aşırı tane büyümesinin olduğu görülmektedir. AISI 430 tarafında ise ana malzemede bantlaşmış ince tanelerin olmadığı gözlenmiş ve sıcak plastik olarak akan tanelerin kaynak işlemi sırasında daha hızlı ergidiği düşünülmektedir. İki malzemedeki ergime farklılığından dolayı birleşmenin hat şeklinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6.9. AISI 430 - AISI 304 numunesinin sertlik grafiği

Şekil 6.9'da verilen sertlik grafiği incelendiğinde, AISI 430 - AISI 304 deney çiftinin kaynağında ana malzemede çok büyük sertlik farkı bulunmazken, iri taneli bölge için AISI 304 tarafında sertlik yükselmesi, AISI 430 tarafında ise böyle bir sertlik artışının olmadığı görülmüştür. Birleşme bölgesinde ise düşük sertliğin elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.10. AISI 430 - AISI 304 numunesinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği

AISI 430 - AISI 304 numune çiftlerinden alınan ortalama değerlerle elde edilen gerilme-gerinim (% uzama) grafiği Şekil 6.10'da verilmektedir. Şekil 6.10'da verilen çekme deney sonuçları incelendiğinde, çekme mukavemetinin 632 N/mm^2 ve uzama değerinin % 14,7 olduğu görülmektedir. AISI 430 ve AISI 304 tipi paslanmaz çeliklerinin birbirleri ve kendileriyle yapılan birleştirmelerde oluşan krom karbürlerin çekme dayanımlarını düşürdüğü düşünülmektedir.

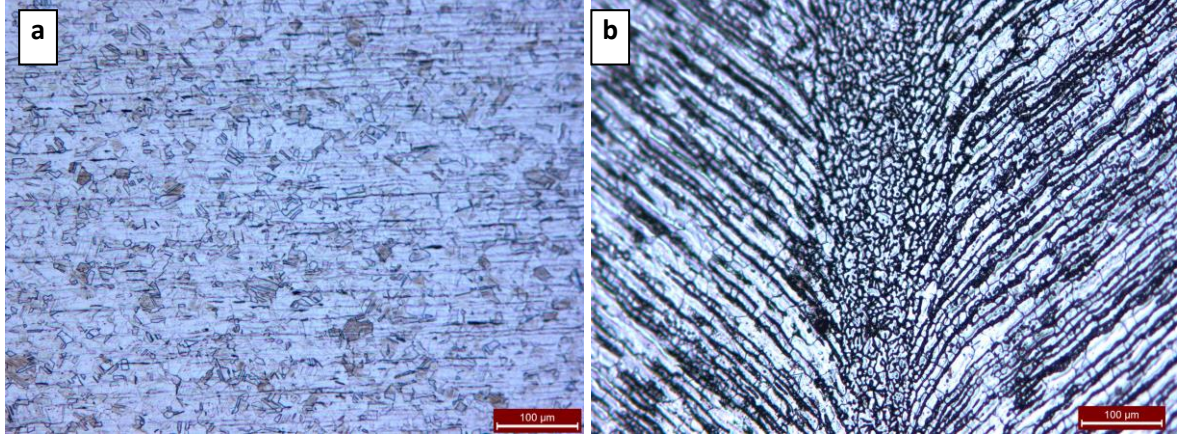


Resim 6.10. AISI 430 - AISI 304 çekme numunelerinin kopma bölgeleri

Resim 6.10'da AISI 430 - AISI 304 numune çiftlerinin çekme testleri sonucunda oluşan kopma bölgeleri verilmiştir. Kopmaların tümünün ara yüzeyde yani kaynak metalinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

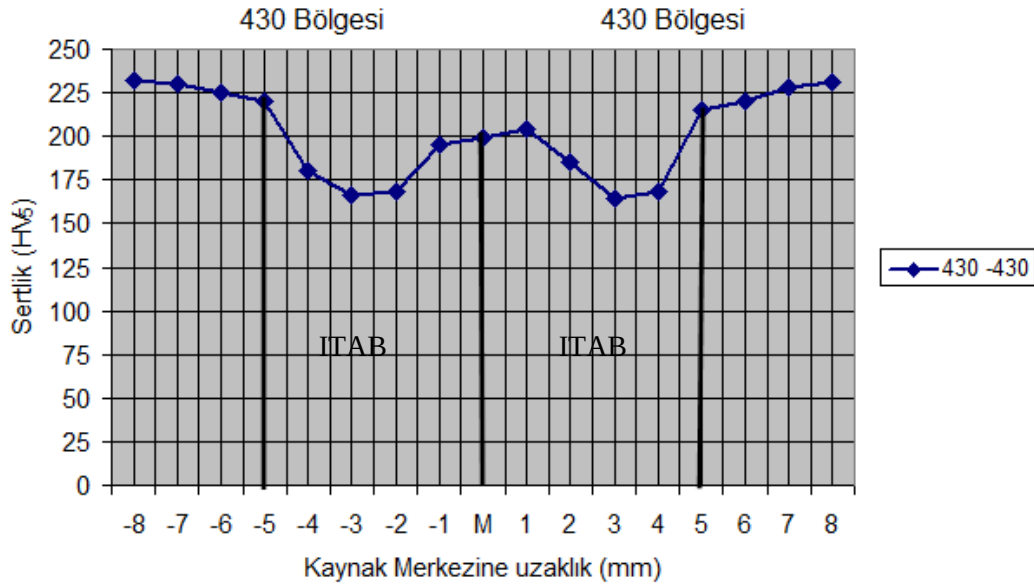
6.6. AISI 430 – AISI 430 Deney Numunesi

AISI 430 - AISI 430 numune çiftine ait kaynak ara yüzeyi ve ITAB ile ana malzeme mikroyapı resimleri Resim 6.11'de verilmiştir.



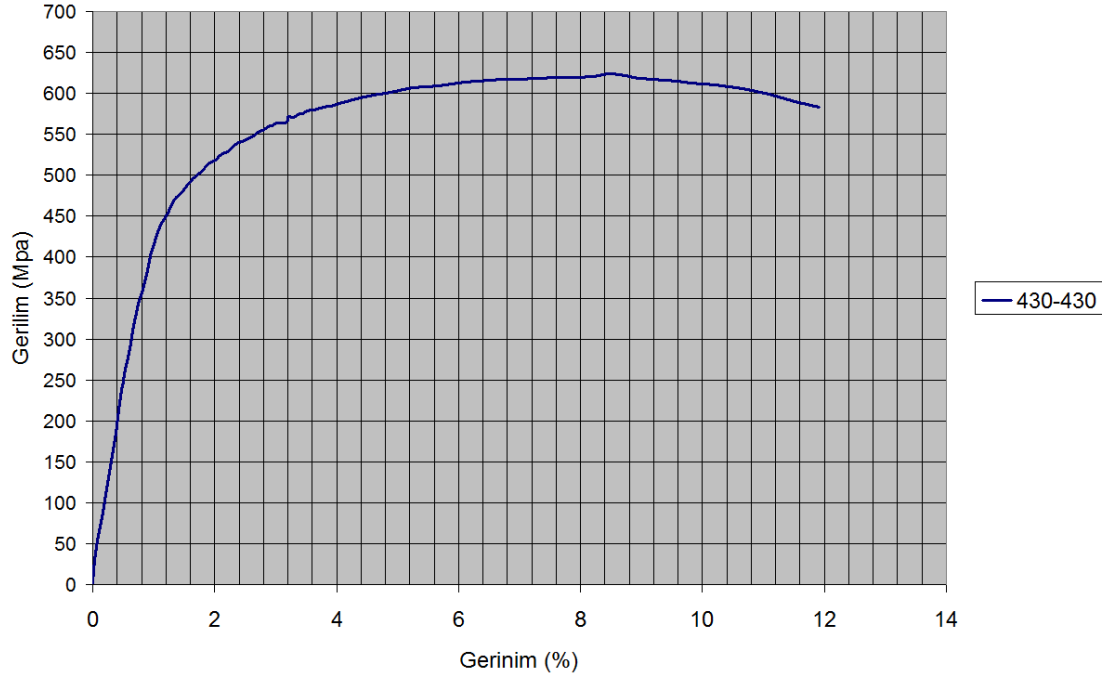
Resim 6.11. AISI 430- AISI 430 numunesine ait mikroyapı resimleri (a) AISI 430 ana malzemesi, (b) kaynak ara yüzeyi ve ITAB

AISI 430 - AISI 430 deney çiftine ait mikroyapı resimleri incelendiğinde, AISI 430'un sahip olduğu tipik yönlenmiş yapının yanında birleşme hattında yüksek sıcaklığa bağlı aşırı ergimeden dolayı hızlı katılaşma sonucunda tanelerin incelendiği görülmüştür. Kaynak bölgesinde yine basınca ve ergimeye bağlı fişkırmamanın varlığı etkilidir.



Şekil 6.11. AISI 430 - AISI 430 numunesinin sertlik grafiği

Aynı paslanmaz çelik çiftine ait grafikte (Şekil 6.11) diğer AISI 430 malzemesinde elde edilen grafiklerde olduğu gibi ana malzemedan kaynak merkezine ilerledikçe sertliklerde düşüşler olduğu tespit edilmiştir. Kaynak merkezinde bir miktar yükselse de bu değer ana malzemedeki değere erişmediği görülmüştür.



Şekil 6.12. AISI 430 - AISI 430 numunesinin gerilme - gerinme (% uzama) grafiği

AISI 430 - AISI 430 numune çiftlerinden alınan ortalama değerlerle elde edilen gerilme - gerinim (% uzama) grafiği Şekil 6.12’de verilmektedir. Şekil 6.12’de verilen çekme deney sonuçları incelendiğinde, çekme mukavemetinin 623 N/mm^2 ve uzama değerinin % 8,5 olduğu görülmektedir. AISI 430 - AISI 430 tipi paslanmaz çeliklerinin birleştirmelerinde oluşan krom karbürlerin çekme dayanımını düşürdüğü düşünülmektedir.



Resim 6.12. AISI 430 - AISI 430 çekme numunelerinin kopma bölgeleri

AISI 430 - AISI 430 numune çiftlerine uygulanan çekme testlerinde, kopma bölgelerinden ikisinin ara yüzeyde, diğerinin ise ara yüzeye yakın ITAB noktasında olduğu görülmüştür.

Tüm çekme testi deney numunelerinin kopma bölgeleri incelendiğinde; AISI 1050 - AISI 1050 deney çiftlerinde kopmaların ana malzemelerde olduğu, uzamaların ise büyük oranda kopma bölgelerinde gerçekleştiği görülmüş ve % 14,4 uzama değeri ile (%) uzamanın en fazla olduğu çelik çiftlerinden birisi olduğu tespit edilmiştir. AISI 1050 - AISI 430 deney çiftlerinde kopmaların kaynak merkezinde (ara yüzeylerde) olduğu, uzamanın AISI 430 malzemesinde AISI 1050 çeliğine göre daha fazla olduğu görülmüştür. AISI 430 - AISI 304 deney çiftlerinde kopmaların yine kaynak merkezlerinde (ara yüzeylerde) olduğu, uzamaların ise AISI 430 malzemelerinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir ayrıca uzama değerinin % 14,7 ile kaynak çiftleri içerisinde en yüksek uzama değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. AISI 430 - AISI 430 deney çiftlerinde kopmaların ikisinin ara yüzeyde, diğerinin ise ara yüzeye çok yakın ITAB'da gerçekleştiği görülmüştür. AISI 304 - AISI 304 deney çiftlerinde kopmaların kaynak merkezlerinde (ara yüzeylerde) gerçekleştiği görülmüştür, ayrıca uzamanın % 3,97 ile en az olduğu çelik çiftinin bu grup olduğu tespit edilmiştir. AISI 1050 - AISI 304 çelik çiftlerinde kopmaların tamamının kaynak merkezi dışında AISI 304 ana malzemesi tarafında ITAB' da gerçekleştiği görülmüştür. Bu çelik çiftindeki uzama değerinin ise % 6,46 olduğu görülmektedir.

Aşağıda kaynak çiftlerinin sabit olarak kullanılan bazı yakma alın kaynak parametreleri ile birlikte çekme deneylerinin sonuçları birlikte verilmektedir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Test numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme deney sonuçları

Numune adı (AISI)	Basınç (Bar)	Yığma akım zamanı (sn)	Max. Çekme (N/mm ²)	Lo (mm)	Yer değiştirme (mm)
1050-1050	6	2	796	60	7,21
1050-430	6	2	648	60	5,65
1050-304	6	2	637	60	3,23
430-430	6	2	623	60	4,26
304-304	6	2	551	60	1,98
304-430	6	2	632	60	7,37

Birleştirilmiş çelik çiftlerinin kaynak merkezlerinde ölçülen sertlik değerleri Çizelge 6.2'de verilmektedir.

Çizelge 6.2. Kaynak çelik çiftlerinin kaynak merkezindeki sertlik değerleri

Çelik çiftleri (AISI)	1050-1050	1050-430	1050-304	430-430	430-304	304-304
Sertlik değeri (HV ₅)	277	280	300	199	183	238

Çelik çiftlerinin kaynak merkezinde ölçülen sertlik değerlerine bakıldığında en yüksek değerin AISI 1050 - AISI 304 çelik çiftinde 300 HV₅ olduğu görülmektedir. En düşük değerinse AISI 430 - AISI 304 çelik çiftinde 183 HV₅ olduğu tespit edilmiştir. Kaynak merkezinde ölçülen sertlik değerleri büyükten küçüğe doğru AISI 1050 - AISI 304 (300 HV₅), AISI 1050 - AISI 430 (280 HV₅), AISI 1050 - AISI 1050 (277 HV₅), AISI 304 - AISI 304 (238 HV₅), AISI 430 - AISI 430 (199 HV₅), AISI 430 - AISI 304 (183 HV₅) şeklinde sıralandığı görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

1. Malzemelerin çekme test sonuçları incelendiğinde en yüksek çekme dayanımına AISI 1050 - AISI 1050, en düşük çekme dayanımına ise AISI 304 - AISI304 çelik çiftinin sahip olduğu tespit edilmiştir. AISI 304- AISI 304 çiftinde mikroyapıda görülen topaksı ve ideomorf yapının çekme dayanımını düşürdüğü düşünülmektedir.
2. Çelik çiftlerinin çekme mukavemetlerinin büyükten küçüğe doğru AISI 1050- AISI 1050, AISI 1050 - AISI 430, AISI 1050 - AISI 304, AISI 430 - AISI 304, AISI 430 - AISI 430 ve AISI 304 - AISI 304 şeklinde sıralandığı görülmüştür.
3. Orta karbonlu çelik olarak kabul edilen AISI 1050 çeliğinin en yüksek çekme mukavemetine sahip olmasının, gerek kimyasal alaşım ve mekanik özelliklerinin üstünlüğü, gerekse sahip olduğu yüksek kaynak edilebilirlik özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda benzer yapıdaki malzemelerin birbirleriyle kaynak edilebilirliği daha da yüksek olduğundan ortaya çıkan birleşmenin de mekanik özelliklerinin yüksek olduğu görülmüştür.
4. Farklı malzemelerin birbiriyle yapılan kaynağında, AISI 1050 ile yapılan birleştirmelerin yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu görülürken, paslanmaz çelik çiftlerin gerek krom karbür çökmesine bağlı olarak, gerekse bimetal özelliklerine bağlı olarak daha düşük çekme dayanımları elde ettiği görülmüştür.
5. Çelik çiftlerinin çekme testlerindeki % uzamaları incelendiğinde ise paslanmaz çelik malzemelerde büyük sorun olan krom karbür çökmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Tane sınırlarında meydana gelen krom karbürlerin malzemelerin çekme dayanımlarını düşürdüğü tespit edilmiştir.
6. AISI 304 tipi paslanmaz çelik malzemenin hem kendi hem de diğer çelik tipleriyle kaynaklanması sonucu elde edilen görüntüler incelendiğinde özellikle 304 ana malzemedede homojen bir yapıya sahip olmadığı, genellikle hadde yönüne uzamış bantlı tanelerin içerisinde termomekanik etkiye bağlı tane incelmesi görülmüştür.
7. Çekme numunelerinde kopmalar; AISI 1050 - AISI 430, AISI 430 - AISI 304, AISI 304 - AISI 304 ve AISI 430- AISI 430 deney çiftlerinde kaynak metalinde (ara yüzeylerde), AISI 1050 - AISI 1050 deney çiftlerinde kopmaların tamamı ana malzemelerde gerçekleşmiştir. AISI 1050 – AISI 304 deney çiftlerinde ise AISI 304 tarafında ITAB'da gerçekleşmiştir.

8. AISI 304 ve AISI 1050 malzemelerinin en yüksek sertlik değerleri kaynak bölgesinde (ITAB) görülürken, AISI 430 paslanmaz çeliğinin sertlik değerlerinin kaynak bölgesinde d     ler yaşadığı tespit edilmiştir.
9. AISI 1050 malzemesinin kaynak edildiği numune çiftlerinde sertlik değerlerini ve çekme mukavemetini yukarı çektięi g r lm   t r.
10. Kaynak merkezinde ölçülen sertlik değerlerinin büyükten küçüğe doğru AISI 1050-AISI 304, AISI 1050 - AISI 430, AISI 1050 - AISI 1050, AISI 304 - AISI 304, AISI 430 - AISI 430, AISI 430 - AISI 304 şeklinde sıralandığı tespit edilmiştir.
11. Literatür çalışmalarında çekme deneyleri genellikle 2-10 mm/dak hızında yapılırken, kullandığımız deney makinesinin sınırlı imkanlarına bağlı olarak 25,4 mm/dak çekme hızında deneyler yapılmıştır. Yüksek hızda yapılan çekme deneylerinde yüksek hıza bağlı olarak çekme dayanımları literatür çalışmalarının üzerinde çıkmıştır.

7.2.  neriler

1. Aynı veya farklı  elik çiftlerinin yakma alın kaynağı ile birle tirilmelerinde değişken kaynak parametrelerinin kullanılması, sonuçların değerlendirilmesinde mukayese bilgilerini artıracadıından daha geniş bakış açısı sunabilir.
2. Bu çalışmada, çekme numunelerindeki kopmalar; AISI 1050 - AISI 430, AISI 430 - AISI 304, AISI 304 - AISI 304 ve AISI 430- AISI 430 deney çiftlerinde kaynak metalinde (ara yüzeylerde) gerçekleşmiştir. Çalışmada kullanılan AISI  eliklerinin AISI 316 gibi başka bir malzeme ile değişken kaynak parametreleri kullanılarak çalışması yapılp, çekme kopmalarının kaynak metaline (ara yüzeylere) olan etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Kahraman, N. ve Durgutlu, A. (2005). 316L paslanmaz çelik ile bakır levhaların örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması, *Teknoloji Dergisi*, 8, 1, 43-50.
2. Durgutlu, A. Kahraman, N. ve Gülenç, B. (2005). Bakır ve çelik levhaların örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi ve arayüzey özelliklerinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Gazi Üniv. 20, 2, 183-189.
3. Kahraman, N. ve Gülenç, B. (2009). *Modern kaynak teknolojisi*, Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti, Ankara.
4. Çalık, A. (2004). *Elektron Işın Kaynağı ile Birleştirilmiş İki Farklı Çelik Malzemenin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
5. Baylan, O. (2004). *Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik- Martenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikroyapı ile Özellikler Arasında İlişkinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Zonguldak, 3-33.
6. Tülbentçi, K., Yılmaz, M. (1990). *Yakma Alın Kaynağı. Kaynak Dünyası*, Birsen Basımevi, İstanbul, 14-25.
7. Anık, S. (1983). *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar*, 1 Birsen Basımevi, İstanbul, 40-50.
8. Yılmaz, M. Kaluç, E. Tülbentçi, K. (1993). *C45 karbonlu çelik ile HSS 6-5-2 yüksek hız çeliğinin yakma alın kaynağında kaynak ara yüzeyinin incelenmesi*. *Science Technolofgy weld join*, 286-288.
9. Anık, S. (1983). *100 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, 7-34.
10. Eryürek, B. (1982). *Elektrik Direnç Kaynağı*, Mühendis ve Makine, 24, 22-28.
11. Gültekin, N. (1985). *Kaynak Tekniği*, Y.Ü Yayınları. 184. İstanbul, 12-27, 36-37.
12. Aslanlar, S. (1999). *Galvanizli Kromatlı Mikro Alaşımlı Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-80.
13. Vural, M. (1992). *Galvanizli Çelik Saçların Karbonlu ve Ferritik Paslanmaz Çelikler ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Davranışına ve Bağlantının Dayanımına Etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-45.
14. Anık, S., Anık, E.Sabri., Vural, M. (1993). *1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı. 1, kaynak yöntemleri ve donanımları*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 186-195.

15. Anık, S. (1991). *Kaynak tekniği el kitabı, yöntemler ve donanımlar*, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 124-131.
16. MEGEP. (2006). *Motorlu araçlar teknolojisi direnç kaynağı ve lehimleme*. Ankara, 5, 17-19.
17. Arabacı, U. (2003). *16MnCr5 Çeliğine Yakma Alın Kaynak Uygulaması ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-90.
18. Gülenç, B. (2000). *Elektrik direnç kaynağı ders notları*, Gazi üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, Ankara, 3-8.
19. Anık S., Anık E. S., Vural M. (1981). *1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı*, 1., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 200-211.
20. Anık, S., Anık, E. Sabri., Vural, M. (1988). *Kaynak Yöntemleri ve Donanımları*, Birsen yayınevi, İstanbul, 30-35.
21. MEGEP. (2008). *Raylı Sistemler Teknolojisi Elektrikli Direnç Alın Kaynağı*. Ankara, 4.
22. Anık, S., Ören, T. (1964). *Dövme alüminyum alaşımların elektrik direnç kaynağı*, Türk Kaynak Cemiyeti Yayını, no.16, İstanbul, 27-35.
23. Yılmaz, M. (1991). *Farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde yakma alın ve sürtünme kaynak yöntemlerinin karşılaştırılması*, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli. 156-168.
24. Trompler, Ruben Jr. (1996). *Flash butt welding of crane rail*, Iron And Steel Engineer. Oct., 73, (10), 42-44.
25. Yılmaz M., Karagöz Ş. (1993). *Katı hal kaynağında Mikro analiz uygulaması*, XI. Ulusal Elektron Mikroskopisi Sempozyumu, Edirne, 163-165.
26. Özkul, F. (2014). *Demiryollarında Ray Birleştirme Yöntemlerinin İncelenmesi, Alüminotermit ve Yakma Alın Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 37.
27. Akay, A. (2004). *X40CrMoV51 Sıcak İş Takım Çeliği ile Ç1030 Çeliğinin Yakma Alın Kaynağı ile Kaynatılması ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 22-23.
28. Steklov, O. I., et. al. (1989). *Flash welding of 110G13L steel (hadfield steel)*, Weld. Int. 892-894.
29. Besler, A. G. (1995). *Değişik Oranlarda Şekillendirilmiş Ç1040 Çeliğinin Yakma Alın Kaynağında Soğuk Sekil Verme Oranının Bağlantının Dayanım ve Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 1-33.

30. Sandal, O. (1988). *Farklı İki Takım Çeliğin Elektrik Direnç Yakma Alın Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-60.
31. Wodora and Hinzpeter. (1961). *Einfluss der Schweißparameter auf die Ausbildung der Waermezonen bei der Abbrennstumpfschweißung* Wiss, 2. th- Nagdeburg, , 1-4.
32. Fritz, J., Staudinger, H. (1974). *Microstructural investigations on friction welded joints between heat treatable and high speed tool steel, a comparison between flash butt welding and friction welding techniques including some practical investigations*, Praktische Metallographie, 197-211.
33. Oğuz, B. (1990). *Demir dışı metallerin kaynağı, metalurji Uygulama*, Oerlikon Yayınları. Erdini Basımevi, İstanbul, 460-462.
34. Corvino, L., Intrieri, T. (1989). *Electrical flash butt welding of rails in situ*, Rail Engineering International Edition, 17-19.
35. Dziubinski, J., Szymonsky, A. (1990). *Flash Butt Welding Of Rails And Mechanical Properties Of The Joints*, Welding And Cutting, 8-11.
36. Kugg P., J., Weld, M. (1989). *Deport and welding*, Railway Industry Association, Sec. 5, 1-13.
37. Lifshits, V., Popkov, O. (1970). *Procedure for calculating temperature distribution in continuous flash butt welding*, Welding production, 4-7.
38. Matsuo, G. Okawa S., Chatterje, R. K. (1999). *Application of endless bar rolling system at Tokyo steel*, Iron And Steel Engineer. 76 (3): 27-30.
39. Walter, R. (1989). *Betriebserfabrungen beim reibschweißen von gelenkwellen fuer fahrzeuge*, Werkstatt Und Betrieb., 122 (6), 449-454.
40. Ghosh, P. K. (1990). *Thermal cycle and microstructure of heat affected zone(HAZ) of flash butt welded Mn-Cr-Mo dual phase steel*, ISIJ International., 30 (4), 317-324.
41. İdeal flash butt welding machines catalogs, (2001). *İDEAL-WERK*, Almanya, 2-15.
42. Nack, N. (1980). *Resistance and solid-state welding and joining processes*, Welding handbook, AWS, Miami:58-76, 239-262.
43. Çalışkan, Ö. (1994). *Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği ve Bunlara Uygulanan Kaynak Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-65.
44. Mantel ve Rietsch. (1951). *Das Werkstoffverhalten beim Abbrennstumpfschweißen; Aus Erdmann-jesnitzer: Werkstoff und Schweißung, Bd.1, Akademie-Verlag, Berlin* 14-17.
45. Dziubinski, J. (1991). *Fatigue failure criterion based on plastic strain energy density applied to welds*, Int. J. Fatigue, 223-226.

46. Kahraman, N., Gülenç, B., ve Akça, H. (2002). Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (2): 75-85.
47. Odabaş, C. (2004). *Paslanmaz Çelikler*, Askaynak Yayını, İstanbul, 1, 13, 14.
48. Smith, W.F. (2000). *Paslanmaz çelikler, mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri*, Bölüm 5, Cilt 1., Çeviri: Erdoğan, M., Ankara, 169-214.
49. Aran, A., Temel, M. A. (2004). *Paslanmaz çeliklerin kaynağı, paslanmaz çelik yassı mamuller üretimi kullanımı standartları*, Sarıtaş Teknik Yayını, Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 58-65.
50. Aydın, T. (2002). *Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Gazlar ve Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1, 5-86.
51. Krysiak, K. F., Grubb, J. F. and Campbell, R. D. (1993). *Selection of Wrought Ferritic Stainless Steels*, ASM Metals Handbook, 6, 443-454.
52. Osmanoğlu, T. (2012). *AISI 304 ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 24, 25, 37-38.
53. Çelik, E. (2006). *Martenzitik Paslanmaz Çelik Ve Ferritik Paslanmaz Çeliğin Kendileriyle ve Birbirleriyle Sürtünme Karıştırma Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması*”. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 3,5.
54. Alptekin, A. (2006). *Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Paslanmaz Çeliklere Uygulanabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 5-7.
55. Odabaş, C. (1998). *Östenitik çeliklerin genel özellikleri*, Metal & Kaynak, (87): 60-65.
56. Çiftçi, İ. (2005). *Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi*, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (2): 205-209.
57. Brooks, J. A. and Lippold, J. C. (1993). *Selection of Wrought Austenitic Stainless Steels*, ASM Metals Handbook, 6, 456-469.
58. Gülgün, H., Aydoğdu, M., Aydınol, K. (2005). *AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çeliklerin tanelerarası korozyona duyarlılığının elektrokimyasal polarizasyon yöntemiyle belirlenmesi*, *Metallurji*, (140): 50-61.
59. Develi, K. (2003). *Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mig Kaynağında Argon Hidrojen Karışımının Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-26.

60. ASM Metals Handbook. (1998). *Wrought Stainless Steels: Selection and Application*, 861-862, 873.
61. Aran, A. ve Temel M.A. (2003). *Paslanmaz çelik yası mamuller*, Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 165.
62. Gooch, T. (1992). *Welding behaviour and weldability of superaustenitic stainless steels*, 8th Annual North American Welding Research Conference, TWI, Cambridge UK, 1-3.
63. Noble, D. N. (1993). *Selection of wrought duplex stainless steels*, ASM Metals Handbook, 6, 471-479.
64. Kaluç, E., Sarı, N.Y. (1995). Duplex ve Süper Duplex Paslanmaz Çelikler ve Kaynağı, *Mühendis ve Makine Aylık Teknik Dergisi*, 424, Ankara, 15.
65. Mansuroğlu, Y. (2001). *Alaşım elementlerinin çeliğe etkisi*, Xengineer Yayını, İstanbul, 1.
66. Türkyılmazoğlu, A. (2006). *Dubleks, Martenzitik Ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 7.
67. Peckner, D., Bernstein, I.M. (1977). *Handbook of stainless steels*, Mc Graw Hill, U.S.A, 234-256.
68. Orhan, N. (1996). *Difüzyon Kaynağı için Yeni Bir Model ve Dublex Alaşımlara Uygulanması*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
69. Castner, H.R. (1992). *Material and Procedure Considerations for Welded Austenitic Stainless Steels*, 8th Annual North American Welding Research Conference, Edison Welding Institute, Columbus, Ohio, 1-6.
70. Kuştutan, G. (2003). *Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynağında Soğuma Hızının Birleştirmenin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 55.
71. Odabaş, C. (2007). *Paslanmaz çeliklerin temel özellikleri, kullanım alanları ve kaynak yöntemleri*, Kaynak Tekniği Sanayi Ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 3-15, 59.
72. Tülbentçi, K. (1998). *MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi*, Arctech Kaynak Elektrodları ve Telleri A.Ş., İstanbul, 193-201.
73. Gerken, M., Kotecki, D. (1990). *Stainless Steels Properties, How to Weld Them Where to Use Them*, The Lincoln Electric Company, 101.
74. Folkhard, E., Verlag, S. (1987). *Welding Metallurgy of Stainless Steels*, New York, 1, 8. 76-78.
75. ASM Metals Handbook. (2001). *Paslanmaz çeliklerin, takım malzemelerinin ve özel amaçlı metallerin özellikleri ve seçimi*, 9., 3. ASM International, 617-622.

76. Kaluç, E. (2006). *Paslanmaz çelikler ve kaynak edilebilirliği*, Kaynak Teknolojisi Araştırma Eğitim ve Uygulama Merkezi (KATAEM) Yayını, Ankara, 3-7.
77. Kaluç, E. (1988). *Ferritik-Östenitik Paslanmaz Çelik Çiftinin Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Çekme-Makaslama Mukavemetine ve Tanelerarası Korozyona Etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 20-25.
78. Ersözlü, İ. (2006). *Sürtünme Kaynak Makinesinin Bilgisayar Kontrollü Çalıştırılması ve Sae 4140 ve Sae 1050 Çeliklerine Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 42.
79. Sinan U., Halil A., Galip S. (2006). *Dört Farklı Çeliğin Bazı Mekanik Özelliklerine Fe-Fec Faz Diyagramında A1-A3 Arasında Yapılan Isıl İşlemlerin Etkisi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar.
80. Çil, G. (2010). *Farklı Çeliklerin Borlanması ve Borlama Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 92.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇİMEN, Muhanmet Yaşar
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1975, Erzurum
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 505 288 33 12
 e-mail : mycimen25@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ Metal Eğitimi Bölümü	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniv. Teknik Eğitim Fak. Metal Öğrt. Blm.	2002
Lise	Erzurum Atatürk Teknik Lisesi Makine Bölümü	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002-2003	Anda Medikal / Ankara	Üretim Sorumlusu
2008-2013	Ankara/ Çubuk E.M.L. Metal Bölümü	Ücretli Öğretmen
2012-2013	Ankara/ Çubuk E.M.L. Tesisat Tekn. Bölümü	Ücretli Öğretmen
2012-2013	Ankara İşkur/ Bilgisayar Destekli Çizim Kursu	Usta Öğretici
2013-2014	Ankara İşkur/ Gazaltı Kaynakçılığı Kursu	Usta Öğretici
2014-2015	Ankara Çubuk Eğitim Uygulama Okulu	Ücretli Öğretmen
2014-2015	Ankara İşkur/ Demir Doğrama Kursu	Usta Öğretici

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Müzik, Satranç