

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



BEYAZ EŞYA SANAYİSİNDE KULLANILAN FERRİTİK
PASLANMAZ ÇELİKLERİN DİRENÇ KAYNAĞI
MUKAVEMETİNE DİRENÇ ELEKTROT MALZEME TİPİNİN
ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT ONSEKİZ

BOLU, ARALIK - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Murat Onsekiz tarafından hazırlanan "Beyaz Eşya Sanayisinde Kullanılan Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynağı Mukavemetine Direnç Elektrot Malzeme Tipinin Etkisi" adlı tez çalışması 28/12/2018 tarihinde BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'NDA Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Yahya ALTUNPAK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Vahdet UÇAR
Sakarya Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Murat PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

İmza







Doç. Dr. Ömer ÖZYURT


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

1. Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 2. Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 3. Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 4. Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 5. Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Murat Onsekiz

ÖZET

**BEYAZ EŞYA SANAYİSİNDE KULLANILAN FERRİTİK PASLANMAZ
ÇELİKLERİN DİRENÇ KAYNAĞI MUKAVEMETİNE DİRENÇ
ELEKTROT MALZEME TİPİNİN ETKİSİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MURAT ONSEKİZ
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YAHYA ALTUNPAK)

BOLU, ARALIK-2018

Bu çalışmada, 0,8 mm kalınlığa sahip AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelik saclar, farklı elektrot malzemeleri kullanılarak direnç punta kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak bağlantılarının sertlik ve çekme kesme yük taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve kaynaklı numunelerin mikroyapısı da değerlendirilmiştir. Kaynaklar, 20 kVA kapasiteli ve programlanabilir bir lojik kontrolör (PLC) tarafından kontrol edilen 50 Hz'de çalışan bir zamanlayıcı ve akım kontrollü direnç spot kaynağı (RSW) makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak, 6 mm çapında ve 45° kesik koni uçlara sahip CuCo₂Be, CuCr ve CuZr elektrotları kullanılarak 2 barlık sabit elektrot basıncında gerçekleştirilmiştir. Birleştirme için 5, 10 ve 15 çevrim kaynak süreleri ve 5,4, 6 ve 6,6 kA kaynak akımları uygulanmıştır. Kaynaklanmış numunelerin optik muayenesi Leica marka bir mikroskop kullanılarak gerçekleştirildi. Vickers mikro sertlik testlerinde, 10 saniyeliğine 100 g yük uygulanmıştır. Çekme-kesme testi numuneleri, ASTM: E8M'ye göre hazırlanmıştır. Bir universal test makinesi kullanılarak, 1 mm/dk'lık sabit çekme hızında kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri ölçülmüştür.

Maksimum dayanım için gereken kaynak parametreleri, bu çalışmada her elektrot için farklı bulunmuştur. Örneğin en iyi kaynak parametreleri CuZr elektrodu için 6 kA'da 10 çevrim, CuCr elektrodu için 6 kA'de 5 çevrim ve CuCo₂Be elektrodu için ise 6,6 kA'de 15 çevrimdir. Bu farklılık, elektrotların elektrik iletkenliklerine bağlanabilir. Çünkü CuZr ve CuCr elektrotların elektrik iletkenliği CuCo₂Be elektrodunun yaklaşık iki katıdır. Fusion Bölgesi (FZ), sütünsal ferrit tanecikleri ile matris boyunca neredeyse eşit şekilde dağıtılmış krom bakımından zengin karbürlerden oluşmaktadır. ITAB (HAZ) iki ayrı bölgeye ayrılmıştır: yüksek sıcaklık tesiriyle ısıdan etkilenen bölge (HTHAZ) ve düşük sıcaklık tesiriyle ısıdan etkilenen bölge (LTHAZ). HTHAZ'da aşırı irileşmiş büyük taneli ferritik mikroyapı görülmektedir. LTHAZ'da daha yüksek sertlik değerine neden olan çökeltilerin hacim oranı, HTHAZ'dan daha fazladır. Mikro sertlik testleri, HAZ'da artan kaynak akımı (6,6 kA) ve kaynak süresi (15 çevrim) ile mikro sertlik değerlerinin 400 HV'ye kadar yükseldiğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Direnç nokta kaynağı; CuZr elektrot; CuCr elektrot; CuCoBe elektrot, ferritik paslanmaz çelik

ABSTRACT

EFFECT OF ELECTRODE MATERIALS TYPE ON RESISTANCE SPOT WELDING OF AISI 430 FERRITIC STAINLESS STEEL

MSC THESIS

MURAT ONSEKİZ

ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. YAHYA ALTUNPAK)

BOLU, DECEMBER–2018

In this study, AISI 430 grade ferritic stainless steel sheets with 0.8 mm thickness were joined by resistance spot welding using different electrode materials. The hardness and tensile shear load bearing capacity of welded joint was determined and the microstructure of welded samples was also evaluated. The welding was performed using with a timer and current controlled resistance spot welding (RSW) machine having 20 kVA capacity and operating at 50 Hz controlled by a programmable logic controller (PLC). Welding was conducted at the constant electrode pressure of 2 bar using CuCo₂Be, CuCr and CuZr electrodes having a 45° truncated cone resistance tips with 6 mm face diameter. For welding, 5, 10 and 15 cycle welding times and 5.4, 6 and 6.6 kA welding currents were applied. Optical examination of the welded samples was carried out using a Leica microscope. The load of 100 g was applied for 10 s in Vickers microhardness test. Tensile-shear test samples were prepared according to ASTM: E8M and tested using a universal testing machine. The crosshead speed was kept constant 1 mm min⁻¹.

The welding parameters required for maximum strength were found different for each electrode in this study. For example The best welding parameters are 10 cycles at 6 kA for CuZr electrode, 5 cycles at 6 kA for CuCr electrode and 15 cycles at 6.6 kA for CuCo₂Be electrode. This difference can be attributed to the electrical conductivities of the electrodes. Because, the electrical conductivities of the CuZr and CuCr electrodes are approximately twice that of the CuCo₂Be electrode. Fusion Zone (FZ) is featured by columnar ferrite grains and almost evenly distributed chromium-rich carbides throughout the matrix. The HAZ is divided to two distinct zones: high temperature HAZ (HTHAZ) and little temperature HAZ (LTHAZ). The HTHAZ exhibited ferritic microstructure with excessive grain coarsening. The volume fraction of precipitates in LTHAZ is higher than HTHAZ resulting in higher hardness value. Microhardness tests showed that the microhardness values increased up to 400 HV with increasing welding current (6.6 kA) and welding time (15 cycle) in the HAZ when CuCo₂Be electrode is used.

KEYWORDS: Resistance spot welding; CuZr electrode; CuCr electrode; CuCoBe electrode, ferritic stainless steel

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ	9
2.1 Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi	10
2.2 Elektrik Ark Kaynağı Yöntemi	10
2.3 TIG Gaz Altı Kaynak Yöntemi	11
2.4 MIG-MAG Gaz Altı Kaynak Yöntemi	11
2.5 Tozaltı Kaynak Yöntemi	12
2.6 Plazma Kaynak Yöntemi.....	13
2.7 Elektron Işın Kaynağı (EBW) Yöntemi	13
2.8 Lazer Kaynağı Yöntemi	13
2.9 Termit Kaynak Yöntemi.....	14
2.10 Elektrik Direnç Kaynak Yöntemi.....	15
2.11 Difüzyon Kaynak Yöntemi	15
2.12 Sürtünme Kaynak Yöntemi	15
2.13 Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi.....	16
2.14 Ultrasonik Kaynak Yöntemi.....	16
2.15 Soğuk Basınç Kaynağı Yöntemi	17
2.16 Patlatma Kaynağı Yöntemi	17
3. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI YÖNTEMLERİ	18
3.1 Dikiş Kaynağı Yöntemi.....	19
3.2 Alın Kaynağı Yöntemi	20
3.3 Yüksek Frekans Direnç Kaynağı Yöntemi.....	21
3.4 Nokta Kaynağı Yöntemi.....	21
3.4.1 Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri.....	24
3.4.2 Kaynaklanabilirlik.....	24
3.4.3 Elektrot geometrisi	25
3.4.4 Elektrot malzemesi.....	27
3.4.5 Kaynak noktası sıklığı	28
3.4.6 Elektrot ve iş parçasının temas durumları	29
3.4.7 Elektrod ömrü	31
4. PASLANMAZ ÇELİKLER	33
4.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler	34
4.2 Martensitik Paslanmaz Çelikler.....	37

4.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler	37
4.4 Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler	38
4.5 Çökme ile Sertleşen Paslanmaz Çelikler	38
4.6 Paslanmaz Çeliklerin Direç Kaynağı Kabiliyeti	39
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (MATERYAL VE YÖNTEM)	41
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
6.1 Mikroyapı ve Mikrosertlik Çalışmaları	46
6.2 Mekanik Özellikler	52
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
8. KAYNAKLAR	70



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Disk elektrod tarafından üretilen farklı dikiş türleri.....	20
Şekil 3.2. Yakma Alın Kaynağı.....	20
Şekil 3.3. Yüksek Frekans Direnç Kaynağı.....	21
Şekil 3.4. Punta ve kaynak çevrimi.....	22
Şekil 3.5. Elektrik Nokta Kaynağı prensibi.....	23
Şekil 3.6. Elektrot Uç Çeşitleri.....	26
Şekil 3.7. Değişik elektrot malzemelerinin tavlanmaya dayanımı.....	30
Şekil 3.8. Değişik elektrot malzemelerinin sıcaklığa bağlı sertlik değişimi.....	31
Şekil 4.1. Paslanmaz çelik türleri için krom ve nikel miktarları.....	35
Şekil 4.2. Ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı.....	36
Şekil 4.3. Ferritik Paslanmaz Çelik Grubu.....	36
Şekil 4.4. Martensitik Paslanmaz Çelik Grubu.....	37
Şekil 4.5. Östenitik Paslanmaz Çelik Grubu.....	38
Şekil 5.1. Kaynaklama çalışmalarında kullanılan geleneksel punta kaynak makinesi.....	42
Şekil 5.2. Kalıp aparatı ve punta kaynağı kaynaklanmış malzeme.....	42
Şekil 5.3. Leica marka optik mikroskop.....	43
Şekil 5.4. HVM marka sertlik test cihazı.....	44
Şekil 5.5. Çekme test cihazı.....	45
Şekil 6.1. ITAB'da tane büyümesi mikro yapısı (Cu-Zr elektrot, 5,4 kA ve 5 çevrim).....	46
Şekil 6.2. YITAB (HTHAZ)'da büyük sütunsal ferrit taneleri (Cu-Zr elektrot, 5,4 kA ve 5 çevrim).....	47
Şekil 6.3. DITAB'da ince dağılmış kromca zengin karbürler ve küçük ferrit taneleri ve ana metal (BM), (Cu-Zr elektrot, 5,4 kA ve 5 çevrim) ..	48
Şekil 6.4. YITAB'da büyük sütunsal ferrit taneleri (Cu-Zr elektrot, 6 kA'de 15 çevrim).....	49
Şekil 6.5. ITAB'da tane büyümesi (Cu-Cr-Zr elektrot, 6,6 kA'de 5 çevrim).....	49
Şekil 6.6. YITAB'da büyük sütunsal ferrit taneleri (Cu-Cr-Zr elektrot, 6,6 kA ve 5 çevrim).....	50
Şekil 6.7. Cu-Zr elektrodu, 6 kA kaynak akımı ve 10 çevrim kaynak zamanı kullanılarak yapılan kaynak çekirdeği kesitinin tipik mikrosertlik profili.....	51
Şekil 6.8. Cu-Cr-Zr elektrodu, 6,6 kA kaynak akımı ve 5 çevrim kaynak zamanı kullanılarak yapılan kaynak çekirdeği kesitinin tipik mikrosertlik profili.....	51
Şekil 6.9. Cu-Co-Be elektrodu, 6,6 kA kaynak akımı ve 15 çevrim kaynak zamanı kullanılarak yapılan kaynak çekirdeği kesitinin tipik mikrosertlik profili.....	52
Şekil 6.10. Cu-Zr elektrot kullanılarak ve kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.....	53

Şekil 6.11. Cu-Zr elektrot kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 5,4 kA kaynak akımında, b) 6kA kaynak akımında c) 6,6 kA kaynak akımında.	54
Şekil 6.12. Cu-Zr elektrot ve 6,6 kA kaynak akımı ve a) 5 Çevrim, b) 10 Çevrim ve c) 15 Çevrim kaynak zamanları kullanılarak elde edilen kaynak görüntüleri.....	55
Şekil 6.13. Cu-Co-Be elektrot kullanılarak ve kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.	56
Şekil 6.14. Cu-Co-Be elektrot kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 5,4 kA kaynak akımında, b) 6 kA kaynak akımında c) 6,6 kA kaynak akımında	57
Şekil 6.15. Cu-Co-Be elektrodu ve 6,6 kA kaynak akım ve a) 5 Çevrim, b) 10 Çevrim ve c) 15 Çevrim kaynak zamanları kullanılarak elde edilen kaynak görüntüleri.....	58
Şekil 6.16. Cu-Cr elektrot kullanılarak ve kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış olan direnç nokta kaynağında, numunelerinin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.	58
Şekil 6.17. Cu-Cr elektrot kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 5,4 kA kaynak akımında, b) 6 kA kaynak akımında c) 6,6 kA kaynak akımında	60
Şekil 6.18. Cu-Co-Be elektrodu ve 6,6 kA kaynak akım ve a) 5 Çevrim, b) 10 Çevrim ve c) 15 Çevrim kaynak zamanları kullanılarak elde edilen kaynak görüntüleri.....	61
Şekil 6.19. Farklı elektrotlar ve akımlar kullanılarak 5 çevrim zaman çevrimindeki maksimum yük grafiği	61
Şekil 6.20. Farklı elektrotlar ve akımlar kullanılarak 10 çevrim zaman çevrimindeki maksimum yük grafiği	62
Şekil 6.21. Farklı elektrotlar ve akımlar kullanılarak 15 çevrim zaman çevrimindeki maksimum yük grafiği	63
Şekil 6.22. Farklı elektrotlar ve kaynak çevrim zamanları kullanılarak 5.4 kA akımdaki maksimum yük grafiği	64
Şekil 6.24. Farklı elektrotlar ve çevrim zamanları kullanılarak 6,6 kA akımdaki maksimum yük grafiği.	64
Şekil 6.23. Farklı elektrotlar ve çevrim zamanları kullanılarak 6 kA akımdaki maksimum yük grafiği	65

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Elektrot ucu malzemesi ve özellikleri	26
Çizelge 3.2. Elektrod ömrüne etkiyen faktörlerin etkime durumları.....	32
Çizelge 4.1. Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler	34
Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri.....	41
Çizelge 5.2. Elektrot malzemelerinin spektral analizi	41



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

Q	: Kaynak ısısı
I	: Kaynak akımı
R	: Kaynak bölgesi toplam direnci
T	: Kaynak akımının geçtiği süre
R_m	: Kullanılan malzemelerin direnci
R_t	: Temas dirençleri
s	: Levha kalınlığı
D	: Kaynak çekirdek çapı
F	: Elektrod kuvveti
t	: Süre
a	: Üst elektrotun malzeme direnci
b	: Üst elektrot ile parça arasındaki temas direnci
c	: Üst parçanın malzeme direnci
d	: Üst parça ile alt parça arasındaki temas direnci
e	: Alt parçanın malzeme direnci
f	: Alt elektrot ile alt parça arasındaki temas direnci
g	: Alt elektrotun malzeme direnci
γ	: Gama
r	: Çekirdek merkezi ile çentiğin dışı arasındaki mesafe
f	: Darbe Frekansı
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Ar	: Argon
CO₂	: Karbondioksit
He	: Helyum
O₂	: Oksijen
Mm	: Milimetre
m/dk.	: Metre/dakika
cm/dk.	: Santimetre/ dakika
lt/dk.	: Litre/dakika
MAG	: Metal Aktiv Gaz
MIG	: Metal _nört Gaz
TIG	: Tugsten _nört Gaz
DGM	: Darbe Genislik Modülasyonu
FSS	: Ferritik Paslanmaz Çelik
PLC	: Programlanabilir Lojik Denetleyici
Kva	: Kilovoltamper
ITAB	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
AISI304	: Östenitik paslanmaz çelik sac (18 8 Cr Ni)
TS	: Türk Standardı
N	: Newton
kN	: Kilo Newton
MPa	: Mega Pascal
kA	: Kilo Amper
p	: Periyot
HV	: Hardness Vickers
SEM	: Scanning Electron Microscopy

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Yahya Altunpak'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan Dr. Öğr. Gör. Muhsin Uğur Doğan hocama teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli eşim Damla Şen Onsekiz'e, maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan babama, anneme ve kardeşime de sonsuz teşekkürler ederim.

1. GİRİŞ

Konstrüksiyonların imalinde en yaygın şekilde kullanılan imal yöntemlerinden birisi de kaynaktır. Ergitme kaynağı ve basınç kaynağı temel iki kaynak yöntemidir. Basınç kaynağı yöntemlerinden olan elektrik direnç nokta kaynağı en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden biridir. Direnç nokta kaynağı, ısı tesir altındaki bölgenin küçük olması, hızlı yapılabilirlik, malzeme ve güvenilirlik, gözle kontrol edilebilme, kaynak makinası otomasyonu, kullanım ve operasyon kolaylığı gibi nedenlerle tercih edilmektedir. Nokta direnç kaynağı yöntemi; diğer kaynaklı birleştirme yöntemlerine göre birçok üstün özelliğe sahiptir. Kaynaklı bağlantıların az deformasyonla gerçekleştirilebilmesi, hızlı, kullanımı kolay, seri üretime, otomasyona uygun, nispeten ekonomik ve kaynak mukavemetinin yüksek olması bu kaynak yönteminin en önemli üstünlükleri olarak görülmektedir. (Deng vd., 2000; Chen vd., 2000; Fujii vd., 2011). Özellikle ince saçlardan oluşmuş konstrüksiyonların kullanıldığı başta otomotiv ve havacılık endüstrisi, hassas cihazların imalatı, makine sektörü, beyaz eşya, mutfak eşyaları, kimyasal kapların imalat sanayileri, gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin bir binek otomobil gövdesinde yaklaşık 5000 nokta kaynağı mevcuttur. Bir beyaz eşya şasesine yüzlerce nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş sac parçalardan oluşur. Mutfak fırını ve aspiratör yapımında kullanılan çelik malzemelerin her birinde yaklaşık 50 nokta kaynağı vardır. Bu veriler, günde yaklaşık 7000 fırın üreten Bolu Arçelik Fırın fabrikası ve yan sanayinde sadece fırın üretimi ile ilgili yaklaşık 350.000 nokta kaynağının kullanıldığını göstermektedir. Aspiratör ve diğer benzeri sektörler de göz önüne alındığında, bu alanda (beyaz eşya endüstrisi) yapılacak optimum kaynak parametrelerinin tespiti araştırmalarının hem kaynak mukavemeti hem de elektrot ömrü açısından ne kadar elzem ve önemli olduğu açıktır (Alizadeh-Sh vd. 2015; Sathiya vd., 2007)

İlave metal kullanmadan, basınç ve kaynak akımı kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmeye nokta direnç kaynağı denir. Nokta direnç kaynağının oluşmasının temelinde; kaynak yapılacak iş parçalarına elektrotlar

tarafından uygulanan basınç ile iş parçaları üzerinden geçirilen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği direnç sonucunda oluşan ısı vardır. Makina üzerindeki şalter ve zaman sayacı ile belli bir süre boyunca, elektrik akım bir elektrottan diğerine akarken bu akıma karşı direnç, iki metal sac malzeme arasındaki temas noktasında maksimuma ulaşarak bu noktada ergimeye başlar. Elektrik akımının kesilmesine rağmen elektrotlara uygulanan basınç devam ettirilerek oluşan kaynak banyosunun soğuyarak katılaşıncaya kadar beklenir ve böylece iki sac malzeme birbiriyle sökülemez bir şekilde birleştirilmiş olur. Standart bir nokta direnç kaynak makinasının temel bileşenleri; elektrotlara yük uygulamak için kullanılan bir mekanik sistem, şebekeden gelen gerilimi azaltan transformatörden meydana gelir. Birçok geliştirilmiş makinelerde akım kontrol cihazı ve zaman sayacı da bulunmaktadır (Anık, 1983; Anık, 1991; Akkuş, 1999; Akkuş, 2006; Megep, 2014).

Nokta direnç kaynaklı yapıların termal ve mekanik analizinde, deneysel çalışmaların yanı sıra sonlu elemanlar metodu ile de yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu deneysel çalışmalarla optimum kaynak parametrelerini tespit edebilmek için harcanan emek ve süre en aza indirgenmektedir. (Shanmugam vd., 2010; Zhang vd., 2000; Salvini vd., 2000).

Hasanbaşıoğlu ve arkadaşları ise farklı çeliklerin nokta direnç kaynağı konulu bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada; AISI 316L ile DIN EN 10130-99 çeliklerini nokta direnç kaynağı ile birleştirmişlerdir. Birbirine benzer yapıdaki çeliklerin nokta direnç kaynağına kıyaslandığında farklı çeliklerin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin farklılığından dolayı sıkıntılı ve zor olduğunu belirtmişlerdir (Hasanbaşıoğlu, 2006).

Kim ve arkadaşları galvanizsiz ve galvanizli TRIP çeliğinin nokta direnç kaynağı parametrelerinin kaynak direncine olan etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda geliştirdikleri bir denklem ile çeşitli kaynak parametrelerinde istenilen kaynak sonucunu (kaynak çapı, kesme gerilmesi, kaynak yoğunluğu) doğru bir şekilde tespit edebilmişlerdir (Kim vd., 2005).

Diğer bir çalışmada; galvanizli soğuk şekillendirilebilir çelik sac ile östenitik paslanmaz çelik sacın nokta direnç kaynağını incelenmiştir. Uygulanan kaynak parametreleri sonucunda elde nokta direnç kaynaklı numunelerden edilen kaynak çapı, çekme-kesme dayanımı, kaynak bölgesinin mikro sertliği ve yüksek döngülü yorulma dayanımı testleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, kaynak akımının yükselmesi ile kaynak çapının arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca kaynak çapının artması ise yorulma ömrünü ve çekme dayanımını arttırdığı rapor edilmiştir (Vural vd., 2004).

Tumuluru yaptığı çalışmada; nokta direnç kaynaklı TRIP ve DP çeliklerinin boyama süreci sonrası fırınlanma işleminin çeliklerin yapısına ve özelliklerine etkisini araştırmıştır. Sistematik bir çalışma ile fırınlanmış ve fırınlanmamış nokta direnç kaynaklı DP ve TRIP çeliklerini kıyaslamıştır. Bu kapsamda çekme-kesme, Peel testi, mikro sertlik testleri yapmıştır. Bununla birlikte nokta direnç kaynağı bölgeleri SEM ve TEM ile incelemiştir. Fırınlanmış nokta direnç kaynaklı yapıda çekme-kesme mukavemetinin arttığını gözlemlemiştir (Tumuluru, 2010).

Yüksek karbon ve alüminyum içeren TRIP çeliklerinin nokta direnç kaynağı ve bu kaynak türünün malzeme karakteristiklerini incelendiği diğer bir araştırmada; δ -ferrit oranının artmasıyla ısıdan etkilenen bölgede sertliğin azaldığını ve sünekliğin ise önemli oranda arttığı rapor edilmiştir (Jung vd., 2012)

Çelik sacların nokta kaynaklı ve nokta kaynaklı-yapıştırırmalı bağlantılarının yorulma özellikleri konulu bir çalışmada ise; Fujii ve arkadaşları yumuşak çelik sacları ve yüksek mukavemetli çelik sacları nokta kaynağı ve nokta kaynaklı yapıştırırmalı olacak şekilde birleştirmiş ve tüm numunelere yorulma testi uygulamıştır. Nokta kaynaklı ve yapıştırırmalı bağlantıya sahip çeliklerin yorulma dayanımlarının daha iyi olduğunu rapor etmişlerdir (Fujii vd., 2011).

Nokta direnç kaynağı ile gerçekleştirilen kaynak, yükler altında (statik, dinamik) direnç gösterememektedir. Yorulma hasarı, genellikle yapıdaki bir hata veya süreksizlikten başlar. Nokta kaynaklı bağlantı bölgeleri de çentik etkisi yaparak yorulma dayanımını büyük ölçüde düşürürler. Bu bağlantıların yorulma

dayanımlarının belirlenmesi ve uygun kaynak parametrelerinin kullanılabilmesi çok önemlidir. Çünkü otomotiv sektöründe işletme sırasında meydana gelebilecek bir hasar, doğrudan emniyetle ilgili bir problemdir (Akkuş, 2007). Nokta kaynaklı bağlantıların yorulma olayının incelenmesi ile ilgili çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu araştırmalarda, özellikle deneysel yöntemler birbirleriyle benzerlik göstermektedir. Hemen hemen tüm çalışmalarda, nokta kaynağı ile eşlenen malzemeler aynı tür malzemelerdir. Bunlara paslanmaz çelikler, çift fazlı paslanmaz çelikler, yumuşak çelikler, yüksek dayanımlı düşük karbonlu çelikler örnek olarak gösterilebilir (Akkuş, 2006).

Bazı araştırmacılar nokta direnç kaynaklı çelik sacların yorulma davranışlarını incelemek için nokta direnç kaynağı çekirdek çapı, çelik sacın et kalınlığı, ana metalin mekanik özellikleri gibi geometrik parametrelerin yorulma dayanımına etkisini incelemişlerdir. Araştırmalar neticesinde; test numunelerine uygulanan yük-gerilme değerleri azaltıldıkça yorulma ömrünün arttığını, nokta direnç kaynağı çekirdeği çapındaki ve malzeme et kalınlığındaki artışların yorulma ömrünü arttırdığını tespit edilmiştir (Orts vd., 1981; Wilson vd., 1981; Davidson, 1983; Kang vd., 2010).

Pal ve arkadaşları ise M190 çelik saclarının nokta direnç kaynak edilebilirliğini ve yorulma davranışını incelemişlerdir. Bu kapsamda nokta direnç kaynaklı numunelere çekme-kesme gerilmesi, mikro sertlik, sıyırma ve yorulma testleri uygulamışlardır. Yüksek yük düşük çevrim aralığında kaynak parametrelerinin S-N eğrilerinde önemli bir farklılığa sahip olduğu, düşük yük yüksek çevrim aralığında ise nokta kaynaklarının neredeyse benzer yorulma davranışı gösterdiği kaydedilmiştir (Pal and Chattopadhyay, 2010).

Otomotiv uygulamaları için kullanılan nokta direnç kaynaklı yüksek dayanıklı çeliklerin deformasyon davranışlarının incelendiği bir çalışmada; TRIP (HCT690T) ve mikro alaşımlı HX340LAD çeliklerinin kaynaklarına ilişkin elde edilen sonuçlar, HX340LAD ile karşılaştırıldığında; TRIP çeliği HCT690T'nin yerel gerilme değerlerinin belirgin şekilde düşük çıkmıştır (Brauser vd., 2010).

Nokta direnç kaynaklı bağlantıların sonlu elemanlar metodu ile analizinde nokta direnç kaynaklı yapıları üç boyutlu elemanlarla ve kabuk elemanlarla modellemiş ve sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Gerilme ve deformasyon sonuçlarının benzer olduğunu ve sonlu elemanlar metodu ile analiz yapılırken kabuk elemanların kullanılabilceğini belirtilmiştir (Cheng vd., 2000).

Kaynak malzemesi seçiminde, maliyet ile birlikte, birçok faktör rol oynar. Uygulamaların büyük çoğunluğunda, farklı çeliklerden oluşan konstrüksiyonlar kullanılmaktadır. Aynı konstrüksiyonda değişik zorlamalara maruz kısımlara, bu zorlamalara göre daha uygun bir malzemeler kullanılmaktadır. Örneğin, korozyona riski olan kısımlarda korozyona dayanıklı malzemeler, yüksek dayanım gerektiren kısımlarda da yüksek dayanımlı malzemeler tercih edilmektedir (Anık, 1981; Phillips, 1996; Akkuş, 2006).

Günümüzde korozyona karşı dayanıklı malzemelerin kullanılmasına duyulan büyük talep artışı nedeniyle, bu alanda çok geniş araştırmalar yapılmakta ve yeni teknikler geliştirilmektedir. Çelik malzemelerin korozyona karşı dayanıklı hale getirilmelerinde birçok yöntem uygulanmaktadır. Bunlar esas olarak çeliğin bileşimine, korozyona dayanımı artıran alaşım elemanları katmak ya da çelik bileşimini değiştirmeden, malzemenin yüzeyine korozyona dayanıklı bir tabaka kaplamaktır. Birinci duruma paslanmaz çelikler, ikinci duruma da galvanizli çelikler tipik bir örnektir (Bernhardson vd.,1986; Akkuş, 2006).

Çeliğin bileşiminde korozyona karşı dayanımı artıran en önemli alaşım elementi kromdur. Korozyona dayanımın sağlanabilmesi için çeliğin bileşiminde en az ağırlıkça %11 oranında krom bulunması gerekir. Kimyasal bileşime nikel ve molibden gibi elementler katılarak korozyon dirençleri önemli oranda artırılabilir. Paslanmaz çelikler içyapılarındaki faz içeriğine göre ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çelikler ve martenzitik paslanmaz çelikler olmak üzere başlıca üç sınıfa ayrılabilir (Avner, 1984; Leslie, 1982). Ayrıca östenit taneleri içinde ferrit fazı içeren dubleks paslanmaz çelikler ile çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler de bir çok önemli uygulamada kullanılmaktadır. Bu çeliklerin özellikle akma dayanımları östenitik paslanmaz çeliklere oranla yaklaşık iki kat kadar daha yüksektir (Develi, 2003; Temel, 2001; Miyamota vd., 2001, Gavas vd.

2015). Bu üstün özelliklerinden dolayı araçların egzoz parçaları, yüksek sıcaklık vanaları, ısı eşanjörü jeotermal uygulamaları, tarımsal ilaç tankları, kimyasal ve gıda endüstrisi ekipmanları, basınçlı tanklar, çatal, bıçak, tıbbi aletler, deniz petrol platformları, döküm pompa ve vana gövdeleri, tüfek namluları, yaylar, uçak parçaları, jet motor parçaları, roket ve nükleer güç santrallerinin bazı ekipmanlarının yapımı gibi oldukça geniş bir alanda paslanmaz çelikler başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar (Miyamota vd., 2001; Baylan, 2003; Ulaş, 1999; Youns vd., 1998).

Paslanmaz çeliklerin kaynağına uygun kaynak yöntemleri ve en uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi konusunda da birçok araştırma yapılmıştır (Karcı, 2008). Östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk deforme edildikten sonraki nokta dirençli kaynağı kabiliyetini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada; AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik saclara sabit elektrot baskı kuvveti altında sırasıyla %5, %10 ve %20 soğuk deforme edildikten sonra üç farklı kaynak zamanında (20, 30 ve 40 çevrim) kullanarak birleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar deformasyon oranı yüksek olan numunelerin çekme makaslama yükü taşıma kapasitelerinin arttığını göstermiştir (Kaçar vd., 2008).

Birçok önemli uygulamalarda özellikle daha ekonomik olduğu için diğer paslanmaz çeliklere göre tercih edilen ferritik paslanmaz çeliklerin (FSS) kaynağında tane kabalaşması önemli bir problemdir ve bu durum daha düşük tokluğa (darbe dayanımı) neden olur. Tane büyümesini minimum seviyeye indirmek için de kaynak ısı girişini en aza indirecek uygun bir kaynak yöntemi ve en doğru kaynak parametrelerini araştırmak gereklidir. Endüstride kaynak yapılacak her bir farklı malzeme için en uygun akım-zaman parametrelerinin tespit edilmesi kaynak mühendislerinin en çok uğraştığı problemlerden birisidir (Müftüoğlu ve Keskinel, 2007; Moshayedi ve Sattari-Far, 2012; Alizadeh-Sh vd. 2015).

Nokta kaynağında parça kalınlığına ve kaynak yapılacak malzemeye uygun bir elektrot malzemesi ve elektrot geometrisi seçimi de kaynağın kalitesi, kaynak dikişinin mukavemeti ve elektrot ömrü açısından belirlenmesi gereken çok önemli konulardan birisidir. Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılacak

bazı elektrod malzemeleri; Bakır-Krom-Zirkonyum CuCrZr (Yüksek dayanımlı yaşlanma sertleşmesi uygulanmış), Bakır-Kobalt-Berilyum CuCo₂Be (yaşlanma sertleşmesi uygulanmış), Bakır-Nikel (CuNi) ve benzeri sert bakır alaşımlarıdır. Malzeme ve parça kalınlığına göre seçilen elektrot geometrisi ve elektrot malzemenin seçimi, nokta kaynakta kaynağın kalitesini belirleyen en önemli unsurdur.

Nokta kaynağında parça kalınlığına ve malzeme türüne göre elektrot geometrisi ve elektrot malzemesinin seçimi kaynağın kalitesini belirleyen önemli bir unsurdur. Çünkü ısı oluşturma, kaynak akımı ve zaman ile doğru orantılıdır. Fakat çoğunlukla yeterli bir kaynak mukavemeti için gerekli teorik minimum akım ve zaman değerleri çeşitli kayıplar olması sebebiyle kaynak yapmaya yetmez. Direnç, kaynak çevrim süresi açısından en etkili özellik olsa da asıl önemli olan akım yoğunluğu ve dağılımıdır. Bu durum elektrot ve parça geometrisinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Uzun kullanımdan dolayı kaynak elektrotları aşınır ve elektrodun ucu zarar görerek akımın azalmasına ve basıncın düşmesine neden olur, bu da kaynak kalitesini bozan etkenlerden biridir. Paslanmaz çelikler için en uygun kaynak parametrelerinin değerlerin bulunması için bazı ön denemeler yapılması gerekir (Sathiya vd., 2007; Lakshminarayanan vd., 2009; Wang vd., 2009).

Son yıllarda ülkemizde ve yabancı pazarda ayakta kalabilmek için maliyetin düşürülmesi ve ürünün kaliteli üretilmesi gerektiğinden dolayı ülkemizdeki işletme sahipleri ve yöneticileri yeni ürün tasarımı ve yeni imalat yöntemleri önemli bir durum haline gelmiştir.

Üretimi yapılacak parçalarının daha seri, kısa süre ve kaliteli olarak üretilmesi öncelikli hale gelmiştir. Dünyadaki teknolojik gelişmeler ve işletmelerin kalite kontrol bölümleri, paralel, seri ve yalın üretime uygun üretim bantlarının oluşturulması günümüzde zorunluluk haline gelmiştir.

Birçok sektörde olduğu gibi beyaz eşya sanayisinde de yüksek kaliteli ürün beklenmektedir. Sanayide birçok alanı kapsayan beyaz eşya sanayisinde ileri teknolojinin kullanıldığı üretim sistemleri, maliyeti düşük ve yüksek kalite odaklı

ürünler üretmek için yüksek maliyetli yatırımlar yapılarak oluşturulmaktadır. Örneğin fırın tasarımı için, prototip ve seri üretimde yüzlerce mühendis müşteri memnuniyeti ve kalite odaklı çalışmaktadır. Fırın şasesinin üretilmesi için yüzlerce değişik parçalar ve çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Fırın gövdesinde dayanım açısından en önemli görülen iki durum vardır. Birincisi malzeme, ikincisi ise kaynaktır. Direnç nokta kaynak yöntemi fırın şasesinin üretilmesinde en çok kullanılan yöntem olmakla beraber lazer kaynak ve robot kaynağı da son zamanlarda kullanılmaktadır. Diğer kaynak yöntemleri maliyetli olduğu için genellikle direnç nokta kaynağı tercih edilmektedir. Diğer kaynak yöntemlerine göre fırın şasesi oluşturulmasında %85 oranında direnç nokta kaynağı kullanılmaktadır.

Galvanizli ve galvanizsiz alaşımsız çelikler ve paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti üzerine yapılmış birçok çalışmalar mevcut olduğu bilinmektedir. Ancak farklı elektrod malzemelerinin paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynak kalitesine ve gerekli kaynak parametrelerinin birbirinden farklı elektrot malzemelerine göre değişip değişmeyeceği konularında literatürde herhangi bir sistematik çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle farklı elektrod malzemelerinin 0,8 mm'lik ferritik paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynak kalitesi üzerindeki etkisi ve kullanılacak kaynak parametrelerine etkisinin araştırılması tez konusu olarak seçilmiştir. Bu çalışmanın özellikle 0,8 mm'lik ferritik paslanmaz çelik sacların yoğun olarak kullanıldığı başta fırın üretimi olmak üzere beyaz eşya endüstrisi, diğer endüstriyel uygulamalar için faydalı olacağı ve diğer farklı elektrot ve sac malzemelerle de benzer çalışmaların yapılması için örnek oluşturacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ

Kaynak, iki veya daha fazla parçanın temas eden yüzeyleri arasında uygun bir ısı, basınç veya her ikisinin kullanılarak, ilave veya ilavesiz malzeme kullanılmadan gerçekleştirilen birleştirme işlemidir. Özellikle metal konstrüksiyonların şekillendirildiği birçok alanda kaynak teknolojisi kullanılmaktadır. Günümüzdeki konstrüksiyonlar iş verimi ve güvenliğini arttırmaya, boyutları ve ağırlığı küçültmeye, malzeme ve üretim masraflarını azaltmaya çalışmaktadırlar. Son zamanlarda, metal ve metal olmayan birçok malzemelerin birleştirilmesinde farklı kaynak yöntemleri uygulanmaktadır. Ayrıca, bilgisayar ve elektronik teknolojisinin hızlı gelişmesinden dolayı kaynak teknolojisi üzerindeki çalışmalar artmıştır. Modern kaynak yöntemlerindeki birleştirilmelerdeki yeni uygulamalarda bazı ön koşullara bağlı olarak seçilip kullanılmaktadır. (Gavas ve vd. 2015; Eryürek, 2006).

Isı uygulandığında malzemelerde ergime meydana geliyorsa buna ergitmeli kaynak yöntemleri ve ısı uygulandığında ergime meydana gelmiyorsa buna da ergitmesiz kaynak yöntemleri denilir. En çok kullanılan kaynak yöntemleri aşağıdaki gibi iki ana grubu ayrılabilir (Gavas ve vd., 2015)

Ergitmeli kaynak yöntemleri;

- Oksigaz kaynak yöntemi,
- Elektrik ark kaynak yöntemi,
- Gazaltı kaynak yöntemleri (TIG, MIG –MAG)
- Tozaltı kaynak yöntemi,
- Elektron ışın kaynağı yöntemi,
- Plazma kaynağı,
- Lazer kaynağı,
- Termit kaynağıdır.

Ergitmesiz kaynak yöntemleri olarak ise;

- Ultrasonik kaynak yöntemi,

- Difüzyon kaynak yöntemi,
- Sürtünme kaynak yöntemi,
- Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi,
- Patlatma kaynak yöntemidir.
- Direnç kaynak yöntemi,

2.1 Oksi-Gaz Kaynak Yöntemi

Oksi-gaz kaynak yönteminde, parçaların oksijen alevi ile ısıtılarak ek yerlerinden birleştirilmesi işlemi yapılmaktadır. Bu kaynak yönteminde, aynı cins metaller alev yardımıyla ergiterek ilave telli veya telsiz olarak birleştirilmektedir.

2.2 Elektrik Ark Kaynağı Yöntemi

Örtülü elektrotlarla gerçekleştirilen ark kaynağı yönteminde; birleştirilecek iki parça arasındaki bağlantının oluşturulacağı bölgede elektrottan geçen elektrik arkının yüksek ısı etkisi ile birleştirilecek metaller ile dolgu malzemesini oluşturacak elektrot malzemesi kısmen ergir. Ergimiş metal ile dolgu metalinin birlikte oluşturduğu bu karışım daha sonra katılaşıp metalürjik açıdan güçlü bir kaynak dikişini oluşturur.

Elektrot örtüsünü oluşturan maddeler de ark içinde yanarak ergir ve ergimiş kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden koruyan bir cüruf tabakasına dönüşür. Söz konusu cüruf tabakası bir sonraki dikiş (paso) oluşturulmadan önce mutlaka temizlenmesi gerekir.

Kaynak için gerekli olan kaynak akımı, bir kaynak makinası tarafından sağlanır. Kaynakçı kullanılacak elektrotu penseye takar ve is parçasına temas ettirerek arkı oluşturur. Arkın başlatılması, yanması, ark boyunun ayarlanması, kaynak hızı gibi birçok parametre kaynakçı tarafından en uygun şartlara getirilir. Kaynakçının el becerisinin etkisi elektrot ile yapılan kaynaklarda çok önemlidir. Özellikle kalın parçaların kaynağında kaynak süresi çok uzun ve hız yavaş

olmalıdır. Elle yapılan kaynakta, kaynak hızının belirli bir değerin üzerine çıkması da kaynakçının kaynağa hâkimiyetini güçleştirmektedir. Kaynak maliyetini düşürmek, temrin süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için, günümüz kaynak teknolojisinde bazı otomatik kaynak yöntemleri de geliştirilmiştir (Tülbentçi, 1990; Gavas ve vd., 2015).

2.3 TIG Gaz Altı Kaynak Yöntemi

Tungsten Inert Gaz (TIG) kaynağı, kaynak için gerekli ısının; tükenmeyen bir elektrot (Tungsten Elektrot) ile iş parçası arasında oluşturulduğu bir ark kaynak yöntemidir ve gazaltı kaynak yöntemlerinden birisidir.

Geliştirilen kaynak yöntemlerinin başında 1930'lu yıllardan beri bilinen Tungsten Inert Gas kelimelerinin baş harflerinden oluşan TIG kaynak yöntemi gelmektedir. TIG kaynak yönteminde kaynak için gerekli ısı Tungsten ve Wolfram elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan, ark tarafından meydana gelmektedir. TIG kaynak yönteminde, kaynak bölgesi Argon veya Helyum gazı kullanılarak korunmaktadır. Kaynak için ek kaynak elektrotu kaynakçı tarafından kaynak bölgesine verilir.

Bu yöntemde çok geniş bir uygulama alanına bulunmaktadır. Demir ve demir dışı metallerin alaşımlarında kullanılabilen ve tüm kaynak pozisyonlarında iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu yöntemde ince levhaların birleştirilmesinde başarılı sonuçlar elde edildiği ve kalın parçaların kaynağında da bu kaynak yöntemi kullanılabilir. (Tülbentçi, 1990).

2.4 MIG-MAG Gaz Altı Kaynak Yöntemi

MIG-MAG kaynak yöntemindeki gerekli ısı, sürekli beslenen bir tel ile kaynak banyosu arasında oluşturulan ark ve telden geçen kaynak akımının oluşturduğu direnç ile üretilir. Tel çıplak bir tel olup, bir tel besleme ekipmanı ile kaynak bölgesine tel besleme hızı ile sevk edilir. Tel, kaynak banyosu, ark ve esas

metalin kaynak bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur. MIG- MAG kaynak yönteminde 0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm ve 1,6 mm gazaltı kaynak telleri kullanılmaktadır. Koruyucu gaz olarak CO₂, karışım gaz gazaltı kaynak yönteminde kaynak bölgesini atmosferden korumaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında uygulanan MIG (Metal Inert Gas) kaynak yönteminde ark, helyum ya da argon gibi asal bir gaz kullanılarak kaynak bölgesi atmosferden korunur. Yöntemde AlSi-3, AlSi-5, AlMg-5 gibi ilave malzemeler kullanılır. Alüminyum malzemelerin kaynağında teflon spiral kullanılır. Tel sürme sisteminde uygun makaralar kullanılarak yapılması gerekmektedir. (Tülbentçi, 1990). Karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında ise daha düşük maliyetli olduğu için MAG (Metal Aktiv Gas) kaynak yöntemi tercih edilir. Koruyucu gaz olarak karbondioksit gazı kullanılmaktadır. Bu gaz soğuk bir gaz olduğundan ısıtıcı ile kullanılması gerekmektedir. (Tülbentçi, 1988). Koruyucu gaz CO₂ olması halinde, kaynak sırasında oluşan reaksiyonlardan dolayı çok ince bir cüruf tabakası meydana gelir ve bu cüruf tabakası kolay bir şekilde kalkar (Vural, 1993).

2.5 Tozaltı Kaynak Yöntemi

Tozaltı kaynak yönteminde kaynak arkını atmosferden korumak için toz kullanılarak yapılan bir kaynaktır. Kullanılan kaynak tozu yalıtım görevi yaptığı için kaynak bölgesinin yavaş soğuması sağlanmış olur. Toz altı tozu olarak bazik ve rutil tozlar kullanılmaktadır. Bu yöntemde tozaltı kaynak telli olarak 2,4 mm, 3,2 mm ve 4 mm tozaltı telleri kullanılmaktadır.

Uygulama alanı olarak kalın ve büyük parçalar birleştirilirken (tersaneler, iş makineleri, basınçlı kaplar, doğalgaz boruları, su boruları, çelik konstrüksiyon, LPG tankları vb) bu kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Tozaltı kaynak yönetiminde de ark, otomatik olarak kaynak yerine sürülen tel ile iş parçası arasında meydana gelir ve ayrı bir kanaldan kaynak yerine dökülen kaynak tozu ile devam eder. Tozaltı kaynak yönteminde, tel uç kısmına yakın bir yerden ve özel bir bakır kontak tarafından akım verildiğinden, çok yüksek akım şiddetlerine çıkmak mümkündür. (Ertürk, 1994; Gavas ve vd., 2015).

2.6 Plazma Kaynak Yöntemi

Plazma, iyonlaştırılmış bir gaz kütesinin dar bir aralıktan geçirilerek malzeme üzerinde yüksek sıcaklıkların oluşturulduğu bir modern kaynak yöntemidir. Plazma arkı elektrik arkının yüksek sıcaklıkta iyonize olmasıyla elde edilir. Ark sütununun merkezindeki gaz, oluşan sıcaklıklarda ayrışır ve plazma açığa çıkar. Bu gaz, ark sütunundan uzağa doğru akarken nötr atomlar oluşturmak üzere yeniden birleşir ve bu sırada ortama ısı enerjisi verilir. Burada ark, tungsten elektrot ile iş parçası arasında meydana geliyorsa buna direk plazma kaynağı ve ark su soğutmalı bakır meme ile tungsten elektrot arasında oluşturuluyorsa buna da endirek plazma kaynağı denilmektedir (Gavas ve vd., 2015).

2.7 Elektron Işın Kaynağı (EBW) Yöntemi

Elektron ışın kaynağı; geleneksel kaynak yöntemleri ile elde edilmesi zor olan teknik karakteristikleri elde etmek için kullanılan modern bir teknolojidir. Bu kaynak yöntemiyle düşük ısı girdisi, düşük kalıntı gerilmeler ve distorsiyonlar ve ayrıca minimum mikro yapısal değişimlerin elde edilebildiği yegâne kaynak yöntemidir. Elektron ışın kaynağında elde edilen derin nüfuziyet, yüksek hıza çıkartılmış olan elektronların ana metale vuruşuyla elde edilir. Elektronların çarptığı noktalarda önemli sıcaklık artışıyla ana metalde ergimeye ve buharlaşmaya neden olur. Oluşturulmuş olan bu metal buharı içerisinde elektron ışınları katı metalde olduğundan çok daha kolayca hareket ederler. Bu da ana metalde daha derinlere nüfuziyeti sağlar (Gavas ve vd., 2015)

2.8 Lazer Kaynağı Yöntemi

Lazer kaynak yöntemi, günümüz teknolojisinde kullanılan bir kaynak yöntemidir, özellikle küçük boyutlardaki parçaların kullanıldığı üretim alanlarında, klasik birleştirme yöntemlerinin kullanılmadığı durumlarda tercih edilir. Lazer kaynağı makinaları tek bir dalga boyunda ve tek renkte parlak ışık üreten cihazlardır. Lazerin verdiği ışık, genellikle yoğun, ince bir demet biçimindedir. Endüstriyel gaz (Karbondioksit) ve Nd: Yağ (Katı hal lazeri)

şeklinde sanayide son yıllarda hızla gelişen bir uygulama sahasına sahip olan lazer ışınının yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasından dolayı hızlı kaynak yapma kabiliyeti ve dolayısıyla birim alanda daha düşük ısı girdisine, yüksek nüfuziyete ve kaynak bölgesinde düşük çarpılma riskine ihtimal verir. Lazerin yeni ve üstün tiplerinin geliştirilmesine devam edilirken uygulama alanları da hızla genişlemektedir. Bu sektörlerin başında elektrik endüstrisi, havacılık endüstrisi, otomotiv endüstrisi, metal endüstrisi gelmektedir. Yüksek güçlü lazerlerin en önemli uygulama alanlarından biri, sac malzemelerin kaynaklanması işlemidir. En geniş ve en önemli alanlardan biri olan otomobil sektörü de, lazerle imalat teknolojisi yaklaşık %30 paya sahiptir (Gavas ve vd., 2015; Irving, 1997).

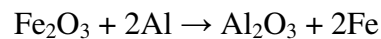
Diğer kaynak yöntemlerine nazaran lazer kaynağına üstünlük kazandıran en önemli nitelikler aşağıdakilerdir:

- Lazer, temiz bir enerji kaynağıdır,
- Kaynak işlemi, dolgu malzemesi kullanmadan gerçekleştirilebilir,
- Kaynak işlemi, yüksek oranda en: boy değişiminde ve dar bir alanda meydana gelir,
- Lazer ışınının üretimi; elektron ışın kaynağındaki gibi vakum gerektirmez. Bu sebepten bilhassa seri üretime uygundur, üretim hızı, otomatize edilebilme imkânı vardır.
- Aynı ve farklı metaller kaynatılabilir,

Lazer kaynağının, sert metalleri kaynatırken darbeli olarak kaynatılması ve mikroskobik kaynak kesitinin oluşumu gibi dezavantajları vardır. Fakat diğer kaynak yöntemlerine göre bu göz ardı edilebilir. Dolayısıyla gün geçtikçe daha da popüler hale gelmektedir.

2.9 Termit Kaynak Yöntemi

Termit, toz alüminyum ile başka bir metal oksidin (genellikle Demir oksit) karışımına denir. Bu karışımdan yaklaşık 2370°C'de gerçekleşen bir reaksiyon sonucunda çok büyük miktarda ısı açığa çıkar. En çok kullanılan karışım kütlece %25,3 alüminyum ve %74,7 demir oksitten oluşur. Reaksiyon şu şekildedir.



Bu kaynak, günümüzde özellikle demiryolu raylarının birleştirilmesinde, kırılan rayların tamirinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca inşaat demirlerinin alın kaynağında ve demiryollarında bakır iletkenlerin raylara kaynağında da kullanılmaktadır (Gavas vd., 2015).

2.10 Elektrik Direnç Kaynak Yöntemi

Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi, başta otomotiv ve beyaz eşya sektörü olmak üzere imalat sektöründe oldukça yaygın kullanılan bir kaynak yöntemidir. Bu tip kaynaklı bağlantılar, işletme sırasında statik ve dinamik yükler altında zorlanmaktadırlar. Özellikle dinamik yükler altında zorlanan kaynaklı bağlantılar ve çevresinde oluşan hasar yorulma hasarı olarak adlandırılır ve oldukça önemlidir. Elektrik direnç kaynak yöntemleri aşağıda ayrı bir başlık halinde detaylı olarak incelenecektir (Groover ve vd., 2016).

2.11 Difüzyon Kaynak Yöntemi

Difüzyon kaynağı eski zamanlardan beri yaygın olarak kullanılan etkili ve basit bir yöntemdir. Günümüzde geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağı zor olan malzemelerin birleştirilmesinde tercih edilen önemli ve modern bir birleştirme yöntemidir. Difüzyon kaynak yöntemi başta alüminyum ve alaşımları olmak üzere titanyum ve alaşımları ve süper plastik malzemelerin kaynağında tercih edilmektedir. Genel olarak difüzyon kaynak yöntemi; katı faz difüzyon kaynağı ve sıvı faz difüzyon kaynağı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Groover ve vd., 2016).

2.12 Sürtünme Kaynak Yöntemi

Sürtünme kaynağı bir katı hal birleştirme-kaynak yöntemidir. Kaynak birleşme bölgesinde mikroyapısal değişimin oluşmaması katı halde yapılan bu kaynak yöntemlerinin son yıllarda hızla gelişmesinde etkili olmuştur. Biri sabit diğeri dönen iki parça ara yüzeylerinde sürtünme yoluyla üretilen mekanik

enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilen sıcaklık ve eksenel basınç altında parçalar birleştirilmektedir. Sürtünme kaynağında kaynak süresi boyunca ısıtma-sürtünme safhası olarak da adlandırılan bu süreç plastik deformasyon sıcaklığına kadar devam eder. Bu sıcaklıkta dönme hareketi durdurulup eksenel basınç artırılarak yığılma oluşturulur. Böylece önemli bir mikroyapısal değişim olmadan kaynak bölgesi bir tür termo-mekanik işleme birleştirilmiş olmaktadır (Gavas vd., 2015).

2.13 Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi

Sürtünme Karıştırma Kaynağı bir katı hal kaynak yöntemidir. Bu yöntem sürekli kullanılan yöntemlere göre avantajlıdır. Bu avantajlar; koruyucu gaz, ilave tel ve kaynak personeli için koruyucu t tedbirler gerektirmeyen bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem alüminyum alaşımları ve magnezyum alaşımlarında son yıllarda çok kullanılmaya başlamıştır. Dönel hareket yapan, omuz ve pim'den oluşan bir kaynak takımı kullanılarak sürtünme karıştırma sonucunda kaynak işlemini gerçekleştirilmektedir (Groover ve vd., 2016).

2.14 Ultrasonik Kaynak Yöntemi

Ultrasonik Kaynak Yöntemi yeni ve modern bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem, kaynak süresinin kısa ve düşük maliyetli olması ve temiz kaynak yapılabilmesi nedeniyle geniş uygulama alanı bulmuştur. Ultrasonik kaynak yöntemi ile metal veya metal olmayan malzemelerin birleştirilebilmesinden dolayı endüstride tercih edilen bir metot haline gelmiştir. Özellikle plastik malzemelerin kaynağında oldukça önemli bir kullanım alanına sahiptir. Katı hal kaynak yöntemi olan ve basınç kaynağı yöntemi olarak da bilinen yöntem son yıllarda parçaların küçülmesiyle kullanımı artmıştır (Groover ve vd., 2016).

2.15 Soğuk Basınç Kaynağı Yöntemi

Bu yöntem bir katı hal kaynak yöntemi olup genellikle oda sıcaklığında veya düşük sıcaklıkta ve basınç altında yapılan bir birleştirme tekniğidir. Kaynak yapılacak parçalardan ergime sıcaklığı düşük olan parçanın yeniden kristalleşme sıcaklığı bu kaynak yönteminde uygulanacak en yüksek sıcaklık değeridir (Gavas vd., 2015).

2.16 Patlatma Kaynağı Yöntemi

Patlamalı kaynak yöntemi başlangıçta yalnızca metal levhaların birleştirilmesinde kullanılmıştır. Ancak sonraları eğimli ve boru şeklindeki malzemelerin de birleştirilmesinde de kullanılmıştır. Patlamalı kaynak yönteminde iki metal ara yüzeyinde ısıtma meydana gelmeden metalürjik bir bağ oluşturulmaktadır (Groover ve vd., 2016).

3. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI YÖNTEMLERİ

Direnç kaynağı 1877 yılında Elihu Thomson tarafından keşfedilmiştir. 1898 yılında düşük karbonlu çeliklere direnç nokta kaynak yöntemi uygulanmıştır. 1960 yıllarında ise otomotiv endüstrisinde galvanizli çeliklere direnç nokta kaynağını yapılmıştır (Gugel, 1995).

Elektrik direnç kaynağı, iş parçaları üzerinden geçen kaynak akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten dolayı elde edilen ısının ve ayrıca basıncın aynı anda uygulanmasıyla yapılan bir kaynak usulüdür. Isı için gereken elektrik akımı, kaynak edilecek kısımlara basınç kaynak makinasının elektrotları veya çeneleri kullanılarak gönderilir. Transformatörleri düşük gerilim, yüksek akım sağlarken pnömatik, hidrolik veya mekanik sistemden ise basınç temin edilir (Gavas vd., 2015).

Genellikle ince sac gibi malzemelerin kaynak yöntemleriyle birleştirilmesinin kolay olması, kaynak hızının ve mukavemetinin yüksek olması, ek ilave malzemesi gerektirmemesi ve görsel olarak estetik oluşu gibi avantajları sayesinde beyaz eşya, otomotiv ve uçak endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Akkuş, 2006).

Elektrik direnç kaynağı çeşitleri, direnç nokta kaynağı, kabartılı nokta kaynağı, dikiş kaynağı ve direnç alın kaynağıdır. Direnç nokta kaynağı, genellikle 3 mm ye kadar malzemelerin birbirine bindirilerek birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik ve çelik sac parçalarının birleştirilmelerinde kullanılmaktadır (Akyol, 2001; Gülenç, 2003).

Elektrik direnç kaynağının avantajları;

1. Ek metale ihtiyaç yoktur,
2. Üretim hızı yüksektir,
3. Otomasyonla kaynak gerçekleştirilir,
4. Operatör beceresi gerektirmez,
5. Tekrarlanabilir ve güvenilirdir.

Elektrik direnç kaynağının dezavantajları;

1. İlk donanım maliyeti yüksektir.
2. Birden fazla direnç kaynağı için bindirme bağlantıları sınırlıdır.
3. Birden fazla kaynak parametreleri kontrol altında tutulması gerekir.
Ayrıca güç tüketimi yüksektir (Gallagher, 2003).
4. Kaynak bağlantıları az distorsiyonla oluşur (Kanlı, 2005).

Direnç kaynağı yöntemleri, genellikle dört temel guruba ayrılmaktadır.

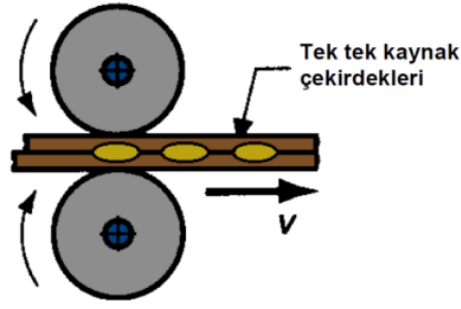
1. Dikiş kaynağı
2. Alın kaynağı
3. Yüksek frekanslı direnç kaynağı
4. Nokta kaynağı

3.1 Dikiş Kaynağı Yöntemi

Direnç kaynağının bu türü özellikle çamaşır makinası, bulaşık makinası ve buzdolabı gibi beyaz eşya sektöründe sızdırmazlık istenen yerlerde yaygın olarak kullanılır. Dikiş kaynak yöntemi iki grupta incelenmektedir.

1. Sürekli dikiş kaynağı
2. Aralıklı dikiş kaynağı (Şekil 3.1)

Prensip olarak normal nokta kaynağına benzeyen bu yöntemde, tekerlek biçimindeki elektrodların bastırılarak dönmeleriyle, sürekli veya kesikli kaynak dikişleri elde edilir. Kaynaklanacak parçaların biçimlerine göre, farklı elektrod tipleri de vardır. Dikiş kaynağında sızdırmaz bir dikiş elde edilebilmesi için kaynak şeridinin genişliği iyi ayarlanmalıdır.

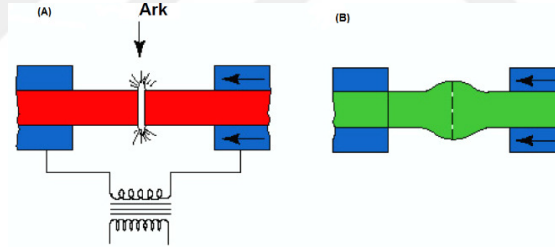


Şekil 3.1. Disk elektrod tarafından üretilen farklı dikiş türleri (Gavas vd., 2015)

3.2 Alın Kaynağı Yöntemi

Alın kaynağı, özellikle silindirik veya aynı geometriye sahip parçaların kaynağında tercih edilen diğer bir direnç kaynağı türüdür. Alın kaynağının iki tür uygulaması vardır;

- a. Basınçlı alın kaynağı
- b. Yakma alın kaynağı (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Yakma Alın Kaynağı (Gavas vd., 2015)

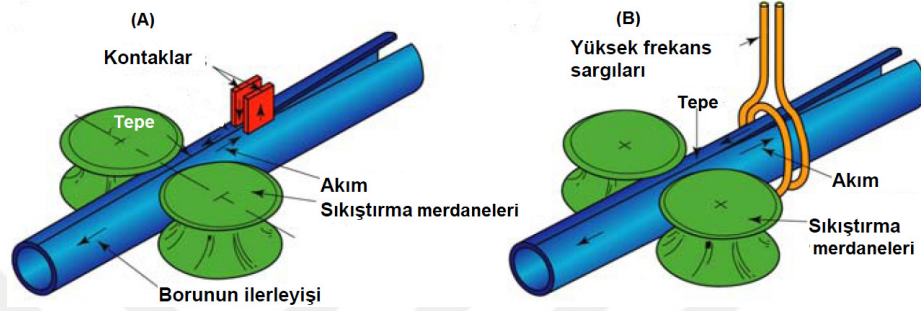
Basınçlı alın kaynağının üç çeşit uygulaması vardır;

- a. Basınçlı alın kaynağı
- b. Ön ısıtmasız alın kaynağı
- c. Ön ısıtmalı alın kaynağı

Yakma alın kaynağında, parçalar temas etmeden akım uygulanırken basınçlı alın kaynağında, parçalar yüksek bir basınç altında birbirine temas ettirilerek akım verilir.

3.3 Yüksek Frekans Direnç Kaynağı Yöntemi

Isı kaynağı olarak yüksek frekanslı bir alternatif akımının ve hemen arkasından kaynaklı birleşmeyi sağlayacak bir baskı kuvveti uygulanarak gerçekleştirilen bir yöntemdir (Şekil 3.3'de yüksek frekans direnç kaynağı gösterilmiştir).



Şekil 3.3. Yüksek Frekans Direnç Kaynağı (Gavas vd., 2015)

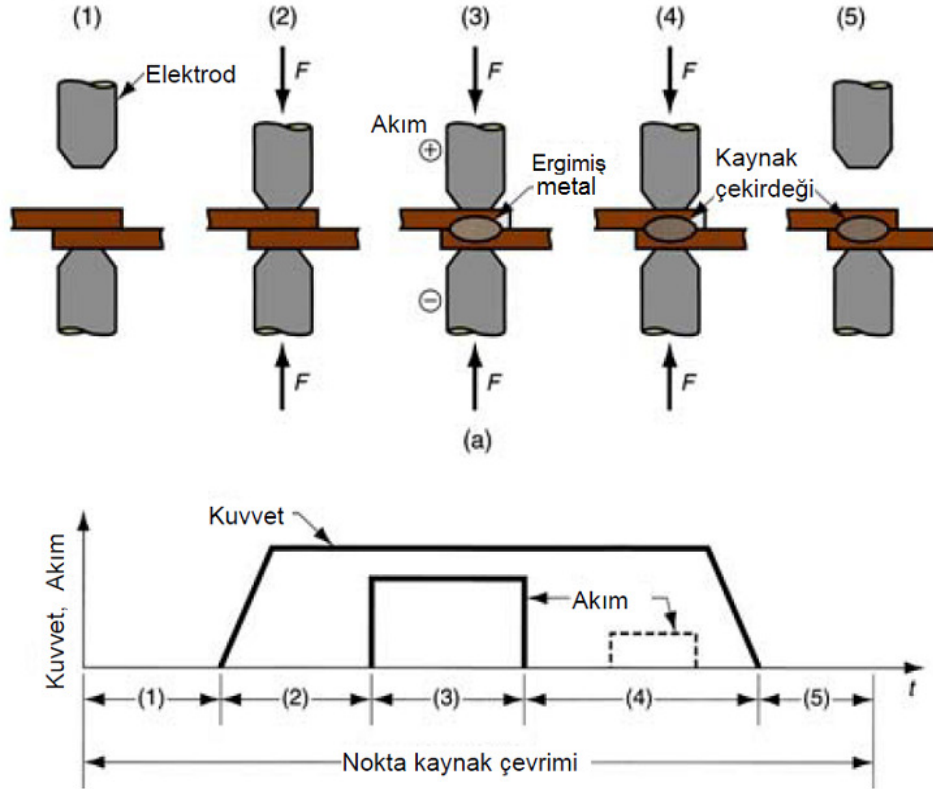
3.4 Nokta Kaynağı Yöntemi

Nokta kaynak yöntemi iki veya daha fazla metal sac ve levhaların birleştirilmesinde kullanılır (Gugel, 1995). Normal ve kabartılı nokta kaynak yöntemi olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. 6 mm kalınlığına kadar çelik levhaların birleştirilmesinde rahatlıkla nokta kaynağı kullanılmaktadır. En çok otomotiv sektörü, beyaz eşya, konteyner ve benzeri uygulama alanlarında özellikle düşük karbonlu çelik sacların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca mutfak gereçleri, beyaz eşya ve otomotiv endüstrisinde kullanılan paslanmaz çelik sacların birleştirilmesinde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. (Gavas ve arkadaşları, 2015; Akyol, 2001).

Kaynak dikişinin şekli, kullanılan elektrotu şekli ve boyutuna bağlı olarak değişir. Nokta kaynağı Şekil 3.4'te de görüldüğü gibi genel olarak dört periyottan meydana gelir:

1. Basma süresi: Elektrod kuvvetinin uygulanması ile ilk kaynak akımının oluşması arasındaki süre basma süresidir.

2. Kaynak süresi: Kaynak akımının izlendiği zaman dilimi kaynak süresidir.
3. Tutma süresi: Kaynak akımının kesildikten sonra elektrod kuvvetinin devam ettiği süre tutma süresidir.
4. Ölü süre: Elektrodlar kaynak yapılacak malzeme ile temas halinde olmadığı süre ölü süre olarak isimlendirilir.



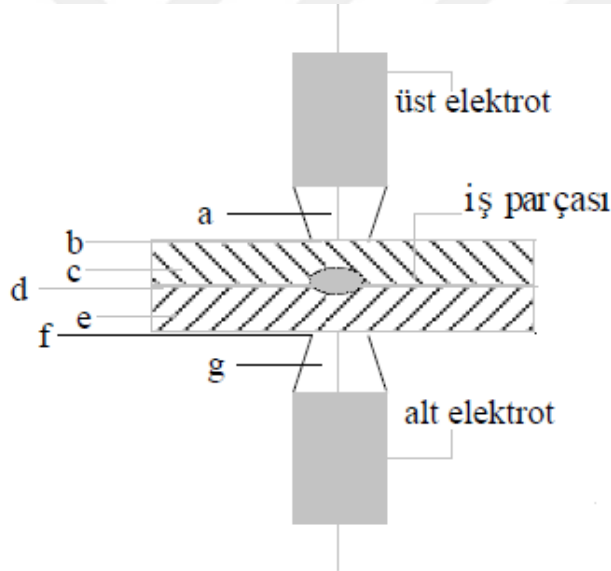
Şekil 3.4. Punta ve kaynak çevrimi (Gavas vd., 2015)

Elektrik direnç kaynağı bir elektromekanik birleştirme işlemidir (Akyol, 2001). Kaynak edilecek malzemelerin temas yüzeyi, kısa bir süre enerji verilen düşük gerilim, yüksek akım şiddeti ile eriyen kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Otomatik olarak elektrik akımı kesilir ve uygulanan basınç ile soğuma sağlanır. böylece katılma olur ve saç malzeme ayrılmaz şekilde birleşmiş olur (Akkuş, 2006).

Direnç nokta kaynak makinasının sekonder kısmı ve kaynak edilecek malzemeler olmak üzere seri bir dirençten oluşmuştur. Bu dirençlerin toplamı kaynak akım şiddetini meydana getirir. Elektrik akımı dirençten bağımsız olarak

devrenin her noktasında aynıdır. Herhangi bir noktada meydana gelen ısı, doğrudan o noktadaki direnç ile orantılı olarak artmaktadır. Kaynak olan parçalarda ve elektrotlarda ısının meydana gelişi ve dağılımı Şekil 3.5’de görülmektedir. İki metalin kaynağında, yedi direnç seri halde birbirine bağlanmıştır (Akkuş, 2006).

- a - Üst elektrotun malzeme direnci
- b - Üst elektrot ile üstteki parça arasındaki temas direnci
- c - Üst parçanın malzeme direnci
- d - Üst parça ile alt parça arasındaki temas direnci
- e - Alt parçanın malzeme direnci
- f - Alt elektrot ile alt parça arasındaki temas direnci
- g - Alt elektrotun malzeme direnci



Şekil 3.5. Elektrik Nokta Kaynağı prensibi (Akkuş, 2006).

Elektrotlar arasında meydana gelen veya üretilen ısı miktarı Q üretilen ısı ile ifade edilir. Bu ifade Joule kanununa göre W elektrik işine de eşittir.

$$Q = K P \cdot t$$

$$Q = K I^2 R t \text{ (Joule kanunu)}$$

Q üretilen ısı, K sıcaklık sabiti, P güç, I kaynak akımı ve R kaynak akımının geçtiği devredeki elektrik dirençlerinin toplamı ve t kaynak akımının

devrede kalma süresidir. İstenilen kaynak ısısını üretebilmek için yüksek akıma gerek vardır. İstenilen akım, yüksek akım ve düşük gerilim kaynak makinesinden sağlanır. Basma kuvveti elektrotlar tarafından sağlanırken, Kuvvet ise pnömatrik veya mekanik ekipmanlardan elde edilir.

3.4.1 Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri

Direnç kaynağını daha çok akım, kuvvet ve zaman etkiler. Direnç kaynağı yöntemi için uygun bir kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının ayarlanması gerekir. Kaynak akımının, kaynak süresinin ve elektrot kuvveti için doğru parametrelerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Çünkü üretilen ısının tümü kaynak noktasını oluşturan kaynak metalinde kullanılmaz. Bir kısmı su soğutmalı elektrotlara doğru akar. Bir kısmı da soğuk parçaya doğru akar. Ayrıca uzun kaynak süreleri uygulamalarında, ışıma da önemli bir ısı kaybı aracıdır. Akımın sürekliliği, elektrotların uyguladığı kuvveti sayesinde gerçekleşir. İş parçasının ısıtma ve soğutma hızları, zaman tasarrufu ve ısı kayıplarının azaltılması bakımından çok yüksek olmalıdır (Gugel, 1995). Kullanılan elektrotların yüksek ısı iletkenliğine sahip olması ve su ile soğutulması nedeniyle elektrotlar üzerinde zamanla yıpranma oluşsa da ergime oluşması beklenmez (Gavas ve vd., Akkuş, 2006). Kaynak sonrası meydana gelen kaynak çekirdekleri, kaynak parametrelerine ve kaynağın yapıldığı sacın kalınlığına bağlı olarak boyutları değişmektedir (Akyol, 2001). Ayrıca düşük karbonlu saclar için kullanılan kaynak parametreleri, galvanizli saclar veya paslanmaz saclar için uygun değildir (Gallagher, 2003).

3.4.2 Kaynaklanabilirlik

Elektrot aşınması az olacak şekilde kaynakların birleştirilmesini sağlayıp kaynak çekirdeği meydana getiren malzemeler “kaynaklanabilir” olarak ifade edilir. Kaynaklanacak parçaların yüzey durumu ve kimyasal kompozisyonu kaynaklanabilirliği belirleyen en önemli faktörlerdir.

Kaynaklanacak parça yüzeylerinin temiz, oksitlenmemiş olması, boyalı ve yağlı olmaması gerekir. Bu olumsuz etkenler kimyasal veya mekanik temizlemeyle giderilebilmektedir. Çünkü iş parçalarının yüzeyindeki kir, oksit ve kalın yağ tabakaları kaynak içinde inklüzyonlara sebep olabilir.

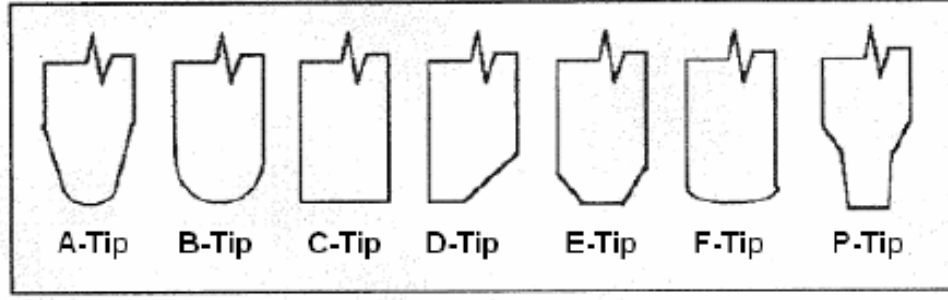
Kaynak sonrası oluşan görüntü de kaynaklanabilirliği belirleyen etmenlerden birisi olabilmektedir. Örneğin otomotiv panellerinde yanık kaynak görünümü gibi gözle görülebilen küçük hatalar da kaynaklı parçalarda sorun oluşturmaktadır.

Kaynakla birleştirilecek iş parçasının hızlı soğuması, sert ve kırılgan martenzit yapının ortaya çıkmasına veya kaynak çekirdeğinin zarar görmesine neden olabilir. Kaynaklanabilirliğin belirlenmesinde çelik saçların içerdiği karbon miktarı önemlidir. Karbon miktarının yükselmesi, malzemenin dayanımını artırırken, kaynak sonrası martenzit oluşma riskini de artırır ve bu da çekirdek içi yırtılmaya neden olur. Bu nedenle yüksek karbon çelikleri genel olarak direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilmez (Gallagher, 2003).

3.4.3 Elektrot geometrisi

Nokta direnç kaynağında malzemeleri birbirine puntalarken sadece elektrot ucu malzemeye temas etmektedir. Puntanın kaliteli olması için doğru elektrot kullanımı ve uygun elektrot ucu seçilmesi önemlidir.

Kaynak yapılacak malzeme düzgün oturuyorsa E tipi elektrot, malzeme düzgün oturmuyorsa ve kaynak işlemi esnasında kuvvetin parçaya zarar vermesi istenmiyorsa B tipi elektrot tercih edilir. Şekil 3.6'da elektrot uç çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Elektrot Uç Çeşitleri

Elektrot yüzeyinin çapı küçük olursa elektrottan yüksek akım geçmesinden dolayı sıcaklık yüksek olur. Elektrot yüzeyinin çapı büyük olursa basınç yüksek olur.

Yapılan çalışmalarda malzeme kalınlığı 2,3 mm'den az ince saçlar için elektrod ucunun istenen çekirdek çapından %5 büyük olması gerektiği ifade edilmektedir (Gallagher, 2003). Çizelge 3.1'de elektrot ucu ve özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Elektrot ucu malzemesi ve özellikleri

Grup	Sınıf	Bileşenler	Mekanik Özellikler			Uygulama	
			HRB	Elektrik İletkenliği	Mukavemet (ksi)		
A	1	% 1 Cd	50-65	80	(+)40-60	Düşük karbon çelikler	
	2	% 0,8 Cd	65-75	70-75	(+)45-65	Düşük karbon çelikler	
	3	%0,5 Be, %1 Ni	90	45	(+)85-100	Düşük karbon çelikler kalın	
B	10	Cu-W Reflaktör Metalleri	72	35	(-) 135	Yüksek sıcaklık yüksek basınç ve düşük soğutma uygulamalarında	
	11		94	28	(-) 160		
	12		98	27	(-) 170		
	13		Alaşsız W	69	30		(-) 200
	14		Alaşsız Mo	85	30		
C	20	%0,5-1,1 Al2O3		78		Galvanizli çelik saçlarda	

3.4.4 Elektrot malzemesi

Direnç nokta kaynağında kullanılan elektrotlar yüksek ısıl iletkenliği ve yüksek sürtünme direncine sahip malzemelerden imal edilirler. Elektrot malzemesinin yüksek tavlama sıcaklığı ve yüksek sertliği sahip olması beklenir. Nokta kaynağında kullanılan elektrotlar A, B ve C olmak üzere üç gruba ayrılır.

Bakır alaşımından yapılan elektrotlar A grubunda bulunurlar. Bu grupta bulunan elektrotlar Sınıf 1, Sınıf 2 ve Sınıf 3 olmak üzere 3 sınıfa ayrılırlar. A grubu ve Sınıf 1'de Cu-Cd ve Cu-Zr elektrotlar bulunur. Bu elektrotlar sıcak işlem uygulamaya uygun olmayan elektrotlardır. Yüksek elektrik iletkenliğine ve yüksek yumuşama sıcaklığına sahip soğuk sertleştirilmiş elektrot malzemesidir.

Alüminyum esaslı malzemelere ve bronzlara uygundur. Cu-Zr elektrotları, saf bakırın %93'ü oranında iletkenliğe sahiptir.

A grubu ve Sınıf 2'de bulunan elektrotlar yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Ancak Sınıf 1'e göre iletkenlik özellikleri düşüktür. Yüksek dayanımlı ve genellikle yaşlanma sertleşmesi uygulanmış elektrot alaşım malzemesidir. Klas 2 en fazla tercih edilen elektrod malzemesidir. Sınıf 2'de bulunan elektrotların bileşimi Cu-%0,8 Cr, Cu-%0,15 Zr ve Cu-%0,7 Cr-%0,1 Zr alaşımlarıdır. Cu-Cr elektrotları ısıl işlem görmüş saf bakırın %80'i oranında iletkenlik özelliğine sahiptir. Cu-Cr-Zr elektrotları Cu-Cr elektrotlarından daha yüksek dayanıma ve yaklaşık aynı iletkenlik değerine sahiptir. Tüm çeliklere özellikle alaşımlı ve paslanmaz çeliklere, ayrıca kaplı ve galvanizli çeliklere uygundur. Nokta, kabartı ve alın kaynağında kullanılır. Karbonlu çeliklere, galvanizli saçlara, pirinç, bronz ve nikelde uygun malzemelerde ve bazı alüminyum alaşımlarına uygundur. Dikiş kaynağında. Yüksek derecede yüklenebilir ve çatlama oluşumuna karşı geniş ölçüde dirençli. Tüm çelik türlerine ve kaplı saçlara uygundur.

A grubu ve Sınıf 3'de bulunan elektrotların aşınma dayanımları ve ısıl sıcaklıkları yüksektir. Bu malzeme Sınıf 1 ve Klas 3 elektrotlara göre daha sert ve yüksek dayanımlı olmasına karşın daha düşük iletkenliğe sahiptir. Genellikle yaşlanma sertleşmesi uygulanmış olan bu elektrot malzemeleri orta derecede

elektrik iletkenliğine (saf bakıra göre %50 oranında iletken) sahiptirler. Nokta, dikiş, kabartı ve alın kaynağında kullanılır. Düşük iletkenliğe sahip alaşımlı, yüksek dayanımlı ve paslanmaz çeliklere ayrıca nikel alaşımlarına uygundur (Gallagher, 2003).

Cu-W veya saf W gibi refrakter malzemelerden yapılmış elektrotlar B grubunda yer alırlar. Grup B'de bulunan elektrotların sınıfları 10-14 arasında sınıflandırılmıştır. Yüksek sıcaklık ve basınç uygulanacağı zaman bu elektrotlar kullanılır. İletkenlik durumları Grup A'dan daha azdır (Gallagher, 2003).

C grubunda elektrotların özel alaşımlar içerir. Bu grupta bulunan elektrotlar Al_2O_3 ile dispersiyon sertleştirilmesi yapılmış bakır elektrotlardır.

Daha iletken olması için DSC elektrotları Ti_2B partikülleri de içerir. DSC elektrotları yüksek sertliğe, yüksek sıcaklığa dayanma özelliklerine sahiptirler ancak iletkenlikleri düşük ve soğuk işleme toz metalurjisi ile üretilirler (Gallagher, 2003).

3.4.5 Kaynak noktası sıklığı

İkinci nokta kaynağı, kaynak akımının birinci kaynaktan ya da ikinci kaynak noktasında elektrotlar arasındaki metalden akmasına neden olacak kadar, birinciye yakın yapılması “kısa devre” olarak isimlendirilir. Kısa devre olmasından dolayı kaynak atlaması oluşur. İkinci kaynağa ait akımın bir kısmı, birinci kaynağa atlar. Akımın bölünmesi, ikinci kaynağın kalitesini azaltır ve çekirdek çapı (d_n) azalır. Kaynak atlamasından kaçınmak için çekirdek çapları arasındaki uzaklık $3d_n$ 'den büyük olmalıdır. Elektrot uçları arasındaki metalin sıcaklığı yükselince direnç sonsuza gider ve adeta kısa devre oluşur. Düşük sıcaklıktaki metaller yüksek dirençli metallere nazaran çok daha fazla etkilenmektedir (Akyol, 2001).

3.4.6 Elektrot ve iş parçasının temas durumları

Elektrodların ve iş metallerinin temas etmesi kaynak kalitesini etkileyen bir durumdur. Elektrotlar kaynağın yapılacağı bölgeye dik ve paralel olmalıdır. Birbirine paralel olan alt ve üst elektrotun aynı ekseninde olması gerekmektedir. Birbirine paralel ancak aynı ekseninden geçmeyen alt ve üst elektrotlarda tek bir dairesel bölge yerine iki dairenin kesişim bölgesi şeklinde gölgeli bir alan gözlenmektedir. Bunun sebebi kaynağın, basıncın etkin olduğu bölgede meydana gelmesidir (Akyol, 2001).

Kaynak elektrotları, akımı geçirmeye yarayan elektrik iletkenleridir. Malzemeye kaynak akımını ve elektrot kuvvetini (veya yığma kuvvetini) taşırlar. Elektrot malzemelerinin şekilleri, boyutları ve ısı iletkenlikleriyle ve soğumalarıyla, kaynak işlemindeki ısı bilançosunu etkilerler. Elektrot malzemelerinden beklenen özellikler çok çeşitlidir. Beklenen yaygın özellikler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

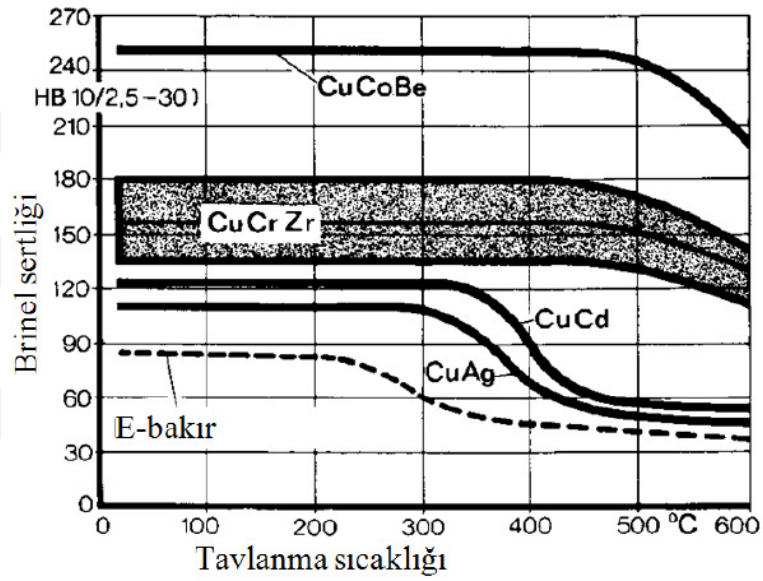
- İyi bir elektrik iletkenlik
- Yüksek bir ısı iletkenlik
- Yüksek bir normal ve sıcakta sertlik
- Yüksek bir tavlama direnci
- Yüksek bir yumuşama sıcaklığı
- Kaynak yapılan malzemeyle düşük bir alaşım oluşturma eğilimi
- Kolayca işlenebilmedir.

Bu farklı ve kısmen birbiriyle çelişen özellikler, sadece bakır ve bakır alaşımları tarafından sağlanabilmektedir. Tüm koşulların aynı anda yüksek olması mümkün değildir. Önemli elektrot malzemeleri ISO 5182 (DIN 44759)'de standartlaştırılmıştır.

Elektrotun direnci düşük olduğunda, iyi bir elektrik iletkenliği mevcut demektir. Direnç, elektrotun malzemesinin dışında elektrotun şekline de bağlıdır. Isı iletkenlik de, elektrotun malzemesinin dışında şekline ve kütesine, ayrıca soğutma borusunun büyüklüğüne ve konumuna da bağlıdır. Müsaade edilen üst

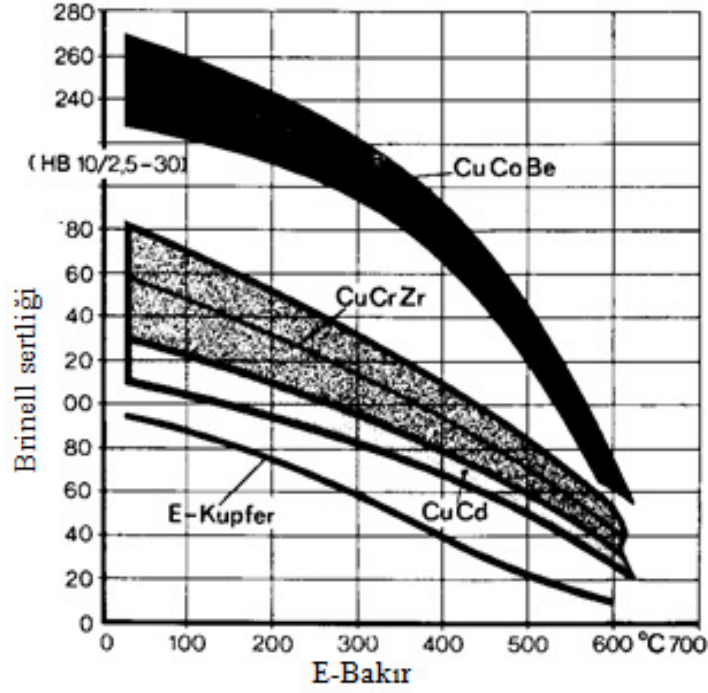
çalışma sıcaklığında da Brinell sertliğinin azalmaması, yüksek bir esas (oda sıcaklığı) ve sıcakta sertlik olduğunu gösterir.

Sıcakta sertlik, bir elektrotun dayanma süresini belirleyen kriterlerden biridir. Tavlanma direnci, sabit sıcaklıktaki belirli bir ortamda sertlik değerinin hangi sabit sıcaklıklarda değişmediğini gösterir. Bu sertlik değerleri, yumuşama sıcaklığına ulaşana kadar sabit tutulabilir. Şekil 3.7’de değişik elektrot malzemelerinin tavlanmaya dayanımını göstermektedir.



Şekil 3.7. Değişik elektrot malzemelerinin tavlanmaya dayanımını (GEV,2009).

Yumuşama sıcaklığına ulaşıldığında, sertlik değerleri aniden düşer. Elektrot temas yüzeyinin çalışma sıcaklığı bu durumda yüksek değerlere ulaşır. Çok noktalı sıra kaynaklarda bu husus özellikle önemlidir. Şekil 3.8’de değişik elektrot malzemelerinin sıcakta sertliği göstermektedir.



Şekil 3.8. Değişik elektrot malzemelerinin sıcaklığa bağlı sertlik değişimi (GEV, 2009).

Elektrot malzemesinin kaynak yapılan malzemeyle alaşımına eğilimi, özellikle yüksek sıcaklıklarda elektrot ucunda önemli hale gelir. Yüksek malzeme-elektrot temas direnci nedeniyle elektrik iletkenliğinin düşmesine bağlı olarak artar. Kalay, kurşun, çinko, kadmiyum, alüminyum, bakır, nikel, krom ve gümüş gibi metalik iletken kaplamalar, kaynak sırasında elektrot ucunda ortaya çıkan yüksek sıcaklıklarda bakır veya bakır alaşımı elektrotlarla kuvvetli şekilde alaşım yapma eğilimine sahiptir. Bu bakımdan kaynak sırasında elektrot ucundaki “özgül yüzey basıncının artmasına dikkat edilmelidir; zira temas direnci büyür ve ilave ısınma ortaya çıkar. Alaşımın eğilimi, kısa akım süreleriyle, yeterli elektrot soğutmasıyla, uygun ve sabit elektrot kuvvetleriyle ve doğru seçilmiş elektrot malzemesiyle azaltılabilmektedir.

3.4.7 Elektrod ömrü

Elektrodların ömrü, kaynak kalitesi, nokta yüzey görünümü bozulmadan ve elektrot ucunun tekrar işlenmeden yapılabilen kaynak sayısıdır. Çizelge 3.2’de elektrod ömrüne etkileyen faktörlerin etkime durumları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Elektrod ömrüne etkiyen faktörlerin etkiye durumları

Faktör	Elektrot ömrü
Sertlik (sıcakta, soğukta)	Arttırır
Elektrot malzemesinin iletkenliği (elektrik, ısı)	Arttırır
Elektrot malzemesinin yumuşama sıcaklığı	Arttırır
Elektrot malzemesinin soğutulması	Arttırır
Statik elektrot basma kuvveti	Önce arttırır sonra azaltır
Dinamik elektrot basma kuvveti	Azaltır
Kaynak yapılan malzemenin sertliği (sıcakta, soğukta)	Azaltır
Alaşımın eğilimi	Azaltır
Elektrotun sürekli sıcak kalması	Azaltır
Elektrotun parçaya dalma derinliği	Azaltır
Elektrot ve malzeme yüzeyinin temizliği	Arttırır
Elektrot ucunun tıraşlanması	Arttırır

4. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, %12'den daha fazla krom içeren ve yüksek korozyon direnci gösteren çelik çeşididir. Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan krom, yüzeyde ince oksit tabakası meydana getirerek çeliği korozyondan korumaktadır (Çimenoğlu vd., 2001). Paslanmaz çeliğin özelliğini değiştirmek için nikel, molibden, bakır, kükürt gibi elementler kullanılmaktadır.

Paslanmaz çelikler krom miktarının artması ve korozyon dayanımlarına göre değişmektedir. Pasif film oluşturmada esas element kromdur. Diğer elementler ise pasif film oluşturmada yükseltici yönde etki yaparlar. Film oluşumu %10,5 Cr ile başlar, bu orandaki krom yumuşak atmosferlerde kullanıma elverişlidir. Çeliklerde %17-20 Cr var ise östenitik paslanmaz çelik, %26-29 Cr var ise ferritik paslanmaz çelik yapıları meydana gelir. Krom oranı artması neticesinde pasif filmin kararlılığı yükselir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kararlı olması nikel elementi katkısı ile oluşur. Nikel elementi katkısı paslanmaz çeliğin mekanik özelliklerinin yükselmesine neden olmaktadır.

%8-10 Ni sahip paslanmaz çeliğin korozyon çatlamasına karşı direnci oldukça azdır. %30 Ni olması durumunda tam ters bir durum oluşur (Davis, 1994). Inger Odnevall ve arkadaşları bölgesel iklim koşullarında bir yıllık zamanda 304 ve 316 kalite paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan krom ve nikel kayıplarını araştırmışlardır. Krom ve nikel kaybı 316 kalite paslanmaz çelikte yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Uygun koşullar altında 316 kalite paslanmaz çelik ile 304 kalite paslanmaz çelik karşılaştırıldığında korozyon direnci 316 paslanmaz çeliğin yüksek olduğu ifade etmiştir. Wallinder ve arkadaşları ise 316 kalite paslanmaz çelikte krom ve nikel kaybı yüksek olsa da toplam malzeme kaybının daha az olduğunu belirtmişlerdir (Wallinder vd., 2002). Paslanmaz çelik gruplarına ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kristal yapı ve sertleşme durumuna göre paslanmaz çelikleri beş gruba ayırmak mümkündür.

- Ferritik paslanmaz çelikler,
- Martensitik paslanmaz çelikler,
- Östenitik paslanmaz çelikler,
- Çift fazlı paslanmaz çelikler ve
- Çökeltme ile sertleşen paslanmaz çelikler (Aran, 2004)

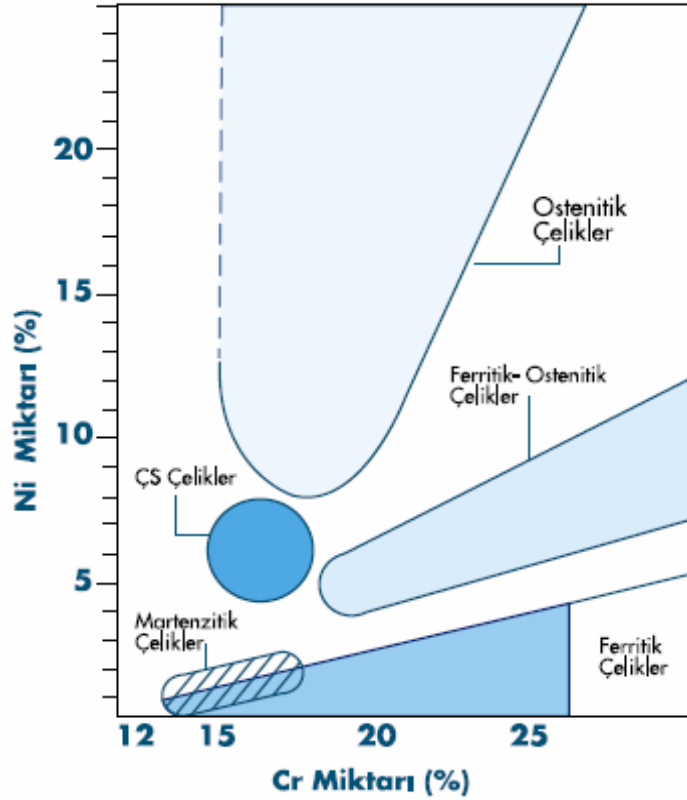
Çizelge 4.1. Paslanmaz çelik gruplarına ait fiziksel özellikler (Odabaş, 2007)

Fiziksel Özellikler	Östenitik paslanmaz çelikler	Ferritik paslanmaz çelikler	Martensitik paslanmaz çelikler	Çökeltme ile sertleşebilen paslanmaz çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/cm ³)	8,0	7,8	7,8	7,8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16,6	10,4	10,3	10,8
Isıl iletkenlik (W/mk)	15,7	25,1	24,2	22,3
Özgül Isı (J/k °K)	500	460	460	460
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74	61	61	80
Manyetik Geçirgenlik	1,02	600 - 1100	700 - 1000	95
Ergime Aralığı (°C)	1375 - 1450	1425 - 1530	1425 - 1530	1400 - 1440

4.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, kolaylıkla şekillendirilebilmelerinden dolayı soğuk veya sıcak olarak haddelenebilirler. Ferritik paslanmaz çelikler atmosferik korozyona karşı fazla direnç göstermeleri, östenitik paslanmaz çeliklere göre nikel içermediğinden nispeten daha uygun maliyetli olmalarından dolayı birçok uygulama alanına sahiptir. Bunlardan bazıları; beyaz eşya endüstrisi, otomotiv şasi elemanları, egzoz elemanları, endüstrisi, mutfak gereçleri, kimya, kâğıt ve petrokimya endüstrileri, gıda endüstrisi, iç ve dış mimari, dekoratif elemanlar, klorürlü ortamlar, ısı eşanjör boruları, tanklar ve sıcak su, buhar üretim, iletim donanımlarıdır. Bu çeliklerde %12-30 krom ve %0,12'den daha az karbon oranına sahiptirler. Ayrıca mikro yapı olarak ferritik yapıya (HMK, α-demiri) sahiptirler (Develi, 2003; Çimenoglu vd., 2001).

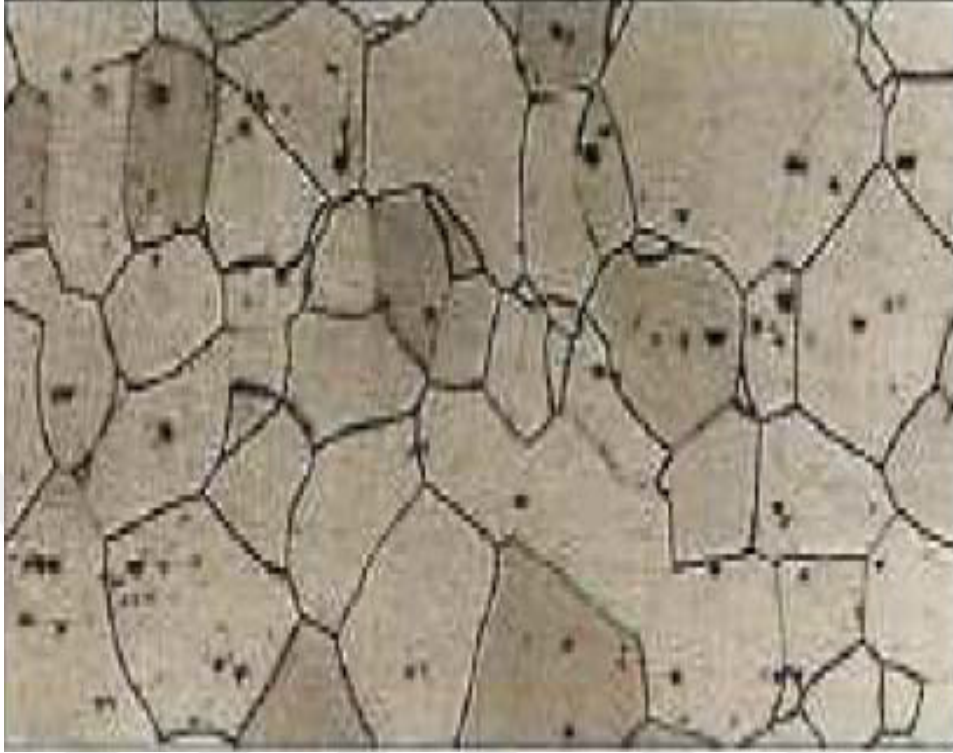
Oda sıcaklığında ferrit olan yapılar ferrit paslanmaz çeliklerdir. Oda sıcaklığında manyetik özellik gösterirler ve 768°C sıcaklığa kadar özelliklerini korurlar. Bu çelikler nikel içermeyecek şekilde %12-30 Cr içerirler ve %0,02 ile 0,12 gibi düşük oranda karbon içerirler. %12 Cr sahip olan ferritik çeliklerin kullanılması üretim maliyetlerini düşürürler. Yeterli krom ve alaşım maddeleri bulunan çelikte ferrit tamamen kararlı hale getirilir. Bu çeliklerde karbonun çok düşük miktarlarda tutulması γ (Gama) bölgesini genişletir. Böylece yüksek tokluk ve östenit oluşumu önlenmiş olur. Ferrit taneleri 1100°C'de homojenleştirilir ve hemen sonra hızlıca soğutulmasının nedeni çekilebilirliğe ve tokluğa neden olan fazların oluşmaması içindir (Korkut, 1997). Şekil 4.1'de farklı paslanmaz çelikler için krom ve nikel miktarları gösterilmiştir.



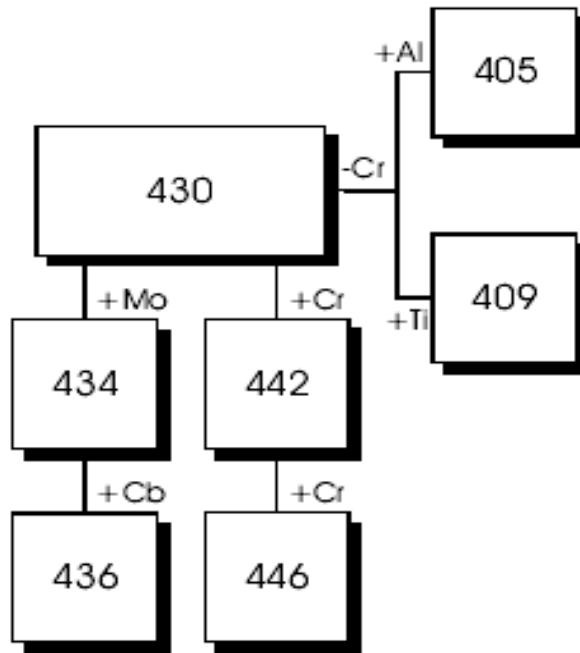
Şekil 4.1. Paslanmaz çelik türleri için krom ve nikel miktarları (Aran, 2004)

%20'den fazla krom oranı ve 550°C ve 850°C arasındaki sıcaklıklarda tavlanan ferritik paslanmaz çeliklerde sigma (σ) fazı oluşur. Bu durum yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Sigma fazı çeliğin sertliğini arttırdığı için faydalı olabilir ancak düşük korozyon direnci ve gevrekleşmeye sebep olmasından dolayı istenmeyen bir durumdur (Develi, 2003). Şekil 4.2'de ferritik paslanmaz çeliğin

mikroyapısı, Şekil 4.3’de ise ferritik paslanmaz çelik grupları şematik olarak verilmiştir.



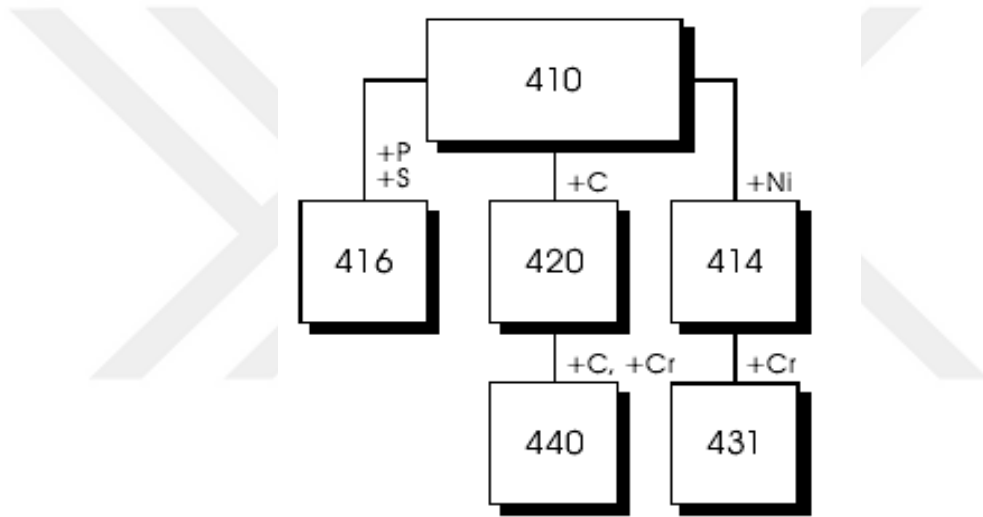
Şekil 4.2. Ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapısı (Aran, 2004)



Şekil 4.3. Ferritik Paslanmaz Çelik Grubu (Lefevre, 1993)

4.2 Martensitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliğin %12-17 arasında krom ve %0,15-1,0 arasında karbondan meydana gelen bir türüdür. Bu malzemelere mikroyapı kazandırmak için havadan su östenit sahasından verilir. Isıl işlem türü olarak alaşımsız ve az alaşımlı çeliklere uygulanan ısıl işlem tercih edilir ve su verme sonrası temperleme işlemi ile tokluğu artırılır. Ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler ile karşılaştırıldığında martensitik paslanmaz çeliğin daha düşük korozyon direncine sahip olduğu görülür (Çimenoğlu ve Geçkinli, 2001). Şekil 4.4’de martensitik paslanmaz çelik grupları şematik olarak verilmiştir.

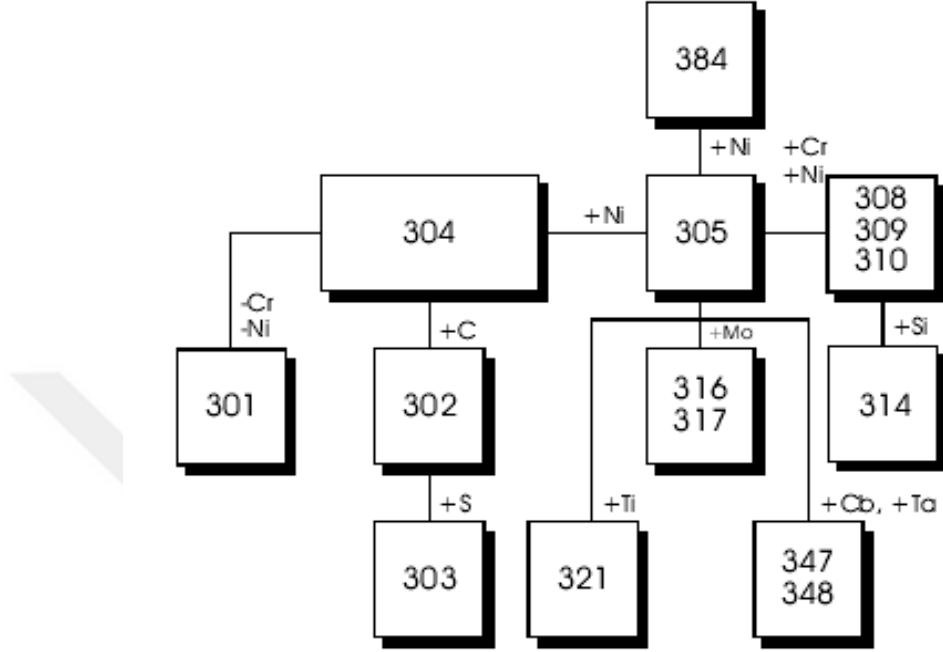


Şekil 4.4. Martensitik Paslanmaz Çelik Grubu (Lefevre, 1993)

4.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler Demir-Krom-Nikel alaşımlarından meydana gelir. Östenitin kararlılığını yükselten alaşım elementi Ni, Fe-C alaşımlarıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kombinasyonlarında %16-25 oranında krom ve %7-20 oranında nikel elementi vardır. Karbon miktarı %0,03'den az olduğunda mikroyapıda karbür çökmesi meydana gelmez. Mikro yapı olarak östenitik yapıya (YMK, γ demiri) sahiptirler. Bu çeliklerin korozyon direnci yüksek ve sünekliğide yüksektir. Şekil değiştirme yeteneği olan östenitik paslanmaz

çeliklerin düşük sıcaklıklarda yüksek darbe direncine sahiptirler. İçerisinde Ni oranı fazla olduğundan maliyetleri de yüksektir (Çimenoğlu ve Geçkinli, 2001). Şekil 4.5’de östenitik paslanmaz çelik grupları şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.5. Östenitik Paslanmaz Çelik Grubu (Lefevre, 1993)

4.4 Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler

Krom-nikel-molibden karışımından oluşan üçlü bir alaşımdır. Manyetik özelliklerin olmasının sebebi östenit ve ferrit karışımıdır. Manyetik özellikte olmasının sebebi östenit ve ferrit karışımıdır. Bu yapı korozyon çatlamaına karşı östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında daha dirençli ve dayanıklıdır. 2205 serisi çift fazlı paslanmaz çelik grubundadır. Bu çelikler, basınçlı kaplarda, tanklarda ve ısı pompalarında tercih edilmektedirler (Davis, 1994).

4.5 Çökeltme ile Sertleşen Paslanmaz Çelikler

Çökeltme ile sertleşen paslanmaz çeliklerin, alüminyum, niyobyum veya tantalum elementlerinin bulunmasının dışında östenitik paslanmaz çeliklere

benzerler. Bu çeliklerde düşük karbon içerdiklerinde çökeltme sertleşmesi uygulanarak yüksek mekanik özellikler elde edilir. Ayrıca bu çeliklerin yaşlandırma sıcaklıkları az olsa bile mukavemet değerleri yüksek olur (Çimenoğlu ve Geçkinli, 2001).

4.6 Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynağı Kabiliyeti

Yaklaşık 3 mm kalınlığa kadar olan paslanmaz çelik sacların birleştirilmesinde nokta direnç kaynağı yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Karcı, 2008). Paslanmaz çelikler birçok yönden özellikle alaşımsız çeliklerden farklıdır. Örneğin, östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığında sıcaklık iletme katsayıları karbonlu çeliklerin 1/3'ü kadardır. Isıl genleşme katsayıları ise 1,5 katıdır, diğer bir ifadeyle %50 daha yüksektir. Elektrik direnç yönünden karbonlu çeliklerle karşılaştırıldığında ise bu oran 5-7 kat daha fazladır. Bu sebeplerden dolayı karbonlu çeliklerin kaynağına oranla daha yüksek kendini çekme oluşturur. Krom/Nikel oranı; 8/8 ve 18/10 gibi olan östenitik paslanmaz çelikler 450-850°C arasında sıcaklıklarda arasında karbür çökmesi eğilimi oluşmaktadır. Bu çeliği elde ederken krom ve karbon östenit içinde 1100°C gibi yüksek sıcaklıktan geçirildikten sonra zaman kaybetmeden soğutulması gerekmektedir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin direnç kaynağında, yavaş soğurken bile en kalın malzemelerde martenzit oluşmaktadır. ITAB'de ani soğuma sonucu oluşan gerilmeler kaynak yeteneğini azaltır. Düşük karbonlu martenzitik paslanmaz çelikler kaynak edilebilirliği zordur. Fakat yüksek karbonlu paslanmaz çelikler kaynak edilebilirliği uygun değildir. Bu çelikler martenzitik paslanmaz çeliklerle kıyaslandığında çok kolay kaynak edilebilirler çünkü ITAB'de martenzit oluşma riski yoktur. Bu riski ortadan kaldıran ise su verme yolu ile sertleşmemeleridir. Özellikle östenitik paslanmaz çeliklere göre daha ekonomik olduğu için tercih edilen bu çeliklerin direnç kaynağında tane kabalaşması en önemli bir sorundur ve bu durum daha düşük tokluğa neden olmaktadır. Tane büyümesini minimum seviyeye indirmek için de kaynak ısı girişini en aza indirecek kaynak parametrelerini araştırmak ve kullanmak gereklidir. Bu nedenlerle endüstride kaynak yapılacak her bir farklı malzeme için en uygun

akım-zaman parametrelerinin tespit edilmesi kaynak mühendislerinin en çok uğraştığı problemlerden birisidir.

Ferritik paslanmaz çeliklerde ITAB'nin sünekliliğinin ve taneler arası korozyon direncinin artırılması için 200°C'lik bir ön tavlama ve kaynak biter bitmez 750-850°C'lik tavlamadan hemen sonra hızlıca soğutulması tavsiye edilmektedir (Kaluç, 1988).



5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR (MATERYAL VE YÖNTEM)

Bu çalışmada; beyaz eşya sanayide kullanılan 0,8 mm'lik AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelik (FSS) seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kullanılan AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Çizelge 5.1'de, çalışmalarda kullanılan elektrot malzemelerinin spektral analizi ise Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneylede kullanılan AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri.

Kimyasal kompozisyon (ağırlık olarak %)								Mekanik özellikler	
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Fe	YS (MPa)	UTS (MPa)
0,12 mak	1,0	1,0 mak	16,0-18,0	0,75 mak	0,045 mak	0,03 mak	Base	250 MPa	520 MPa

YS (Akma dayanımı); UTS (Maksimum çekme dayanımı)

Çizelge 5.2. Elektrot malzemelerinin spektral analizi

Alaşım standardı	Kimyasal Kompozisyon (%)	Sertlik (HB)	Elektrik İletkenliği (IACS %)
CuCo ₂ Be (CB4) ASTM B441- B534- B 870: C 17500	Co 2.5, Be 0.5, kalanı Cu	285	43
CuZr (ZR16X) ASTM: C15000	Zr 0.16, kalanı Cu	136	88
CuCr ₁ Zr, CRM16	DIN 2.1293, Cr 0.7, Zr 0.05, Fe 0,02, kalanı Cu	163	86

Kaynak çalışmaları 20 kVA kapasiteli, 50 Hz'de çalışan, zaman ve akım kontrollü bir programlanabilir bir mantık denetleyicisi olan direnç nokta kaynak makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kaynaklanmasında 6 mm çapında ve 45° kesik koni uçlu CuCo₂Be (CuBe), CuCrZr ve CuZr elektrotlar (Le Bronze Industriel firmasından temin edilen CB4, ZR16X ve CRM16 elektrotlar) kullanılmıştır. Kaynaklama çalışmalarında 1,6 kN sabit elektrot baskı kuvveti kullanılmış ve sırasıyla 5, 10 ve 15 çevrim (1 çevrim=0,02 s) kaynak zamanları ve 5,4, 6 ve 6,6kA kaynak akımı değerleri kullanılarak farklı kaynak parametreleri denenmiştir.

Deneylerde kullanılan geleneksel punta kaynak makinesinin fotoğrafı Şekil 5.1a'da verilmiştir. Tez çalışmasında hava soğutmalı, 1000 A tristör kontrollü geleneksel punta kaynak makinesi kullanılmıştır. Şekil 5.1.a'da kaynak çalışmaları 29 kVA kapasiteli, 50 Hz'de çalışan, zaman ve akım kontrollü geleneksel punta kaynak makinesi gösterilmektedir. Şekil 5.1b'de ise punta kaynak makinesinin parametre ayarlama kademeleri gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.1. Kaynaklama çalışmalarında kullanılan geleneksel punta kaynak makinesi

Şekil 5.2a'da metallerin punta kaynağı ile birleştirilmesinde standartlık sağlanması için tasarladığımız ve yapmış olduğumuz kalıp aparatının resmi gösterilmektedir. Şekil 5.2b'de punta kaynağı ile birleştirilmiş bir ferritik paslanmaz çelik parça görülmektedir.



(a)

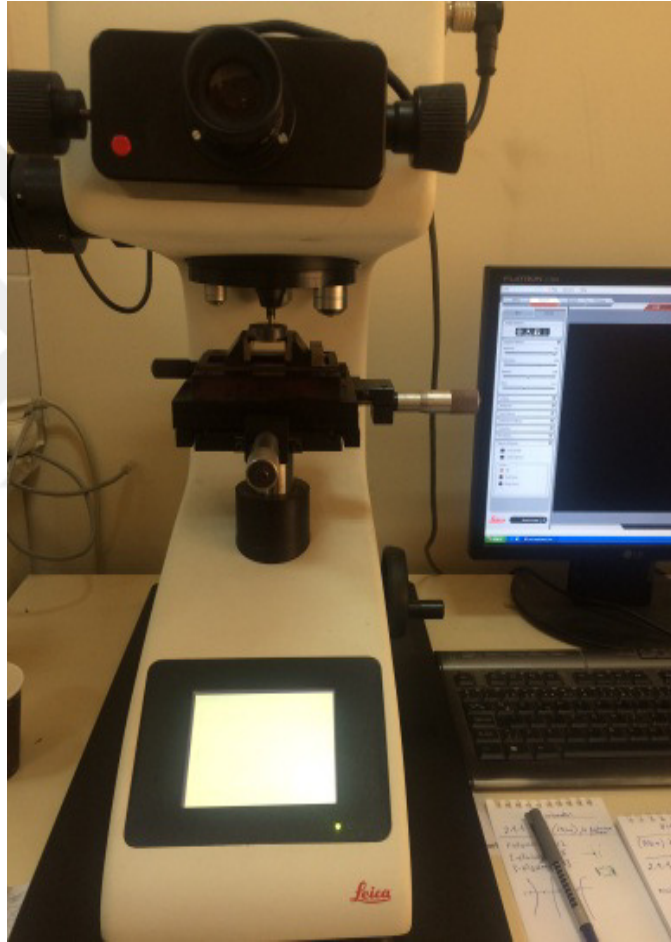


(b)

Şekil 5.2. Kalıp aparatı ve punta kaynağı kaynaklanmış malzeme

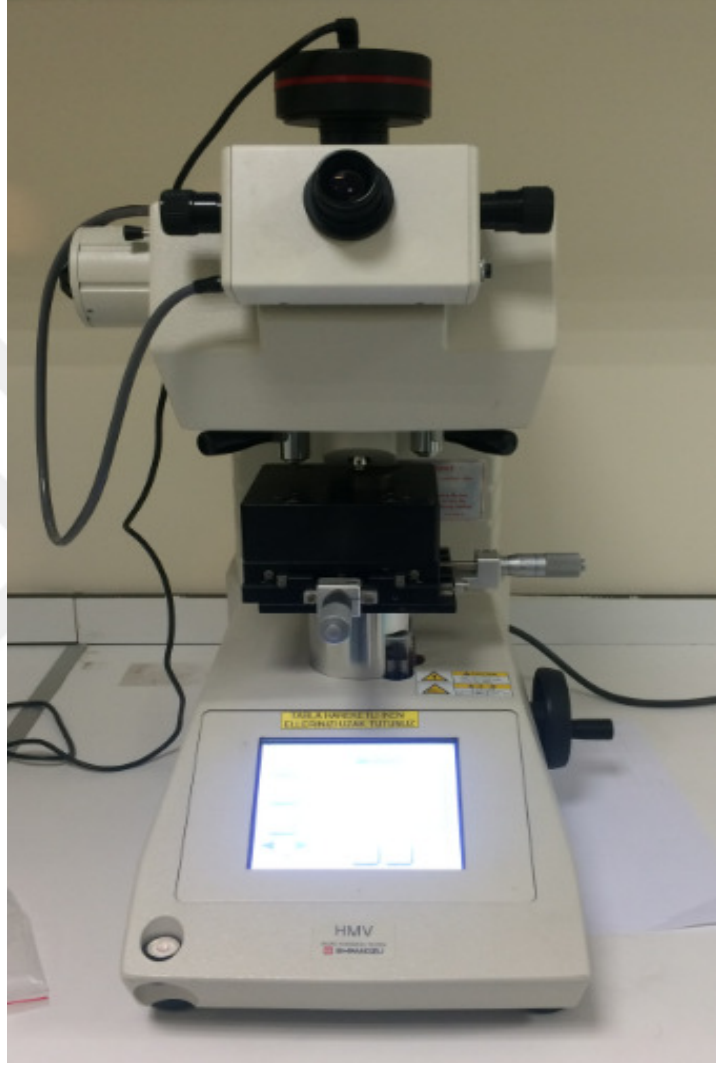
Metalografik inceleme için numuneler standart metalografi prosedürü kullanılarak hazırlanmış ve numuneler hazırlanan bir solüsyonda (1 birim nitrik asit, HNO_3 ile 3 birim su) dağlanmıştır. Kaynak yapılmış numunelerin optik muayenesi bir Nikon mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.3’de gösterilen Leica marka optik mikroskop kullanılarak kaynaklı paslanmaz çelik numunelerin kaynak çekirdeği ve çevresinde meydana gelen faz dönüşümlerini incelenmiştir.



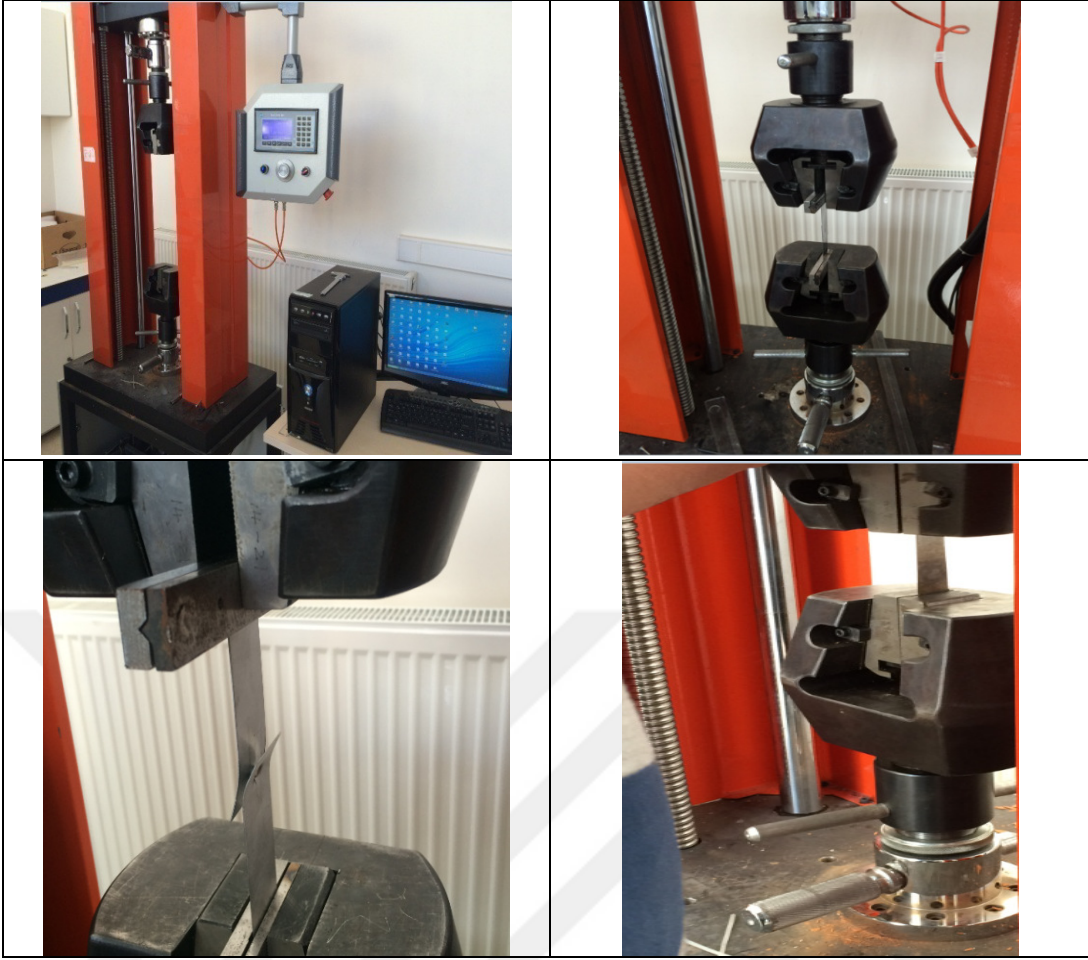
Şekil 5.3. Leica marka optik mikroskop

Şekil 5.4’de, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik numunelerinin direnç nokta kaynağı kesitleri üzerinden mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı HMV marka Vickers mikro sertlik test cihazının fotoğrafı gösterilmektedir. Vickers mikro sertlik testinde ise 100 g’lık yük 10 saniye uygulama süresi kullanılmıştır.



Şekil 5.4. HMV marka sertlik test cihazı

Şekil 5.5’de, kaynaklı parçaların maksimum çekme yükünü tespit edebilmek için çekme testlerinin yapıldığı universal çekme deney makinesi gösterilmektedir. Çekme-kesme testi numuneleri, ASTM: E8M’ye göre hazırlanmıştır. Bir universal test makinesi kullanılarak, 1 mm/dk’lık sabit çekme hızında kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri ölçülmüştür.

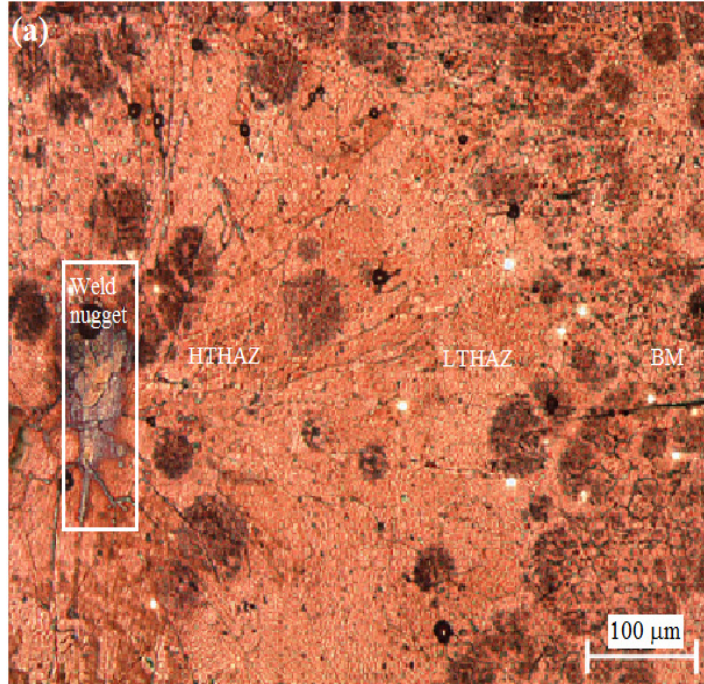


Şekil 5.5. Çekme test cihazı

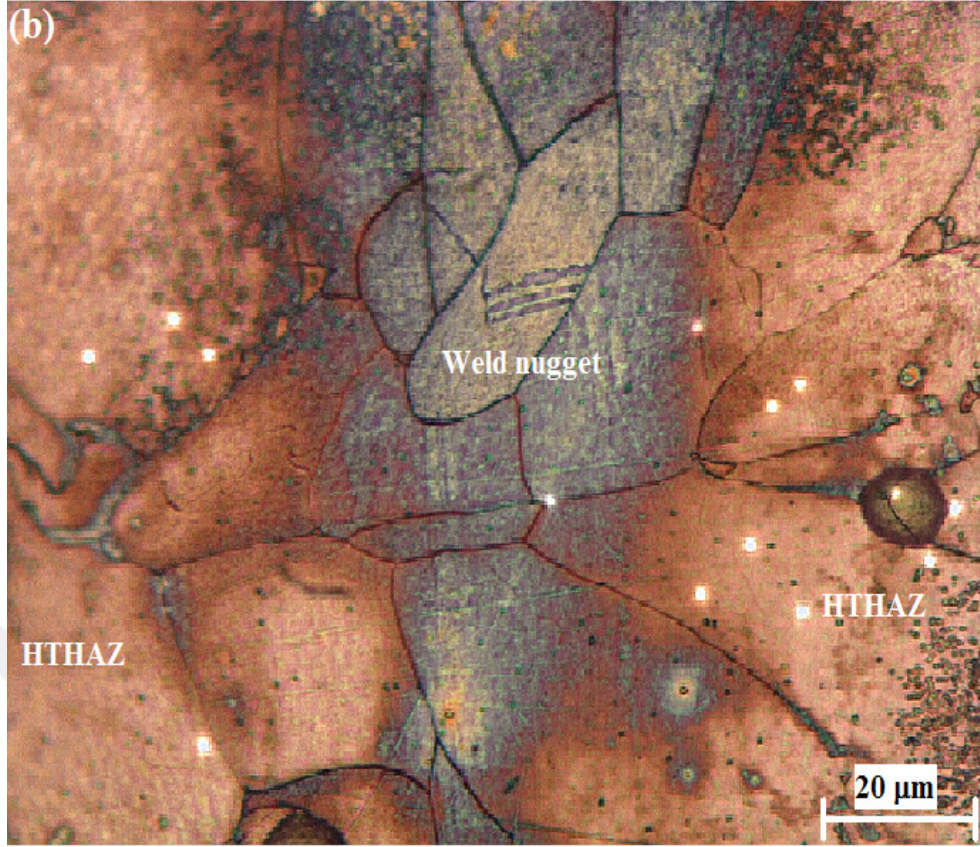
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Mikroyapı ve Mikrosertlik Çalışmaları

Kaynaklı parçanın mekanik özelliklerini anlamak için kaynak esnasında meydana gelen faz dönüşümlerini anlamak çok önemlidir. Şekil 6.1 ve 6.2’de Cu-Zr elektrot kullanılarak 5,4 kA elektrik akımı altında, 5 çevrim kaynak süresi kullanılarak yapılmış direnç kaynağı işlemi sonrasında AISI 430 paslanmaz çeliğinin mikro yapısında, tipik füzyon bölgesi (FZ) olduğunu gösteren büyük sütunsal ferrit tanelerinin oluştuğu çok açık olarak görülebilmektedir. Mikroyapısal araştırmalar, tüm kaynaklı numunelerde ısıdan etkilenen bölgede (ITAB) tane kabalaşmasının meydana geldiğini göstermektedir. ITAB bölgesi sıcaklık dağılımına göre; yani yüksek sıcaklığın tesiriyle ısıdan etkilenen bölge, YITAB (HTHAZ) ve düşük sıcaklık tesiriyle ısıdan etkilenen bölge, DITAB (LTHAZ) olmak üzere iki ayrı metalürjik dönüşüm bölgesine ayrılabilir.

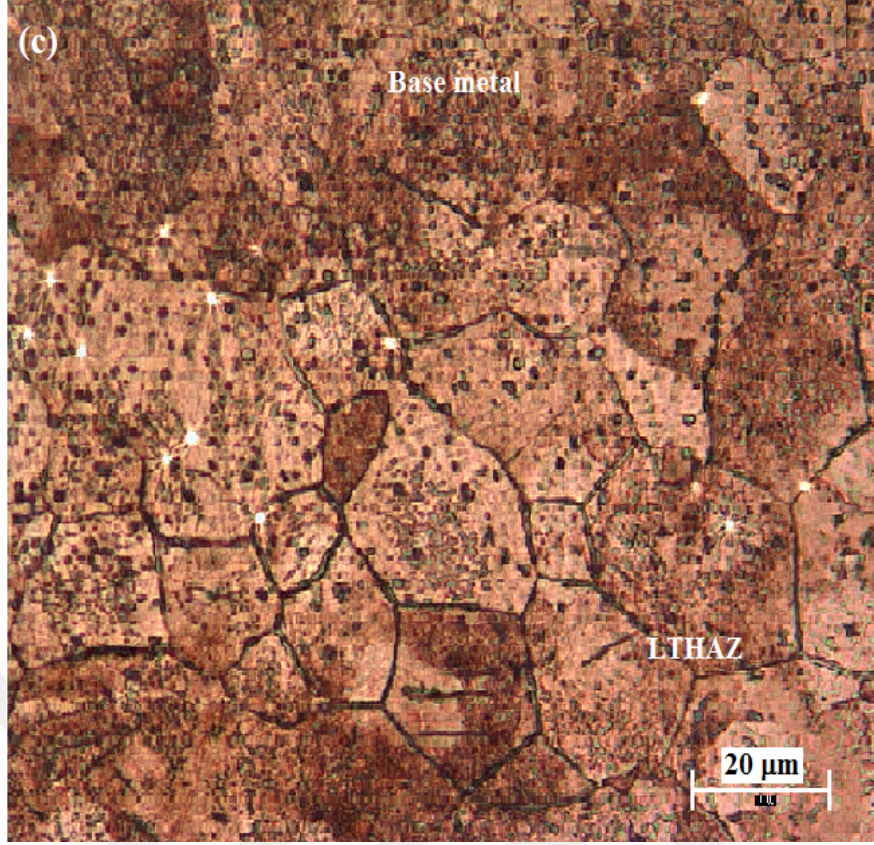


Şekil 6.1. ITAB’da tane büyümesi mikro yapısı (Cu-Zr elektrot, 5,4 kA ve 5 çevrim)



Şekil 6.2. YITAB (HTHAZ)'da büyük sütunsal ferrit taneleri (Cu-Zr elektrot, 5,4 kA ve 5 çevrim)

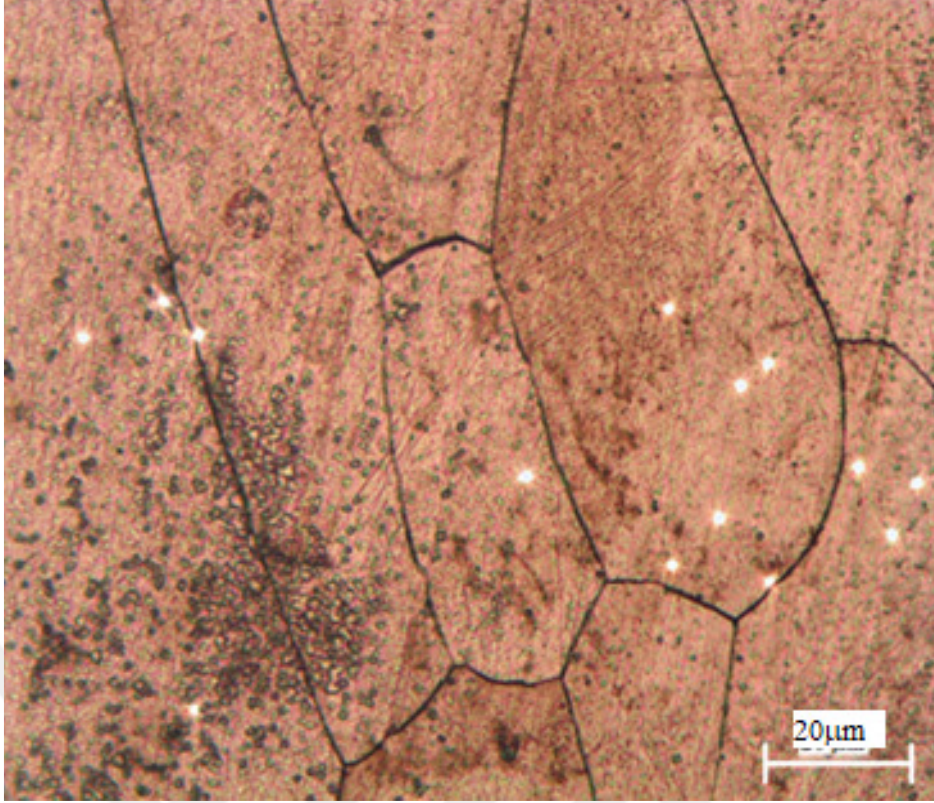
Çeliğin HAZ'da faz dönüşümleri %17 Cr Fe-Cr-C ikiliye benzeş diyagramı yardımıyla açıklanabilir (Alizadeh-Sh 2014). Ayrıca krom zengini karbürlerin ana metal (BM) boyunca eşit olarak dağıldığı Şekil 6.3'de görülmektedir. Denge soğutma koşulu altında östenit fazı, α -ferrit ve Cr₂₃C₆ karbürlere dönüştürülecektir. Ancak soğutmadan sonra, yüksek sıcaklıktaki ferrit, östenit dönüşümü denge dışı soğutma koşulları (kaynak işlemleri gibi) nedeniyle baskılandığı için bu bölgelerdeki tane sınırlarında (DITAB ve YITAB) martenzit fazının meydana gelmemiştir.



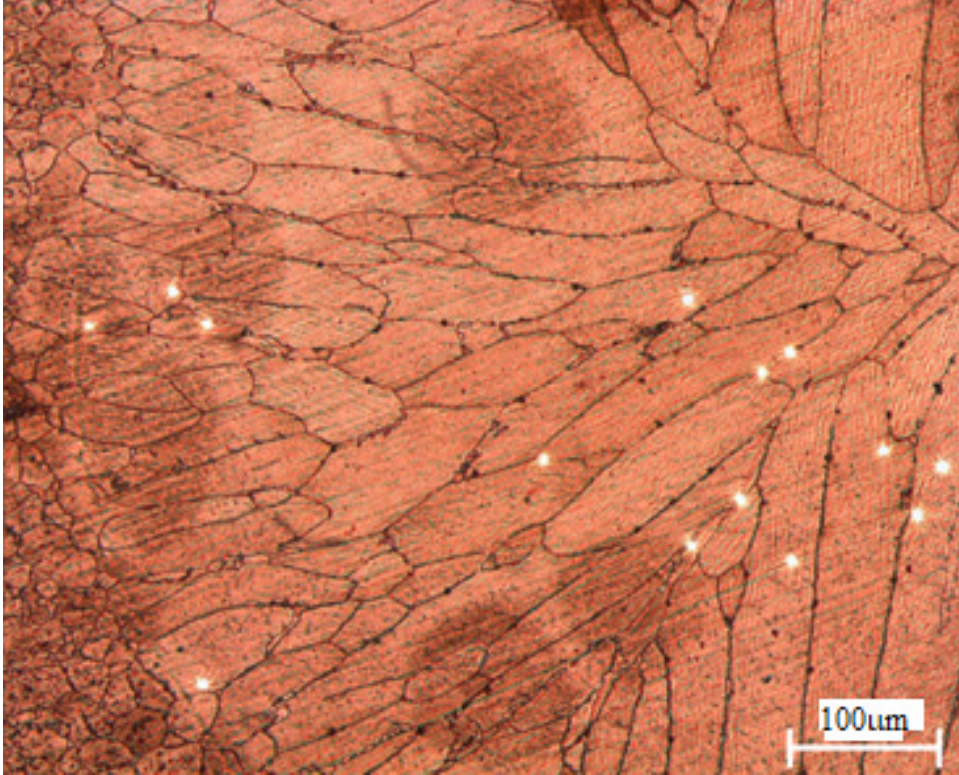
Şekil 6.3. DITAB’da ince dağılmış kromca zengin karbürler ve küçük ferrit taneleri ve ana metal (BM), (Cu-Zr elektrot, 5,4 kA ve 5 çevrim).

Şekil 6.4’de ise Cu-Zr elektrot kullanılarak daha yüksek akım ve kaynak süresi (6 kA ve 15 çevrim) kullanılarak yapılan bir punta kaynağında ferritik paslanmaz çelik numunesinin YITAB bölgesinde meydana gelen büyük sütunsal ferrit taneleri görülmektedir. Burada görülen bu sütunsal tanelerin daha düşük akım ve kaynak süresinin kullanıldığı Şekil 6.2’de gösterilen YITAB bölgesindeki tanelerden daha büyük olduğu açık olarak görülebilmektedir.

Şekil 6.5’de ise Cu-Cr-Zr elektrot kullanılarak daha yüksek kaynak akımı (6,6 kA) ve nispeten düşük kaynak süresi (5 çevrim) kullanılarak kaynaklanmış bir ferritik paslanmaz çelik numunesinin ITAB bölgesi mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. Burada, daha düşük büyütme oranında dahi meydana gelmiş olan iri sütunsal ferrit taneleri net olarak görülebilmektedir.

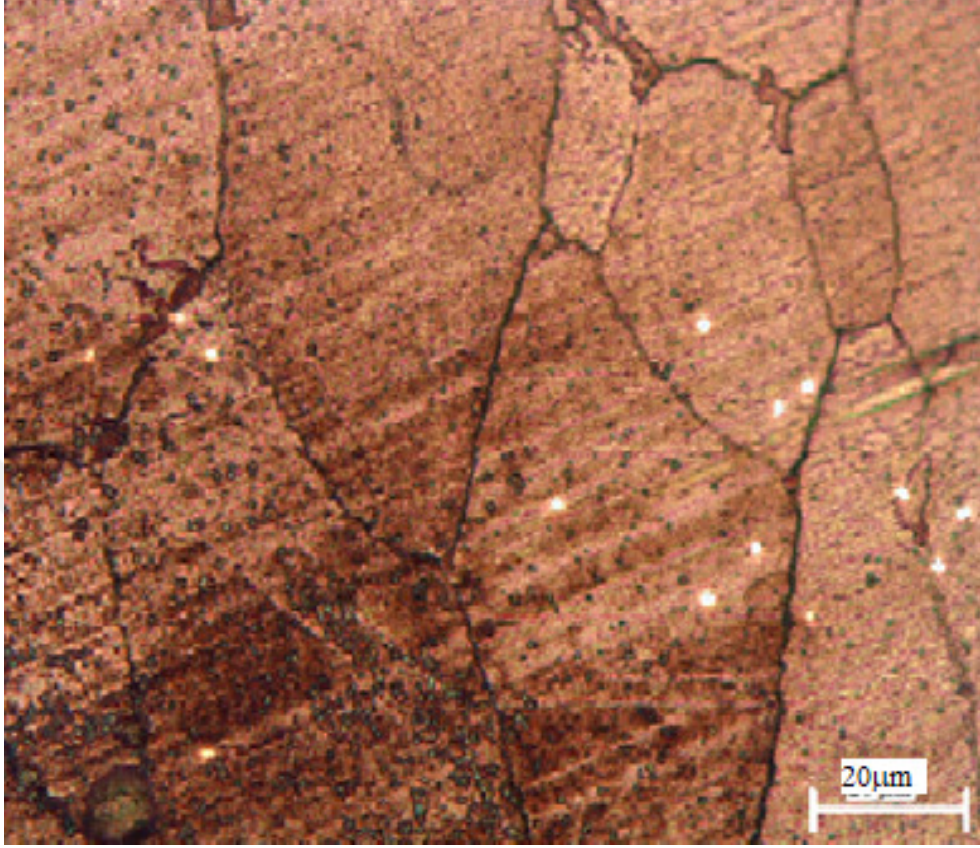


Şekil 6.4. YITAB'da büyük sütunsal ferrit taneleri (Cu-Zr elektrot, 6 kA'de 15 çevrim)



Şekil 6.5. ITAB'da tane büyümesi (Cu-Cr-Zr elektrot, 6,6 kA'de 5 çevrim)

Şekil 6.6'da ise daha yüksek büyütmede, YITAB bölgesinde meydana gelmiş olan oldukça iri sütunsal ferrit taneleri daha net olarak görülebilmektedir.

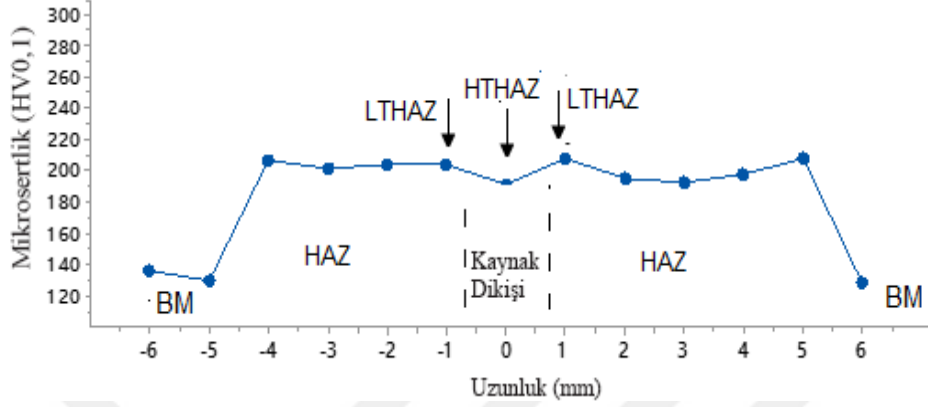


Şekil 6.6. YITAB'da büyük sütunsal ferrit taneleri (Cu-Cr-Zr elektrot, 6,6 kA ve 5 çevrim)

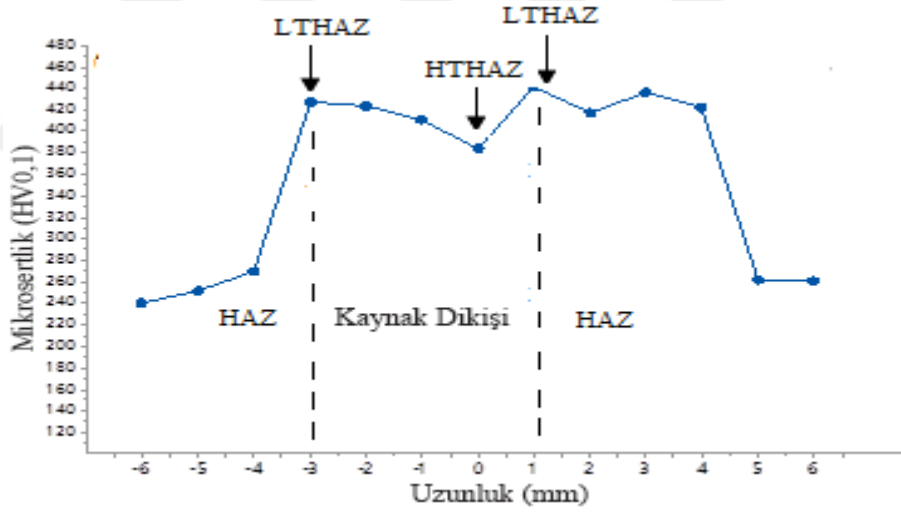
Maksimum çekme dayanımını elde edildiği kaynak parametrelerinin kullanıldığı bazı AISI 430 ferritik paslanmaz çelik numunelerinin direnç nokta kaynağı çekirdeği kesitleri üzerinden ölçülen tipik mikrosertlik profilleri Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da gösterilmektedir.

α -ferrit tane boyutu ve karbür çökeltilerinin FSS sertliğini üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Ferritik bölgenin tane boyutu, esas metalinkinden daha büyük olmasına rağmen, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de gösterildiği gibi, bu bölgedeki ince çökeltilerin dağılımına bağlı olarak füzyon bölgelerinin (FZ) bölgesinin sertliği daha fazladır. Çökeltilerin hacim oranı, YITAB'dan daha yüksek olduğu için DITAB'da daha yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Cu-Co-Be elektrot kullanıldığında, ITAB'da artan kaynak akımı (6,6 kA) ve kaynak süresiyle (15 çevrim), mikro sertlik değeri (400 HV) yükselmiştir. Bazı araştırmacılar da benzer

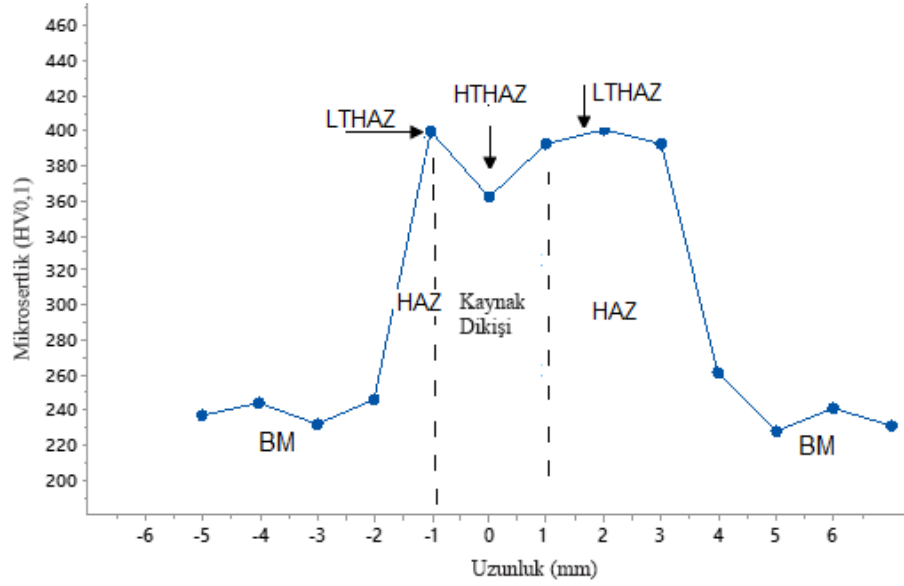
sonuçlar elde etmiş ve HAZ bölgesinin sertliğine kaynak akımı ve zamanının önemli etkisi olduğunu göstermişlerdir. (Alizadeh-Sh vd., 2014; Alizadeh-Sh vd., 2015).



şekil 6.7. Cu-Zr elektrodu, 6 kA kaynak akımı ve 10 çevrim kaynak zamanı kullanılarak yapılan kaynak çekirdeği kesitinin tipik mikrosertlik profili



şekil 6.8. Cu-Cr-Zr elektrodu, 6,6 kA kaynak akımı ve 5 çevrim kaynak zamanı kullanılarak yapılan kaynak çekirdeği kesitinin tipik mikrosertlik profili.

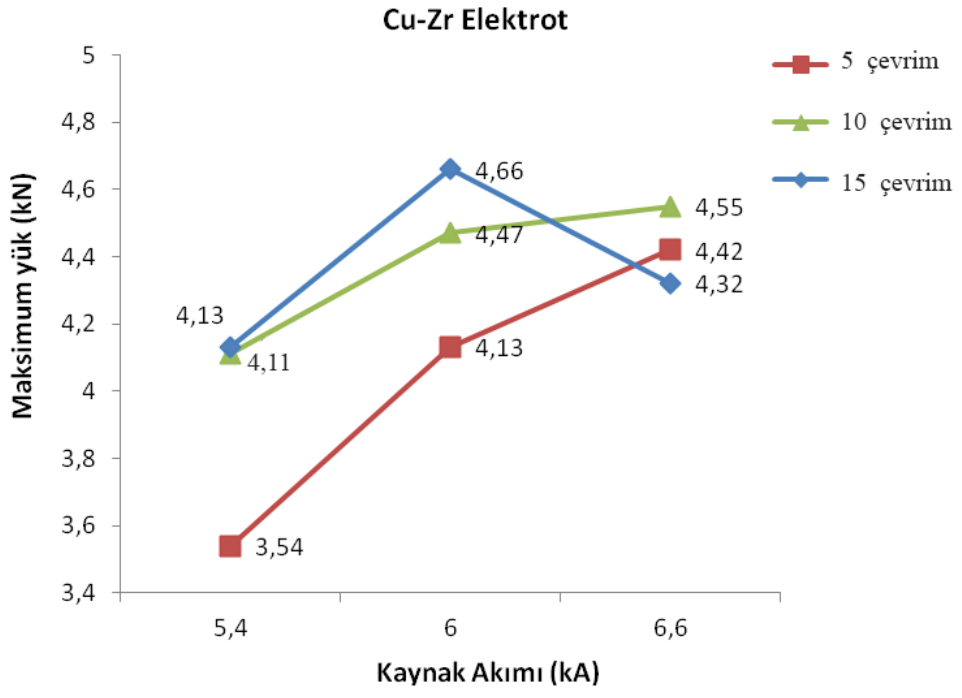


Şekil 6.9. Cu-Co-Be elektrodu, 6,6 kA kaynak akımı ve 15 çevrim kaynak zamanı kullanılarak yapılan kaynak çekirdeği kesitinin tipik mikrosertlik profili.

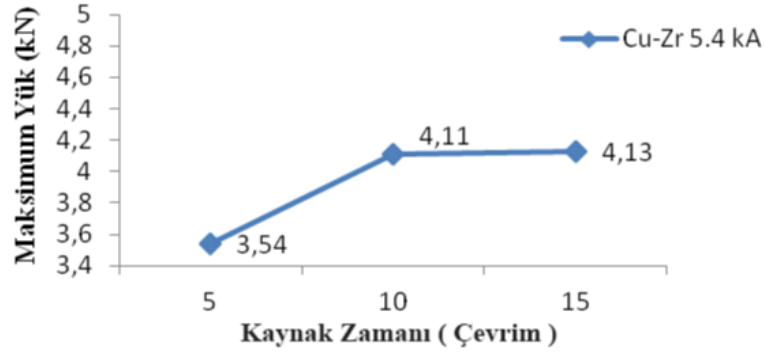
6.2 Mekanik Özellikler

Kaynaklı parçaların maksimum çekme yükünü tespit edebilmek için her bir farklı elektrot için farklı kaynak parametreleri denenmiştir. Sırasıyla 5,4, 6 ve 6,6kA kaynak akımı değerleri ve her bir kaynak akımı için de sırasıyla 5, 10 ve 15 çevrim (1 çevrim=0,02 s) kaynak zamanları denenmiştir. Tüm bu kaynaklama çalışmalarında 1,6 kN elektrot baskı kuvveti ise sabit tutulmuştur. Yatay eksen kaynak akımlarını, dikey eksenini maksimum çekme yükünü göstermektedir.

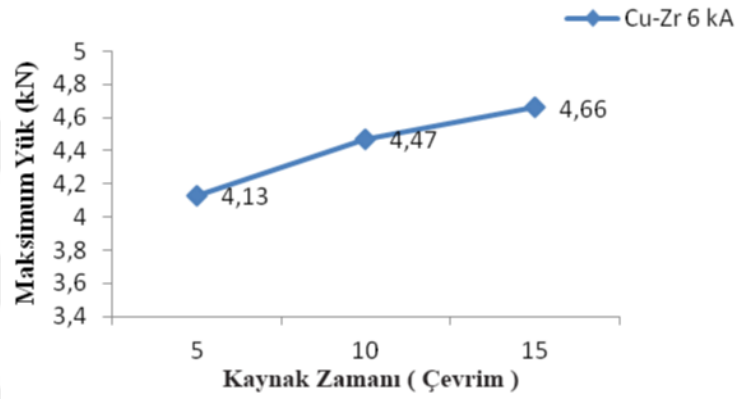
Şekil 6.10'da Cu-Zr elektrot kullanılarak ve farklı kaynak parametreleri ile yapılan direnç nokta kaynağı çalışmalarında elde edilen maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. Kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış olan kaynaklanmış parçaların çekme dayanımı üzerine kaynak akımı değerlerinin etkisi görülmektedir. Grafiklerde açık olarak görüldüğü gibi 5,4 kA kaynak akımı değerinin tüm kaynak akımı değerlerinde yapılan denemelerde yetersiz kaldığı ve kaynak dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Maksimum kaynak dayanımı için kaynak akımı değerinin 6 kA üstüne çıkılması gerektiği açık olarak görülmektedir.



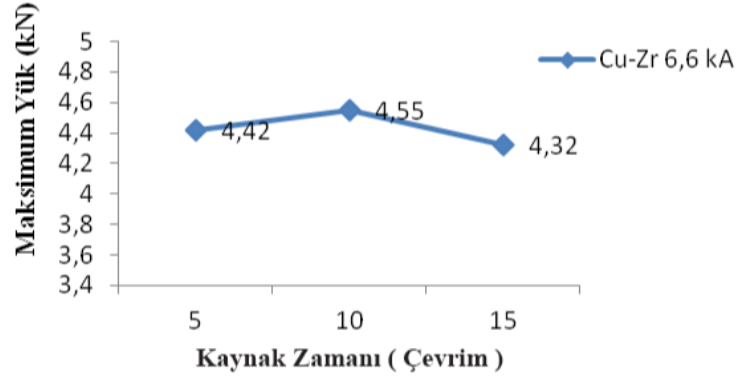
Şekil 6.10. Cu-Zr elektrot kullanılarak ve kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.



a)



b)

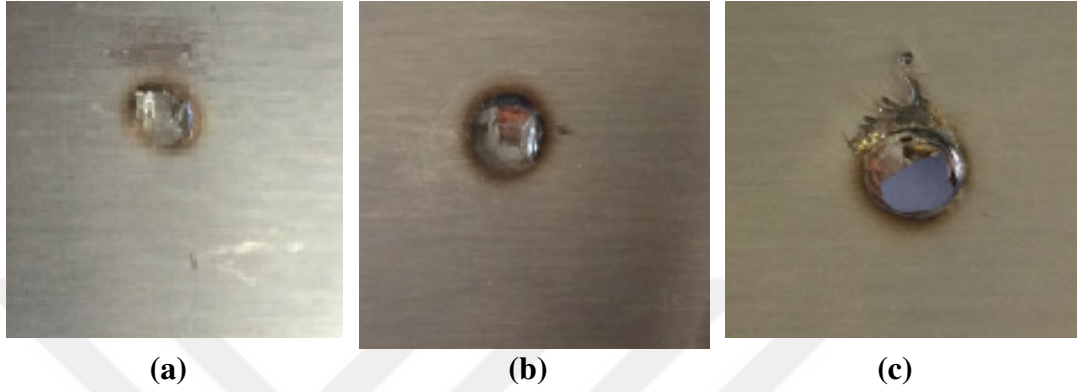


c)

Şekil 6.11. Cu-Zr elektrot kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 5,4 kA kaynak akımında, b) 6 kA kaynak akımında c) 6,6 kA kaynak akımında.

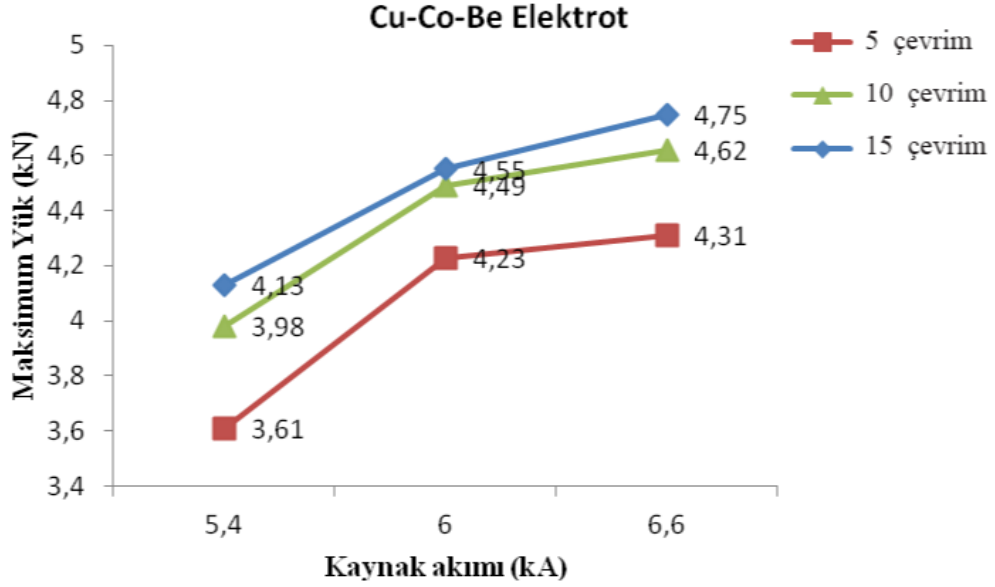
Şekil 6.11'deki grafiklerin incelenmesinden de görüleceği üzere Cu-Zr elektrot ve 5,4 kA kaynak akım değeri kullanılarak kaynaklanmış parçaların çekme deneylerinde maksimum çekme yükü değeri (4,13 kN) 15 çevrim kaynak süresinde elde edilmiştir (Şekil 6.11a). 6 kA akım çevriminde yapılan çekme deneylerinde de maksimum çekme yükü değeri (4,66 kN) benzer şekilde 15

çevrim kaynak süresinde elde edilmiştir (Şekil 6.11b). Ancak Cu-Zr elektrotlarla 6,6 kA kaynak akımında yapılan çekme deneylerinde ise maksimum çekme yükü (4,55 kN) 10 çevrim kaynak süresi sonrasında elde edilmiştir. 15 çevrim kaynak süresi sonunda ise kaynak dayanımının bir miktar azaldığı Şekil 6.11c'de izlenmektedir.



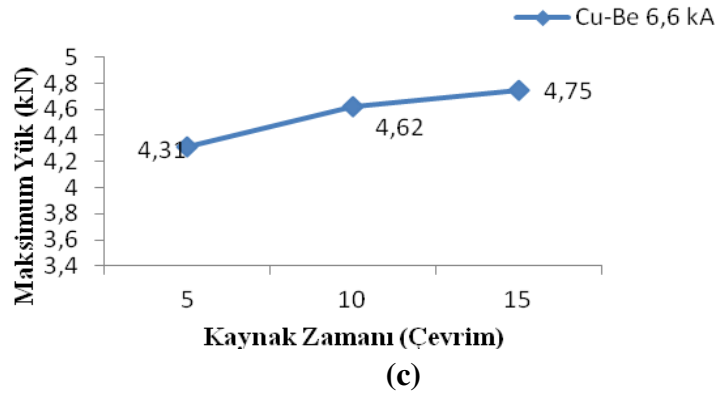
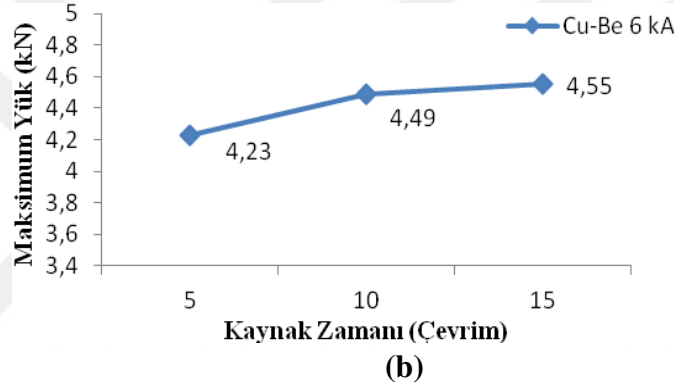
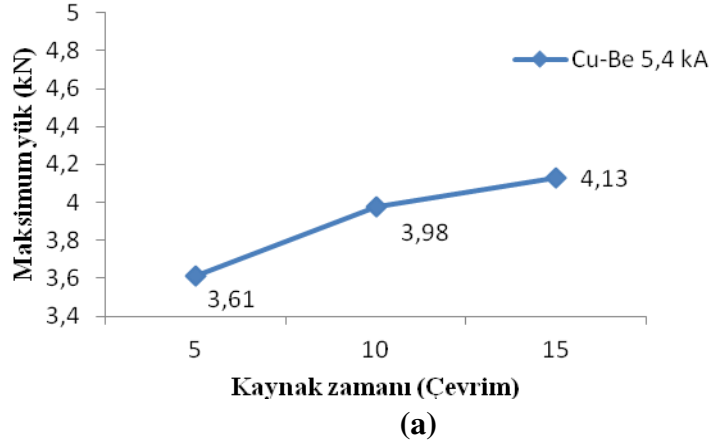
Şekil 6.12. Cu-Zr elektrodu ve 6,6 kA kaynak akım ve a) 5 Çevrim, b) 10 Çevrim ve c) 15 Çevrim kaynak zamanları kullanılarak elde edilen kaynak görüntüleri.

Şekil 6.12'de ise 6,6 kA kaynak akımı altında yapılmış direnç kaynağı numunelerinin kaynak çekirdeği yapısına farklı elektrotların ve farklı kaynak çevrim sürelerinin etkisi gösterilmektedir. Fotoğraflardan kaynak süresinin artmasıyla kaynak çekirdek çapının büyüdüğü açık olarak görülebilmektedir. Ancak Cu-Zr elektrot kullanılarak yapılan deneylerde 6,6 kA akım altında 15 çevrim kaynak süresi sonunda kaynaklı bölgenin delindiği ve sonuçta Şekil 6.11c'de görülen kaynak dayanımının düştüğü anlaşılmaktadır.

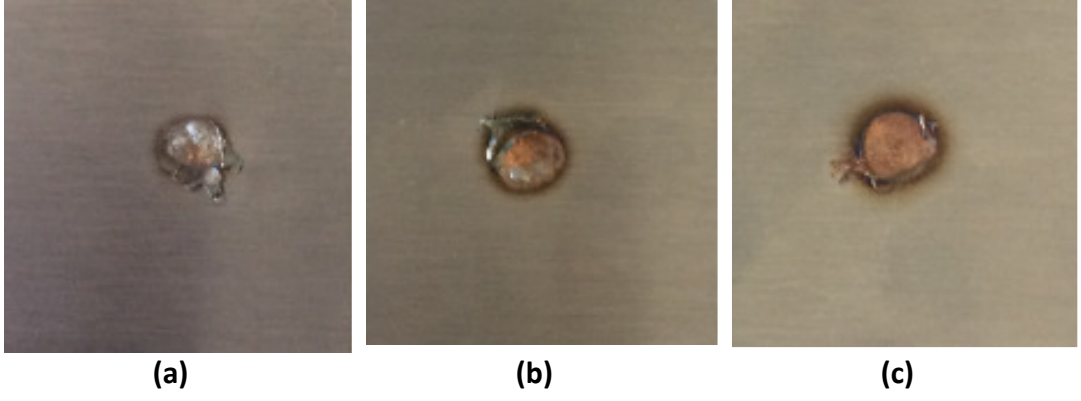


Şekil 6.13. Cu-Co-Be elektrot kullanılarak ve kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış kaynaklanmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.

Şekil 6.13’de Cu-Co-Be (bakır-kobalt-berilyum) elektrot kullanılarak ve farklı kaynak parametreleri ile yapılan direnç nokta kaynağı çalışmalarında elde edilen maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. Kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış olan kaynaklanmış parçaların çekme dayanımı üzerine kaynak akımı değerlerinin etkisi görülmektedir. Grafiklerde açık olarak görüldüğü gibi 5,4 kA kaynak akımı değerinin Cu-Zr elektrotlarla yapılanlara benzer şekilde yetersiz kaldığı ve kaynaklı parçaların çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Tüm denemelerde maksimum kaynak dayanımı için 6,6 kA kaynak akımı değerinin kullanılması gerektiği açık olarak görülmektedir. Şekil 6.14’deki grafiklerin genel olarak incelenmesinden de görüleceği üzere Cu-Co-Be elektrot kullanılarak kaynaklanmış parçaların çekme deneylerinde maksimum çekme yükü değerleri 15 çevrim kaynak süresi sonunda elde edilmiştir. Örneğin Şekil 6.14a’da 5,4 kA kaynak akım değerinde maksimum yük değeri 4,13 kN (Şekil 6.14a), Şekil 6.14b’de 6 kA kaynak akımında maksimum yük değeri 4,55 kN (Şekil 6.14b) ve Şekil 6.14c’de 6,6 kA kaynak akımında ise 4,75 kN maksimum çekme yükü değerleri 15 çevrim kaynak süresi sonrasında elde edilmiştir.

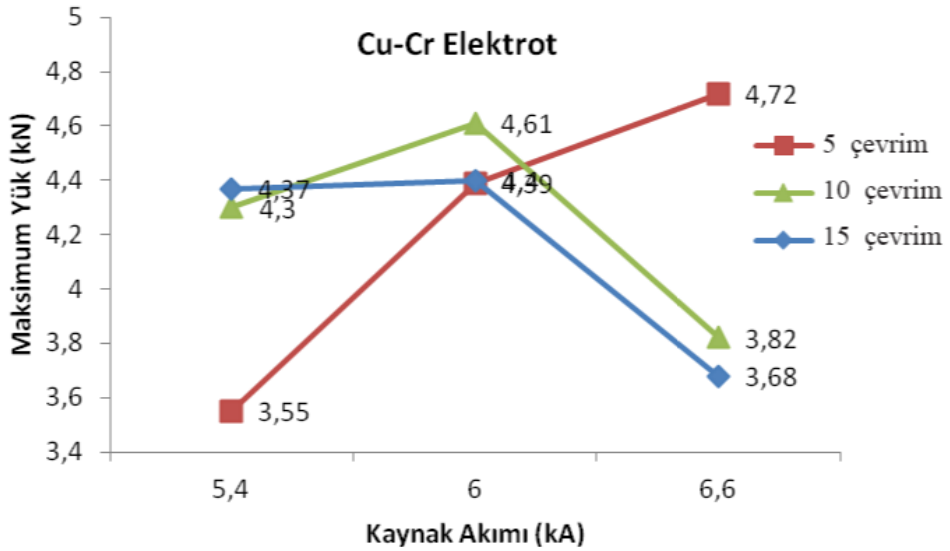


Şekil 6.14. Cu-Co-Be elektrot kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 5,4 kA kaynak akımında, b) 6 kA kaynak akımında c) 6,6 kA kaynak akımında



Şekil 6.15. Cu-Co-Be elektrodu ve 6,6 kA kaynak akım ve a) 5 Çevrim, b) 10 Çevrim ve c) 15 Çevrim kaynak zamanları kullanılarak elde edilen kaynak görüntüleri.

Şekil 6.15’de ise 6,6 kA kaynak akımı altında yapılmış direnç kaynağı numunelerinin kaynak çekirdeği yapısına farklı elektrotların ve farklı kaynak çevrim sürelerinin etkisi gösterilmektedir. Fotoğraflardan kaynak süresinin artmasıyla kaynak çekirdek çapının büyüdüğü açık olarak görülebilmektedir. Bu fotoğraflar 15 çevrim kaynak süresi sonunda kaynaklı parçalarda görülen kaynak dayanımının yükselmesinin kaynak çekirdeği çapı ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir.



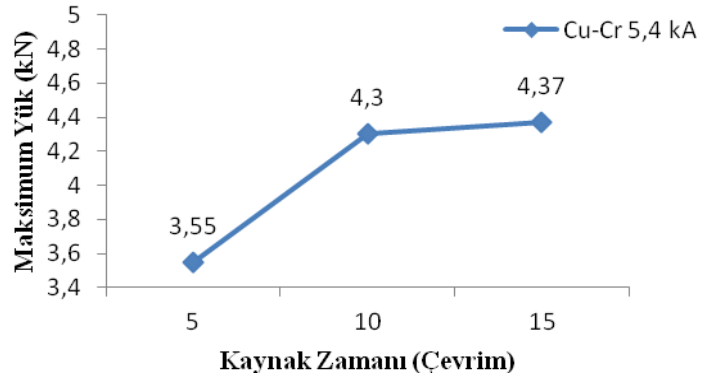
Şekil 6.16. Cu-Cr elektrot kullanılarak ve kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış olan direnç nokta kaynağında, numunelerinin çekme dayanımı üzerine kaynak akımının etkisi.

Şekil 6.16’da Cu-Cr (bakır-krom) elektrot kullanılarak ve farklı kaynak parametreleri ile yapılan direnç nokta kaynağı çalışmalarında elde edilen

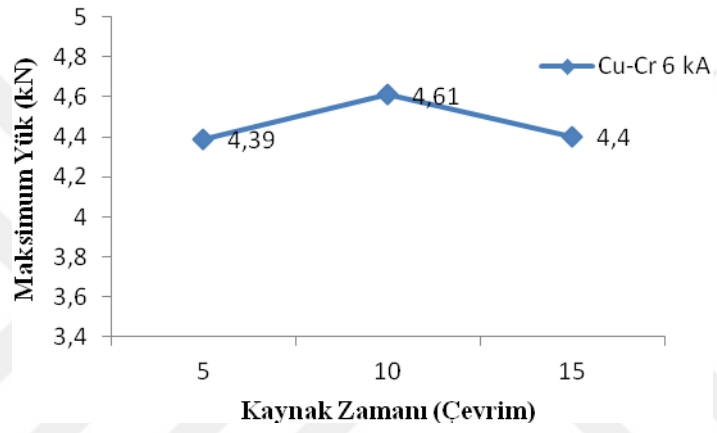
maksimum çekme yükü değerleri gösterilmiştir. Kaynak süresi değerleri sabit tutularak yapılmış olan kaynaklanmış parçaların çekme dayanımı üzerine kaynak akımı değerlerinin etkisi görülmektedir. Grafiklerde açık olarak görüldüğü gibi 5,4 kA kaynak akımı değerinin diğer elektrotlarla yapılanlara benzer şekilde yetersiz kaldığı ve kaynaklı parçaların çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Ancak çalışmalar maksimum kaynak dayanımı için 6 kA veya 6,6 kA kaynak akımı değerlerinin kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Şekil 6.17'deki grafiklerin incelenmesinden de görüleceği üzere Cu-Zr elektrot ve 5,4 kA kaynak akım değeri kullanılarak kaynaklanmış parçaların çekme deneylerinde maksimum çekme yükü değeri (4,37 kN) 15 çevrim kaynak süresinde elde edilmiştir. Şekil 6.17a'da 6 kA akım çevriminde yapılan çekme deneylerinde ise maksimum çekme yükü değeri 4,61 kN 10 çevrim kaynak süresinde elde edilmiştir. Şekil 6.17b'de Ancak Cu-Zr elektrotlarla 6,6 kA kaynak akımında yapılan çekme deneylerinde ise maksimum çekme yükü 4,72 kN 5 çevrim kaynak süresinde elde edilmiştir. Şekil 6.17c'de 15 çevrim kaynak süresi sonunda ise kaynak dayanımının önemli oranda azaldığı görülmektedir.

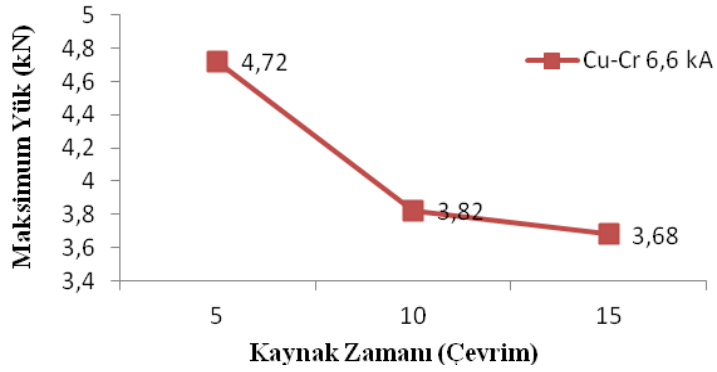
Şekil 6.18'de ise 6,6 kA kaynak akımı altında yapılmış direnç kaynağı numunelerinin kaynak çekirdeği yapısına farklı elektrotların ve farklı kaynak çevrim sürelerinin etkisi gösterilmektedir. Fotoğraflardan kaynak süresinin artmasıyla kaynak çekirdek çapının büyüdüğü açık olarak görülebilmektedir. Şekil 6.18c'deki fotoğraf 15 çevrim kaynak süresi sonunda kaynaklı parçanın kaynak çekirdeği çapının büyüdüğünü ancak muhtemelen elektrot malzemesine yapışarak bir miktar deforme olduğunu göstermektedir. Bu durumun da bir miktar dayanımı düşürdüğü tahmin edilmektedir.



(a)

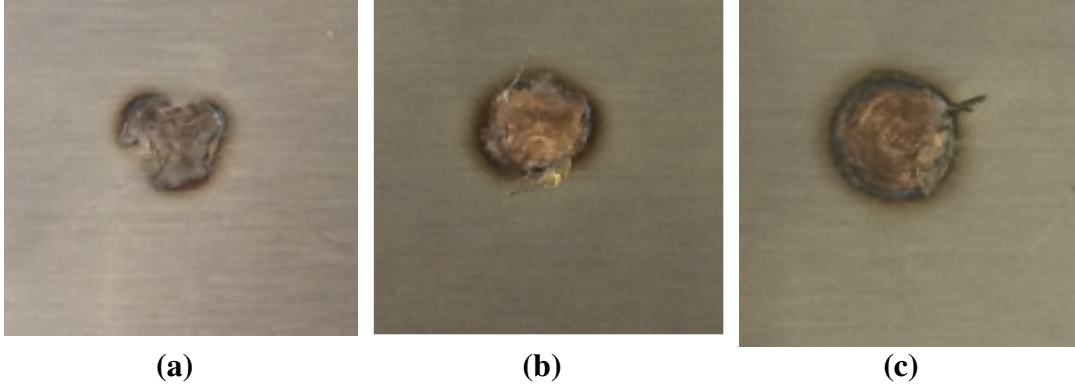


(b)



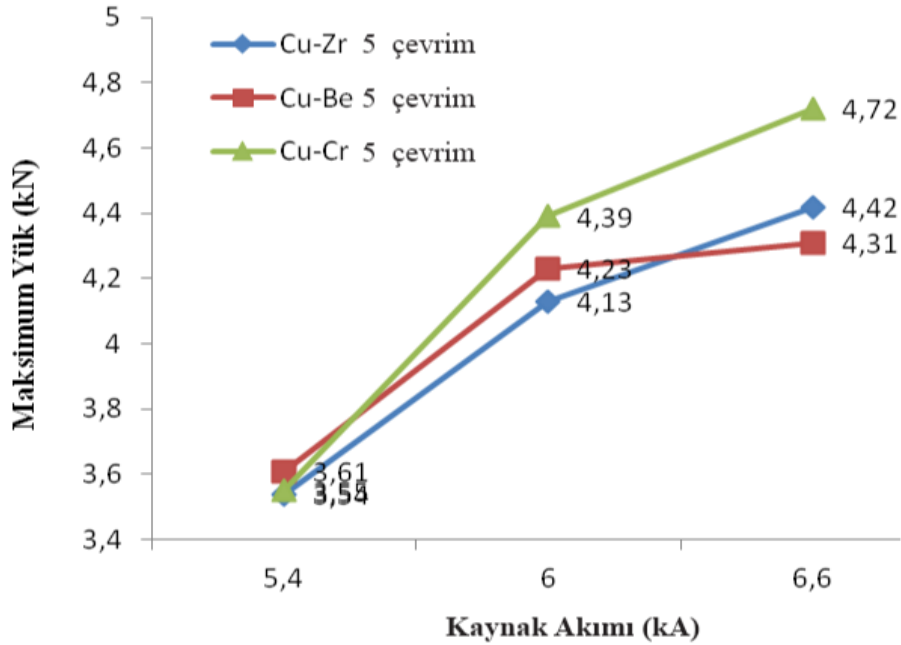
(c)

Şekil 6.17. Cu-Cr elektrot kullanılarak direnç nokta kaynağı yapılmış numunelerin çekme dayanımı üzerine kaynak zamanının etkisi; a) 5,4 kA kaynak akımında, b) 6 kA kaynak akımında c) 6,6 kA kaynak akımında



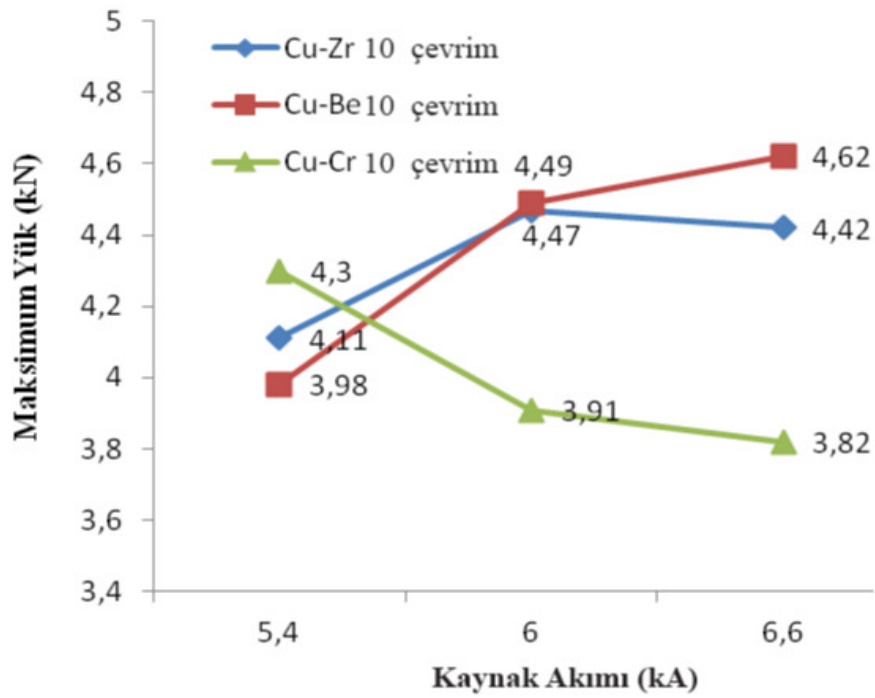
Şekil 6.18. Cu-Co-Be elektrodu ve 6,6 kA kaynak akım ve a) 5 Çevrim, b) 10 Çevrim ve c) 15 Çevrim kaynak zamanları kullanılarak elde edilen kaynak görüntüleri.

Şekil 6.19'da; 5 çevrim kaynak zamanı sabit tutularak kaynak akımlarına göre Cu-Zr, Cu-Co-Be ve Cu-Cr elektrotları ile kaynaklanmış numunelerin maksimum kopma yükü değerleri karşılaştırmalı olarak tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikler 5 çevrim kaynak zamanı çevriminde; tüm elektrotlar için en iyi çekme dayanımını veren kaynak akımı değerinin 6,6 kA olması gerektiğini göstermektedir. Burada maksimum çekme yükü değeri 4,72 kN Cu-Cr elektrotlar ile yapılan kaynaklı parçalarda elde edilmiştir.



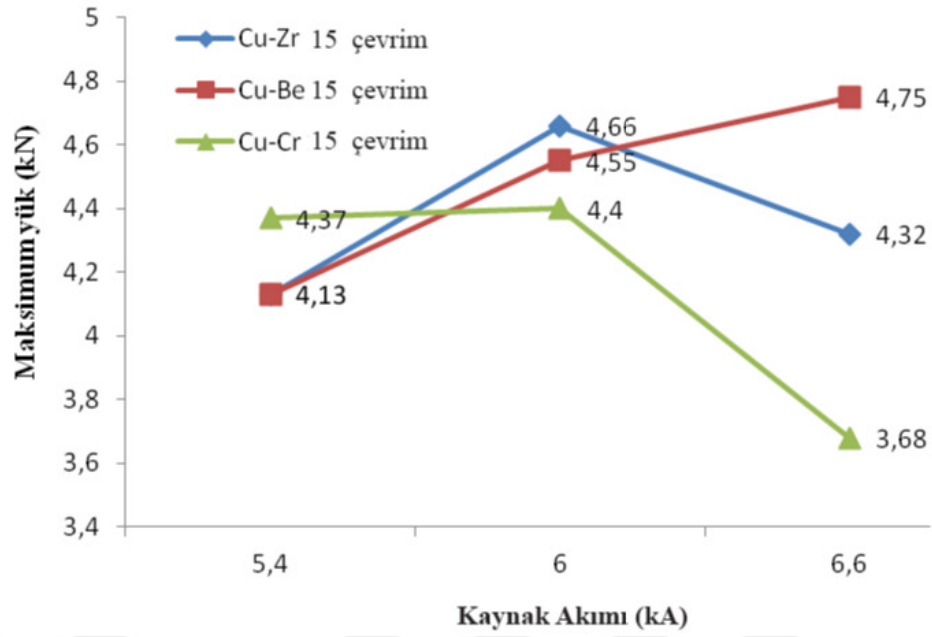
Şekil 6.19. Farklı elektrotlar ve akımlar kullanılarak 5 çevrim zaman çevrimindeki maksimum yük grafiği

Şekil 6.20’de ise 10 çevrim kaynak zamanı sabit tutularak yapılan deneylerde; 6,6 kA kaynak akımının Cu-Co-Be elektrotları ile yapılanlar hariç olmak üzere diğer elektrotlar ile yapılan deneylerde çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Bu durum 15 çevrim kaynak zamanı sabit tutularak yapılan deneylerde daha açık olarak görülebilmektedir. Yani kaynak akımının artması yalnızca Cu-Co-Be elektrotları ile yapılan kaynaklı parçaların çekme dayanımlarını yükseltmiş diğer elektrotlarla yapılan kaynaklı parçaların kaynak dayanımları ise bariz bir şekilde düşmüştür (Şekil 6.21).



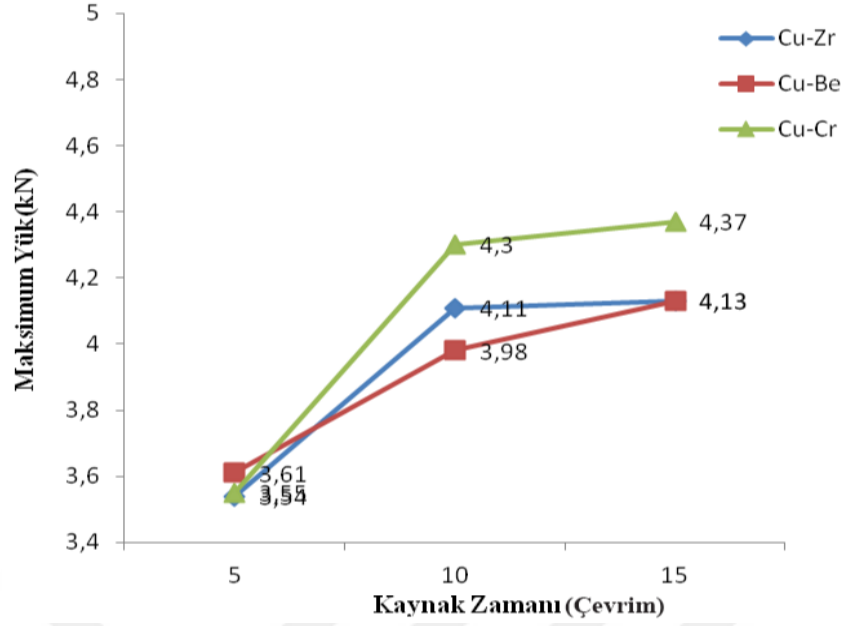
Şekil 6.20. Farklı elektrotlar ve akımlar kullanılarak 10 çevrim zaman çevrimindeki maksimum yük grafiği

Şekil 6.21’de farklı elektrot ve akımlar kullanılarak 15 çevrim zamanındaki maksimum yük grafiği verilmiştir.



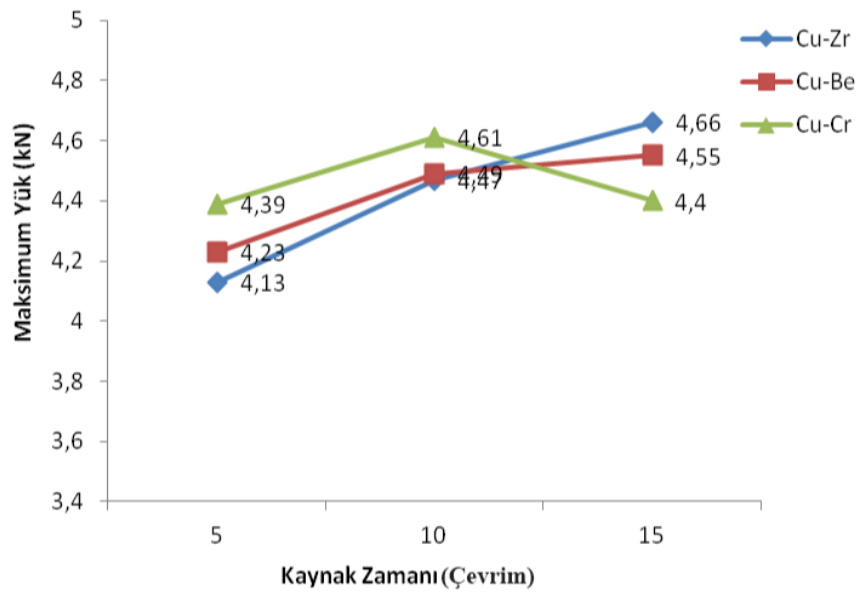
Şekil 6.21. Farklı elektrotlar ve akımlar kullanılarak 15 çevrim zaman çevrimindeki maksimum yük grafiği

Şekil 6.22’de ise 5.4 kA kaynak akımı sabit tutularak kaynak zamanlarına göre Cu-Zr, Cu-Co-Be ve Cu-Cr elektrotları ile kaynaklanmış numunelerin maksimum kopma yükü değerleri karşılaştırmalı olarak tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikler 5.4 kA kaynak akımında; tüm elektrotlar için en iyi çekme dayanımını veren kaynak zamanı değerinin 15 çevrim kaynak zamanı olması gerektiğini göstermektedir. Bu şartlarda, maksimum çekme yükü değeri (4,37 kN) Cu-Cr elektrotlar ile yapılan kaynaklı parçalarda elde edilmiştir.

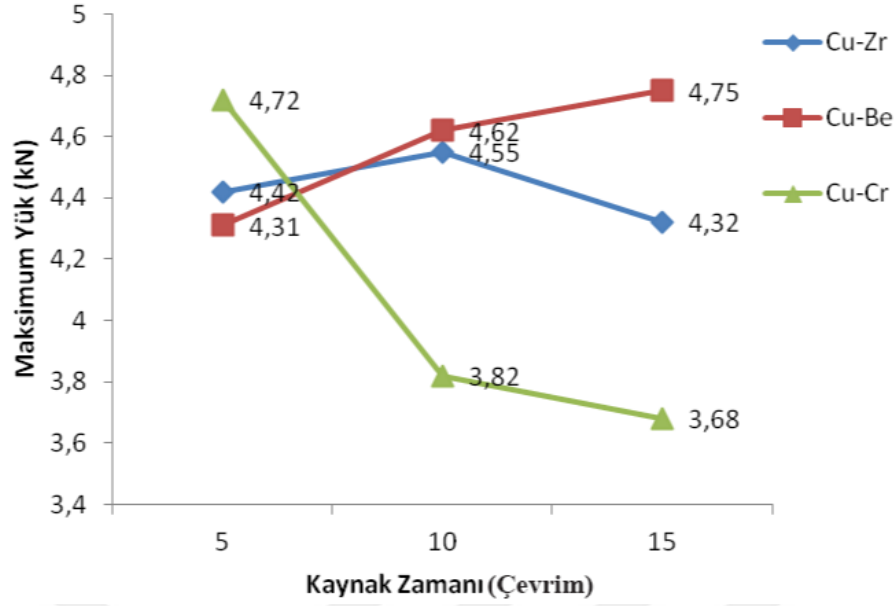


Şekil 6.22. Farklı elektrotlar ve kaynak çevrim zamanları kullanılarak 5.4 kA akımdaki maksimum yük grafiği

Şekil 6.23’de ise 6 kA kaynak akımı sabit tutularak yapılan deneylerde; 15 çevrim kaynak zamanını Cu-Cr elektrotları ile yapılanlar hariç olmak üzere diğer elektrotlar ile yapılan deneylerde çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Burada maksimum çekme yükü değeri (4,66 kN) Cu-Zr elektrotlarla yapılan kaynaklı parçalarda 15 çevrim kaynak çevrimi sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 6.23. Farklı elektrotlar ve çevrim zamanları kullanılarak 6kA akımdaki maksimum yük grafiği



Şekil 6.24. Farklı elektrotlar ve çevrim zamanları kullanılarak 6,6 kA akımdaki maksimum yük grafiği.

Şekil 6.24’de 6,6 kA kaynak akımı sabit tutularak yapılan deneylerde ise 15 çevrim kaynak zamanını Cu-Co-Be elektrotları ile yapılanlar hariç olmak üzere diğer elektrotlar ile yapılan deneylerde çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Burada, Cu-Cr elektrotlarla yapılan deneylerde; maksimum çekme yükü değeri (4,72 kN) ile 5 çevrim zaman çevriminde, Cu--Zr elektrotlarla yapılan deneylerde; maksimum çekme yükü değeri (4,55 kN) ile 10 çevrim zaman çevriminde, Cu-Co-Be elektrotlarla yapılan deneylerde ise maksimum çekme yükü değeri (4,75 kN) ile 15 çevrim zaman çevriminde elde edilmiştir. Bu durum elektrotların elektriksel iletkenliklerine atfedilebilir. Çünkü Cu-Zr ve Cu-Cr elektrotlarının elektrik iletkenliği, Cu-Co-Be elektrotunun yaklaşık iki katıdır.

Bilindiği üzere östenitik paslanmaz çeliklere göre genellikle daha ekonomik olduğu için tercih edilen ferritik paslanmaz çeliklerin (FSS) kaynağında tane kabalaşması önemli bir sorundur ve bu durum kaynaklı parçaların tokluğunun düşmesine neden olmaktadır. Tane büyümesini mümkün olduğunca sınırlı tutabilmek için de kaynak ısı girişini minimuma indirecek en uygun kaynak parametrelerini tespit etmek gereklidir (Alizadeh-Sh vd., 2014; Sathiya vd., 2007), Alizadeh-Sh-Sh ve arkadaşları kaynak süresi sabit tutulduğunda artan kaynak akımının, füzyon bölgesini (FZ), kaynak çekirdeği büyüklüğünü ve AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin çekme dayanımını (maksimum çekme yükü)

arttırdığını bildirmişlerdir. FZ boyutu ve kaynaklı parçaların mekanik dayanımı arasında doğrudan bir ilişki vardır (Alizadeh-Sh vd. 2015; Moshayedi ve Sattari-Far, 2012). Bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmekle beraber, maksimum çekme dayanım için gereken kaynak süresi, her elektrot için farklı elde edilmiştir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; beyaz eşya sanayide kullanılan 0,8 mm'lik AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliklerin (FSS) kaynak çalışmaları, zaman ve akım kontrollü bir programlanabilir direnç nokta kaynak makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kaynaklanmasında 6 mm çapında ve 45° kesik koni uçlu CuCo₂Be (CuBe), CuCrZr ve CuZr elektrotlar kullanılmıştır. Kaynaklama çalışmalarında 1,6 kN sabit elektrot baskı kuvveti kullanılmış ve sırasıyla 5, 10 ve 15 çevrim (1 çevrim=0,02 s) kaynak zamanları ve 5,4, 6 ve 6,6 kA kaynak akımı değerleri kullanılarak farklı kaynak parametreleri denenmiştir. Optik mikroskop kullanılarak kaynaklı paslanmaz çelik numunelerin kaynak çekirdeği ve çevresinde meydana gelen faz dönüşümlerini incelenmiştir. Bazı kaynaklanmış numunelerinin direnç nokta kaynağı çekirdeği kesitleri üzerinden Vickers mikrosertlikleri ölçülmüştür. Mikrosertlik testinde ise 100 g'lık yük 10 saniye uygulama süresi kullanılmıştır. Bir universal test makinesi kullanılarak, 1 mm/dk'lık sabit çekme hızında kaynaklı numunelerin maksimum çekme yükleri ölçülmüştür. Kaynaklı parçaların mekanik özellikleri, maksimum çekme yükü açısından tanımlanmıştır. Tez kapsamında çalışılan kaynaklı parçaların deneysel sonuçlarından elde edilebilecek bulgular aşağıdaki gibidir;

- Kaynaklanmış ferritik paslanmaz çeliklerin ısıdan etkilenen bölgesinde (ITAB) tane kabalaşmasının meydana gelmiştir ve tipik füzyon bölgesi (FZ) olduğunu gösteren büyük sütunsal ferrit tanelerinin oluşmuştur.
- ITAB bölgesinde sıcaklık dağılımına göre; yüksek sıcaklığın tesiriyle ısıdan etkilenen bölge (HTHAZ) ve düşük sıcaklık tesiriyle ısıdan etkilenen bölge (LTHAZ) olmak üzere iki ayrı metalürjik dönüşüm bölgesinin oluştuğu gözlenmiştir. Krom zengini karbürler de ana metal (BM) boyunca eşit olarak dağılmıştır. Yüksek akım ve kaynak süresi kullanıldığında, YITAB bölgesinde meydana gelen sütunsal taneler daha da büyüdüğü gözlenmiştir.

- Yüksek sıcaklıktaki ferrit, östenit dönüşümü ve denge dışı soğutma koşulları nedeniyle baskılandığı için tane sınırlarında martenzit fazı meydana gelmemiştir.
- Mikrosertlik ölçümlerinde; ince çökeltilerin dağılımına bağlı olarak füzyon bölgelerinin (FZ) sertliği daha fazla çıkmıştır. Benzer nedenlerle çökeltilerin hacim oranı daha yüksek olduğu için DITAB'da daha yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Ayrıca ITAB'da artan kaynak akımı (6.6 kA) ve kaynak süresiyle (15 çevrim), mikro sertlik değeri (400 HV) yükselmiştir.
- Yapılan çalışmalar sonucunda; AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağında maksimum dayanımı verecek en iyi kaynak parametrelerinin her bir farklı elektrot malzemesi için de farklı olduğu görülmüştür; Cu-Zr elektrotu için 6 kA de 10 çevrim, Cu-Cr elektrotu için 6,6 kA'de 5 çevrim, Cu-Co-Be elektrotu için ise 6,6 kA de 15 çevrimdir.
- Tüm kaynaklama çalışmalarında, maksimum çekme yükü değerleri 6 ve 6,6 kA kaynak akımı kullanıldığında elde edilmiştir.
- Özellikle 6,6 kA kaynak akımında kaynak zamanı arttıkça Cu-Co-Be elektrotları ile yapılanlar hariç olmak üzere diğer Cu-Zr ve Cu-Cr elektrotları ile kaynaklanmış parçaların çekme dayanımları belirgin olarak düşmüştür.
- Kaynaklı parçalarda maksimum çekme yükü değeri (4.75 kN) Cu-Co-Be elektrotlar kullanılarak 6,4 kA kaynak akımı ve 15 çevrim kaynak süresi sonunda edilmiştir. Ancak özellikle düşük öz direnç, yüksek mekanik dayanım özellikleri ve bunun sonucu olarak daha kısa kaynak süresinde (5 çevrim) yaklaşık aynı çekme yükü değerinin (4,72 kN) elde edildiği göz önüne alındığında; ferritik paslanmaz sacların direnç kaynağında Cu-Cr elektrotların en iyi sonucu vereceği söylenebilir.
- Özellikle Cu-Zr elektrotlarla yapılan deneylerde 6,6 kA akım altında 15 çevrim kaynak süresi kullanıldığında kaynak çekirdeği bölgesinde delinme meydana gelmiştir ve sonuçta kaynak dayanımı da düşmüştür.

Bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar Afrika'daki Uluslararası Mühendislik Araştırma dergisinin 31 nolu sayısında yayınlanmıştır.

Bilindiği üzere ferritik paslanmaz çeliklerin (FSS) kaynağında tane kabalaşması önemli bir sorundur ve bu durum kaynaklı parçaların tokluğunun düşmesine neden olmaktadır. Tane büyümesini mümkün olduğunca sınırlı tutabilmek için de kaynak ısı girişini minimuma indirecek en uygun kaynak parametrelerini tespit etmek gereklidir.

Yukarıdaki araştırma sonuçlarına göre, direnç nokta kaynağı ile birleştirilecek malzemeler için en uygun kaynak akımı-zaman parametrelerini araştıran kaynak mühendislerinin kaynak esnasında kullanacakları farklı elektrot malzemelerinin etkisini de hesaba katmaları gerektiğini göstermektedir.

Ayrıca benzer alanlarda çalışan araştırmacıların diğer farklı malzemeler ve özellikle paslanmaz çeliklerin direnç kaynağında, her bir farklı elektrot için benzer çalışmaları yapmalarının literatür açısından oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir. Çünkü literatürde, farklı elektrod malzemelerinin paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynak kalitesine ve gerekli kaynak parametrelerinin farklı elektrot malzemelerine göre değişip değişmeyeceği konularında herhangi bir sistematik çalışmaya rastlanmamıştır.

8. KAYNAKLAR

- Akkuş A. (2006). Galvanizli ve Östenitik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımlarının Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkuş A. (2007). “Nokta kaynaklı farklı çelik sacların yorulma dayanımlarının deneysel analizi”, GTÜ Dergisi, cilt:6 sayı:1, 37-46, (2007).
- Akyol M. (2001). Otomotiv Sanayiinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alizadeh-Sh M., Marashi S.P.H., and Pouranvari M. (2014). Resistance spot welding of AISI 430 ferritic stainless steel: phase transformations and mechanical properties, *Materials & Design*. 56 258-263.
- Alizadeh-Sh M., Pouranvari M., and Marashi S.P.H. (2015). Welding metallurgy of stainless steels during resistance spot welding Part II–heat affected zone and mechanical performance. *Science and Technology of Welding and Joining*, 20(6), 512-521.
- Anık S. (1993). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anık S. (1991). Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Holding Yayını, İstanbul.
- Anık S. ve Vural M. (1998). Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG), Gedik Eğitim Vakfı Yayını, Yay. No. 3, İstanbul.
- Aran A., ve Temel M.A. (2004). “Paslanmaz çeliklerin kaynağı”, Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi Kullanımı Standartları, Sarıtaş Teknik Yayını, Acar Matbbacılık A.Ş., İstanbul, 58-65
- Avner S.H. (1984). *Introduction to Physical Metallurgy*, 2. Ed., Mc Graw Hill.
- Irving B. (1997) Why aren't airplanes welded? *Welding Journal* 76(1): 31–41.
- Baylan O. (2003). Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik-Martenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikro Yapı ile Özellikler Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Bernhardsson S., Nornberg P., Ericksson H., and Forssell D. (1986). Selection of Stainless Steels for Refineries and the Petrochemical Industry, *Anti-Corrosion*, Jan., 14-16.

- Brauser S., Pepke L.A., Weber G., and Rethmeier M. (2010). "Deformation behaviour of spot-welded high strength steels for automotive applications", *Materials Science and Engineering*, 527: 7099-7108, (2010).
- Chen X., and Deng X. (2000). "Performance of shell elements in modelling spot-welded joints", *Finite Elements in Analysis and Design*, 35: 41-57
- Çimenoglu H. ve Geçkinli E. (2001). Çelik ve Dökme Demirlerin Metalografisi ve Mekanik Muayenesi, Metalurji Mühendisleri Odası KOSGEB İMES, İstanbul
- Davidson J.A. (1983). "A review of the fatigue properties of spot-welded sheet steels", *SAE Technical Paper No. 830033*; (1983).
- Deng X., Chen W., and Shi G. (2000). "Three-dimensional finite element analysis of mechanical behavior of spot welds", *Finite Elements in Analysis and Design*, 35: 17-39, (2000).
- Develi K. (2003). Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mig Kaynağında Argon Hidrojen Karışımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- Davis J.R. (1994). *ASM Speciality Handbook, Stainless Steels 1994*. Materials Park, OH.
- Wallinder I.O., Lu J., Bertling S., and Leygraf C. (2002). Release rates of chromium and nickel from 304 and 316 stainless steel during urban atmospheric exposure- a combined field and laboratory study, *Corrosion Science*, 44, 2303-2319.
- Develi, K. (2003). "Östenitik paslanmaz çeliklerin mığ kaynağında argon hidrojen karışımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-26
- Ertürk İ. (1987). *Gazaltı Kaynak Teknikleri, Küçük Sanayi İşletmelerinde Danışmanlık Hizmetleri Projesi*, Türkiye Halk Bankası A.Ş. Yayını, Ankara.
- Ertürk İ. (1994). *MIG/MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eryürek B.İ. (2006). *Gazaltı Kaynağı*, AS Kaynak Yayını, pp. 52-80.
- Fujii T., Tohgo K., Suzuki Y., Yamamoto T., Shimamura Y., and Ojima Y. (2011). "Fatigue properties of spot welded and spot weld-bonded joints of steel sheet", *Engineering Procedia*, 10: 1075-1080, (2011).

- Gallagher M. (2003). Electrode Wear in the Resistance Spot Welding of Galvanized Steel Sheet, MS Thesis, University of Windsor, Ontario.
- GEV, (2009). Elektrik Direnç Kaynağı Ders Notları, Gedik Eğitim Vakfı
- Groover, M. P., (2016). Modern İmalatın Prensipleri, M. İ., Yurdakul, M., & Tansel, Y. Nobel Yayınevi, Yayın No:1150, Ankara
- Gourd L.M. (1995). Kaynak Teknolojisinin Esasları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Gugel M.D. (1995). Electrode Wear Mechanisms During the Resistance Spot Welding of Hot-Dipped Galvanized Steel, PhD Thesis, MTU,Michigan.
- Han Y.S., and Hong S.H. (1999). Microstructural changes during superplastic deformation of Fe-24Cr-7Ni-3Mo-0.14 N duplex stainless steel. Materials Science and Engineering: A, 266(1), 276-284.
- Hasanbaşıoğlu A., and Kaçar R. (2007). "Resistance spot weldability of dissimilar materials" , Materials and Design, 28: 1794-1800,
- Irving B. (1992). Plasma arc welding takes on the advanced solid rocket motor. Welding Journal 71(12): 49-50.
- Jung G.S., Lee K.Y., Lee J.B., Bhadeshia H.K.D.H., and Suh W. (2012). "Spot weldability of TRIP assisted steels with high carbon and aluminium contents", Science and Technology of Welding and Joining, 17(2): 92-98,
- Kaçar R., Gündüz S., Kahraman N., Boz M. ve Demir B. (2008). Soğuk Deforme Edilmiş AISI-304 Paslanmaz Çeliğın Direnç Kaynak Kabiliyeti, Karabük Üniversitesi, BAP Hızlı Destek Proje Sonuç Raporu, Proje No: 107M203, Karabük.
- 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 (1988).
- Kaluç E. ve Tülbentçi K. (1995). Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi, Kaynak Teknolojisi Araştırma Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, s.239, 1995.
- Kang T-H., Accorsi I., Patel B., and Pakalnins E. (2007). "Fatigue performance of resistance spot welds in three sheet stack-ups", Procedia Engineering, 2: 129-138, (2010).
- Kanlı M. (2005). Punta Kitapçığı, TOFAŞ
- Karcı F. (2008). Soğuk Deformasyon ve Kaynak Isı Girdisinin AISI 304 Paslanmaz Çelik Direnç Kaynak Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2008.

- Kim T., Park H., and Rhee S. (2005). "Optimization of welding parameters for resistance spot welding of TRIP steel with response surface methodology", *Production Research*, 43(21): 4643-4657, (2005).
- Korkut M.H. (1997). "Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 5-10 (1997).
- Lakshminarayanan A. K., Shanmugam K., and Balasubramanian V. (2009). Effect of autogenous arc welding processes on tensile and impact properties of ferritic stainless steel joints. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 16(1), 6216-68.
- Lefevre J. (1993) *Stainless Steel Selection Criteria for Different Applications*, Stainless Steels, Les Editions de Physique, p 919-937.
- Leslie W.C. (1982) *The Physical Metallurgy of Steels*, Mc Graw Hill.
- Martín Ó., De Tiedra P., López M., San-Juan M., García C., Martín F., and Blanco Y. (2009). Quality prediction of resistance spot welding joints of 304 austenitic stainless steel. *Materials & Design*, 30(1), 68-77.
- Martín Ó., De Tiedra P., López M., San-Juan M., García C., Martín F., and Blanco Y. (2009). Quality prediction of resistance spot welding joints of 304 austenitic stainless steel. *Materials & Design*. 30(1), (2009) 68-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2008.04.050>
- MEGEP (2014). "Elektrik Direnç Kaynağı", http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/%20Direnc%20Kayna%C4%9F%C4%B1pdf,
- Miyamoto H., Mimaki T., and Hashimoto S. (2001) Superplastic deformation of micro-specimens of duplex stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 319, 779-783.
- Moshayedi H., and Sattari-Far I. (2012). Numerical and experimental study of nugget size growth in resistance spot welding of austenitic stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(2), 347-354.
- Müftüoğlu F., and Keskinel T. (2007). Effect of Coating Thickness on Electrode Life in the Spot Welding of Galvanized Steels *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 31 (2007), 183 – 187. TUBİTAK
- Odabas C. (2007). "Paslanmaz çeliklerin temel özellikleri, kullanım alanları ve kaynak yöntemleri", *Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, 3-15, 59 (2007).
- Orts D.H. (1981). "Fatigue strength of spot welded joints in a HSLA steel", SAE Technical Paper No. 810355;

- Pal T.K., and Chattopadhyay K. (2010). “Resistance spot weldability and high cycle fatigue behaviour of martensitic (M190) steel sheet”, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials&Structures*, 34: 46-52, (2010).
- Phillips A.L. (1966). *Modern Joining Processes*, ASW New York.
- Salvini P., Francesco V., and Vullo V. (2000). “A spot weld finite element for structural modelling”, *International Journal of Fatigue*, 22: 645-656,
- Sathiya P., Aravindan S., and Haq A.N. (2007). Effect of friction welding parameters on mechanical and metallurgical properties of ferritic stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(11-12), 1076-1082.
- Shanmugam, N. Buvanashakaran, G. Sankaranarayananasamy, and K. Kumar, S. (2010). “A transient finite element simulation of the temperature and bead profiles of T-joint laser welds”, *Materials and Design*, 31: 4528-45427,
- Temel E. (2001). *Paslanmaz Çeliklerin Üretimi Ve Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Tumuluru M. (2010). “Effects of baking on the structure and properties of resistance spot welds in 780 MPa dual-phase and TRIP steels”, *Welding Journal*, 89: 91-100,
- Tülbentçi K. (1988). *Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağında (MIG/MAG) Kaynak Parametrelerinin Seçimi, Kaynak Dünyası Gedik Holding A.Ş., İstanbul.*
- Tülbentçi K. (1990). *MIG-MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding Yayını, İstanbul.*
- Ulaş A. (1999). *Duplex Paslanmaz Çelikler ve Kaynak Kabiliyeti, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Vural M. ve Akkuş A. (2004). “On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets”, *Material Processing Technology*, 153-154: 1-6
- Vural M., Anık S. ve Anık E.S. (1993). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, s. 186-209, 1993.*
- Vural M., and Akkus A. (1993). “On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets”, *J. Mater. Process. Technol.* 1 (6), 53-156, 1993.
- Wang L., Song C., Sun F., Li L., and Zhai Q. (2009). Microstructure and Mechanical Properties of 12 wt.%Cr Ferritic Stainless Steel with Ti and Nb Dual Stabilization, *Materials and Design*, 30 (2009) 49–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2008.04.040>

Wang L.X., Song C.J., Sun F.M., Li L.J., and Zhai Q.J. (2009). Microstructure and mechanical properties of 12wt.%Cr ferritic stainless steel with Ti and Nb dual stabilization. *Materials & Design*, 30(1), 49-56.

Wilson R.B. ve Fine T.E. (1981). "Fatigue behavior of spot welded high strength steel joints", SAE Technical Paper No. 810354.

Youns S., Soon H., and Hoong H. (1998). "Microstructural Changes During Superplastik Deformation of Fe-24Cr-7Ni-3Mo-0.14N Duplex Stainless Steel" *Materials Science and Engineering*, Department of Material Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea, Sayı:A266, 276-284, 1998.

Zhang Y., and Taylor D. (2000). "Sheet thickness effect of spot welds based on crack propagation", *Engineering F*.

