



**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE SAPLAMA
KAYNAĞI UYGULAMASI VE KAYNAK
BÖLGESİNİN İNCELENMESİ**

Fatma ÇİNAY

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yakup KAYA**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE SAPLAMA KAYNAĞI UYGULAMASI VE
KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ**

Fatma ÇİNAY

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yakup KAYA**

**KARABÜK
Ağustos 2022**

Fatma ÇİNAY tarafından hazırlanan “OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE SAPLAMA KAYNAĞI UYGULAMASI VE KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yakup KAYA

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/08/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hayriye ERTEK EMRE (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ali KALYON (YÜ)

Üye : Doç. Dr. Yakup KAYA (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Fatma ÇİNAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE SAPLAMA KAYNAĞI UYGULAMASI VE KAYNAK BÖLGESİNİN İNCELENMESİ

Fatma ÇİNAY

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Yakup KAYA

Ağustos 2022, 101 sayfa

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde çok kullanılan 1.2 mm kalınlığındaki yaşlanmaya dayanıklı ve ekstra derin çekmeye uygun çok düşük karbonlu arayer atomsuz IF (7114) çelikleri üzerine farklı saplamalar (bakır kaplamalı çelik saplama ve paslanmaz çelik saplama), farklı saplama çapları (M5, M6 ve M8) ve farklı kaynak parametreleri (130 V, 140 V, 150 V, 165 V ve 180 V kaynak gerilimi) kullanılarak saplama kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirmelere etkisinin belirlenmesi için incelemeler yapılmıştır.

Kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmek amacıyla, numunelere çekme, eğme ve tork testleri uygulanmıştır. Ayrıca, numunelerin kaynak bölgeleri üzerinde sertlik ve makroyapı-mikroyapı çalışmaları yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmelere uygulanan testler sonucunda, bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik saplama numunelerde, en yüksek çekme dayanımı M8

saplama çapı ve 150 V kaynak geriliminde, en düşük çekme dayanımı ise M5 saplama çapı ve 180 V kaynak geriliminde birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Bakır kaplamalı elik saplama numuneler ile paslanmaz elik saplama numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri karşılaştırıldığında ise, bakır kaplamalı elik saplama numunelerin belirli parametrelerde başarılı olduğu grlrken, paslanmaz elik saplama numunelerin ise neredeyse tamamen başarılı olduğu görülmüştür. Bakır kaplamalı elik ve paslanmaz elik saplama numunelerin tork testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek tork dayanımı M8 saplama çapı ve 150 V kaynak gerilimlerinde, en düşük tork dayanımı ise M5 saplama çapı ve 180 V kaynak gerilimlerinde birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Bakır kaplamalı elik ve paslanmaz elik saplama numunelerde, en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB'lar (bakır kaplamalı elik saplama ITAB > IF 7114 ITAB) ve ana malzemeler (bakır kaplamalı elik saplama ana malzeme > IF 7114 ana malzeme) takip etmektedir. Bakır kaplamalı elik ve paslanmaz elik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri değerlendirildiğinde, M5, M6 ve M8 saplama çapında, 180 V kaynak geriliminde diğer numunelere göre birleştirme arayüzeyinin azaldığı tespit edilmiştir. Bakır kaplamalı elik ve paslanmaz elik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri kıyaslandığında, tüm saplama çaplarında paslanmaz elik saplamaların bakır kaplamalı elik numunelere göre daha iyi birleştirme arayüzeyine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : IF 7114 eliği, saplama kaynağı, mekanik özellikler, mikroyapı.

Bilim Kodu : 91511

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF WELDING ZONE AND APPLICATION OF STUD WELDING IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Fatma ÇINAY

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Manufacturing Engineering**

Thesis Advisor:

Associate Professor Yakup KAYA

August 2022, 101 pages

In this study, 1.2 mm thick very low carbon interstitial atomless IF (7114) steels, which are widely used in the automotive industry and are suitable for extra deep drawing, were combined by stud welding method using different parameters and the welding parameters (different studs: copper plated steel studs and stainless steel studs, different stud diameters: M5, M6 and M8, different welding voltages: 130 V, 140 V, 150 V, 165 V and 180 V) investigations were made to determine the effect of welding parameters on welded joints.

Tensile, bending and torque tests were applied to the samples in order to examine the effects of welding parameters on the mechanical properties of the welded joints. In addition, hardness and macrostructure-microstructure studies were carried out on the weld zones of the samples. As a result of the tests applied to the welded joints, the highest tensile strength was obtained from M8 stud diameter and 150 V welding

voltage, and the lowest tensile strength was obtained from the stud welded samples joined at M5 stud diameter and 180 V welding voltage. When the images of copper-plated steel stud specimens and stainless steel stud specimens were compared after the bending test, it was seen that the copper-plated steel stud specimens were successful in certain parameters, while the stainless steel stud specimens were almost completely successful. When the torque test results of copper-plated steel and stainless steel stud samples were examined, the highest torque strength was obtained at M8 stud diameter and 150 V welding voltages, and the lowest torque strength was obtained from stud welded samples joined at M5 stud diameter and 180 V welding voltages. In copper-plated steel and stainless steel stud samples, the highest hardness value is measured from the weld metal, followed by ITABs (copper-plated steel stud ITAB > IF 7114 ITAB) and base materials (copper-plated steel stud base material > IF 7114 base material). When the macrostructure images of copper-plated steel and stainless steel stud specimens were evaluated, it was determined that the joint interface decreased compared to the other specimens at 180 V welding voltage with M5, M6 and M8 stud diameters. When the microstructure images of copper-plated steel and stainless steel stud specimens were compared, it was determined that stainless steel studs had better bonding interface than copper-plated steel specimens in all stud diameters.

Key Word : IF 7114 steel, stud welding, mechanical properties, microstructure

Science Code : 91511

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Danıőman Hocam Doç. Dr. Yakup KAYA' ya,

Test numunelerini hazırlamamda yardımlarını esirgemeyen çalıőmakta olduğum firmam Feka Mold A.Ő. ' ye

Akademik alıőmaları desteklemek adına saplama kaynak numunelerimin üretilmesinde yardımcı olan Diler Otomasyon' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
IF (INTERSTITIAL FREE/ARAYER ATOMSUZ) ÇELİKLERİ	3
2.1. IF ÇELİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	3
2.2. IF ÇELİKLERİNİN ÇEŞİTLERİ	4
2.2.1. Ultra Düşük Karbonlu IF Çelikleri (ULC).....	5
2.2.2. Fırında Sertleştirilebilen IF Çelikleri (BH).....	5
2.2.3. Yüksek Mukavemetli IF Çelikleri (HSS)	5
2.2.4. Ekstra Derin Çekilebilen IF Çelikleri (EDDQ)	6
2.2.5. Fosforlu IF Çelikleri	6
2.3. IF ÇELİĞİNİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI	7
2.4. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE IF ÇELİKLERİNİN YERİ.....	7
BÖLÜM 3	10
SAPLAMA KAYNAĞI.....	10
3.1. SAPLAMA KAYNAĞI ÇEŞİTLERİ	12
3.1.1. Kondansatör Boşaltmalı Saplama Kaynağı	12

	<u>Sayfa</u>
3.1.2. Çekmeli Ark Cihazları ile Saplama Kaynağı.....	13
3.2. DIN 1919'A GÖRE SAPLAMA KAYNAĞI	14
3.2.1. Temas Tutuşturmalı Saplama Kaynağı.....	14
3.3. SAPLAMA KAYNAĞINDA KAYNAK BANYOSUNU KORUMA YÖNTEMLERİ	15
3.3.1. Seramik Halkalı Saplama Kaynağı	15
3.3.2. Koruyucu Gaz Altında Saplama Kaynağı.....	16
3.4. KORUMASIZ SAPLAMA KAYNAĞI.....	16
3.5. SAPLAMA KAYNAĞININ AVANTAJLARI.....	17
3.6. SAPLAMA KAYNAĞI YAPILMIŞ MALZEMELERE UYGULANAN TESTLER	18
BÖLÜM 4	20
ÖNCEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	20
4.1. SAPLAMA KAYNAĞI ÇALIŞMALARI	20
4.2. IF 7114 SACI ÇALIŞMALARI	23
BÖLÜM 5	26
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
5.1. ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELER	26
5.2. MALZEMELERİN KAYNAĞA HAZIRLANMASI.....	29
5.3. MALZEMELERİN KAYNAĞININ YAPILIŞI	30
5.4. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI	32
5.5. MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ.....	37
5.5.1. Çekme Testi	38
5.5.2. Eğme Testi	41
5.5.3. Tork Testi.....	43
5.5.4. Sertlik Testi.....	45
5.5.5. Metalografik İncelemeler.....	47
BÖLÜM 6	50
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	50

	<u>Sayfa</u>
6.1. ÇEKME TESTİ	50
6.2. EĞME TESTİ.....	62
6.3. TORK TESTİ.....	68
6.4. SERTLİK TESTİ.....	74
6.5. METALOGRAFİK İNCELEMELER.....	84
6.5.1 Makroyapı.....	84
6.5.2 Mikroyapı.....	87
BÖLÜM 7	96
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Arayer atomsuz (IF) çelik mikroyapısı.....	4
Şekil 3.1. Saplama kaynağı mekanizması şematik gösterimi	11
Şekil 3.2. Saplama kaynağı yapılış anı görüntüsü.....	12
Şekil 3.3. Saplama kaynağı tabancası.....	14
Şekil 3.4. Saplama kaynağı aşamaları.....	15
Şekil 5.1. Saplama civatası resimleri	27
Şekil 5.2. Saplama civatası ölçüleri	28
Şekil 5.3. Saplama kaynak numune ölçüleri – M5/M6/M8	29
Şekil 5.4. Markalanmış numune görüntüsü	29
Şekil 5.5. Kullanılan kaynak makinesi görüntüsü.....	30
Şekil 5.6. Mekanik testler için hazırlanan numunelerin teknik çizimleri.	31
Şekil 5.7. M5 Bakır kaplamalı çelik saplama kaynak numuneleri.	32
Şekil 5.8. M6 Bakır kaplamalı çelik saplama kaynak numuneleri.	33
Şekil 5.9. M8 Bakır kaplamalı çelik saplama kaynak numuneleri.	34
Şekil 5.10. M5 Paslanmaz çelik saplama kaynak numuneleri	35
Şekil 5.11. M6 Paslanmaz çelik saplama kaynak numuneleri.	36
Şekil 5.12. M8 Paslanmaz çelik saplama kaynak numuneleri.	37
Şekil 5.13. Kesilen numune görüntüleri.	38
Şekil 5.14. Shimadzu çekme testi cihazı.....	39
Şekil 5.15. Çekme testinde kullanılan aparatlar.....	40
Şekil5.16. Çekme testi düzeneği şematik resmi ve uygulama esnasındaki görüntüsü	41
Şekil 5.17. Eğme testi için üretilen aparat ve görüntüsü.....	42
Şekil 5.18. Eğme testi şematik gösterimi ve uygulama görüntüsü.	42
Şekil 5.19. Tork testi için üretilen aparat ve görüntüsü.	43
Şekil 5.20. Tork testi şematik gösterimi.	44
Şekil 5.21. Tork dayanımı ölçümlerinde kullanılan dijital torkmetre.....	44
Şekil 5.22. Tork testi uygulama aşamaları.....	45
Şekil 5.23. Sertlik ölçüm noktaları şeması.....	46
Şekil 5.24. Mikrosertlik ölçüm cihazı resmi.....	46

Şekil 5.25. Tel erezyonda kesilmiş numune ve bakalite alınmış görüntüsü.	47
Şekil 5.26. Parlatma cihazı görüntüsü.....	48
Şekil 5.27. Optik mikrosokop görüntüsü.	49
Şekil 6.1. Bakır kaplamalı çelik saplamaların çekme testi grafikleri; a) çekme b) uzama.....	51
Şekil 6.2. Paslanmaz çelik saplamaların çekme testi grafikleri; a) çekme b) uzama.....	54
Şekil 6.3. Bakır kaplamalı çelik saplama numelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	56
Şekil 6.4. Paslanmaz çelik saplama numelerin çekme testi sonrası görüntüleri. ..	58
Şekil 6.5. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri.....	63
Şekil 6.6. Paslanmaz çelik saplama numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri.	65
Şekil 6.7. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin tork testi grafikleri.....	69
Şekil 6.8. Paslanmaz çelik saplama numunelerin tork testi grafikleri.	71
Şekil 6.9. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin tork testi sonrası görüntüleri.....	74
Şekil 6.10. Paslanmaz çelik saplama numunelerin tork testi sonrası görüntüleri...	75
Şekil 6.11. Sertlik ölçüm noktaları.....	78
Şekil 6.12. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin sertlik grafikleri a) M5 b) M6 c) M8.....	79
Şekil 6.13. Paslanmaz çelik saplama numunelerin sertlik grafikleri a) M5 b) M6 c) M8.....	82
Şekil 6.14. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri....	85
Şekil 6.15. Paslanmaz çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri... ..	86
Şekil 6.16. M5 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.	88
Şekil 6.17. M6 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.	89
Şekil 6.18. M8 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri... ..	90
Şekil 6.19. M5 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.	91
Şekil 6.20. M6 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.	92

Şekil 6.21. M8 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri. 93

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çeliklerin tarihi..	9
Çizelge 5.1. IF 7114 Saclarının kimyasal bileşimi.	26
Çizelge 5.2. IF 7114 Saclarının mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 5.3. Saplama civatalarının kimyasal özellikleri.	27
Çizelge 5.4. Saplama civatalarının mekanik özellikleri.....	27
Çizelge 5.5. Kullanılan saplama kaynak makinesinin özellikleri.	30
Çizelge 5.6. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.....	31
Çizelge 6.1. Bakır kaplamalı çelik saplama çekme testi sonuçları.	50
Çizelge 6.2. Paslanmaz çelik saplama çekme testi sonuçları.....	53
Çizelge 6.3. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin tork testi sonuçları.....	69
Çizelge 6.4. Paslanmaz çelik saplama numunelerin tork testi sonuçları.	70
Çizelge 6.5. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin sertlik ölçüm sonuçları..	78
Çizelge 6.6. Paslanmaz çelik saplama numunelerin sertlik ölçüm sonuçları.81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
C	: Karbon
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Fe	: Demir
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
Nb	: Niyobyum
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
Zr	: Zirkonyum

KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
- ANFIS: Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems
- ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
- BH : Bake Hardenable (Fırında Sertleşebilen)
- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- DP : Dual Phase (Çift Fazlı)
- ITAB : Isı Tesiri Altındaki Bölge
- EDDQ: Ekstra Derin Çekilebilen
- EI : Yüksek elastik deformasyon kabiliyeti
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- HSS : High Strength Steel (Yüksek Mukavemetli Çelik)
- IF : Interstitial-Free (Arayer Atomsuz)
- TRIP : Transformation Incuded Plasticity (Dönüşüm kaynaklı plastiklik özellik gösteren çelikler)
- ULC : Ultra Low Carbon (Ultra Düşük Karbonlu)
- Ys : Düşük akma dayanımı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile kullandığımız ürünlerin kalitesi artmaktadır. İhtiyaç ve beklentiler doğrultusunda her geçen gün yeni yöntemler kullanılarak çeşitli keşifler yapılmaktadır. Hiç şüphesiz bunların önde gelenlerinden olan çelik 17. yüzyıldan günümüze gelişimini sürdürmektedir. 1800'lü yıllarda asite karşı dayanıklı bir malzeme elde edebilmek için paslanmaz çelik üretilmiş ve günümüzdeki paslanmaz çelik teknolojisinin temelleri atılmıştır.

Paslanmaz çelik türleri her geçen gün geliştirilmekte ve pazarda gördüğü talebi karşılayabilmek için uzmanlarca çeşitli alaşımlarla ya da metotlarla zenginleştirilmektedir. Rekabetin yoğun olduğu sektörlerde yeni geliştirilen materyallerin kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Otomotiv, beyaz eşya, elektronik endüstrisi rekabetin yoğun olduğu endüstriler arasındadır. Günümüzün gözde malzemelerinden olan IF çelikleri de bu sektörlerde yerini kolaylıkla bulmuştur. Şekillendirilebilirlik kabiliyetleri ve kaynak edilebilirlik performanslarının yüksek olması gibi mekanik özellikler bu çeliklerin uygulandığı alanları artırır. Bu da çelik üreticilerinin son dönemlerde geliştirdiği IF çeliklerinin kullanım yoğunluğunu artırmakta, çeşitli alanlarda kullanımı için yeni testlere ve uygulamalar yapılmasına yol açmaktadır.

IF çelikleri düşük akma ve çekme dayanımına sahiptirler. Bununla birlikte yüksek yüzde uzama ve r değerleri bu çeliklerin yüksek şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin ana sebepleridir. Ancak tüm bu özelliklerinin yanı sıra üretim yöntemi bir hayli pahalıdır. Buna rağmen otomotiv ve beyaz eşya gibi hızlı satış yapan sektörlerde sıklıkla tercih edilmektedirler. Düşük akma dayanımları ve yüksek " r " değerleri ile derin çekme prosesi ile üretilen karmaşık parçaların bile üretiminde kullanılabilir (Hayat vd. 2007).

Çağımızın teknolojisinde oldukça yoğun şekilde kaynak prosesine ihtiyaç duyuyoruz. Her türlü alanda kullanımı yaygın olan kaynak yöntemi, uygulama kolaylığı, güvenli ve sağlam birleştirmelere imkan sağlaması dolayısıyla her geçen gün geliştirilmekte ve teknolojinin gereklilikleri ile birlikte hızlı bir şekilde yol almaktadır. Onlarca çeşit kaynak yönteminden biri olan saplama kaynağı da otomotiv ve beyaz eşya gibi gözde endüstrilerin vazgeçilmez çözümlerinden biri olmaya devam etmektedir (<https://yuneka.com.tr/kaynak-teknolojisinin-tarihsel-gelisimi/>, 2022). Hemen hemen tüm beyaz eşya ve otomobillerde kolayca rastlanabilecek bir yöntem olan saplama kaynağı ilave metal ihtiyacı duymaksızın otomatik robotlu sistemler ve endüstriyel otomasyon teknolojileri ile tamamen otomatik olarak da uygulanabilmektedir. Bu nedenle seri imalata oldukça elverişli olması bu yöntemi önemli bir noktaya taşır (Kaya, 2010).

IF7114 sacları ile saplama kaynağı uygulamaları da birlikte oldukça yaygın kullanılmaktadır. Çeşitli IF çeliği saclarına, çeşitli özelliklerde saptamalar kaynatılması mümkün ve popülerdir. Bu nedenlerle günümüzde IF çelikleri de saplama kaynağı teknolojisi de hızla gelişmektedir (<https://automotive.arcelormittal.com/products/flat/HYTSS/IF>, 2022).

Bu çalışmada otomotiv ve beyaz eşya sektöründe yaygın şekilde kullanılan IF7114 saclarına saplama kaynağı uygulamaları yapılmıştır. Yapılan uygulamalarda farklı saptamalar (bakır kaplamalı çelik saplama ve paslanmaz çelik saplama), farklı saplama çapları (M5, M6 ve M8) ve farklı kaynak parametreleri (130 V, 140 V, 150 V, 165 V ve 180 V kaynak gerilimi) kullanılmıştır. Farklı kaynak parametrelerinin birleştirme mekanik özellikleri ve kaynak bölgesine etkisi incelenerek endüstriyel uygulamalara katkı sağlanması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

IF (INTERSTITIAL FREE/ARAYER ATOMSUZ) ÇELİKLERİ

2.1. IF ÇELİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

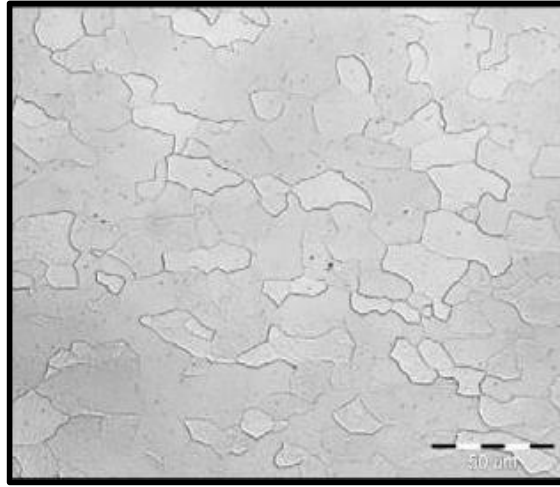
Çelik, tarih boyunca dünyada stratejik bir malzeme olarak görülmüş, çelik üretim ve tüketim miktarları, kişi başına üretim ve tüketim endeksleri sanayileşmenin ve kalkınmanın bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Demir çelik sektöründe 4 temel ürün çeşidi mevcuttur. Bunları, kütük, slab, uzun ve yassı olarak sıralayabiliriz. Kütük ve slab yarı ürünler olarak değerlendirilirken, kütük işlenerek uzun çelik ürünlerini, slab işlenerek ise yassı çelik ürünlerini meydana getirmektedir. Uzun olarak ifade edilen çelik ürünlerine; inşaat ve ulaşım sektöründe kullanılan, çubuklar, profiller, tel, çivi, demir yolu rayları ve filmaşın ürünleri sıralayabiliriz. Yassı çelik ürünleri; gemi inşa, otomotiv, altyapı, inşaat, ofis ve ev gereçleri ya da beyaz eşyalar gibi çeşitli ürün gruplarının üretiminde kullanılmaktadır. Genel olarak yassı çelik ürünlerin hitap ettiği önde gelen sektör otomotiv sektörüdür. Demir çelik üreticileri, otomotiv sektörünün geliştirmeyi amaçladığı yeni ürün ve teknolojilere yönelik ortaklaşa çalışmalar sürdürmekte ve ürün çeşitliliğini bu yönde geliştirmektedir. Ürün bazında dünya yassı çelik üretim tahminleri incelendiğinde gelecek senelerde büyük bir üretim artışı beklenmektedir. Bu artışın özellikle galvanizli ve kaplamalı ürünler yanı sıra soğuk haddelenmiş ürünlerde artış olacağı tahmin edilmektedir (Özdemir vd. 2017).

IF çelikleri yüksek “r” değerleri ile Erdemir tesislerinde soğuk haddehanelerde üretilir. IF çelikleri üretilirken dört sürece tabi tutulur. Şekillendirilebilirlik kabiliyeti bu süreçlerle IF çeliklerine kazandırılır. Bunlar çelik üretimi, sıcak haddeleme, soğuk haddeleme, sürekli tavlama ve temperlemedir.

IF çelikleri içerdikleri düşük C ve N dolayısıyla (<0.003% C ve <0.004% N) en uygun form verilebilir çeliklerdendir. Düşük akma dayanımı ile kesit daralmasına karşı yüksek direnç göstermekte ve soğuk şekillendirme de başarılı bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Ti ve V ilavesi yapılarak, malzeme içerisindeki sert yapının geliştirilmesi de sağlanmıştır. Aynı zamanda IF çeliklerine Ti ve Nb ilaveleriyle TiC, TiN veya NbCN gibi kararlı bileşikler oluşturulabilir. IF çeliklerinin akma mukavemeti 150 MPa, çekme mukavemeti ise 300 MPa civarındadır (Hasanbaşoğlu, 2005).

Erdemir üretimi kaplamasız soğuk 1,0 mm kalınlığında 7114 (DIN EN 10130-99 DC04) kalite otomotiv endüstrisinde (Ford, Toyota, Mercedes, BMC, Renault, Hyundai, Honda vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yıllık yurt içi tüketimi yaklaşık 150.000 ton'dur. Genel kullanım alanı ve başlıca özelliği "yaşlanmaya dayanıklı ekstra derin çekmeye uygun çok düşük karbonlu IF çeliği" olmasıdır (Yıldız, 2006).



Şekil 2. 2. Arayer atomsuz (IF) çelik mikroyapısı.

2.2. IF ÇELİKLERİNİN ÇEŞİTLERİ

Literatüre göre 150'nin üzerinde IF çelik türüne rastlanmıştır. Ancak IF çelikleri beş ana başlıkta incelenebilir;

- 1- Ultra düşük karbonlu IF Çelikleri (ULC),
- 2- Fırında sertleştirilebilen IF Çelikleri (BH),

- 3- Yüksek mukavemetli IF Çelikleri (HSS),
- 4- Ekstra derin çekilebilen IF Çelikleri (EDDQ),
- 5- Fosforlu IF çelikleri'dir Hasanbaşoğlu vd. 2005).

2.2.1. Ultra Düşük Karbonlu IF Çelikleri (ULC)

Çağımızda birçok endüstride kullanılmak üzere yeni türlü çelikler geliştirilmektedir. Bu yöntemlerden olan dikkatli alaşım katma ile otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere çelikler geliştirilmiştir. Dikkatli alaşım katma prosesi önceleri büyük kesitli ya da döküm malzemelerden hidrojeni kaldırmak üzerine kullanılmaktaydı. Daha sonradan kontrollü üniform kimyasallar ile daha saf malzemeler imal edilebilmiştir. Bu tür çalışmalar sonucunda çeliklerde karbon oranı %0,003'ten daha az oranlara düşürülebilmiştir. Ultra düşük karbonlu IF çelikleri de bu tür çalışmalar sonucunda keşfedilmiştir (Kaya, 2022).

2.2.2. Fırında Sertleştirilebilen IF Çelikleri (BH)

Fırında sertleştirilebilen çelikler olarak bilinen bu çelik grubu, özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak gövde grubunda kullanılmaktadır. Bu çeliklerin ilk mukavemetleri oldukça düşük olması nedeniyle otomotiv parça üreticilerinin preslerinde kolaylıkla şekil verilebilir, preslenebilir. Parçalar üretilirken şekil verilme prosesinde deformasyon ile şekil verilirken sacların sertleşmesi gerçekleşir. Bu saclar üretilirken yaşlanmaya dayanıklı olarak üretilmektedir. Preslerde şekil verme işlemi sırasında malzeme yaşlanmaya başlar, boya pişirme fırınlarında ısıtılması esnasında malzeme tamamen yaşlanmasını bitirir. Böylelikle yüksek şekillendirme kabiliyeti ile yüksek direnç de sağlanmış olur (Kaya, 2022).

2.2.3. Yüksek Mukavemetli IF Çelikleri (HSS)

Otomotiv endüstrisinde kullanılan dış sac çeliklerinde yüksek şekillendirilebilme kabiliyeti ve yüksek mukavemet istenmektedir. Çökme sertleşmeli ve çift fazlı çeliklerin mukavemet anlamında oldukça elverişli olması nedeniyle otomotiv dış sac çeliği olarak kullanılması verimli görünmektedir. Ancak şekillendirilebilirlik

anlamında değerlendirildiğinde anizotropi “r” değerinin yüksek, akma dayanımının ise düşük olması istenir. Çeliklerin preslerde şekil verilmeleri esnasında kopması ya da eğilerek deforme olması istenmez. Dolayısıyla bu tür çeliklerin otomotiv endüstrisinde dış sac olarak üretilebilmesi mümkün değildir.

Otomotiv endüstrisinde bazı dış gövde saclarının üretimi için çeliklere fosfor eklenerek anizotropi (r) değeri 1.6' ya yükseltilebilir ve böylelikle çamurluk sacları gibi derin çekme prosesi ile üretilmesi gereken ürünler haricinde kullanımı mümkün hale gelmektedir. Ancak çekme dayanımının minimum 240 MPa olması istenir. Bunun sebebi bükülmenin önlenmesidir. Anizotropi değeri 2 olarak üretilebilen HSS IF çelikleri geliştirilmiştir. Bu çeliklere Ti ya da Ti ve Nb bazılarında ise P, Mn, Si ve silikon ilavesi yapılarak sertleştirilmeleri mümkündür. Böylelikle bu çeliklerin çekme mukavemeti 400 MPa civarına gelmektedir.

2.2.4. Ekstra Derin Çekilebilen IF Çelikleri (EDDQ)

Sadece yeniden kristalleşmiş malzeme ile mümkün olan soğuk şekil verme prosesinin uygulanabilirliği karbonitrürlerin kalınlaşmasına bağlıdır. Karbonitrürler tarafından çökelti sertleştirme yöntemi mukavemeti artırmak üzere ekstra derin çekilebilen IF çelikleri için kullanılamaz. Bu çeliklerde mukavemeti artırabilmek için katı eriyik sertleşmesi kullanılmaktadır. Bu yöntem değerlendirildiğinde ise uygun iki element mangan ve silisyumdur. Mukavemetin artırılması konusunda fosfor kullanıldığında etkisinin daha büyük olduğu ifade edilebilir. Çeliklerin Niyobyum ile stabilize edilmesi durumunda %0,1 P çekme mukavemetini 100 MPa artırır. Titanyumlu çeliklerde ise bu etki daha azdır.

2.2.5. Fosforlu IF Çelikleri

Bazı çelikler mukavemetlerini öncelikle katı-eriyik sertleşmesi prosesi ile elde etmektedirler. Bunlardan bir tanesi de fosforlu IF çelikleridir. Fosforlu IF çeliklerinde NbC, Ti₄S₂C₂ ve FeTiP'in çökertilmesi ile bu proses gerçekleşir. Bu durumda çökeltmenin hassas ve kontrollü olması ile yüksek miktarlarda mangan ve fosfor eklenmesine gerek kalmadan mukavemet artışının sağlanabilirliği mümkün olacaktır.

Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları da mevcuttur. Katı eriyik sertleşmesi yöntemi için en verimli yeralan element olması sebebiyle fosfor çok kullanışlıdır. Ama soğuk işlem gevrekliğine yol açması bakımından zararlıdır. Bundan dolayı tane sınırlarına fosforun hareketinin engellenmesi amacıyla fosfor ile katı eriyik sertleşmesi artırılır. Bununla birlikte mekanik özellikleri iyileştirilmiş alaşım içeriği az olan IF çelikleri üretilmeye başlanmıştır.

2.3. IF ÇELİĞİNİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

IF çelikleri şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve çok iyi yüzey özellikleri nedeniyle birçok alanda yer edinmiştir. IF çelikleri endüstride %50 otomotiv, %16 elektronik eşya, %7 beyaz eşya, %27 çeşitli üretim alanları olacak şekilde kullanılmaktadır. Beyaz eşya ve otomotiv endüstrisinde gereklilik arz eden, çok karmaşık parçaların bile üretilebilmesine imkân sağlayacak derecede derin çekilebilirlik özellikleri gösterirler. Ürünlerdeki komponentlerin birbirine montajını sağlayan bağlantı parçaları IF saclarından üretilebilmektedir (Ekici, 2016).

2.4. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE IF ÇELİKLERİNİN YERİ

Otomotiv endüstrisinde, araçların hafifletilmesi üzerine yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Otomobillerin doğaya ve çevreye verdiği zararı minimum düzeye indirebilmek, iklim değişikliği ya da canlıların sağlığını olumsuz yönde etkilenmesini engellemek adına, araçların hafifletilerek doğadaki karbon ayak izimizi küçültmemizi amaçlayan hibrit modelleri hedefleyen, popüler ve inovatif çözümler ile her gün yeni çalışmalar başlatılmakta veya genişletilmektedir. Ancak halen daha metal otomotiv sektörünün popüler ve en sık rastlanan materyalidir. Yakıt tasarrufunun da anahtarı olan hafiflik ise araçların üretiminde en fazla kullanılan materyal olan metallerin hafifletilmesiyle mümkün oluyor. Bir otomobil üretiminde binlerce parça kullanılmakta ve yüzlerce yöntem ile üretim yapılmaktadır. Tüm bu işlemlerin ardından bir otomobil meydana gelmektedir. Bu işlemler arasında en önemli olarak değerlendirilebilecek ve neredeyse otomobilin kalitesini %40 oranında etkileyen gövde birleştirme işlemleridir (Hayat vd. 2007). Araçların gövdeleri kaynak yöntemi ile üretilir ve çeşitli kaynak yöntemleri kullanılır. Hafifletme yönünde çeliklere bazı

katkılar ilave edilerek metallerin kullanımı aktif bir şekilde sürdürülmektedir. Titanyum, magnezyum ilaveleri ile çelikler üretilmekte ve giderek yaygınlaşmaktadır. Hibrit araçların da piyasadaki yerindeki artış ile doğru orantılı olarak kullanımı artmaktadır.

Günümüzde bir otomobilin ağırlığının büyük bir kısmını çelik malzemeler meydana getirmektedir. Bir araç için ortalama ham malzeme ağırlık yüzdeleri şu şekilde olarak belirlenmektedir;

Çelik: %74-78

Polimer esaslı malzeme: %14-18

Demir dışı metal ve alaşımları: %3-5

Dökme demir: %3-5

Araçlardaki en yüksek kullanım oranının çelikler olması nedeniyle, çelikler üzerinde yapılan ham malzeme iyileştirmeleriyle araçların hafifletilmesi mümkün olabilmektedir. Geleneksel çeliklerin yerine alaşımlı çelikler ve kompozit malzemelerle her geçen gün ilerleme sağlanmaktadır (Akay, 2005). Çizelge 2.1’de otomotiv endüstrisinde kullanılan çeliklerin tarihsel değişimi verilmiştir.

Çizelge 2. 1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çeliklerin tarihi (Hayat, 2010).

<i>Yıl</i>	<i>1960</i>	<i>1970</i>	<i>1980</i>	<i>1990</i>	<i>2000</i>	
Otomobili etkileyen değişimler	Motorlu taşıtlara hızlı geçiş	Petrol krizi	Yüksek kalite	Yasal zorunluluklar (CAFE standart)	Kaza değeri	
			Anti-korozyon		CO ₂ sınırlaması	
					Geri dönüşüm	
Çekme mukavemeti (MPa)	300	Düşük akma mukavemetli çelikler	IF çeliği	BH çeliği	Süper şekillendirilebilen çelikler	
	400	C-Mn çeliği	Fosforlu yüksek muk. çelikler	Yüksek mukavemetli IF çelikleri		
	600		Çökelmeyle sertleştirilmiş çelik	DP çeliği	TRIP çeliği	
	800					
	>1000		1000 MPa ultra yüksek mukavemetli çelik		1500 MPa ultra yüksek mukavemetli çelik	

Tüm sektörlerde gözde bir eğilim olan hafif araçların üretilmesi ile doğan bir ürün de IF çelikleridir. Son teknoloji çelik çeşitlerinden biri olan IF çelikleri arayer atomsuz çeliklerdir. IF çeliklerinin mekanik özellikleri şu şekildedir; düşük akma dayanımı (Ys), yüksek elastik deformasyon kabiliyeti (EI), yüksek plastik gerilim alanına (r-değeri) ve derin çekilebilirliğe sahiptir. Bu çeliklerin üretimi için gereken teknolojik donanım oldukça pahalıdır. Çeliğin içerisindeki C ve N fazlası yorulma gerilimi altında mekanik özelliklerin bozulmasına neden olabilir, bu nedenle C ve N miktarı en uygun seviyede tutulur (Hasanbaşoğlu, 2005).

BÖLÜM 3

SAPLAMA KAYNAĞI

Saplama kaynağı yöntemi bir sac levha üzerine genellikle cıvataların kaynak yoluyla birleştirilmesi üzerine geliştirilmiştir. Saplama kaynağı otomotiv endüstrisi, ticari araçlar sektörü, demiryolu, gemi inşa sektörü, uçak üretim sektörü, askeri araç üretim sektörü, metal, mobilyacılık, elektrik ve bazı metal işleme endüstrilerinde aktif olarak kullanılmaktadır (Yılmaz vd. 2016).

Üreticiler, ark saplama kaynağı kullanarak maliyet düşürme hedeflerinin çoğunu karşılayabilir. Saplama kaynaklarının kalitesi ve tekrarlanabilirliği konusunda endişeler mevcut olsa da daha hassas kaynak tabancaları ve güç kaynakları ile bu yöntemin güvenilirliği artırılabilir (Samardžić vd. 2009).

Farklı kalınlık ve şekillerde saplama kaynağı yapılabilir. Aynı zamanda saplama kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine oranla ekonomik olarak da kolaylık sağlamaktadır. Saplama kaynaklarının ham malzemeleri değişiklik gösterebilir. Örneğin, çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, pirinç gibi malzemelerden olabilir. Kaynak yapılacak olan sacın kalınlığı minimum 0,5 mm olabilir. Ancak maksimum olarak adlandırılacak bir üst sınır yer almaz (Chambers, 2011).

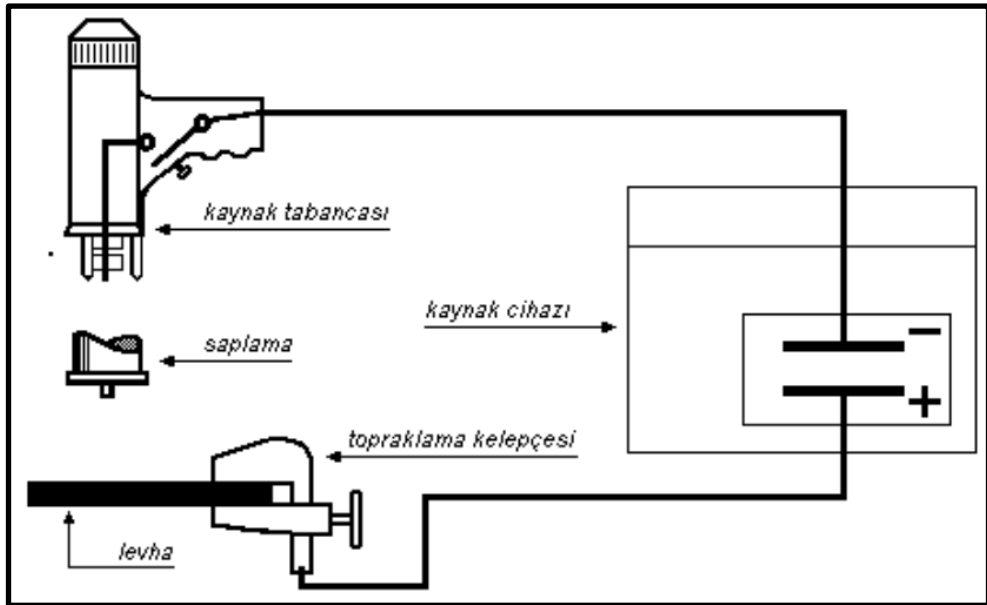
Saplama kaynağı günümüzde aktif bir şekilde kullanılmaktadır ancak tarihini incelediğimizde 1920 yıllarına dayanmaktadır. Yaklaşık 40 yıldır daha yoğun olarak bu yöntem kullanılmaktadır. Saplama kaynağı elektrik ark kaynak yönteminin çalışma mantığında olduğu gibi elektrik arkıyla ya da elektrik direnç kaynağı yönteminin çalışma mantığında uygulanmaktadır. Saplama kaynağında ilave metal ya da ilave bir malzemedan yararlanılmaz. Kaynak banyosu birleştirmesi yapılacak olan saplama ve iş parçası arasındaki ark oluşumu üzerine açığa çıkan ısı ve çarpmanın basıncıyla

oluşur. Bu meydana gelen basınç ve ısı etkisi altında saplama cıvatası ve iş parçasının yüzeyleri birbirini ile birleşir (Ercan, 2011).

Bu yöntemde işlem süresi diğer kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında oldukça kısa sürede tamamlanmaktadır. Saplama cıvataları kaynak edildikten sonra cıvatanın hasarsız sökülerek, kusur gidererek kaynak edilmesi mümkün olmayabilir. Kaynak öncesi kaynak şartlarının kontrolü ve kaynak parametrelerinin kontrolü tamamlanmalıdır. Sonrasında düzeltme işlemleri mümkün olmayabilir (Gündoğdu, 2011).

Saplama kaynağı ile birleştirme işlemleri yapılırken ilave metal kullanılmaksızın kaynak edebilmek mümkündür. Bu da işlemlerin kolay, ek bilgi ve tecrübe gerektirmeden kaynak edebilme olanağı sunar. Seri üretime elverişli ve verimli bir üretim yöntemi olması nedeniyle birden çok endüstride kullanılır (Yılmaz vd. 2017).

Bu kaynak yönteminde levha üzerine kaynatılacak olan saplama kaynak torcuna takılır. Torc üzerinden akın geçer ve bu akım yoluyla kaynak banyosunu oluşturan ergiyik meydana gelir (Abbas vd. 2018). Şekil 3.1’de saplama kaynağı mekanizması şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Saplama kaynağı mekanizması şematik gösterimi (Atmaca vd. 2014).

Saplama kaynağı çelik-çelik bağlantıların yanısıra intermetalik malzemelerin birleştirilmesinde de kullanılması üzerine çalışmalar yapılmıştır. İntermetalik malzemelerde ihtiyaç duyulan düşük ısı girdisi ihtiyacı bu yöntem ile karşılanmakta ve Fe-Al intermetalik malzemelerin birleştirilmesine de imkan sağlamaktadır. Çalışmalarda bir kondansatörde depolanmış enerjinin çok kısa süre içerisinde boşaltılması sırasında akım değerinin teorik olarak sonsuz değere sahip olması esasına dayanan saplama kaynak yöntemi kullanılmaktadır (Güleç ve Çakmakkaya, 2013). Şekil 3.2’de saplama kaynağı mekanizması şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2. Saplama kaynağı yapılış anı görüntüsü.

3.1. SAPLAMA KAYNAĞI ÇEŞİTLERİ

3.1.1. Kondansatör Boşaltmalı Saplama Kaynağı

Bu yöntemde bir kondansatörde depolanan enerji çok kısa bir sürede boşaltılması ile gerçekleşir. Burada kullanılan saplamaların ucu özel olarak biçimlendirilmiştir. Saplamamanın ucunda silindirik bir çıkıntı bulunur. Bu çıkıntının kesiti oldukça küçüktür ve saplamadan geçecek olan akımı karşılayamayacaktır. Bu silindirik kesitin ucu kaynak yapılacak olan levha ile temas ettirildiğinde, tetiğe basılması ile kondansatördeki enerjii boşaltacak olan akım geçer. Geçen akım silindirik kesitin buharlaşarak iyonlaşması ile yok olur. Bu iyonize ortam ark başlatarak iki yüzey

arasında bir kaynak banyosuna imkân sağlamış olur. Çok kısa bir süre içerisinde, ortalama olarak birkaç milisaniyede ark başlamış olur ve kaynak tamamlanır. Çok kısa sürede kaynak tamamlandığından dolayı ince sacların dahi arka taraflarında herhangi bir kararma ya da deformasyon meydana gelmez.

3.1.2. Çekmeli Ark Cihazları ile Saplama Kaynağı

Bu kaynak yönteminde kaynak edilecek iki parçanın yüzeyleri birbirine temas halindedir. İlk olarak ortalama 10 amper düzeyinde bir akım saplama üzerinden iş parçasına uygulanır. Sonrasında saplama civatası yukarı çekilir. Bu sırada akım devam etmektedir. O anda güç uygulanır ve iki yüzeyin erimesi sağlanır. Ardından saplama metal havuzuna daldırılır. Kaynak akımı kondansatör boşaltma yöntemi ile kıyaslandığında daha düşük olduğu söylenebilir. Ancak bu yöntemin kaynak etme süresi daha yüksektir. Süre uzun olduğu için oksitlenme riski de vardır. Bunu engellemek için önlem alınması gerekir.

Bu yöntemde belirtildiği gibi kaynak süresi uzundur, ancak bu süreyi belirli bir aralıkta tutmak için geliştirilmiş cihazlar vardır. Kaynak süresini 0,01-0,10 saniyelik bir aralıkta tutmak için özel olarak geliştirilmiş kontrollü bir güç kaynağı kullanılabilir. Bunun yanı sıra çok düşük atalet momentine sahip bir kaynak tabancası da kullanılmalıdır. 0,01-0,10 saniye aralığında yapılan kaynaklara kısa çevrim kaynağı denir. Bu kaynak yapılırken kaynak süresi oldukça kısa olduğu için seramik halka ya da koruyucu gaz gibi herhangi bir koruyucu donanıma ihtiyaç duyulmaz.

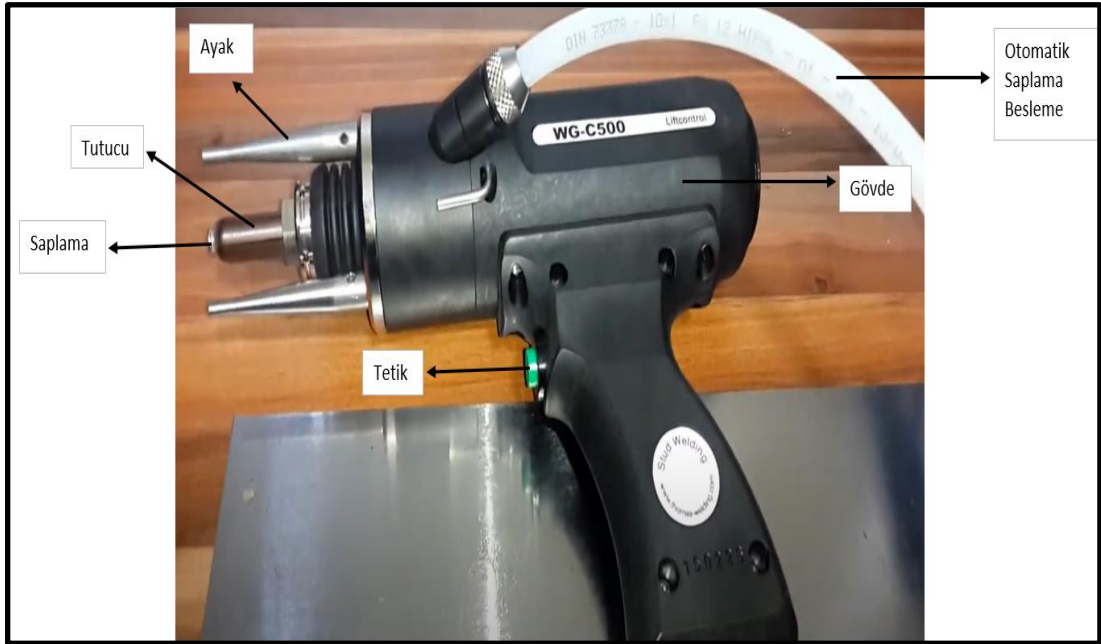
Çekmeli ark saplama kaynağı yöntemi, genellikle işlenecek bir iş parçasının üzerine silindirik parçaların kaynatılmasında kullanılır. Bu nedenle bu yöntemde DC güç kaynağı, saplama kaynak makinası ve saplama kaynak tabancasına ihtiyaç vardır (Gündoğdu, 2011).

3.2. DIN 1919'A GÖRE SAPLAMA KAYNAĞI

3.2.1. Temas Tutuşturmalı Saplama Kaynağı

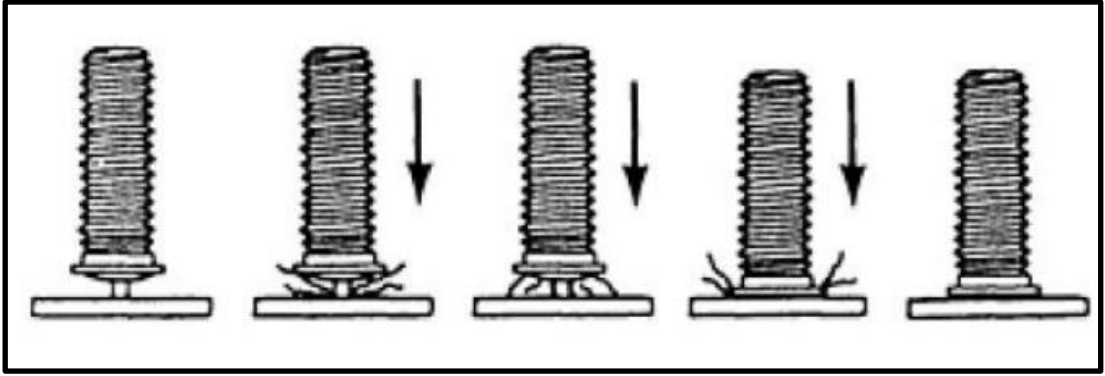
Bu yöntem genellikle, saplama olarak adlandırılan metal parçaların, başka metal parçalar üzerine kaynak edilmesi olarak gruplandırılmıştır. Temas tutuşturmalı kaynak yöntemi ile birçok şekilde ve biçimdeki bağlantı elemanının alın yüzeyinden birleştirileceği parçaya kaynak edilebilmesini mümkün kılar. Bu işlem kaynak tabancası ya da kaynak kafaları ile otomatik olarak sağlanabilir (Gündoğdu, 2011).

Saplama kaynağında kullanılan torç, kaynak tabancası olarak da adlandırılır. Kaynak tabancası ark başlatmak için bir tetiğe sahiptir. Bu tetik bir elektronik devre ile kontrol edilir. Saplama kaynağı tabancasında bir de kaldırma mekanizması bulunur. Bu mekanizma ark başlatmada ve saplamayı ana malzemeden uzaklaştırmada yardımcı olur. Bu tabanca bir saplama tutucu, iki adet bacak, ayak parçası, ark kalkanı olarak da anılan seramik ark geçişi engelleyicisinden meydana gelmiştir (Chambers, 2011). Şekil 3.3'te saplama kaynağı tabancası resmi verilmiştir.



Şekil 3.3. Saplama kaynağı tabancası (Chambers, 2011).

Saplama kaynağı aşamaları şu şekildedir; Saplama kaynağı tabancasının ucunda bulunan bölüme bir saplama civatası yerleştirilir. Bu civata elektrod görevi görecektir. Kaynak tabancası, kaynak yapılacak olan iş parçasına dik bir şekilde konumlandırılır. Akabinde tetiğe basılır. Tetiğe basmanın ardından tabancanın üzerinden elektrik akımı geçmeye başlayarak, boşalan akım ile kaynak döngüsü başlamış olur (Başyiğit ve Kurt, 2017). Şekil 3.4'te saplama kaynağı aşamaları verilmiştir.



Şekil 3.4. Saplama kaynağı aşamaları (Başyiğit ve Kurt, 2017).

3.3. SAPLAMA KAYNAĞINDA KAYNAK BANYOSUNU KORUMA YÖNTEMLERİ

Saplama çapının büyüklüğüne göre saplama kaynağı banyosunun koruma biçimi değişebilir. Örneğin, 10-25 mm saplamalarda arkın yoğunlaşması için seramik bir halka kullanılır. Daha küçük olan, örneğin 3-8 mm çapındaki saplamalarda kısa sürede kaynaklar için halka kullanılmaz. Daha kaliteli bir kaynak sağlanması ve gözeneklerin oluşmasını engellemek için koruyucu gazlar kullanılabilir.

Saplama kaynağında kaynak banyosu iki şekilde korunabilir; bunlardan ilki Seramik halka, ikincisi ise koruyucu gaz ile korumadır (Gündoğdu, 2011).

3.3.1. Seramik Halkalı Saplama Kaynağı

Saplama kaynağı yönteminin koruma biçimlerinden biri olan seramik halka, kaynak bölgesinin etrafını sararak, kaynak bölgesinin çevresine bir yanma odası görevi görür. Bu ark ve sıçramaların kaynak operatörüne zarar vermesini engeller. Bu seramik halka

kaynak arkının bir bölgede yoğunlaşmasını sağlar. Kaynak bölgesinin ısısının korunmasına yardımcı olur. Kaynak bölgesinin soğumasını bir miktar izole etmektedir. Saplamanın kaynak banyosuna daldırılmasının sonrasında yanlara itilmiş olan ergiyik saplama malzemenin çevresinde, seramik halkanın şekline göre bir yığılma oluşturur. Böylece zor pozisyonlarda bile kaynak yapılması mümkün olacaktır. Çoğunlukla seramik halka bir kere kullanılmakta ve sonrasında kaynak bölgesinden uzaklaştırılmaktadır (Anık ve Vural, 1993).

3.3.2. Koruyucu Gaz Altında Saplama Kaynağı

Saplama kaynağında ortamın olumsuz etkilerinden korumak için kullanılan bir diğer yöntem ise koruyucu gaz yöntemidir. Bu yöntemde kaynak banyosuna dışarıdan ilave olarak bir gaz verilmesi söz konusudur. Bu koruma yöntemi kullanıldığında gözenek oluşumu yüksek oranda düşecektir. Çelik malzemelerin kaynağında koruyucu gaz olarak %82 Ar + %18 CO₂ gaz karışımı (DIN 32536-H 21) kullanılmaktadır. Alüminyum malzemelerin kaynağında ise saf argon, Ar 99,99 (DIN 32536-1) gazı kullanılmaktadır. Koruyucu gazlar kullanıldığında kaynak elemanlarının davranışları değişmektedir. Örneğin oluşacak arkın, saplamanın, malzemenin erime davranışı, yüzey gerilimleri değişecektir. Bu da oluşacak olan yığılma ve kaynak dikişi biçimini etkileyecektir. Öncelikli olarak kaynağın yatay pozisyonda yapılması tercih edilmektedir. Ancak kaynak yığılmasının daha iyi biçimlerde olmasını ve arkın belli bir bölgede yoğunlaşması isteniyorsa seramik halka kullanılmalıdır. Gaz korumalı kaynak yapabilmek için bazı donanımlara ihtiyaç vardır. Bunlar gaz kumandaları olabilir. Gaz ile koruma yöntemi genellikle seri üretim kaynak işlemlerinde ya da otomatik üretim sağlayan tesislerde kullanılmaktadır. Koruyucu gaz bu tür üretim tesislerinde maliyetin düşürülmesi ve üretimin daha kolay hale gelmesini mümkün kılar.

3.4. KORUMASIZ SAPLAMA KAYNAĞI

Saplama kaynağında korumasız kaynak da mümkündür ancak yalnızca çok kısa kaynak sürelerinde verimli olarak kullanılabilir. Örneğin çapı 10 mm'den küçük saplama çaplarında kaynak süreleri oldukça kısadır. Kaynak süresi 100 ms civarında

olan kaynaklarda korumasız imalat yapılabilir. Buna karşın kaynak bölgesinin oksitlenmesi, gözeneklerin oluşması ve düzgün olmayan yığılmalar meydana gelebilir. Ancak 6 mm civarındaki saplamalarda ve ince saclardaki başarısı oldukça yüksektir. 10 ms kaynak sürelerinde oldukça kullanışlıdır (Anık ve Vural, 1993).

3.5. SAPLAMA KAYNAĞININ AVANTAJLARI

Saplama kaynağı yönteminin avantajlarının başında hızlı ve ekonomik olması gelir. Bunun nedeni ise saplama kaynağı esnasında şarj olan enerji ani bir şekilde deşarj etmeyi sağlayan kondansatörlerin, hızlı bir şekilde yeniden dolabilmesidir. Böylelikle ikinci kaynağa hızlıca olanak sağlar. Bu şekilde saplama kaynak yöntemi ile seri işlemlerin yapılabilmesi mümkün olacaktır.

Saplama kaynağı yapılırken deşarj olan enerji çok küçük bir bölgeye etki ettiğinden enerji yayılmaz ve hızlı bir şekilde kaynak tamamlanır. Bu da kaynak bölgesinin aşırı ısınmadan etkilenmeden kaynak işleminin bitmesine olanak sağlar. Diğer kaynak yöntemlerinde aşırı ısınmadan kaynaklı olarak malzemenin özelliklerinin bozulmasını bu yöntemde elimine edilebilir. Bunların yanı sıra hızlı olması ile güçten de tasarruf etmiş olunur. Küçük bir alanı etkilediği için kaynak bölgesinin çevresi de temiz olacaktır. Böylelikle ek temizleme süreçlerine gerek duyulmayacaktır.

Uygun parametrelerle uygulandığında, kırılma olmayan ve oldukça esnek kaynak edilebilme olanağı da sağlar. Kompozit yapılarda kullanılan saplama kaynaklarında test edilmiş ve taşıma kapasitesinin belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çeşitli çaplarda kaynak edebilmeye kolayca olanak sağlar. Kaynak esnasında kullanılan saplama kaynak tabancasının ucunda bulunan pim tutucu olarak adlandırılan parçanın değiştirilmesi ile M1 ile M22 arasında esnek bir çalışma imkanı sunar. Aynı zamanda diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kaynak edilecek malzemelerin birbirine yakın kalınlıklarda olması gereksiz, büyük çaplı bir saplama dahi, çok ince bir sac üzerine başarılı bir şekilde kaynak edilebilir (Gündoğdu, 2011).

Kaynak süresi oldukça kısa olduğu için, kaynak yapılan sacın arka yüzeyine herhangi bir deformasyon ya da bir iz oluşmasına zaman vermez. Böylelikle arka yüzeyi de oldukça temiz bir kaynak yapılabilir.

Bu yöntemin tercih edilmesinde aktif şekilde rol oynayan bir diğer faktör ise, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden farklı iki malzemenin birleştirilmesindeki verimliliğidir. Birleştirilmesi amaçlanan malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden farklı olması kaynak sırasında zorluklar yaratır. Isı girdisi yüksek olan yöntemlerde, soğuma hızına bağlı olarak malzemenin kimyasal içeriğinde değişkenlik meydana gelecektir. Dolayısıyla birleştirilen malzemelerde oluşan farklı kalıntı gerilimler, kaynak esnasında zorluklara yol açacaktır. Kimyasal bileşimi farklı olan malzemelerin kaynatılmasında ısıl genişleme de büyük oranda rol oynamaktadır. Farklı genişleme oranları ya da çelik faz dönüşümleri soğuma ile çatlaklara, mekanik hasarlara sebep olmaktadır. Ancak hızlı kaynak yöntemlerinden biri olarak değerlendirilen saplama kaynağı yöntemi ile bu hatalar meydana gelmez. Kısa kaynak etme süresi bu oluşan zorlukların ve ısı tesiri altında kalan bölgedeki bozulmaların önlenmesini mümkün kılar (Abbas vd. 2018).

Saplama kaynağı yönteminin uygulaması oldukça basit ve anlaşılır olduğundan, karmaşık bir yöntemle sahip olmadığından, hızlı bir şekilde öğrenilebilir. Yeni personellerin eğitilmesi de bu ölçüde kolay olmaktadır (Gündoğdu, 2011).

3.6. SAPLAMA KAYNAĞI YAPILMIŞ MALZEMELERE UYGULANAN TESTLER

Günümüzde kalite iyileştirme gereksinimi ve proses parametrelerinin optimizasyonu hayati bir konu haline geldi. Her geçen gün aha fazla dikkate alınıyor ve kaliteyi artırmak için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Maliyeti artırmadan yüksek kaliteli bağlantılar elde etmek için temel adımlar izlenmektedir.

Saplama kaynağı yönteminde kalite isterlerini ölçmek ve izlemek için saplama civatası çapı, kaynak akımı, kaynak süresi, kaldırma ve kaynak iş parçasının malzeme

özellikleridir. Maksimum mekanik özellikleri ve yüksek kaliteli birleştirmeyi elde etmek için bu parametreler optimum şekilde seçilmelidir (Oduncuoğlu vd. 2017).

Bu yöntem ile birleştirilen malzemelere, yapılan bağlantının kalitesini belirleyebilmek amacıyla çeşitli testler uygulanmaktadır. Bu testler aşağıdaki şekilde örneklendirilebilir.

- 1- Çekme Testi
- 2- Eğme Testi
- 3- Tork Testi
- 4- Sertlik Testi
- 5- Burulma Testi

Uygulanan testlerin başarılı olması için kaynak metali veya ITAB'ın kaynak hatası içermemesi gerekmektedir (Gündoğdu, 2011).

BÖLÜM 4

ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

4.1. SAPLAMA KAYNAĞI ÇALIŞMALARI

Gündoğdu (2011), 5 mm kalınlığındaki Al levhalar üzerine, 100, 130, 150, 180 ve 200 voltaj değerlerinde 5 mm çapındaki saplamaların kaynağı kondansatör boşaltmalı saplama kaynak makinesi ile kaynak edilebilirliğini araştırmıştır. Kaynaklı numunelerin mikroyapı görüntüleri alınmış ve ardından sertlikleri ölçülerek, eğme testine tabi tutulmuştur. Sertlik sonuçlarına göre artan malzeme kalınlığı ile kaynak bölgesinin sertliğinin de arttığını bildirmiştir.

İmdat vd. (2016), Grade A gemi sacı üzerine, 18 mm çapındaki saplamalar farklı akım değerleri ve farklı kaynak sürelerinde kaynak yapılmışlar ve kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla burulma ve sertlik testleri uygulanmışlardır. Ayrıca kaynak bölgesinde meydana gelen hatalar makro olarak karakterize etmek için çalışmalar yapmışlardır. Burulma testi sonucunda en düşük olarak seçilen kaynak parametrelerinde kopma meydana gelirken diğer birleştirmelerden olumlu sonuçlar alınmışlardır.

Yılmaz vd. (2017), ark saplama kaynağı kullanılarak 6013-T6 alüminyum alaşım levha üzerine 6 mm çapında aynı alaşımdan yapılmış saplamalar kaynak yapmışlar ve kaynak sonrası birleştirmelere çekme, sertlik testleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmışlardır. Bu amaçla kaynak akımı, kaldırma mesafesi, çıkıntı mesafesi, kaynak süresi ve saplama ucu açısı farklı kaynak parametrelerinin kaynak bölgeleri üzerine etkileri araştırılmış ve en uygun parametreleri belirlenmişlerdir.

Güleç ve Çakmakkaya (2013), intermetalik malzemeler üzerine çalışmaktadırlar. $Fe_{26}Al$, $Fe_{30}Al$, $Fe_{33}Al$ ve $Fe_{50}Al$ intermetalikleri ark ergitme yöntemi ile

üretmişlerdir. Bu malzemeler kondansatör deşarjlı saplama kaynağı yöntemiyle farklı kaynak gerilimleri kullanılarak Ø 4 mm çapında paslanmaz çelik, alüminyum ve çelik saplamalarla birleştirilmişlerdir. Üretilen Fe-Al intermetaliklerin mikroyapı ve XRD analizleri yapıldıktan sonra kaynaklı bölgelerin de analizleri yapılmışlar ve bununla birlikte kaynaklı birleştirmelerin mekanik testleri yapılarak en yüksek mukavemetin Fe₂₆Al intermetalik malzeme ile paslanmaz çelik saplama kaynağında oluştuğunu gözlemlenmişlerdir.

Başığit ve Kurt (2017), 3 mm kalınlığındaki UNS S32205 dubleks paslanmaz çelik plakalar ile M8 40 mm AISI 304 östenitik paslanmaz çelik saplamaları ark saplama kaynağı ile birleştirmişler ve bu birleştirmeler sonucu bağlantıların mekanik ve kimyasal yapılarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda 140 V gerilim değerini artırdıkça, kaynak bağlantılarının çekme mukavemetinin de arttığını gözlemlenmişlerdir. Ancak 180 V üzeri gerilimlerde kaynak dikişi çevresinde sıçramalara neden olduğu, düşük voltajlar da ise zayıf çekme mukavemetine sahip olduğu ve çekme testleri, kaynak bölgesinde tüm numunelerin birbirinden ayrıldığını ancak kaynaklı parçaların çekme testi sırasında dubleks plakalarda deformasyon meydana geldiğini ve bu nedenle uzama değerlerinin pratikte belirgin olmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca ark voltajı arttıkça, ısıdan etkilenen bölgenin genişliği arttığı, kaynak metali tepe sıcaklık bölgesinde delta-ferrit ve östenit tanelerinin kabalaşması gözlemlendiği, ancak tüm numunelerde özellikle dubleks tarafa daha yakın görünür hale geldiği ve yaklaşık 1 mm uzunluğa kadar büyük boşluklar ve kaynaksız bölgelerde makroyapı oluşumları gözlemlendiği rapor edilmiştir. Ek olarak görsel testler ve mikroyapısal araştırmaların yanı sıra; bu iki farklı paslanmaz çelik malzeme grubunun kaliteli kaynaklı bağlantılarının elde edilmesinde doğru kaynak parametrelerinin korunması için numunelere radyografik muayene ile bükülme ve mikrosertlik testleri uygulandığı bildirilmiştir.

Atmaca vd. (2014), Inconel 718 süperalaşım malzemeye 5 mm çapında çelik saplamalar kondansatör boşaltmalı saplama kaynak yöntemi ile 130, 150 ve 180 V kaynaklı birleştirme uygulaması yapmışlar ve kaynaklı numunelere mikroyapı, sertlik incelemesi uygulayarak kaynak parametrelerinin birleşme özelliklerine etkisini

incelemişlerdir. Düşük ve yüksek voltajlarda kaynak arayüzeyinde hataların olduğu, en iyi birleşme arayüzeyinin 180 V gerilimde elde edildiğini bildirmişlerdir.

Yılmaz vd. (2016), Saplama kaynak yönteminde istenilen özellikleri sağlayan iyi bir kaynak bağlantısı elde etmek için işlem parametrelerinin doğru ayarlanmasını amaçlayan bir çalışma yapmışlar ve bunun için istenilen kalite özelliklerine sahip çıktı parametreleri ile girdi değişkenleri arasındaki karmaşık ilişkinin matematiksel olarak modellenmesine ihtiyaç duyulduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarında, saplama kaynak bağlantılarının çekme dayanımı tahmin eden bir model Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile geliştirmişlerdir. Girdi parametreleri olarak saplama çapı, akım, zaman, kaldırma yüksekliği ve dalma miktarı alınmışlar ve geliştirilen bu model endüstride saplama kaynağı kullanıcılarına işlem parametreleri seçimi için bir rehber olacağını rapor etmişlerdir.

Abbas vd. (2018), AISI 309 paslanmaz çelik saplama ile AISI 1020 karbon çelik sacları ark saplama kaynak tekniği ile birleştirmişler ve kaynak parametrelerinin, kaynakların mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için bir dizi kaynak akımı ve süresi uygulamışlardır. Mikroyapı gözlemi, kaynak akımının ve süresinin artmasının karbon çeliğinin ısıdan etkilenen bölgesinde martenzitik dönüşümü teşvik ettiğini ve paslanmaz çeliğin ergitme bölgesinde sigma fazı oluşumuna yüksek imkan verdiğini bildirmişlerdir. Mikrosertlik testi, sert ve kırılma sigma fazı nedeniyle 800 A kaynak akımında ve 0.35 s kaynak süresinde füzyon bölgesinde 575 HV ile en yüksek sertlik elde edilmiştir. Ayrıca birleştirmelerin mukavemeti, tork testi kullanılarak değerlendirilmiş, 60 Nm'lik maksimum tork gücü 400 A ve 0.35 s ile kaydedilmiş ve bu da en iyi kaynak bütünlüğü rapor edilmiştir. 800 A kaynak akımında füzyon bölgesinde termal fark nedeniyle bir çatlak tespit edildiği bildirilmiştir.

Ercan (2011) çalışmasında, 3 mm kalınlığındaki bakır kaplamalı çelik saplama, 3 mm ve 5 mm kalınlıklarındaki Cu levhalar üzerine, kondansatör boşaltmalı saplama kaynak makinesi ile 100, 120, 150, 180 ve 200 volt ile kaynak yapmış ve kaynaklı saplama kaynaklarının birleşme mukavemeti ve mikroyapıları incelendikten sonra numuneler sertlik, çekme ve eğme testi gibi mekanik testlere tabi tutmuştur. Deney sonuçları

incelendiğinde artan parça kalınlığı ve kaynak voltajına bağılı olarak küresel gözenekler ve sertlik değerlerinde artış meydana geldiğini bildirmiştir.

Oduncu vd. (2017), AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kaynaklı ark saplama kaynak yönteminin nihai çekme mukavemeti üzerine ark saplama kaynak parametrelerinin etkileri sinir ağı yaklaşımı kullanılarak araştırmışlardır. Bu çalışma için optimum model mimarisinin 5-6-1 oranı olduğu görülmüştür. Bu bağlantıların nihai gerilme mukavemetini tahmin etmek için matematiksel bir formül türetilmiş ve deneysel sonuçlar test sonuçlarıyla karşılaştırılmışlardır. Önerilen modelin, deneysel sonuçlarla iyi bir uyum gösterdiği, bu bağlantıların nihai gerilme mukavemetini tahmin etmek için kullanılabileceği, eğitim ve test setlerinin R ve R2 değerleri sırasıyla 0.95 ve 0.93 ve 0.90 ve 0.87 daha yüksek olduğunu ve test seti için yüzde hata değeri %13'ü geçmediğini bildirmişlerdir.

Samardžić vd. (2009) saplama kaynağı sırasında kaynak parametrelerinin kaynak geometrisi üzerindeki etkisini araştırmışlar ve kaynak bölgesindeki sertleşmeyi, sertlik testleriyle doğrulamışlardır.

4.2. IF 7114 SACI ÇALIŞMALARI

Özdemir vd. (2017) çalışmasında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizler yapmışlar ve otomotiv endüstrisinde kullanılan altı farklı malzemenin şekillendirilebilirliklerini incelemişlerdir. Belirli bir geometride ve başlangıçta 1,5 mm kalınlığında olan malzemeler için sanal ortamda derin çekme işlemi uygulayarak malzemelerin şekillendirme sınır diyagramları elde etmişler ve her bir malzeme için ayrı ayrı elde edilen diyagramlar üzerinden şekillendirilebilirlikler, karşılaştırılmış ve deformasyon zorluklarını değerlendirilmişlerdir. Analiz sonuçları doğrultusunda niyobyum, titanyum ve vanadyum elementlerinin malzemelerin şekillendirilebilirliğini negatif yönde etkilediğini, alüminyum elementinin ise şekillendirmeye olumlu etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

Hasanbaşoğlu (2005) çalışmasında AISI 304 ve 316L tip östenitik paslanmaz ile IF (arayer atomsuz) çeliklerin direnç kaynaklı birleştirilmelerinde, ısı girdisine etkisi olan

başlıca kaynak parametrelerinden akım şiddetinin morfoloji, mikrosertlik ve çekme makaslama dayanımına etkisini araştırmıştır. AISI 304+IF 7114 ve AISI 316L+IF 7114 birleştirmelerinde sabit 17 periyot kaynak zamanında ve sabit 6 bar elektrot kuvvetinde maksimum dayanımı sağlayan akım şiddeti sırasıyla 7 kA ve 9 kA bulunmuştur. Bağlantının en zayıf yerinin sebebi olarak IF 7114 tip çeliğin ısı tesiri altındaki bölgesindeki aşırı tane büyümesi olarak tanımlanmıştır. Çalışmada ilave olarak bu farklı malzeme çiftleri hava, azot gibi farklı kaynak atmosferinde birleştirilip, hava ve su +%10 bor yağı ortamında soğutulmuştur. Böylece 304 ve 316L Tip paslanmazlar ile 7114 kalite arayer atomsuz çelik birleştirmelerinin metalürjik karakteristikleri ve mekanik özelliklerine kaynak atmosferinin ve soğuma ortamının etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Kaynak işlemi sırasında kullanılan azot atmosferinin birleştirilmesinin çekme makaslama dayanımını arttırdığı kaynak sonrası su + %10 bor yağı soğuma ortamının ise dayanımı düşürdüğü bulunmuştur.

Hayat vd. (2007) 7114 kalite IF çeliğinin nokta direnç kaynak birleştirmelerinde kaynak süresinin ve çekirdek çapının dayanıma etkisi incelemişler. Nokta direnç kaynak işlemleri sabit basma kuvveti (6 bar) ve kaynak akımı (7 kA) ile değişen kaynak sürelerinde (5-10-15-20-25 ve 30 çevrim) gerçekleştirilmişlerdir. Birleştirilmiş numunelerin mikroyapı incelemeleri, mikrosertlik ölçümleri ve çekme makaslama deneyleri yapılmışlardır. Kaynak süresine bağlı olarak kaynak çekirdek çapı arttığı, en düşük çekme makaslama dayanım ve mikrosertlik değerlerini 5 çevrim numuneleri gösterirken en yüksek değerleri ise 25 çevrim numuneleri gösterdiği ve sonuçlar çekme makaslama testi sırasında yırtılmanın özellikle kaynak sürelerinin artışıyla ısı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Yıldız (2006) çalışmasında otomotiv endüstrisinde çok kullanılan Erdemir üretimi kaplamasız soğuk 7114 (DC04), galvaniz kaplamalı 1312 (DX52D+Z), 1313 (DX53D+Z), 1314 (DX54D+Z) ve galvaniz kaplamalı 410 (Toyota SCGA270C) kalite düşük karbonlu sacların mekanik özellikleri incelenmiş ve biçimlendirme sınır diyagramları çizilmiştir. İncelenen saclar arasında galvaniz kaplamalı 1314 ve kaplamasız soğuk 7114 kaliteli malzemeler arayer atomsuz (IF:Interstitial-free) çelik olup, mekanik deneyler sonucunda en yüksek deformasyon sertleşmesi üssü (n) ve ortalama anizotropi katsayısına (r) sahip oldukları tespit edilmiştir. Çıkarılan

biçimlendirme sınır diyagramlarına göre, en üstün şekillenebilme özelliği, en düşük karbon bileşimine sahip olan 7114 ve 1314 kalite çeliklerde bulunduğunu bildirmiştir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada, şekillendirilebilirliği yüksek olan arayer atomsuz çelikler olarak da adlandırılan IF 7114 sacları üzerine bakır kaplamalı çelik ve AISI 304 paslanmaz çelik saplama cıvataları ve M5, M6 ve M8 saplama çapları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan IF 7114 sacının kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de ve mekanik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. IF 7114 Saclarının kimyasal bileşimi.

	C	Mn	P	S	Ti	Fe
IF 7114	0,005	0,15	0,006	0,005	0,068	Kalan

Çizelge 5.2. IF 7114 Saclarının mekanik özellikleri.

	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
IF 7114	210 max	270-350	38

Saplama cıvatalarının genel özellikleri Çizelge 5.3’te ve mekanik özellikleri Çizelge 5.4’te verilmiştir. Kullanılan saplama cıvatalarına ait fotoğraflar Şekil 5.1’de, ölçüler Şekil 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Saplama civatalarının kimyasal özellikleri.

Ana Malzeme	Saplama Malzemesi	
	Bakır kaplamalı 4.8 Çelik	Paslanmaz Çelik
Çelikteki max. Karbon Oranı 0.30%	1	1
Çelikteki max. Karbon Oranı 0.60%	0	2
Çelik sac kurşunlu Çelik kalaylı, galvanizli	2	2
Paslanmaz Çelik	1	1
Bakır	2	0

1 = herhangi bir uygulama için iyi uygunluk, örn. kuvvet aktarımı

2 = uygun, sınırlı kuvvet aktarımı

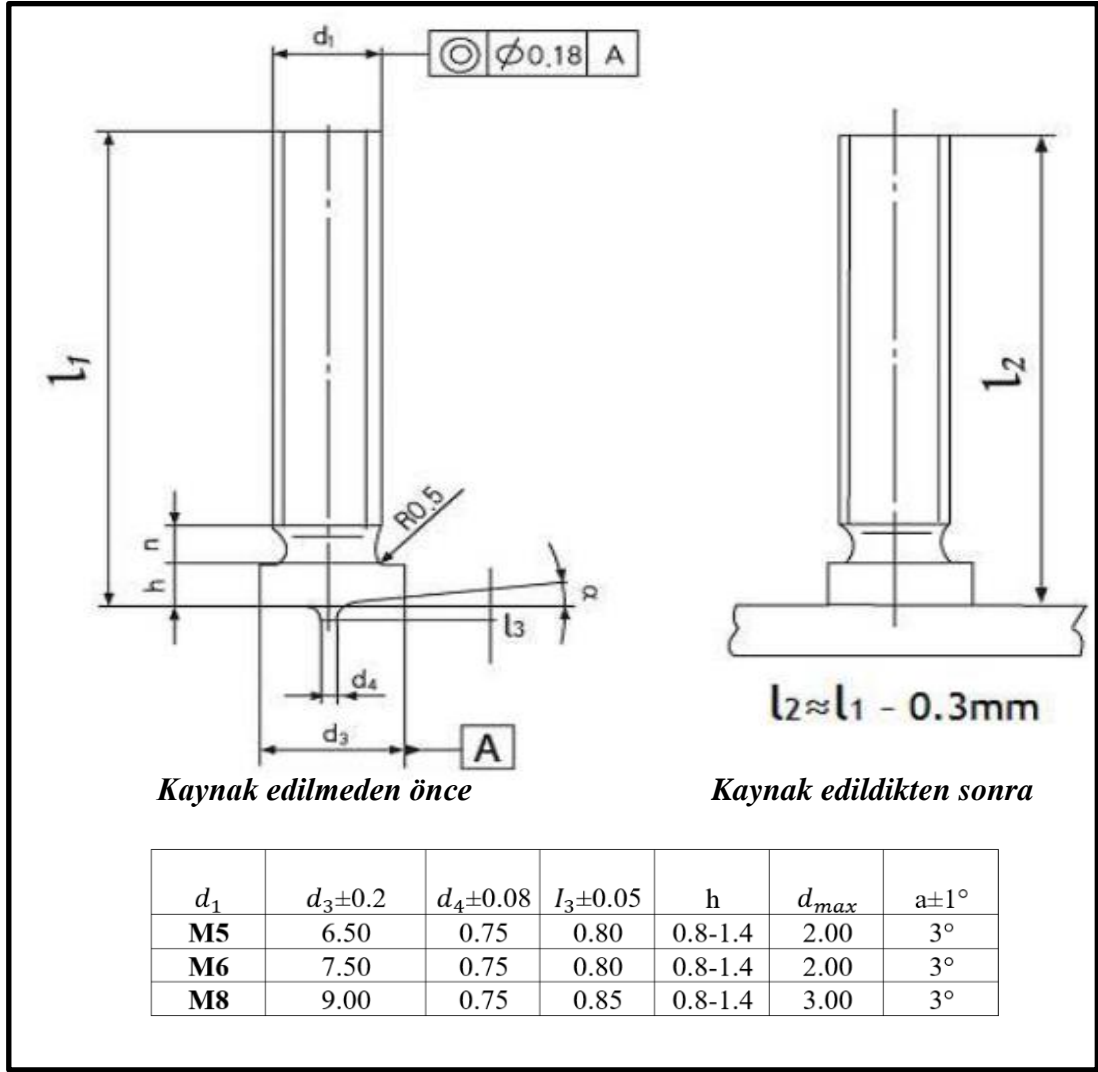
0 = kaynaklanamaz

Çizelge 5.4. Saplama civatalarının mekanik özellikleri.

Malzemeler	Mekanik Özellikler
Bakır Kaplamalı 4.8 Çelik	Çekme Dayanımı $\geq 420\text{N/mm}^2$
	Akma Dayanımı $\geq 340\text{N/mm}^2$
	Uzama $\geq 14\%$
Paslanmaz Çelik	Çekme Dayanımı $\geq 500\text{N/mm}^2$
	Akma Dayanımı $\geq 210\text{N/mm}^2$
	Uzama $\geq 0,6d$

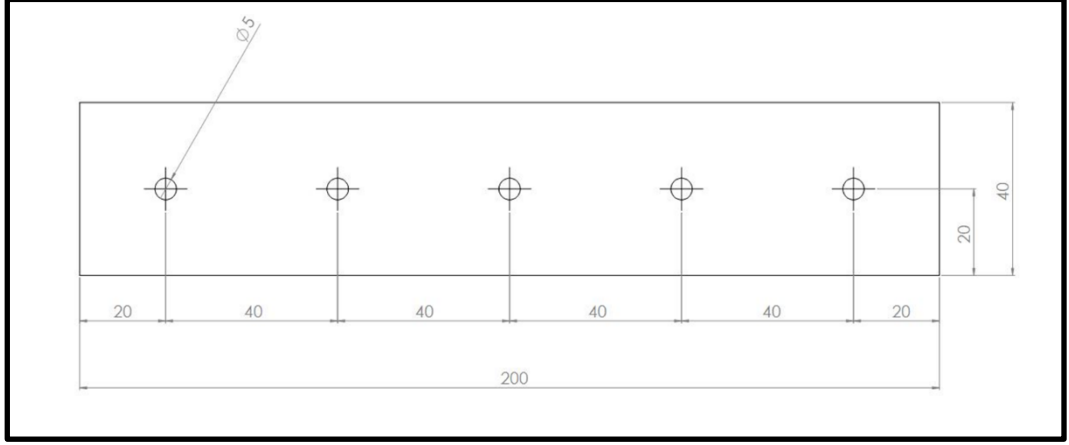


Şekil 5.1. Saplama civatası resimleri.



Şekil 5.2. Saplama civatası ölçüleri.

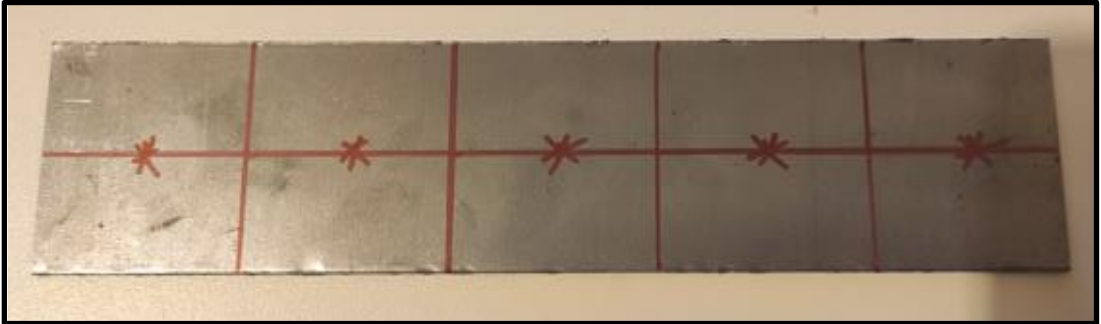
Deneysel çalışmalar için IF 7114 sac malzemeler, Şekil 5.3'te görülen ölçülerde ($200 \times 40 \times 1,2 \text{ mm}^3$ ebatlarında kesilerek), toplam 30 adet parametre için sac hazırlanmıştır. Her bir sac malzemenin üzerine 5 adet saplama civatası kaynak edilecek şekilde numuneler tasarlanmış ve markalanmıştır.



Şekil 5.3. Saplama kaynak numune ölçüleri – M5/M6/M8.

5.2. MALZEMELERİN KAYNAĞA HAZIRLANMASI

Kaynak öncesinde 1,2 mm kalınlığındaki, 200 mm uzunluğunda ve 40 mm genişliğindeki IF 7114 levhaların yüzeyleri %99 saflıkta ve yapısında kükürt içermeyen aseton ile temizlenmiştir. Kaynak işlemi sırasında saplamaların merkezlenmiş bir şekilde kaynağının yapılabilmesi için levhalar, Şekil 5.4'te görüldüğü gibi beş eşit parçaya bölünerek, her saplamanın kaynak edileceği bölgenin merkezi markalanmıştır.



Şekil 5.4. Markalanmış numune görüntüsü.

5.3. MALZEMELERİN KAYNAĞININ YAPILIŞI

Saplama kaynağının yapılacağı parametrelerin belirlenmesi için ön çalışmalar yapılmıştır. Ön denemelerin sonrasında aşağıdaki parametrelerin incelenmesinin mümkün olacağı saptanmıştır.

- Saplama cıvatası malzemesi (Bakır kaplamalı 4.8 çelik ve paslanmaz çelik)
- Saplama cıvatası çapı (M5, M6 ve M8)
- Saplama kaynağı voltajı (130, 140, 150, 165 ve 180 V)

Ön deneylerde 130 V altında ve 180 V üzerindeki değerlerde yapılan kaynakların bir birleşim gerçekleştiremediği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada yapılan kaynaklarda saplama çapı ve kaynak voltajı ayarlanabilir, OTTO WELDERS CD1200 tipi kaynak makinesi kullanılmıştır. Kullanılan kaynak makinesinin özellikleri Çizelge 5.5'te ve fotoğrafı da Şekil 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kullanılan saplama kaynak makinesinin özellikleri.

Makine Adı	OTTO WELDERS CD1200
Kondansatör Kapasitesi (μ F)	160.000
Giriş Voltajı (V)	220
Saplama Çap Aralığı (\emptyset)	1-12
Yüksek ve düşük voltaj koruması	Var
Kapasite (KVA)	1,5

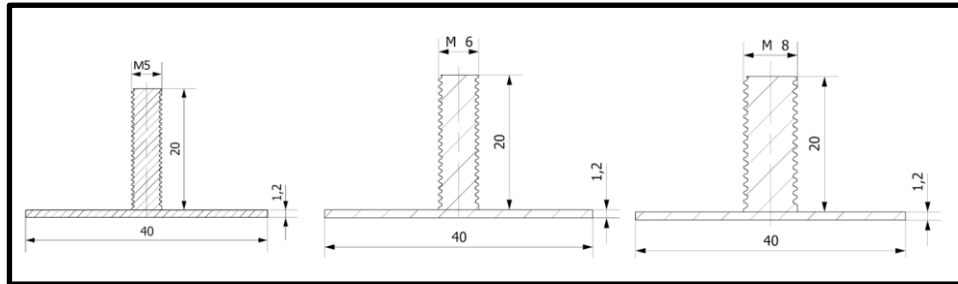


Şekil 5.5. Kullanılan kaynak makinesi görüntüsü.

Kaynak yapılacak levhalar aseton ile temizlenerek ardından planlanan markalamalar yapıldıktan sonra, kaynak yapılacak olan saplama cıvataları kaynak tabancasına yerleştirilerek, kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik olarak iki tür saplama cıvatası ham malzemesi, M5, M6 ve M8 saplama cıvatası çapları ve sırası ile 130 V, 140 V, 150 V, 165 V ve 180 V kaynak gerilimleri ile kaynak edilmiştir. Deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 5.6’da verilmiştir. Numuneler her bir parametreden 5’er adet olacak şekilde kaynak edilmiştir. Toplamda 150 adet saplama kaynak numunesi üretilmiştir. Her bir sacın üzerine M5x20 mm, M6x20 mm ve M8x20 mm olmak üzere saplama cıvataları kaynak edilmiştir.

Çizelge 5.6. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.

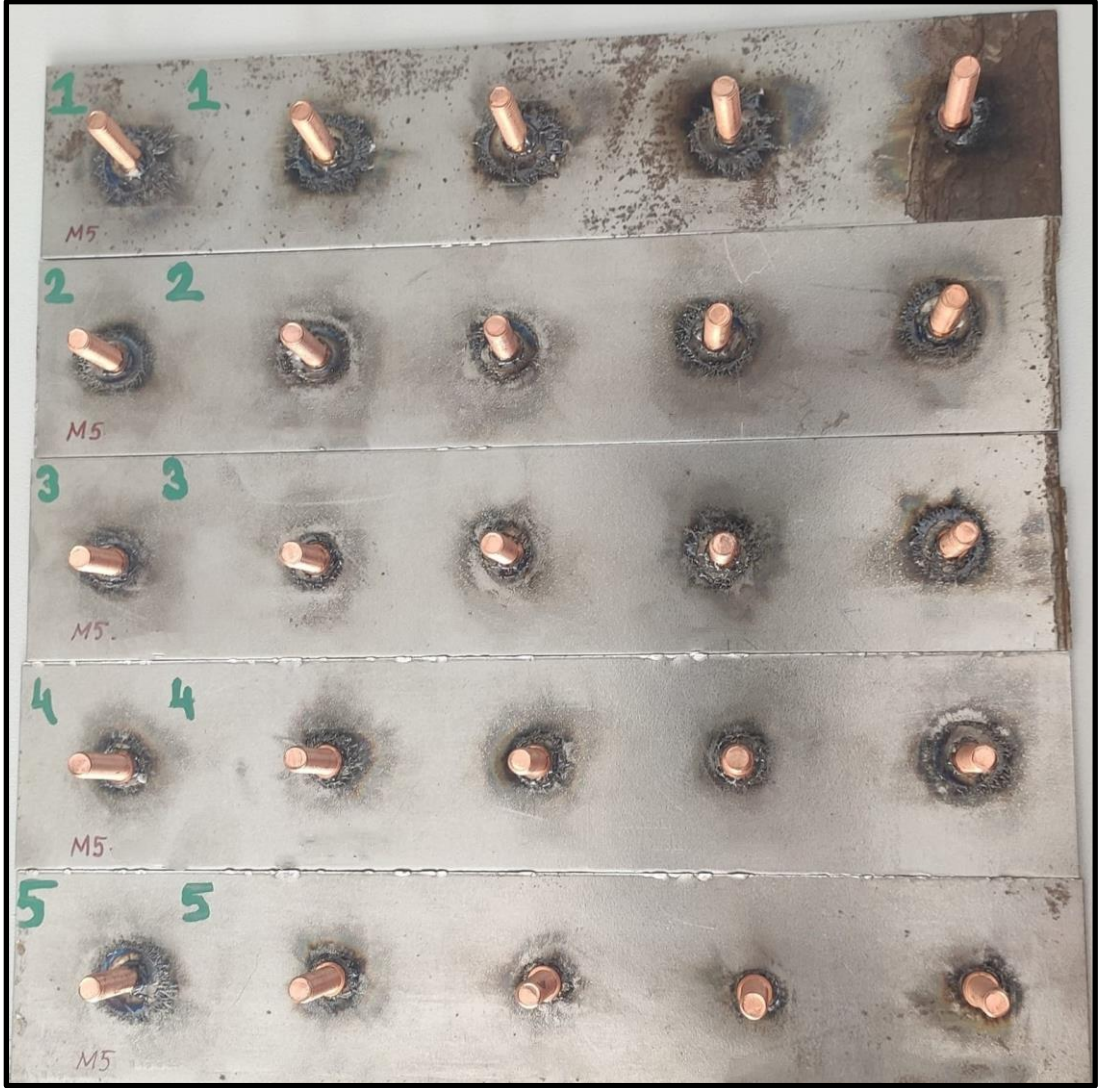
Saplama Malzemesi	Saplama Çapı	Kaynak Gerilimi (V)	Saplama Malzemesi	Saplama Çapı	Kaynak Gerilimi (V)
Bakır Kaplamalı Çelik Saplama	M5	130	Paslanmaz Çelik Saplama	M5	130
		140			140
		150			150
		165			165
		180			180
	M6	130		M6	130
		140			140
		150			150
		165			165
		180			180
	M8	130		M8	130
		140			140
		150			150
		165			165
		180			180



Şekil 5.6. Mekanik testler için hazırlanan numunelerin teknik çizimleri.

5.4. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Kaynak işlemlerinin sonucunda, 30 adet 30x200 ebatlarında sac üzerinde 150 adet çeşitli parametrelerde kaynaklanmış saplama cıvataları elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin görüntüleri, Şekil 5.7-12’de verilmiştir.



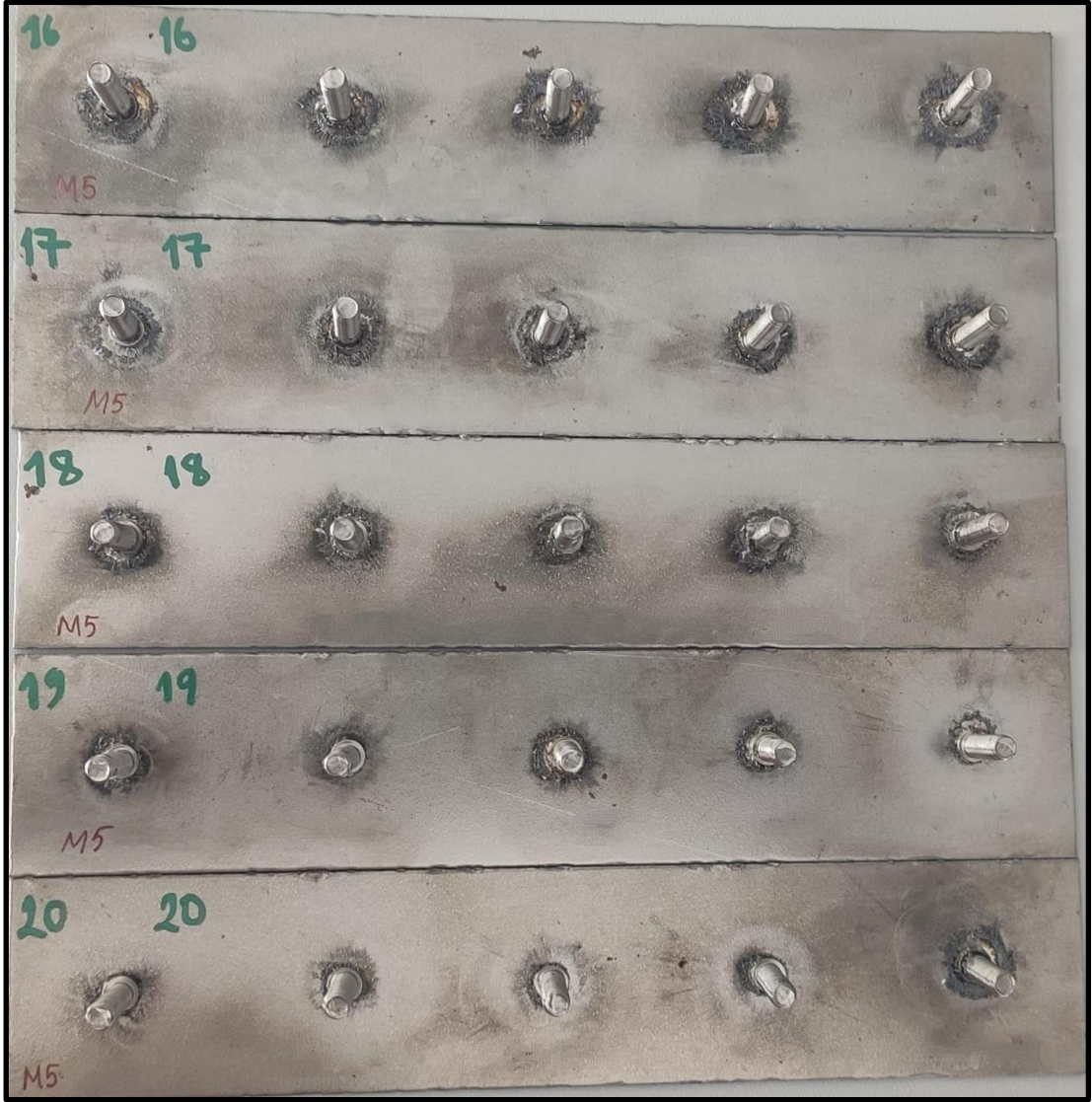
Şekil 5.7. M5 Bakır kaplamalı çelik saplama kaynak numuneleri.



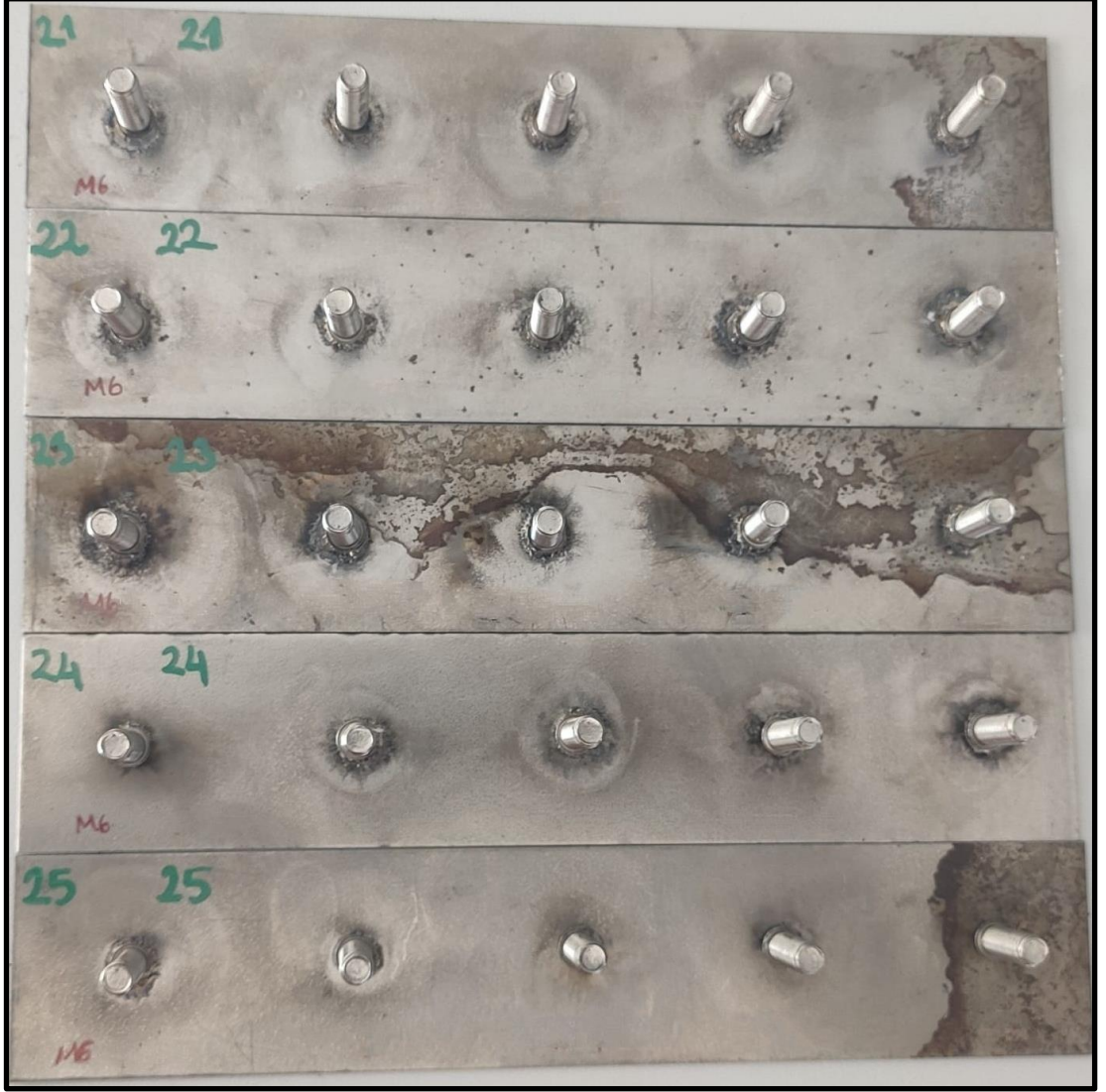
Şekil 5.8. M6 Bakır kaplamalı çelik saplama kaynak numuneleri.



Şekil 5.9. M8 Bakır kaplamalı çelik saplama kaynak numuneleri.



Şekil 5.10. M5 Paslanmaz çelik saplama kaynak numuneleri.



Şekil 5.11. M6 Paslanmaz çelik saplama kaynak numuneleri.



Şekil 5.12. M8 Paslanmaz çelik saplama kaynak numuneleri.

5.5. MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Mekanik özelliklerin tespiti için, elde edilen numunelerden aşağıdaki tablo doğrultusunda deneyler yapılmıştır. Toplamda 150 adet numune değerlendirilmiştir. 30x200 mm ebatındaki bir sacda bulunan 5 adet saplama civatasının her biri kesilmiş ve ayrı parçalar (40x40 mm²) haline getirilmiştir. Aynı sac üzerinden çıkarılan aynı parametrelerdeki saplamalardan birincisi mikroyapı incelemesinde kullanılacak ve ardından sertlik ölçümü için kullanılacaktır. İkinci ve üçüncü saplama civatası çekme testine, dördüncü saplama civatası eğme testine, beşinci saplama civatası tork testine

tabi tutlacaktır. Şekil 5.13’de deneysel çalışmalar için kesilen numune görüntüleri verilmiştir.



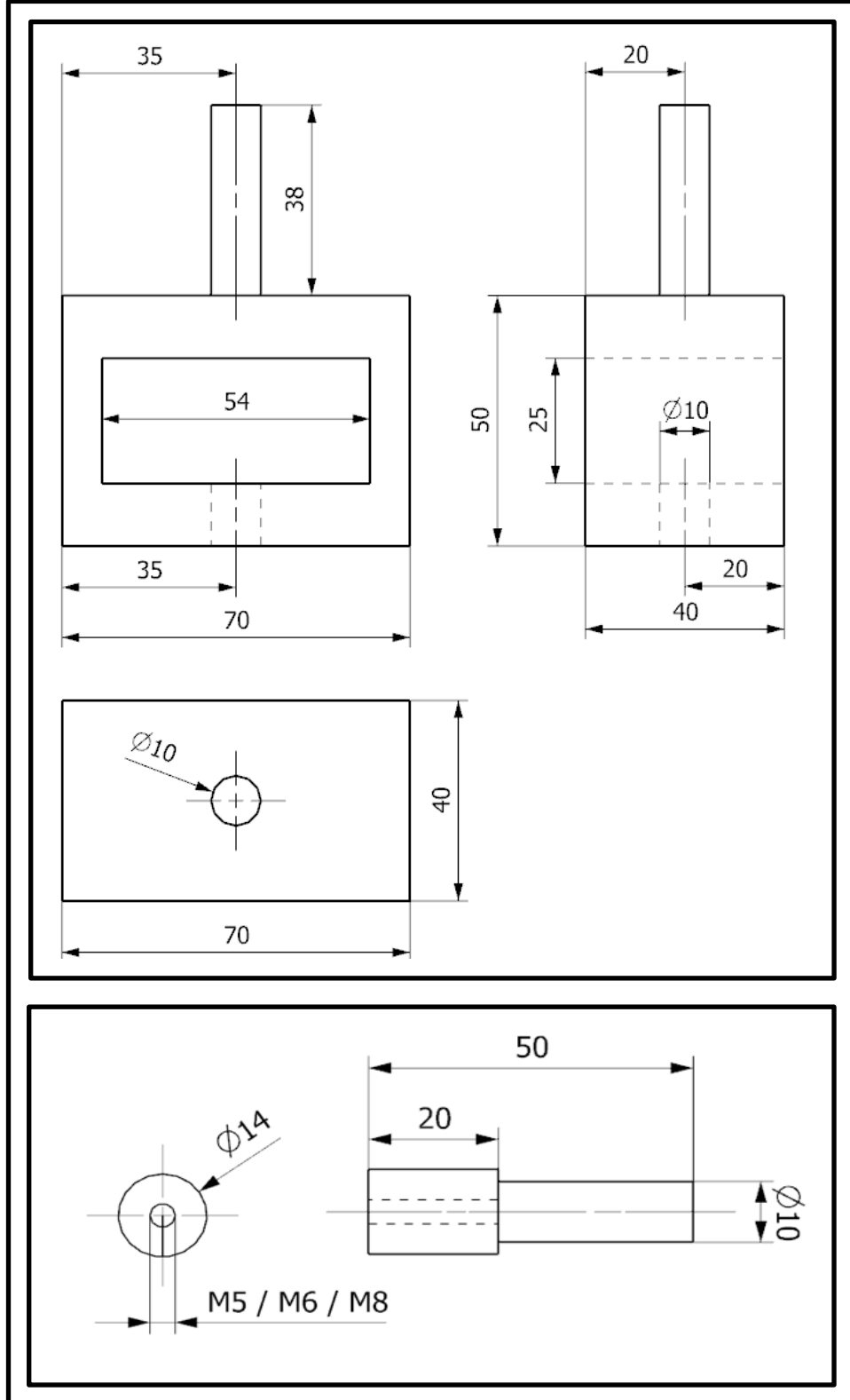
Şekil 5.13. Kesilen numune görüntüleri.

5.5.1. Çekme Testi

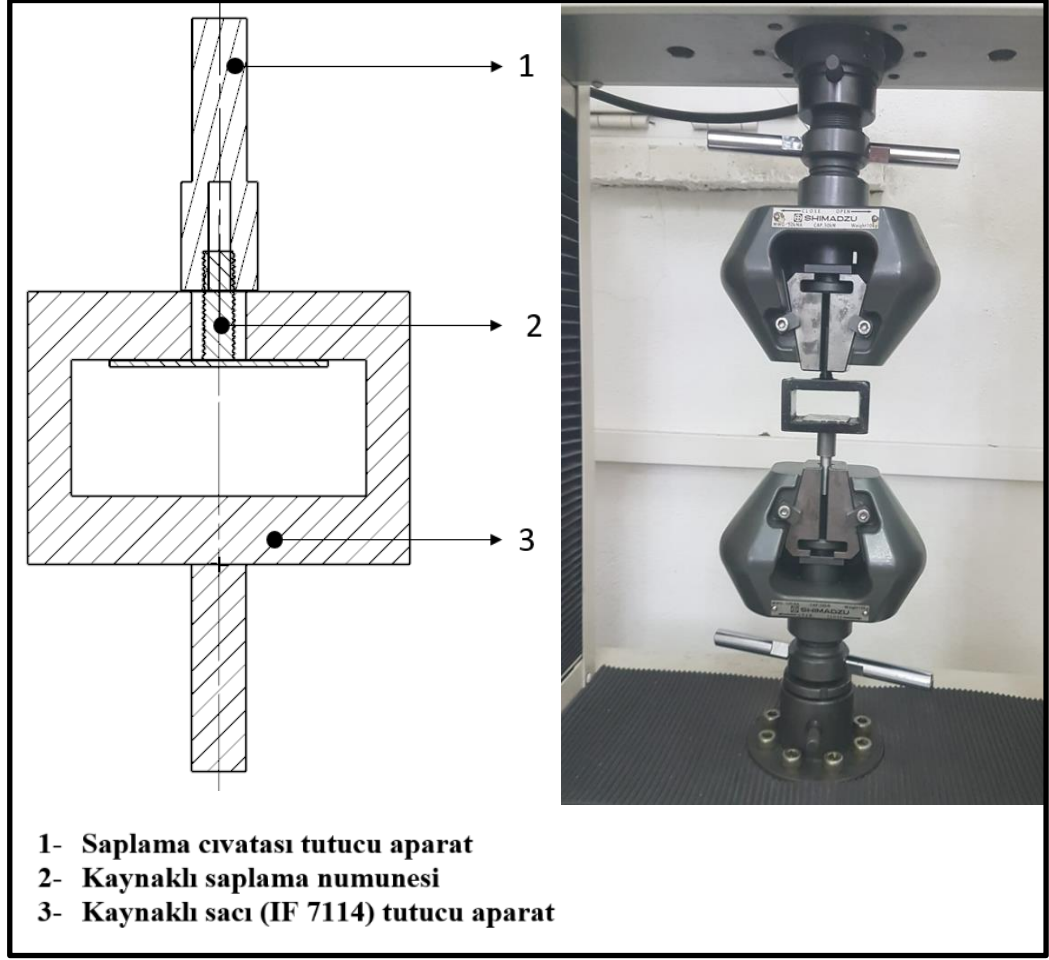
Saplama kaynağı yöntemi ile farklı parametrelerde birleştirilmiş numunelerin çekme dayanımlarının belirlenmesi için numunelere çekme testi (2 mm/dk çekme hızında) uygulanmıştır. Çekme testi yapılırken KBÜ Teknoloji Fakültesi, Malzeme laboratuvarındaki 5 ton kapasiteli Shimadzu marka çekme testi cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.14). Çekme testlerinin dikey ekseninde yapılmasını sağlayan aparatlar tasarlanmış ve üretilmiştir. Çekme testlerinde kullanılan aparatlar Şekil 5.15’te verilmiştir. Testin yapıldığı düzeneğin şeması ve test uygulama esnasında alınan görüntü ise Şekil 5.16’de verilmiştir.



Şekil 5.14. Shimadzu çekme testi cihazı.



Şekil 5.15. Çekme testinde kullanılan aparatlar.



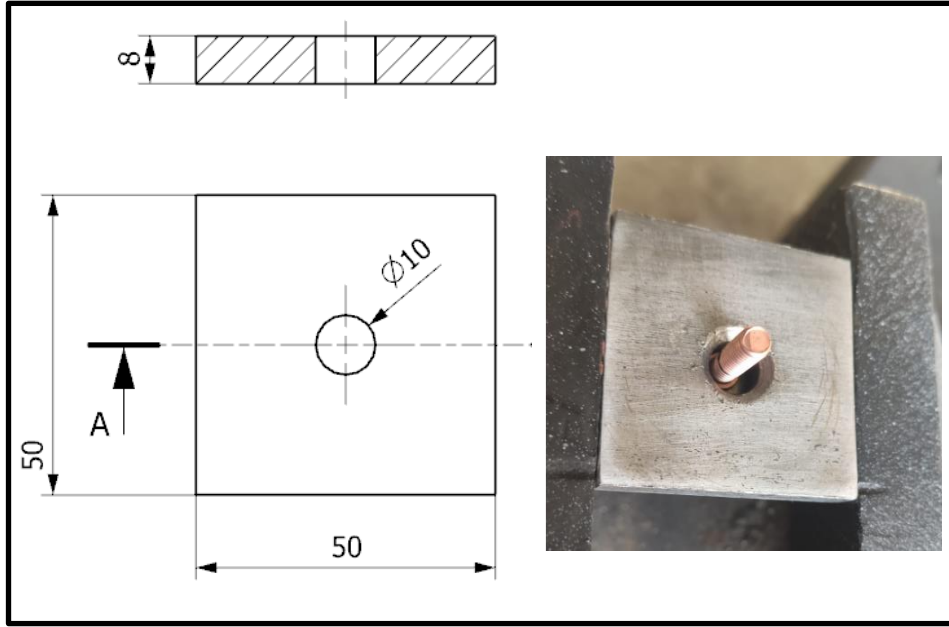
Şekil 5.16. Çekme testi düzeneği şematik resmi ve uygulama esnasındaki görüntüsü.

Çekme testi uygulanırken, öncelikle kaynaklı saplama numunesi kaynaklı sac tutucu aparata yerleştirilir, sonrasında ise saplama cıvatası çapına göre saplama cıvatası tutucu aparat seçilir ve saplama cıvatası tutucu aparat ile kaynaklı sac tutucu aparat arasında boşluk kalmayana kadar saplama cıvatası sıkıştırılır. Ardından ise çekme cihazı çenelerine dikey ekseninde olacak şekilde sıkıştırılarak sabitlenir ve çekme testine uygulanır.

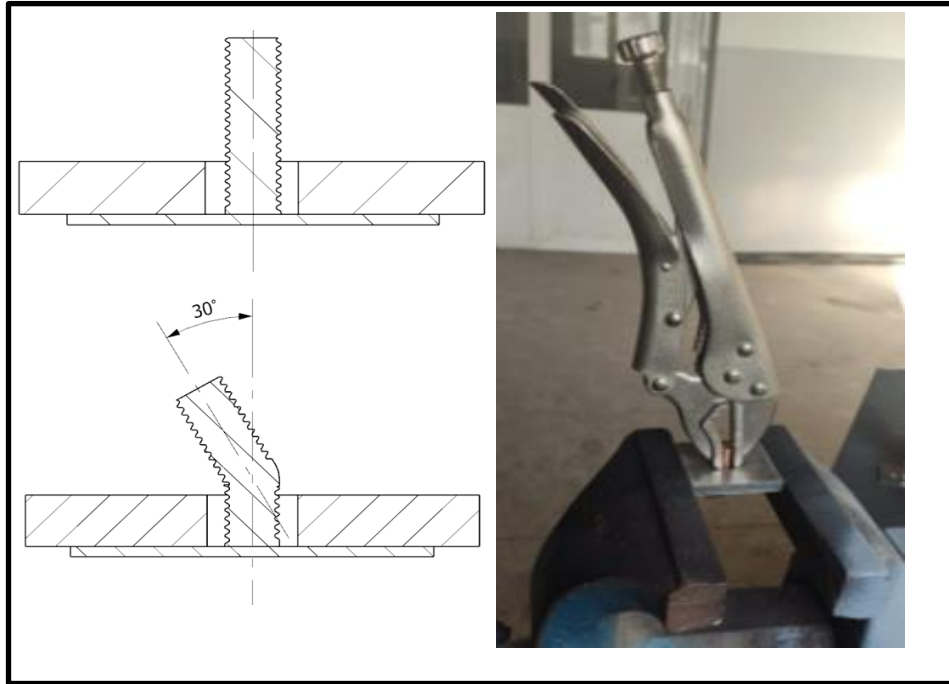
5.5.2. Eğme Testi

Saplama kaynağı yöntemi ile farklı parametrelerde birleştirilmiş numunelerin eğme dayanımlarının belirlenmesi için numunelere 90° eğme testi uygulanmıştır. Eğme testleri için saplamaların çaplarına göre Şekil 5.17’de gösterilen aparatlar üretilmiştir. Aynı şekilde üretilen aparatların görüntüsü de verilmiştir. Şekil 5.18’de ise eğme testi

şematik gösterimi ve uygulama görüntüsü görülmektedir. Numuneler ayarlı pense yardımı ile saplama civatasının $\frac{3}{4}$ 'ünü kavrayacak şekilde en az 30° eğme sonrasında kaynak bölgesinde hasar durumu incelenmiştir.



Şekil 5.17. Eğme testi için üretilen aparat ve görüntüsü.

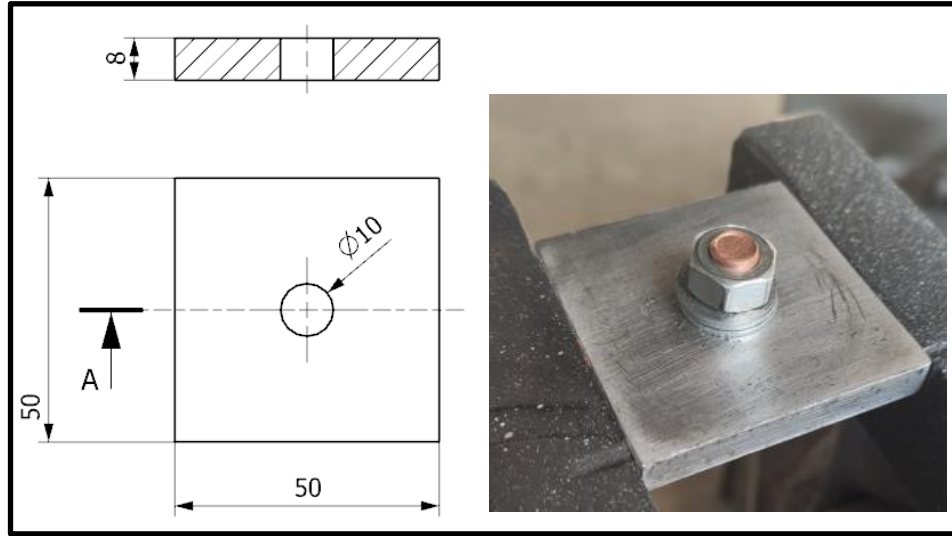


Şekil 5.18. Eğme testi şematik gösterimi ve uygulama görüntüsü.

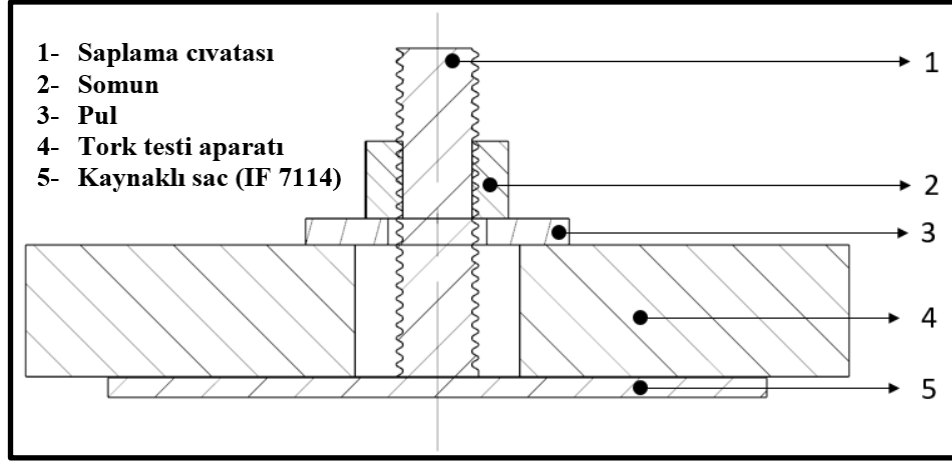
Eğme testi uygulanırken, öncelikle saplama cıvatası çapına göre uygun aparat seçilerek saplama cıvatası içine yerleştirilir, sonrasında ise saplama cıvatasının $\frac{3}{4}$ 'ünü geçmeyecek şekilde işaretlenen yere ayarlı pense sabitlenir. Ardından ise ayarlı pense ile saplama cıvatası 90° 'ye kadar eğilir. Eğilme esnasında kaynak bölgesinde çatlama hasarı meydana gelirse, eğme işlemi durdurulur ve saplama cıvatası açısı ölçülür.

5.5.3. Tork Testi

Saplama kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin saplama cıvatalarının tork dayanımlarının belirlenmesi için numunelere tork testi uygulanmıştır. Şekil 5.19'da tork testi için üretilen aparat ve görüntüsü verilmiştir. Gösterilen aparat 2 adet pul, bir adet somun ve kırılmanın torkunu ölçen dijital torkmetre kullanılmıştır. Tork testi düzeneği şematik görüntüsü Şekil 5.20'de ve dijital torkmetre görüntüsü (ZNC-30) ise Şekil 5.21'de gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Tork testi için üretilen aparat ve görüntüsü.



Şekil 5.20. Tork testi şematik gösterimi.



Şekil 5.21. Tork dayanımı ölçümlerinde kullanılan dijital torkmetre.

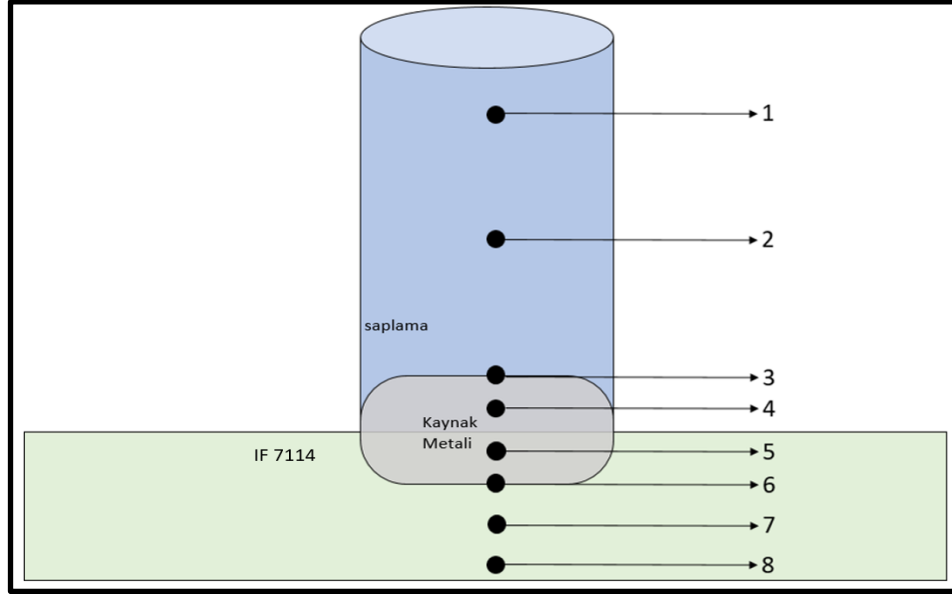
Testler yapılırken önce mengene üzerine aparat sabitlenir. İkinci adım olarak pullar ve somun ile test numunesi aparata bağlanır. Ardından somunun üzerine tork ölçerin lokması koyulur. Tork ölçerin göstergesi bu aşamada da sıfır değerini göstermektedir. Kopmadan önce göstergede tork değerinin değiştiği gözlemlenebilir. Saplama cıvatası sac parçadan koptuğu anda göstergede okunan rakam sonuçlar çizelgesine kaydedilebilir. Testin yapım aşamaları Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Tork testi uygulama aşamaları.

5.5.4. Sertlik Testi

IF 7114 saclarına farklı saplama malzemeleri, farklı saplama çapları ve farklı voltajlar altında saplama kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde, kullanılan bu kaynak parametrelerinin, ana malzeme ve kaynak bölgelerindeki sertlik değerlerine etkisinin belirlenmesi amacıyla kaynaklı numunelere sertlik testleri uygulanmıştır. Kaynak yapılan her numuneden, Şekil 5.23'te görüldüğü gibi sekiz noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 5.23. Sertlik ölçüm noktaları şeması.

Yapılan mikrosertlik ölçümleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme Laboratuvarında bulunan Shimadzu HMV markalı cihaz kullanılarak yapılmıştır. Cihaz ile yapılan ölçümler HV cinsindedir ve resmi Şekil 5.23'te verilmiştir. Ölçümler yapılırken 500 g yük ($HV_{0,5}$) uygulanmıştır.



Şekil 5.24. Mikrosertlik ölçüm cihazı resmi.

5.5.5. Metalografik İncelemeler

Saplama kaynağı yöntemi ile farklı kaynak parametreleri kullanarak birleştirilen numunelerin, kaynak bölgesindeki tane morfolojisine etkilerin belirlenmesi amacıyla kaynak bölgesinin makro-mikroyapısı incelenmiştir.

Makro ve mikroyapı incelemesi yapılacak olan numune saplamanın merkezinden görüntü almaya elverişli olacak şekilde tel erozyon tezgâhında ortadan ikiye kesilmiştir (Şekil 5.24). Tel erozyon tezgâhında kesildikten sonra makro-mikroyapı numuneleri, epoksi reçine içine soğuk olarak bakalite alınmışlardır. Bakalite alınan numuneler Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25. Tel erezyonda kesilmiş numune ve bakalite alınmış görüntüsü.

Kesme sonrası oluşan deformasyon ve çizikleri standart metalografik numune hazırlama işlemlerine tabi tutmak gereklidir. Bunun için tel erozyonda kesildikten sonra zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Zımparalama işlemi su zımparası yöntemi ile yapılmıştır. Sırası ile 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik silisyum karbür su zımparası ile yapılmıştır. Zımparalama işlemi sona erdikten sonra numuneler sırasıyla parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Parlatma işlemin numunelerin yüzeylerinde kalan son çiziklerinde giderilmesini sağlamaktadır. Parlatma sonrası metalografik incelemelerin yapılacağı yüzey ayna kadar parlak olacaktır. Parlatma işlemi Şekil 5.25'te gösterilen parlatma Mecapol P 262 marka parlatma cihazı ile yapılmıştır. Parlatma cihazının diski üzerine yerleştirilen 3 µm'lik bir keçe ile parlatma işlemleri yapılmıştır. Bu keçe üzerine 3 µm'lik bir elmas pasta emdirilmiştir. Parlatma diski 600 dev/dk hız ile döndürülerek her numune için 5 dk

süresinde bu keeye temas ettirilerek, yük uygulamaksızın parlatma işlemeine tabi tutulmuştur.

Numunelerin parlatılmış yüzeylerinde tane morfolojisi optik mikroskop altında görülebilir bir hale getirebilmek için kimyasal dağlama işlemeine tabi tutulur. Dağlama sonrası malzemenin içyapısındaki fazlarında belirlenmesinde önemli rol oynar. Dağlama işlemei ile malzeme sınırları ve kaynak bölgesi arayüzü daha belirgin bir hale gelecektir. Dağlama işlemei %3 nitrik asit çözeltisinde 10 sn olacak şekilde yapılmıştır.

Makroyapı incelemeleri yakın mesafeden yüksek çözünürlüklü ve odaklamalı bir fotoğraf makinesi ile yapılırken, mikroyapı incelmeleri ise optik mikroskop altına izlenmiş ve görüntüleri alınmıştır. Görüntülemeler NIKON Epiphot 200 optik mikroskop ile yapılmıştır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26. Parlatma cihazı görüntüsü.



Şekil 5.27. Optik mikrosokop görüntüsü.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

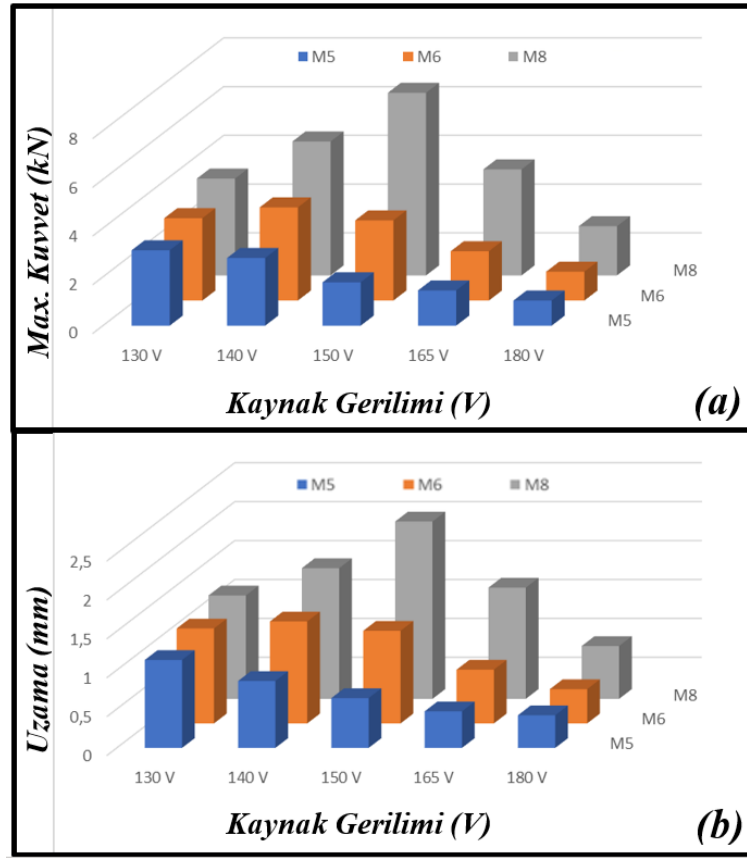
6.1. ÇEKME TESTİ

Arayer atomsuz IF (7114) çelikleri üzerine farklı saplama (bakır kaplamalı çelik saplama ve paslanmaz çelik saplama), farklı saplama çapları (M5, M6 ve M8) ve farklı kaynak parametreleri (130 V, 140 V, 150 V, 165 V ve 180 V kaynak gerilimi) kullanılarak saplama kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımlarına etkisinin belirlenmesi için çekme testleri yapılmıştır. Çekme testi sonuçları Çizelge 6.1 (bakır kaplamalı çelik saplama) ve 6.2'de (paslanmaz çelik saplama), grafikleri ise Şekil 6.1-6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Bakır kaplamalı çelik saplama çekme testi sonuçları.

Saplama Malzemesi	Saplama Çapı	Kaynak Gerilimi (V)	Max. Kuvvet (kN)	Uzama (mm)
Bakır Kaplamalı Çelik Saplama	M5	130	3,090	1,13
		140	2,776	0,86
		150	1,778	0,64
		165	1,445	0,47
		180	1,031	0,42
	M6	130	3,379	1,22
		140	3,823	1,31
		150	3,290	1,19
		165	2,023	0,69
		180	1,185	0,44
	M8	130	3,975	1,33
		140	5,495	1,68
		150	7,495	2,28
		165	4,351	1,43
		180	2,021	0,68

Çizelge 6.1'deki bakır kaplamalı çelik saplamaların çekme testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı 7,495 kN ve en yüksek uzama miktarı ise 2,28 mm ile aynı parametrede (M8 saplama çapı ve 150 V kaynak gerilimi) birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca, en düşük çekme dayanımı 1.031 kN ve en düşük uzama miktarı ise 0,42 mm ile aynı parametrede (M5 saplama çapı ve 180 V kaynak gerilimi) birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir.



Şekil 6.1. Bakır kaplamalı çelik saplamaların çekme testi grafikleri; a) çekme b) uzama

Şekil 6.1'deki bakır kaplamalı çelik numunelerin çekme testi grafikleri incelendiğinde, M5 saplama çaplı numunelerin 130 V kaynak geriliminde 3,090 kN çekme dayanımı ve 0,42 mm uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi artırıldığında ise (140 V, 150 V, 165 V, 180 V) sırasıyla 2,776 kN ve 1,13 mm, 1,778 kN ve 0,86 mm, 1,445 kN ve 0,64 mm, 1,031 kN ve 0,42 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V kaynak geriliminin M5 saplama

apına sahip bakır kaplamalı elik saplama numuneler için uygun olabileceği 130 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (140 V, 150 V, 165 V, 180 V) M5 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

M6 saplama çaplı numunelerin 130 V kaynak gerilimde 3,379 kN çekme dayanımı ve 1,22 mm uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V) 3,823 kN ve 1,31 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının arttığı fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (150 V, 165 V, 180 V) sırasıyla 3,290 kN ve 1,19 mm, 2,023 kN ve 0,69 mm, 1,185 kN ve 0,44 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V ve 140 V kaynak gerilimlerinin M6 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik saplama numuneler için uygun olabileceği 140 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (150 V, 165 V, 180 V) M6 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

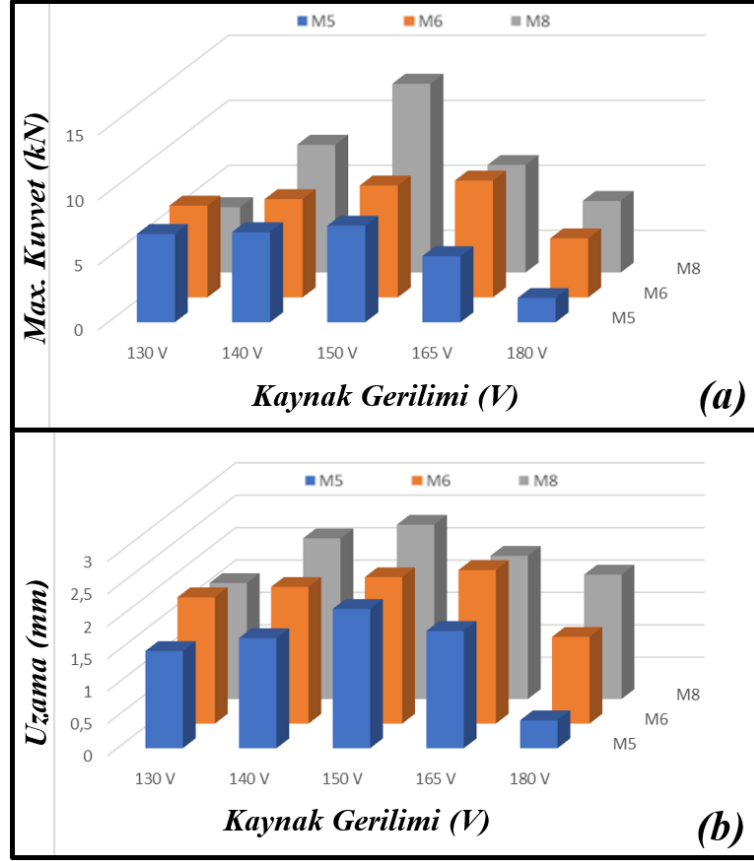
M8 saplama çaplı numunelerde ise 130 V kaynak geriliminde 3,975 kN çekme dayanımı ve 1,33 mm uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V) sırasıyla 5,495 kN ve 1,68 mm, 7,495 kN ve 2,28 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının arttığı fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (165 V, 180 V) sırasıyla 4,351 kN ve 1,43 mm, 2,021 kN ve 0,68 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinin M8 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik saplama numuneler için uygun olabileceği 150 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (165 V, 180 V) M8 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

Çizelge 6.2. Paslanmaz çelik saplama çekme testi sonuçları.

Saplama Malzemesi	Saplama Çapı	Kaynak Gerilimi (V)	Max. Kuvvet (kN)	Uzama (mm)
Paslanmaz Çelik Saplama	M5	130	6,793	1,50
		140	6,931	1,70
		150	7,426	2,15
		165	5,084	1,81
		180	1,867	0,43
	M6	130	7,060	1,95
		140	7,556	2,11
		150	8,609	2,26
		165	8,993	2,37
		180	4,537	1,34
	M8	130	5,029	1,79
		140	9,835	2,48
		150	14,525	2,69
		165	8,276	2,21
		180	5,510	1,92

Çizelge 6.2'deki paslanmaz çelik saplama çekme testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı 14,525 kN ve en yüksek uzama miktarı ise 2,69 mm ile aynı parametrede (M8 saplama çapı ve 150 V kaynak gerilimi) birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca, en düşük çekme dayanımı 1.867 kN ve en düşük uzama miktarı ise 0,43 mm ile aynı parametrede (M5 saplama çapı ve 180 V kaynak gerilimi) birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir.

Çizelge 6.1-6.2'deki bakır kaplamalı çelik saplama ve paslanmaz çelik saplama çekme testi sonuçları kıyaslandığında en yüksek ve en düşük çekme dayanımı ayrıca uzama miktarlarının da aynı parametrelerden elde edildiği göze çapmaktadır. Kullanılan saplama malzemelerinin (bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik) çelik esaslı olması, kullanılan saplama çaplarının aynı olması (M5, M6 ve M8) ve kullanılan kaynak parametrelerinin de aynı olması bu sonucu açıklayabilir.



Şekil 6.2. Paslanmaz çelik saplamaların çekme testi grafikleri; a) çekme b) uzama

Şekil 6.2'deki paslanmaz çelik numunelerin çekme testi grafikleri incelendiğinde, M5 saplama çaplı numunelerin 130 V kaynak gerilimde 6,793 kN çekme dayanımı ve 1,50 mm uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V) sırasıyla 6,931 kN ve 1,70 mm, 7,426 kN ve 2,15 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının arttığı, fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (165 V, 180 V) sırasıyla 5,084 kN ve 1,81 mm, 1,867 kN ve 0,43 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimin M5 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numuneler için uygun olabileceği 150 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (165 V, 180 V) M5 saplama çapına sahip paslanmaz çelik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

M6 saplama çaplı numunelerin 130 V kaynak gerilimde 7,060 kN çekme dayanımı ve 1,95 mm uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V, 165 V) sırasıyla 7,556 kN ve 2,11 mm, 8,609 kN ve 2,26 mm, 8,993 kN ve 2,37 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının arttığı fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (180 V) 4,537 kN ve 1,34 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V, 140 V, 150 ve 165 V kaynak gerilimlerinin M6 saplama çapına sahip paslanmaz elik saplama numuneler için uygun olabileceği 165 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (180 V) M6 saplama çapına sahip paslanmaz elik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

M8 saplama çaplı numunelerde ise 130 V kaynak geriliminde 5,029 kN çekme dayanımı ve 1,79 mm uzamaya sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V) sırasıyla 9,835 kN ve 2,48 mm, 14,525 kN ve 2,69 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının arttığı fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (165 V, 180 V) sırasıyla 8,276 kN ve 2,21 mm, 5,510 kN ve 1,92 mm çekme dayanımı ve uzama miktarına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak çekme dayanımı ve uzama miktarının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinin M8 saplama çapına sahip paslanmaz elik saplama numuneler için uygun olabileceği 150 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (165 V, 180 V) M8 saplama çapına sahip paslanmaz elik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

şekil 6.1-6.2'deki bakır kaplamalı elik saptamalar ve paslanmaz elik saptamaların çekme testi grafikleri saptama çaplarına göre uygun kaynak gerilimleri açısından kıyaslandığında ise paslanmaz elik saptamaların bakır kaplamalı elik saptamalara göre daha yüksek kaynak gerilimi yklenebilirliğine sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca en yüksek çekme dayanımına sahip bakır kaplamalı elik saptama (M8 saptama çapı ve 150 V kaynak geriliminde 7,495 kN) ve paslanmaz elik saptama (M8 saptama çapı ve 150 V kaynak geriliminde 14,525 kN) dayanımları arasında yaklaşık iki kat fark

olduğu görülmektedir. Aradaki bu çekme dayanımı farkının saplama malzemelerinin esas malzemeleri (bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik) sertliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bakır kaplamalı çelik saplama numunelere uygulanan çekme testleri sonrası numune görüntüleri Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Bakır kaplamalı çelik saplama numelerin çekme testi sonrası görüntüleri.

Bakır kaplamalı çelik saplama numunelere ait çekme testi sonrası görüntüleri içeren Şekil 6.3 incelendiğinde, M5 saplama çapına sahip numunelerin tümünde kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

M6 saplama çapına sahip numunelerin tümünde de kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

M8 saplama çapına sahip numunelerde ise 150 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplama kopma kaynak bölgesi dışında IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemedan yırtılma şeklinde olmuş ve saplama üzerinde saplama çapına yakın bir sac kalmıştır. Diğer numunelerde (130 V, 140 V, 165 V, 180 V) ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Bakır kaplamalı çelik numunelerin çekme testleri sonucunda da en yüksek çekme dayanımı (7,495 kN) bu parametreden elde edilmiştir. En düşük çekme dayanımı (M5 saplama çapı, 180 V kaynak gerilimi 1,031 kN) ile arasında yaklaşık yedi kat dayanım farkı bulunmaktadır. Diğer birleştirmelerde ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

Paslanmaz çelik saplama numunelere uygulanan çekme testleri sonrası numune görüntüleri Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4. Paslanmaz çelik saplama numelerin çekme testi sonrası görüntüleri.

Paslanmaz çelik saplama numunelere ait çekme testi sonrası görüntüleri içeren Şekil 6.4 incelendiğinde, M5 saplama çapına sahip numunelerde sadece 180 V kaynak geriliminde birleştirilen numunede kopma kaynak bölgesinde meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Diğer parametrelerin tümünde ise (130 V, 140 V, 150 V, 165 V) kopma kaynak bölgesi dışında, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemeden yırtılma şeklinde olmuş ve saplama üzerinde saplama çapının yarısına yakın bir sac kalmıştır.

M6 saplama çapına sahip numunelerde de benzer biçimde sadece 180 V kaynak geriliminde birleştirilen numunede kopma kaynak bölgesinde meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Diğer parametrelerin tümünde ise (130 V, 140 V, 150 V, 165 V) kopma kaynak bölgesi dışında, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemeden yırtılma şeklinde olmuş ve saplama üzerinde saplama çapına yakın bir sac kalmıştır.

M8 saplama çapına sahip numunelerde de diğer saplama çaplarının aksine sadece 130 V kaynak geriliminde birleştirilen numunede kopma kaynak bölgesinde meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Diğer parametrelerin tümünde ise (140 V, 150 V, 165 V, 180 V) kopma kaynak bölgesi dışında, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemeden yırtılma şeklinde olmuş ve saplama üzerinde 140 V kaynak geriliminde birleştirilen numunede saplama çapının yaklaşık $\frac{1}{4}$ ', 150 V ve 180 V kaynak geriliminde birleştirilen numunede saplama çapının yaklaşık yarısı ve son olarak 165 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen numunede ise saplama çapına yakın bir sac kalmıştır. Paslanmaz elik saplama numunelerin çekme testleri sonucunda da en yüksek çekme dayanımı (14,525 kN) M8 saplama çapında ve 150 V kaynak gerilimi kullanılan parametreden elde edilmiştir. En düşük çekme dayanımı (M5 saplama apı, 180 V kaynak gerilimi 1,867 kN) ile arasında yaklaşık yedi kat dayanım farkı bulunmaktadır.

Bakır kaplamalı elik saplama numuneleri ile paslanmaz elik saplama numunelerinin çekme testi sonrası görüntüleri karşılaştırılmasında ise, bakır kaplamalı elik saplama numunelerde kopma sadece M8 saplama çapı ve 150 V kaynak gerilimi kullanılan parametrede kaynak bölgesi dışında, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemedede yırtılma şeklinde olurken, diğer birleştirmelerde ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelmiştir. Paslanmaz elik saplama numunelerde ise sadece üç parametrede (M5-180 V, M6-180 V ve M8-130 V) kaynak bölgesinde meydana gelirken diğer parametrelerde ise kaynak bölgesi dışında, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemedede yırtılma şeklinde olmuştur.

Ercan (2011) 3 mm kalınlığındaki bakır kaplamalı çelik saplamaları, 3 mm ve 5 mm kalınlığındaki bakır levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile 100 V, 120 V, 150 V, 180 V ve 200 V kaynak gerilimleri kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan çekme testleri sonrasında, kaynak gerilimindeki artışın 180 V' a kadar çekme dayanımına olumlu etkisinin olduğunu, 180 V üzerinde ise birleştirme dayanımını düşürdüğünü bildirmiştir. 3 mm kalınlığındaki levhalara yapılan saplamalı kaynaklarda 150 V kaynak gerilimde 841 N dayanımla kaynak arayüzeyinden kopma olduğu, 180 V kaynak geriliminde 909 N dayanımla yine kaynak arayüzeyinden kopma olduğu, 200 V kaynak geriliminde ise dayanımın 799 N' a düştüğü ve kopmanın da yine kaynak arayüzeyinden meydana geldiği rapor edilmiştir. Ayrıca, kaynak gerilimindeki artışın kaynak arayüzeyinde gözenek oluşumu meydana getirdiği ve buna bağlı olarak da dayanımın azalacağına söylenebileceği ifade edilmiştir. 5 mm kalınlığındaki levhalara yapılan saplamalı kaynaklarda ise 150 V kaynak geriliminde 2.416 N dayanımla kopmanın saplamadan meydana geldiği, 180 V kaynak geriliminde 701 N dayanımla kopmanın kaynak arayüzeyinde meydana geldiği, 200 V kaynak geriliminde 508 N dayanımla kopmanın kaynak arayüzeyinde meydana geldiği bildirilmiştir. Ayrıca, aslında bütün kaynaklı birleştirmelerde kopmanın kaynak arayüzeyinden değil saplamadan olmasının beklendiği, 150 V kaynak geriliminde ise diğer parametrelerin aksine kaynak arayüzeyinden değil saplamadan kopmanın meydana gelmesini ise kaynak sırasında meydana gelen hataların dayanımda etkisinin olabileceği rapor edilmiştir.

Hamza (2014) AISI 304 paslanmaz çelik saplamaları aynı tip levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile farklı saplama çapları (6 mm, 8 mm, 10 mm ve 12 mm), farklı kaynak akımları (300 A, 400 A, 500 A, 600 A, 700 A, 800 A, 900 A ve 1000 A) ve farklı kaynak süreleri (0,1 sn, 0,2 sn, 0,3 sn ve 0,4 sn) kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan çekme testleri sonrasında, bağlantıların çekme mukavemetinin, saplama ve ana malzemedan daha yüksek olan iyi bir bağlantı performansına sahip bazı numunelerin olduğu, bunun aksine uygun olmayan kaynak parametreleri sebebiyle zayıf ve yetersiz bağlantı mukavemetine sahip numunelerinde olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, saplama çaplarındaki farklılıkların nedeniyle kaynak akımlarının farklı seçildiğini fakat kaynak sürelerinin aynı seçildiğini bu yüzden çekme sonuçları için ortak bir cümle kurmanın zor olduğunu ifade etmiştir. Ek olarak

6 mm, 8 mm ve 10 mm saplama çapları için kaynak akımı artışına paralel bir çekme mukavemeti dūşmesi tespit edildiği, bunun aksine 12 mm saplama çapında ise saplama kesiti büyüklüğünden dolayı yüksek çekme dayanımı için kaynak akımının artmasının gerektiğini rapor etmiştir.

Erol (2018) AISI 304 paslanmaz elik saplamları aynı tip levhalara saplmalı kaynak yöntemi ile farklı saplama çapları (dış çap 10 mm-iç çap 6 mm, 10 mm - 7 mm, 10 mm - 8 mm), farklı kaynak akımları (450 A, 500 A, 550 A, 600 A, 650 A, 700 A, 750 A, 800 A) ve farklı kaynak süreleri (0,15 sn, 0,2 sn, 0,25 sn, 0,3 sn, 0,35 sn) kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan çekme testleri sonrasında, bağlantıların çekme mukavemetinin, saplama ve ana malzemedен daha yüksek olan iyi bir bağlantı performansına sahip bazı numunelerin olduğu, bunun aksine uygun olmayan kaynak parametreleri sebebiyle zayıf ve yetersiz bağlantı mukavemetine sahip numunelerinde olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, maksimum çekme mukavemetinin optimum parametrelerden elde edildiğini (10-6 mm için 800 A ve 0,3 sn, 10-7 mm için 700 A ve 0,25 sn, 10-8 mm için ise 600 A ve 0,25 sn) rapor etmiştir.

Yılmaz ve Hamza (2014) AISI 304 paslanmaz elik saplamları aynı tip levhalara saplmalı kaynak yöntemi ile farklı parametreler kullanarak birleştirmişler ve çekme testleri sonrasında, çekme dayanımına en etkili parametrenin kaynak süresi olduğunu ardından ise kaynak akımının geldiğini bildirmişlerdir.

Hameed et al. (2021) AISI 304 paslanmaz elik saplamları AISI 1008 düşük karbonlu elik levhalara saplmalı ark kaynak yöntemi ile farklı parametreler kullanarak birleştirmişler ve çekme testleri sonucunda, optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi için kaynak akımı ve kaynak süresinin birbirine bağlı olarak ayarlanması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Oduncuoğlu vd. (2017) AISI 304 östenitik paslanmaz elik saplamları aynı tip levhalar ile farklı kaynak parametreleri (6, 8, 10, 12 mm saplama apı, 300, 400 500, 600, 700, 800, 900, 1000 A kaynak akımı, 100, 200, 300, 400 msn kaynak süresi, 1, 2, 3, 4 mm dalma mesafesi ve 1,5, 2, 2,5, 3 mm kaldırma mesafesi) kullanarak saplmalı kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve çekme testleri sonucunda, en yüksek çekme

dayanımın 12 mm saplama çapı, 800 A kaynak akımı, 400 msn kaynak süresi, 3 mm dalma mesafesi ve 2 mm kaldırma mesafesinin kullanıldığı parametreden edildiği ifade edilmiştir. Kullanılan matematiksek formül ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama testi sonuçlarının %94,71'lik bir başarı ile tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir.

Kumru (2021) 5, 6 mm saplama çapı, 14, 16, 20 mm saplama uzunluğu, çinko, bakır kaplamalı saplamaları, çift fazlı çelik, fırında sertleşebilen çelik, yumuşak çelik ve arayer atomsuz çelik levhalara saplamalı kaynak yöntemi kullanarak birleştirmişler ve çekme testleri sonucunda kaynak bölgesi dayanımına en etkili parametrenin kaynak akımı olduğunu belirlemişler ve kaynak zamanının da önemli bir parametre olduğunu vurgulamışlardır. Optimum parametre belirlenmesi için ise kaynak akımı ve kaynak süresinin birlikte ayarlanması ile elde edilebileceğini bildirmişlerdir.

Yılmaz vd. (2017) 6013-T6 alüminyum alaşım saplamaları aynı malzemeden levhalara farklı kaynak parametreleri (300, 350 A kaynak akımı, 0,10, 0,125, 0,15 sn kaynak süresi, 3 mm kaldırma mesafesi, 2 mm çıkıntı mesafesi ve 0, 10, 20, 30° saplama uç açısı) kullanarak saplamalı kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve çekme testleri sonucunda, en yüksek çekme dayanımının 350 A, kaynak akımı, 0,10 kaynak süresi, 3 mm kaldırma mesafesi, 2 mm çıkıntı mesafesi ve 10° saplama uç açısına sahip parametreden elde edildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, çekme testleri sonrasında kopmaları genellikle ITAB ya da kaynak bölgesinde olduğu da rapor edilmiştir.

6.2. EĞME TESTİ

Saplama türü (bakır kaplamalı çelik saplama ve paslanmaz çelik saplama), saplama çapı (M5, M6 ve M8) ve kaynak gerilimi (130 V, 140 V, 150 V, 165 V ve 180 V) olmak üzere toplamda 30 farklı kaynak parametresi kullanılarak saplama kaynak yöntemiyle birleştirilen IF 7114 çelik sac numunelere 90° eğme testi uygulanmış ve kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelere uygulanan eğme testleri sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri.

Şekil 6.5'teki bakır kaplamalı çelik saplama numunelere ait eğme testi sonrası görüntüleri incelendiğinde, M5 saplama çapına sahip numunelerde sadece 130 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplama kaynağında herhangi bir hasar (çatlama/kopma) meydana gelmezken diğer numunelerde (140 V, 150 V, 165 V, 180 V) ise kopma kaynağında meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

M6 saplama çapına sahip numunelerde 140 V ve 150 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplama kaynağında herhangi bir çatlama/kopma meydana gelmezken diğer numunelerde (130 V, 165 V, 180 V) ise kopma kaynağında

meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

M8 saplama çapına sahip numunelerde 150 V ve 165 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplamlarda kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama/kopma meydana gelmemiş, 140 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen numunede ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelmesine rağmen IF 7114 sac üzerinde saplama parçası kalmış ve sac deforme olmuştur. Bu durumun sac kalınlığının saplama çapına göre ince olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer numunelerde (130 V, 180 V) ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

Paslanmaz çelik saplama numunelere uygulanan eğme testleri sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 6.6'da verilmiştir.

Şekil 6.6'daki paslanmaz çelik saplama numunelere ait eğme testi sonrası görüntüleri incelendiğinde, M5 saplama çapına sahip numunelerde sadece 180 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplama kopma kaynak bölgesinde meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Diğer numunelerde (130 V, 140 V, 150 V, 165 V) ise kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama/kopma meydana gelmemiştir.

M6 saplama çapına sahip numunelerde 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplamlarda kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama/kopma meydana gelmemiş, 165 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen numunede ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelmemesine rağmen saplama üzerinde IF 7114 sacı kalarak, yırtılma olmuştur. Diğer numunede ise (180 V) ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.



Şekil 6.6. Paslanmaz çelik saplama numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri.

M8 saplama çapına sahip numunelerde 130 V, 140 V, 150 V ve 165 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplamalarda kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama/kopma meydana gelmemiştir. Diğer numunede ise (180 V) ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelmiş ve IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

Bakır kaplamalı çelik saplama numuneleri ile paslanmaz çelik saplama numunelerinin eğme testi sonrası görüntüleri karşılaştırıldığında ise, bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin belirli parametrelerde başarılı olduğu (M5-130 V, M6-140 V, M6-150 V, M8-140 V kısmen, M8-150 V ve M8-165 V) görülürken, paslanmaz çelik saplama numunelerin ise neredeyse tamamen (sadece üç parametre M5-180 V, M6-180 V ve M8-180 V haricinde) başarılı olduğu görülmüştür. Eğme testleri sonucunda paslanmaz çelik saplama numunelerin, bakır kaplamalı çelik saplama numunelere göre eğme mukavemetinin daha yüksek performansa sahip olduğu gözlenmiştir.

Ercan (2011) 3 mm kalınlığındaki bakır kaplamalı çelik saplamaları, 3 mm ve 5 mm kalınlığındaki bakır levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile 100 V, 120 V, 150 V, 180 V ve 200 V kaynak gerilimleri kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan saplamanın $\frac{3}{4}$ 'ünü kavrayacak şekilde boru yardımı ile 30° eğme testleri sonrasında, 3 mm kalınlığındaki sacın 100, 120 ve 150 V kaynak geriliminde 30° eğilmede kaynak arayüzeyinden kopma olmadığı, 180 V kaynak geriliminde 10° eğilmeye kadar kaynak arayüzeyinden kopma olmadığı, 200 V kaynak gerilimden ise kaynak arayüzeyinden kopma olduğu bildirilmiştir. 5 mm kalınlığındaki sacın ise 100, 120 ve 150 V kaynak geriliminde arayüzeyde kopma olmadığı, 180 V kaynak geriliminde 20° eğilmeye kadar arayüzeyde kopma olmadığı, 200 V kaynak gerilimden ise kaynak arayüzeyinden kopma olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca 200 V kaynak gerilimde kaynaktaki ani ısınma ve soğumanın gevrek bir yapıya neden olduğu arayüzeydeki kopmanın da buna bağlı olduğu, yüksek kaynak gerilimlerinde ark basıncının da gözenek kaynak hatasına sebep olduğu ve bunun da kopmaya ön ayak oluşturduğu tespit edilmiştir.

Hamza (2014) AISI 304 paslanmaz çelik saplamaları aynı tip levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile farklı saplama çapları (6 mm, 8 mm, 10 mm ve 12 mm), farklı kaynak akımları (300 A, 400 A, 500 A, 600 A, 700 A, 800 A, 900 A ve 1000 A) ve farklı kaynak süreleri (0,1 sn, 0,2 sn, 0,3 sn ve 0,4 sn) kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan birleştirmelere uygulanan 90° eğme testleri sonrasında, saplama kaynaklı numunelerin eğme testlerinin ISO 14555'e göre numunelerin elastik sınırının altında saplama ekseninde en az 30° bükülerek yapılabileceği, kondansatör boşaltmalı ve çekmeli ark saplama kaynak yöntemlerinde ise en az 60° bükülerek

yapılabileceği, daha fazla kalite güvencesi için ise kaynaklı bağlantının 90° bükülmeye hatasız dayanması gerektiği bildirilmiştir. Ayrıca, 6 mm çapında 300 A-0,3 sn, 400 A-0,1 sn, 400 A-0,2 sn, 500 A-0,1 sn, 600 A-0,1 sn, 8 mm çapında 500 A-0,1sn, 500 A-0,2 sn, 500 A-0,3 sn, 600 A-0,1 sn, 700 A-0,1 sn, 700 A-0,2 sn, 800 A-0,1 sn, 800 A-0,2 sn, 10 mm çapında 600 A-0,3 sn, 600 A-0,4 sn, 700 A-0,3 sn, 800 A-0,2 sn, 900 A-0,1 sn, 900 A-0,2 sn, 12 mm çapında ise 700 A-0,4 sn, 800 A-0,3 sn, 800 A-0,4 sn, 900 A-0,3 sn, 900 A-0,4 sn, 1000 A-0,2 sn, 1000 A-0,3 sn parametrelerinin eğme testlerinde başarılı olduğu rapor edilmiştir.

Erol (2018) AISI 304 paslanmaz çelik saplamaları aynı tip levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile farklı saplama çapları (dış çap 10 mm-iç çap 6 mm, 10 mm - 7 mm, 10 mm - 8 mm), farklı kaynak akımları (450 A, 500 A, 550 A, 600 A, 650 A, 700 A, 750 A, 800 A) ve farklı kaynak süreleri (0,15 sn, 0,2 sn, 0,25 sn, 0,3 sn, 0,35 sn) kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan birleştirmelere uygulanan 90° eğme testleri sonrasında, eğme testlerinin çekiç, metal boru ve tork anahtarı olmak üzere üç farklı yöntemle yapılabileceği, saplama kaynaklı numunelerin eğme testlerinin ISO 14555'e göre numunelerin elastik sınırının altında saplama ekseninde en az 30° bükülerek yapılabileceği, kondansatör boşaltmalı ve çekmeli ark saplama kaynak yöntemlerinde ise en az 60° bükülerek yapılabileceği, daha fazla kalite güvencesi için ise kaynaklı bağlantının 90° bükülmeye hatasız dayanması gerektiği bildirilmiştir. Ayrıca, 10-6 mm çapında 600 A-0,3 sn, 700 A-0,25 sn, 700 A-0,3 sn, 700 A-0,35 sn, 800 A-0,2 sn, 800 A-0,25 sn, 800 A-0,3 sn, 800 A-0,35 sn, 10-7 mm çapında 650 A-0,25sn, 650 A-0,3 sn, 700 A-0,2 sn, 700 A-0,25 sn, 700 A-0,3 sn, 750 A-0,25 sn, 750 A-0,3 sn, 10-8 mm çapında 500 A-0,25 sn, 600 A-0,25 sn, 600 A-0,3 sn parametrelerinin eğme testlerinde başarılı olduğu rapor edilmiştir.

Hameed et al. (2021) AISI 304 paslanmaz çelik saplamaları AISI 1008 düşük karbonlu çelik levhalara saplamalı ark kaynak yöntemi ile farklı parametreler (200, 400, 600, 800 A, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35 sn) kullanarak birleştirmişler ve eğme testleri sonucunda, 400 A-0,3 sn, 600 A-0,3 sn ve 800 A-0,25 sn parametrelerinin eğme testlerinde başarılı olduğu rapor edilmiştir.

Yılmaz ve Hamza (2014) AISI 304 paslanmaz çelik saplamaları aynı tip levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile farklı parametreler (500, 600, 700, 800 A kaynak akımı, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 sn kaynak süresi) kullanarak birleştirmişler ve eğme testleri sonucunda, 500 A-0,1 sn, 500 A-0,2 sn, 500 A-0,3 sn, 600 A-0,1 sn, 700 A-0,1 sn, 700 A-0,2 sn, 800 A-0,1 sn, 800 A-0,2 sn parametrelerinin eğme testlerinde başarılı olduğu rapor edilmiştir.

Niğış vd. (2015) 10 mm kalınlığındaki Grade A gemi sacına 18 mm çapındaki saplamaları farklı kaynak parametreleri (900 A-0,5 sn, 1200 A-0,6 sn, 1600 A-0,8 sn ve 2000 A-1 sn) kullanarak saplamalı kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve birleştirmelere uygulanan eğme testleri sonucunda, 90° eğilmede bütün parametrelerin başarılı olduğu, saplama-ana malzeme kaynak bölgesinde çatlak vb. kaynak hatası oluşmadığı bildirilmiştir.

Çakmakkaya vd. (2016) 4 mm çapında alüminyum saplamaları AA6082 alüminyum alaşımı levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile farklı parametreler (200, 400, 600, 800 A, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35 sn) kullanarak birleştirmişler ve eğme testleri sonucunda, düşük ve yüksek kaynak gerilimlerinde (170 V, 200 V) birleştirmenin zayıf ya da hiç olmadığı, saplama çapına uygun seçilen kaynak gerilimlerinde ise (150 V, 160 V) 90° eğilmeye rağmen kaynak bölgesinde kopma olmadığı rapor edilmiştir.

Gündoğdu (2011) 5 mm çapındaki saplamaları 5 mm kalınlığındaki alüminyum levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile 100 V, 130 V, 150 V, 180 V ve 200 V kaynak gerilimleri kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan 30° eğme testleri sonrasında, tüm birleştirmelerde başarılı sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir.

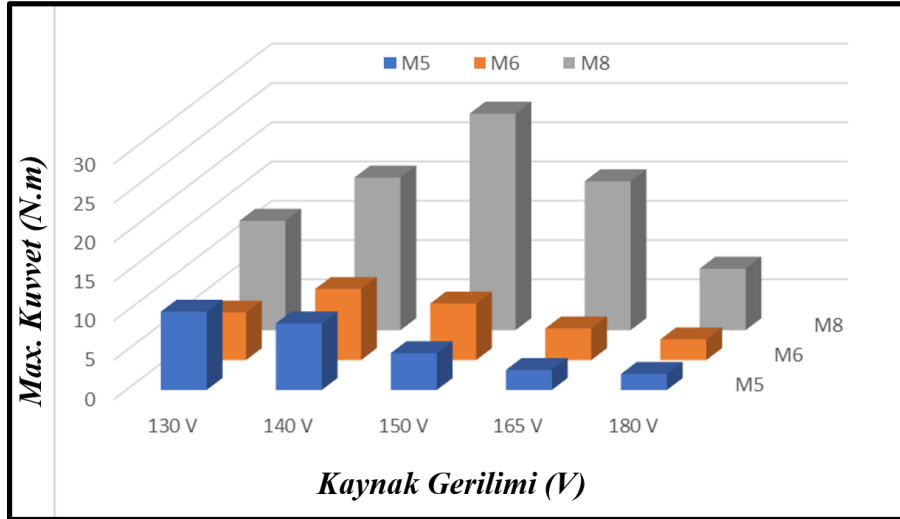
6.3. TORK TESTİ

IF 7114 saclarına saplama kaynak yöntemi ile çeşitli kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilmiş ve kaynak parametrelerinin mekanik özelliklerden tork dayanımına etkisi incelenmiştir. Tork testi sonuçları Çizelge 6.3 (bakır kaplamalı çelik saplama) ve 6.4'te (paslanmaz çelik saplama), grafikleri ise Şekil 6.7-6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerinin tork testi sonuçları.

		130 V	140 V	150 V	165 V	180 V
Bakır Kaplama Çelik Saplama	M5	<u>9,96 N.m</u>	8,47 N.m	4,69 N.m	2,54 N.m	2,04 N.m
	M6	<u>6,05 N.m</u>	<u>9,04 N.m</u>	7,19 N.m	4,02 N.m	2,63 N.m
	M8	<u>13,92 N.m</u>	<u>19,43 N.m</u>	<u>27,56 N.m</u>	18,95 N.m	7,83 N.m

Çizelge 6.3'teki bakır kaplamalı çelik saplamaların tork testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek tork dayanımı 27,56 N.m M8 saplama çapı ve 150 V kaynak geriliminde birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca, en düşük tork dayanımı 2,04 N.m M5 saplama çapı ve 180 V kaynak geriliminde birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir.



Şekil 6.7. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerinin tork testi grafikleri.

Şekil 6.7'deki bakır kaplamalı çelik numunelerinin tork testi grafikleri incelendiğinde, M5 saplama çaplı numunelerin 130 V kaynak geriliminde 9,96 N.m tork dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V, 165 V, 180 V) sırasıyla 8,47 N.m, 4,69 N.m, 2,54 N.m, 2,04 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımında azaldığı tespit edilmiştir. 130 V kaynak geriliminin M5 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numuneler için uygun olabileceği 130 V sonrasında ise artan

kaynak geriliminin (140 V, 150 V, 165 V, 180 V) M5 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

M6 saplama çaplı numunelerin 130 V kaynak gerilimde 6,05 N.m tork dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V) 9,04 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının arttığı fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (150 V, 165 V, 180 V) sırasıyla 7,19 N.m, 4,02 N.m ve 2,63 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V ve 140 V kaynak gerilimlerinin M6 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik saplama numuneler için uygun olabileceği 140 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (150 V, 165 V, 180 V) M6 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

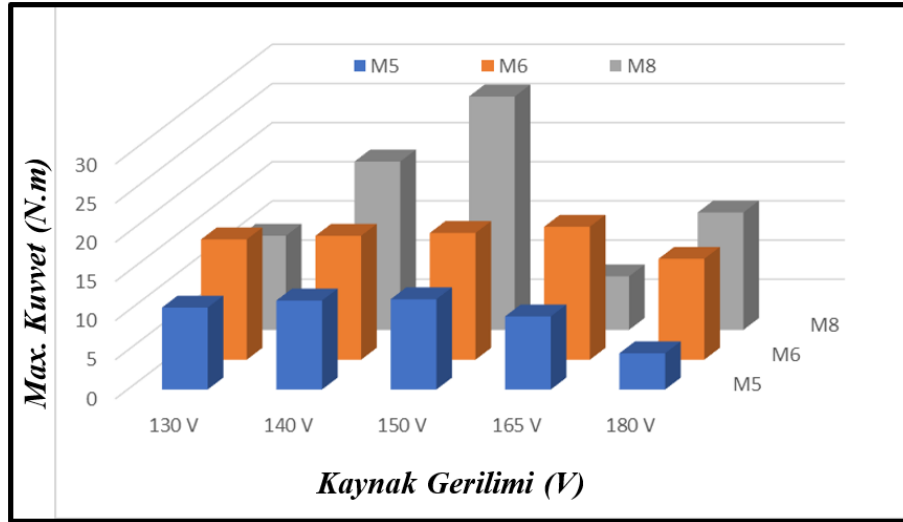
M8 saplama çaplı numunelerde ise 130 V kaynak geriliminde 13,92 N.m tork dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V) sırasıyla 19,43 N.m, 27,56 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının arttığı fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (165 V, 180 V) sırasıyla 18,95 N.m ve 7,83 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinin M8 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik saplama numuneler için uygun olabileceği 150 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (165 V, 180 V) M8 saplama çapına sahip bakır kaplamalı elik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

Çizelge 6.4. Paslanmaz elik saplama numunelerin tork testi sonuçları.

		130 V	140 V	150 V	165 V	180 V
Paslanmaz elik Saplama	M5	<u>10,46 N.m</u>	<u>11,36 N.m</u>	<u>11,53 N.m</u>	9,33 N.m	4,63 N.m
	M6	<u>15,36 N.m</u>	<u>15,82 N.m</u>	<u>16,18 N.m</u>	<u>16,98 N.m</u>	12,88 N.m
	M8	<u>12,02 N.m</u>	<u>21,50 N.m</u>	<u>29,80 N.m</u>	16,83 N.m	14,99 N.m

Çizelge 6.4'teki paslanmaz çelik saplamların tork testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek tork dayanımı 29,80 N.m M8 saplama çapı ve 150 V kaynak geriliminde saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca, en düşük tork dayanımı 4,63 N.m M5 saplama çapı ve 180 V kaynak geriliminde saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir.

Çizelge 6.3-6.4'teki bakır kaplamalı çelik saplamlar ve paslanmaz çelik saplamların tork testi sonuçları kıyaslandığında en yüksek ve en düşük tork dayanımı da aynı parametrelerden elde edildiği göze çapmaktadır. Kullanılan saplama malzemelerinin (bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik) çelik esaslı olması, kullanılan saplama çaplarının aynı olması (M5, M6 ve M8) ve kullanılan kaynak parametrelerinin de aynı olması bu sonucu açıklayabilir.



Şekil 6.8. Paslanmaz çelik saplama numunelerin tork testi grafikleri.

Şekil 6.8'deki paslanmaz çelik numunelerin tork testi grafikleri incelendiğinde, M5 saplama çaplı numunelerin 130 V kaynak geriliminde 10,46 N.m tork dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V) sırasıyla 11,36 N.m, 11,53 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının arttığı, fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (165 V, 180 V) sırasıyla 9,33 N.m, 4,63 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimin M5 saplama çapına sahip

paslanmaz çelik saplama numuneler için uygun olabileceği 150 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (165 V, 180 V) M5 saplama çapına sahip paslanmaz çelik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

M6 saplama çaplı numunelerin 130 V kaynak gerilimde 15,36 N.m tork dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V, 165 V) sırasıyla 15,82 N.m, 16,18 N.m, 16,98 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının arttığı fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (180 V) 12,88 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V, 140 V, 150 ve 165 V kaynak gerilimlerinin M6 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numuneler için uygun olabileceği 165 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (180 V) M6 saplama çapına sahip paslanmaz çelik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

M8 saplama çaplı numunelerde ise 130 V kaynak geriliminde 12,02 N.m tork dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Diğer parametreler sabit kaynak gerilimi arttırıldığında ise (140 V, 150 V) sırasıyla 21,50 N.m, 29,80 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının arttığı fakat kaynak gerilimin daha da arttırıldığında ise (165 V, 180 V) sırasıyla 16,83 N.m ve 14,99 N.m tork dayanımına sahip olduğu, kaynak gerilimi artışına paralel olarak tork dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinin M8 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numuneler için uygun olabileceği 150 V sonrasında ise artan kaynak geriliminin (165 V, 180 V) M8 saplama çapına sahip paslanmaz çelik numuneler için fazla olduğu sonucu çıkarılabilir.

Şekil 6.7-6.8'deki bakır kaplamalı çelik saptamalar ve paslanmaz çelik saptamaların tork testi grafikleri saptama çaplarına göre uygun kaynak gerilimleri açısından kıyaslandığında ise paslanmaz çelik saptamaların bakır kaplamalı çelik saptamalara göre daha yüksek kaynak gerilimi yüklenebilirliğine sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca en yüksek tork dayanımına sahip bakır kaplamalı çelik saptama (M8 saptama çapı ve 150 V kaynak geriliminde 27,56 N.m) ve paslanmaz çelik saptama (M8 saptama çapı ve 150 V kaynak geriliminde 29,80 N.m) dayanımlarının benzer olduğu

görülmektedir. Ayrıca, testler sonucunda paslanmaz çelik saplama cıvataları ile bakır kaplamalı çelik saplama cıvatalarını kıyasladığımızda, paslanmaz çelik saplama cıvatalarının daha yüksek tork değerlerine dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bakır kaplamalı çelik saplama numunelere uygulanan tork testleri sonrası numune görüntüleri Şekil 6.9'da verilmiştir.

Bakır kaplamalı çelik saplama numunelere ait tork testi sonrası görüntüleri içeren Şekil 6.9 incelendiğinde, M5 saplama çapına sahip numunelerde 130 V ve 140 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplama kopma kaynak bölgesi dışından saplama cıvatasından meydana gelirken diğer numunelerde (150 V, 165 V, 180 V) ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

M6 saplama çapına sahip numunelerde sadece 140 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplama kopma kaynak bölgesi dışından saplama cıvatasından meydana gelirken diğer numunelerde (130 V, 150 V, 165 V, 180 V) ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

M8 saplama çapına sahip numunelerde ise 150 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplama kopma kaynak bölgesi dışından, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemedan yırtılma şeklinde olmuş ve saplama üzerinde saplama çapına yakın bir sac kalmıştır. Bunun sebebinin de seçilen ince sac malzeme dayanımının saplanma dayanımı ve kaynaklı bölge dayanımından daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer numunelerde (130 V, 140 V, 165 V, 180 V) ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

Paslanmaz çelik saplama numunelere uygulanan tork testleri sonrası numune görüntüleri Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.9. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerinin tork testi sonrası görüntüleri.



Şekil 6.10. Paslanmaz çelik saplama numunelerin tork testi sonrası görüntüleri.

Paslanmaz çelik saplama numunelere ait tork testi sonrası görüntüleri içeren Şekil 6.10 incelendiğinde, M5 saplama çapına sahip 130 V, 140 V, 150 V ve 165 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen numunelerde kopma kaynak bölgesi dışından, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemedan yırtılma şeklinde olmuş ve saplama üzerinde bir miktar sac kalmıştır. 180 V kaynak geriliminde birleştirilen numunede ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

M6 saplama çapına sahip 130 V, 140 V, 150 V ve 165 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen numunelerde kopma kaynak bölgesi dışından, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemedan yırtılma şeklinde olmuş ve saplama üzerinde bir miktar sac kalmıştır. 180 V kaynak geriliminde birleştirilen numunede ise kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

M8 saplama çapına sahip numunelerde 130 V kaynak gerilimi kullanılarak birleştirilen saplama kopma kaynak bölgesinde meydana gelirken IF 7114 sac malzeme yüzeyinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Diğer numunelerde (140 V, 150 V, 165 V, 180 V) ise kopma kaynak bölgesi dışından, IF 7114 sac malzemeyi deforme ederek, sac malzemedan yırtılma şeklinde olmuş ve saplama üzerinde miktar sac kalmıştır.

Paslanmaz çelik saplama numunelerde uygulanan tork testi sonucu saplama kopma meydana gelmeyip saplamanın sac yüzeyinden parça koparak yırtılmasının sebebi olarak seçilen ince sac IF 7114 ana malzeme dayanımının saplama dayanımı ve kaynaklı bölge dayanımından daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

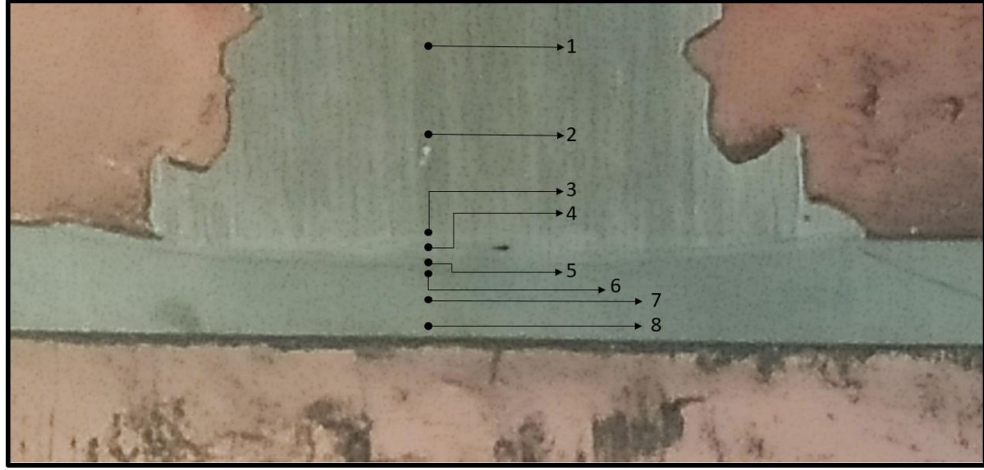
Hameed et al. (2021) AISI 304 paslanmaz çelik saplama AISI 1008 düşük karbonlu çelik levhalara saplama ark kaynak yöntemi ile farklı parametreler (200 A, 400 A, 600 A, 800 A kaynak akımı, 0,2 sn, 0,25 sn, 0,3 sn, 0,35 sn kaynak süresi) kullanarak birleştirmişler ve tork testleri sonucunda, 200 A kaynak akımında birleştirilen numunelerde bütün kaynak sürelerinde başarı sağlanamazken, 400 A kaynak akımında kaynak süresine bağlı olarak (0,2 sn, 0,25 sn, 0,3 sn, 0,35 sn) sırasıyla 35,45 N.m,

55,65 N.m, 74,80 N.m, 47,10 N.m tork dayanımına sahip olduğu, 600 A kaynak akımında kaynak süresine bağlı olarak (0,2 sn, 0,25 sn, 0,3 sn, 0,35 sn) sırasıyla 50,24 N.m, 43,55 N.m, 90,38 N.m, 48,33 N.m tork dayanımına sahip olduğu ve 800 A kaynak akımında kaynak süresine bağlı olarak 0,3 sn, 0,35 sn'de başarı sağlanmazken, (0,2 sn, 0,25 sn,) sırasıyla 33,88 N.m, 39,82 N.m, tork dayanımına sahip olduğu bildirmişlerdir.

Güleç ve Çakmakkaya (2013) demir esaslı intermetalik malzemelere ($Fe_{26}Al$, $Fe_{30}Al$, $Fe_{33}Al$ ve $Fe_{50}Al$) 4 mm çapında paslanmaz çelik, bakır kaplamalı çelik ve alüminyum saplamalar farklı kaynak gerilimleri (100, 130, 150, 170 ve 200 V) kullanılarak saplama kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve uygulanan tork testleri sonucunda, $Fe_{50}Al$ malzemede paslanmaz çelik saplamalar 100 ve 130 V kaynak gerilimlerinde, bakır kaplamalı çelik saplamalar 100, 130 ve 150 V kaynak gerilimlerinde, alüminyum saplamalar 130 ve 170 V kaynak gerilimlerinde, $Fe_{30}Al$ malzemede ise alüminyum saplamalar 150 ve 170 V kaynak gerilimlerinde kırılmış diğer parametrelerde ise başarı sağlanmıştır.

6.4. SERTLİK TESTİ

Saplama kaynak yöntemi ile farklı kaynak parametreleri (bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik saplama türü, M5, M6 ve M8 saplama çapı ve 130, 140, 150, 165 ve 180 V kaynak gerilimi) kullanılarak birleştirilen IF 7114 çelik malzemelerin (ana malzeme, ITAB ve kaynak bölgesi) sertlik değişimlerini incelemek için kaynaklı numunelere sertlik testleri uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri Şekil 6.11'de görüldüğü gibi sekiz noktadan alınmıştır.

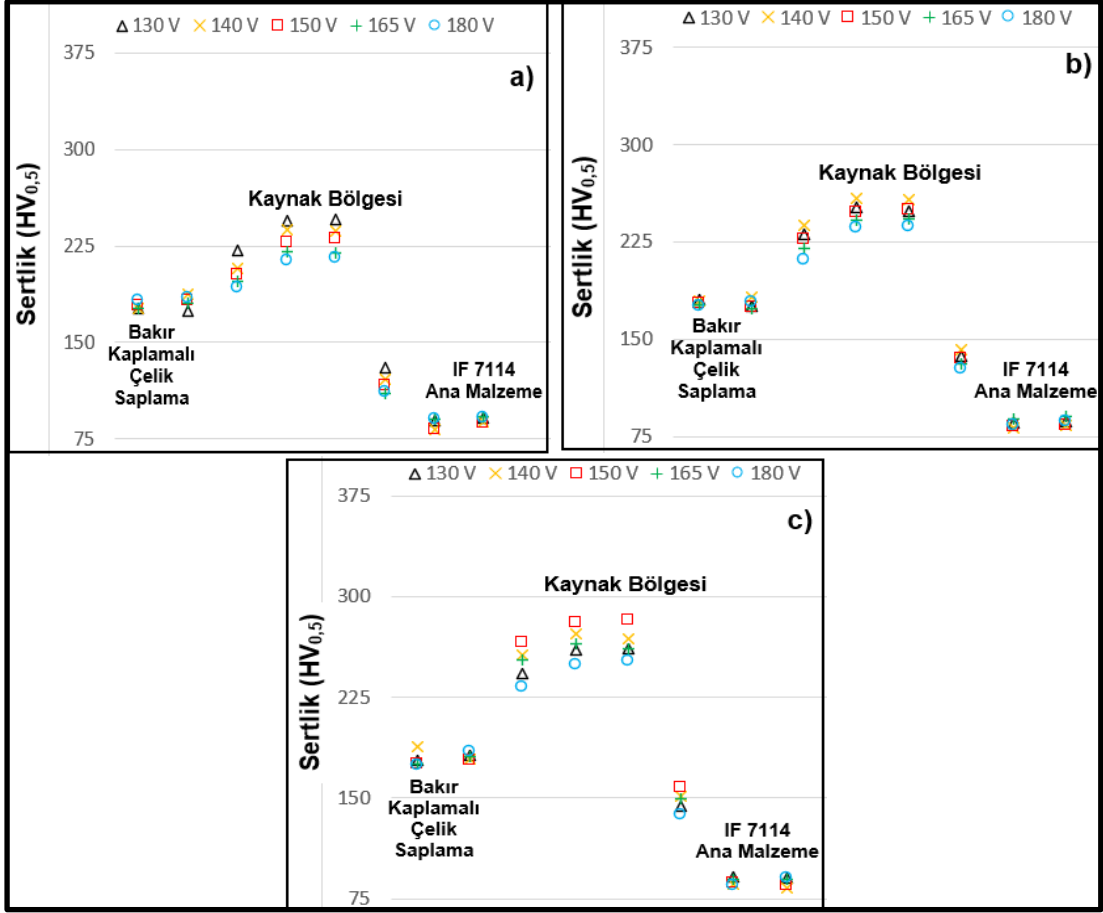


Şekil 6.11. Sertlik ölçüm noktaları.

Bakır kaplamalı çelik saplamalara uygulanan sertlik ölçüm sonuçları Çizelge 6.5'te grafikleri ise Şekil 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin sertlik ölçüm sonuçları.

Saplama Çapı	Kaynak Gerilimi (V)	Sertlik Değeri (Vickers)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Saplama		Kaynak Bölgesi			IF 7114		
		ITAB	Kaynak Metali	ITAB					
M5	130	176	174	222	245	246	130	89	91
	140	176	188	208	238	237	121	82	88
	150	178	182	203	228	231	116	82	87
	165	176	180	198	221	220	110	90	92
	180	182	184	193	214	216	111	90	91
M6	130	181	176	231	252	249	137	86	87
	140	180	183	238	259	258	142	82	84
	150	178	175	227	248	250	135	83	84
	165	177	174	220	242	243	131	89	91
	180	176	179	211	236	237	127	84	87
M8	130	178	182	243	260	261	144	91	90
	140	188	179	257	272	269	151	86	83
	150	175	178	266	281	283	158	87	85
	165	175	181	253	265	261	149	89	89
	180	174	185	233	249	252	137	85	90



Şekil 6.12. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin sertlik grafikleri a) M5 b) M6 c) M8

Çizelge 6.5 ve Şekil 6.12'deki bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin sertlik değerleri genel olarak değerlendirildiğinde, kaynak metalinden saplama malzemesine (sağ taraf) ve kaynak metalinden ana malzemeye (IF 7114) doğru ilerledikçe (sol taraf) sertlik değerlerinde azalma olmaktadır. En yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB'lar (bakır kaplamalı çelik saplama ITAB > IF 7114 ITAB) ve ana malzemeler (bakır kaplamalı çelik saplama ana malzeme > IF 7114 ana malzeme) takip etmektedir.

Bakır kaplamalı çelik saplama, farklı saplama çapları ve farklı kaynak gerilimleri kullanılarak birleştirilen sertlik test sonuçları değerlendirildiğinde ise en yüksek sertlik değeri, fazla fark olmamakla birlikte M8 saplama çapında 150 V kaynak geriliminde 283 ± 5 HV olarak ölçülmüştür. Ek olarak, bakır kaplamalı çelik saplama ana

malzemesi sertlik değeri 180 ± 5 HV ve IF 7114 sac ana malzeme sertlik değeri 85 ± 5 HV olarak belirlenmiştir.

Saplama çapının sertlik değerlerine olan etkisi değerlendirildiğinde ise, M5 saplama apı, 130 V kaynak geriliminde bakır kaplamalı elik ITAB 222 ± 5 HV, kaynak metali 245 ± 5 HV ve IF 7114 ITAB 130 ± 5 HV olarak tespit edilmiştir. M6 saplama çapında ve aynı parametrelerde sırasıyla 231 ± 5 HV, 252 ± 5 HV ve 137 ± 5 HV olarak lölürken, M8 saplama çapında ise 243 ± 5 HV, 261 ± 5 HV ve 144 ± 5 HV olarak ölçölmüştür. Saplama apı artışına bağlı olarak sertlik değerlerin de belirgin olmamakla birlikte bir miktar artış tespit edilmiştir. Buna saplama çapı artışı ile (diğer parametreler sabit, ısı girdisi aynı) saplama kesit alanının artması ve buna bağlı olarak da soğuma hızının artmasının sebep olduğu düşünölmektedir.

Kaynak gerilimin sertlik değerlerine olan etkisi incelendiğinde ise, M6 saplama apı, 130 V kaynak geriliminde bakır kaplamalı elik ITAB 231 ± 5 HV, kaynak metali 252 ± 5 HV ve IF 7114 ITAB 137 ± 5 HV olarak tespit edilmiştir. 140 V kaynak gerilimi ve aynı parametrelerde sırasıyla 238 ± 5 HV, 259 ± 5 HV ve 142 ± 5 HV, 150 V kaynak geriliminde 227 ± 5 HV, 250 ± 5 HV ve 135 ± 5 HV, 165 V kaynak gerilimde 220 ± 5 HV, 243 ± 5 HV ve 131 ± 5 HV, son olarak 180 V kaynak geriliminde ise 211 ± 5 HV, 237 ± 5 HV ve 127 ± 5 HV olarak belirlenmiştir. Kaynak gerilimi artışına bağlı olarak 130 V'dan 140 V'a kadar bir miktar artış görölürken, 140 V'dan 180 V'a kadar ise bir miktar azalma tespit edilmiştir.

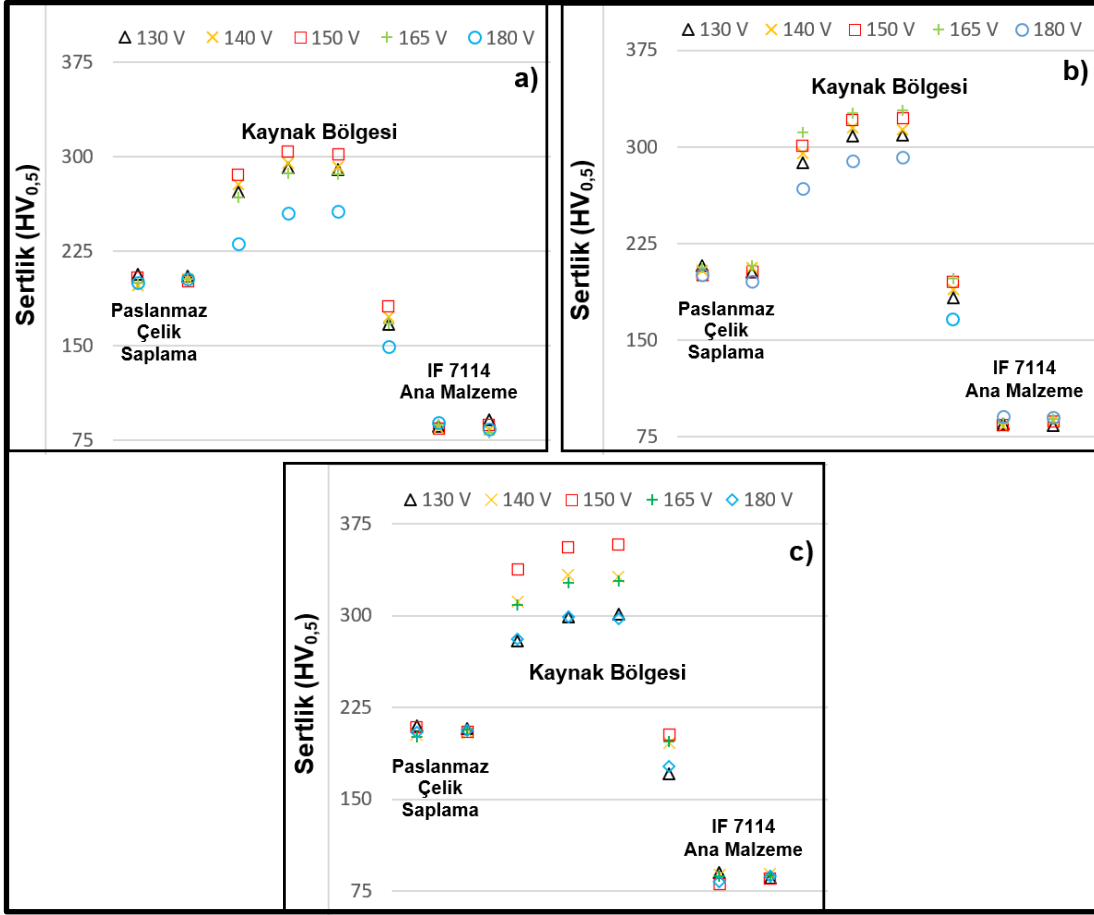
Paslanmaz elik saplamalara uygulanan sertlik ölçüm sonuçları izelge 6.6'da grafikleri ise şekil 6.13'te verilmiştir.

Çizelge 6.6. Paslanmaz çelik saplama numunelerin sertlik ölçüm sonuçları.

Saplama Çapı	Kaynak Gerilimi (V)	Sertlik Değeri (Vickers)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Saplama		Kaynak Bölgesi			IF 7114		
		ITAB	Kaynak Metali	ITAB					
M5	130	207	205	272	291	290	167	86	91
	140	198	203	278	295	292	173	85	83
	150	204	201	286	304	302	181	84	87
	165	200	202	268	287	286	168	88	81
	180	200	203	231	255	257	149	89	84
M6	130	208	203	288	308	309	183	85	84
	140	204	206	295	315	313	189	83	88
	150	200	203	301	321	322	195	84	87
	165	206	208	311	326	328	198	86	89
	180	201	196	268	289	292	166	91	90
M8	130	210	208	279	299	301	171	90	86
	140	203	204	311	333	332	196	88	89
	150	209	205	338	356	358	203	81	85
	165	201	207	309	327	328	197	87	88
	180	205	206	281	299	297	177	83	87

Çizelge 6.6 ve Şekil 6.13'teki paslanmaz çelik saplama numunelerin sertlik değerleri genel olarak değerlendirildiğinde, kaynak metalinden saplama malzemesine (sağ taraf) ve kaynak metalinden ana malzemeye (IF 7114) doğru ilerledikçe (sol taraf) sertlik değerlerinde azalma olmaktadır. En yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB'lar (paslanmaz çelik saplama ITAB > IF 7114 ITAB) ve ana malzemeler (paslanmaz çelik saplama ana malzeme > IF 7114 ana malzeme) takip etmektedir.

Paslanmaz çelik saplama, farklı saplama çapları ve farklı kaynak gerilimleri kullanılarak birleştirilen sertlik test sonuçları değerlendirildiğinde ise en yüksek sertlik değeri, fazla fark olmamakla birlikte M8 saplama çapında 150 V kaynak geriliminde 358 ± 5 HV olarak ölçülmüştür. Ek olarak, paslanmaz çelik saplama ana malzemesi sertlik değeri 205 ± 5 HV olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.13. Paslanmaz çelik saplama nunuellerin sertlik garfikleri a) M5 b) M6 c) M8

Saplama çapının sertlik değerlerine olan etkisi değerlendirildiğinde ise, M5 saplama çapı, 150 V kaynak geriliminde paslanmaz çelik ITAB 286 ± 5 HV, kaynak metali 304 ± 5 HV ve IF 7114 ITAB 181 ± 5 HV olarak tespit edilmiştir. M6 saplama çapında ve aynı parametrelerde sırasıyla 301 ± 5 HV, 322 ± 5 HV ve 195 ± 5 HV olarak ölçülürken, M8 saplama çapında ise 338 ± 5 HV, 358 ± 5 HV ve 203 ± 5 HV olarak ölçülmüştür. Saplama çapı artışına bağlı olarak sertlik değerlerin de belirgin olmamakla birlikte bir miktar artış tespit edilmiştir.

Kaynak geriliminin sertlik değerlerine olan etkisi incelendiğinde ise, M8 saplama çapı, 130 V kaynak geriliminde paslanmaz çelik ITAB 279 ± 5 HV, kaynak metali 301 ± 5 HV ve IF 7114 ITAB 171 ± 5 HV olarak tespit edilmiştir. 140 V kaynak gerilimi ve aynı parametrelerde sırasıyla 311 ± 5 HV, 333 ± 5 HV ve 196 ± 5 HV, 150 V kaynak geriliminde 338 ± 5 HV, 358 ± 5 HV ve 203 ± 5 HV, 165 V kaynak geriliminde 309 ± 5 HV, 328 ± 5 HV ve 197 ± 5 HV, son olarak 180 V kaynak geriliminde ise 281 ± 5 HV, 299 ± 5

HV ve 177 ± 5 HV olarak belirlenmiştir. Kaynak gerilimi artışına bağlı olarak 130 V'dan 150 V'a kadar bir miktar artış görülürken, 150 V'dan 180 V'a kadar ise bir miktar azalma tespit edilmiştir.

Bakır kaplamalı çelik saplamalar ile paslanmaz çelik saplamalar birbiriyle kıyaslandığında ise paslanmaz çelik saplamaların bakır kaplamalı çelik saplamalara göre daha yüksek sertlik sonuçlarına sahip olduğu görülmüştür.

Bakır kaplamalı çelik saplama ve paslanmaz çelik saplamaların kaynak bölgesi sertlik artışına, hızlı soğumanın sebep olduğu düşünülmektedir. Saplama çapı artışına bağlı olarak sertliğin de artmasının sebebinin de saplama çapı artışına bağlı olarak artan soğuma hızı gösterilebilir. Kaynak gerilimi artışının belirli bir voltaja kadar sertliği arttırması belirli voltajdan sonra ise sertliği azalmasının sebebinin ise, düşük kaynak gerilimlerinde yetersiz ergime ve buna bağlı olarak oluşan boşlukların birleşmemiş bölgeler meydana getirmesi, benzer şekilde yüksek kaynak geriliminin de kaynak banyosunda sıvı metalin fişkırmasıyla (flash) oluşan boşlukların birleşmemiş bölgeler meydana getirmesiyle sertliğin azaldığı düşünülmektedir.

Ercan (2011) 3 mm kalınlığındaki bakır kaplamalı çelik saplamaları, 3 mm ve 5 mm kalınlığındaki bakır levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile 100 V, 120 V, 150 V, 180 V ve 200 V kaynak gerilimleri kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan sertlik testleri sonrasında, en yüksek sertliğin kaynak metalinden elde edildiği onu sırasıyla saplama ve levhaların ITAB'ları ve ana malzemelerin (saplama ve levha) izlediğini bildirmiştir. Saplama çapı ve kaynak gerilimi aynı olsa da bakır levha kalınlığının artmasıyla kaynak bölgesi ve ITAB sertliklerinin de arttığı bunun sebebinin de artan soğuma hızı olduğunun düşünüldüğü rapor edilmiştir.

Gündoğdu (2011) 5 mm çapındaki saplamaları 5 mm kalınlığındaki alüminyum levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile 100 V, 130 V, 150 V, 180 V ve 200 V kaynak gerilimleri kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan sertlik testleri sonrasında, kaynak gerilimi artışına bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı, düşük kaynak geriliminde düşük sertlik değeri elde edildiği, kaynak gerilimi arttığında ise sertlik değerinin arttığını bildirmiştir.

İmdat vd. (2016) 10 mm kalınlığındaki Grade A gemi sacına 18 mm çapındaki saplamaları farklı akım değerleri (900 A, 1200 A, 1500 A ve 2000 A) kullanarak birleştirmişler ve sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerinin kaynak metalinden ölçüldüğü, onu sırasıyla saplama malzemesi ve Grade A gemi sacının izlediği, kaynak bölgesinde sertliğin yüksek olmasının sebebinin kaynak sonrası hızlı soğuma olduğu tespit edilmiştir.

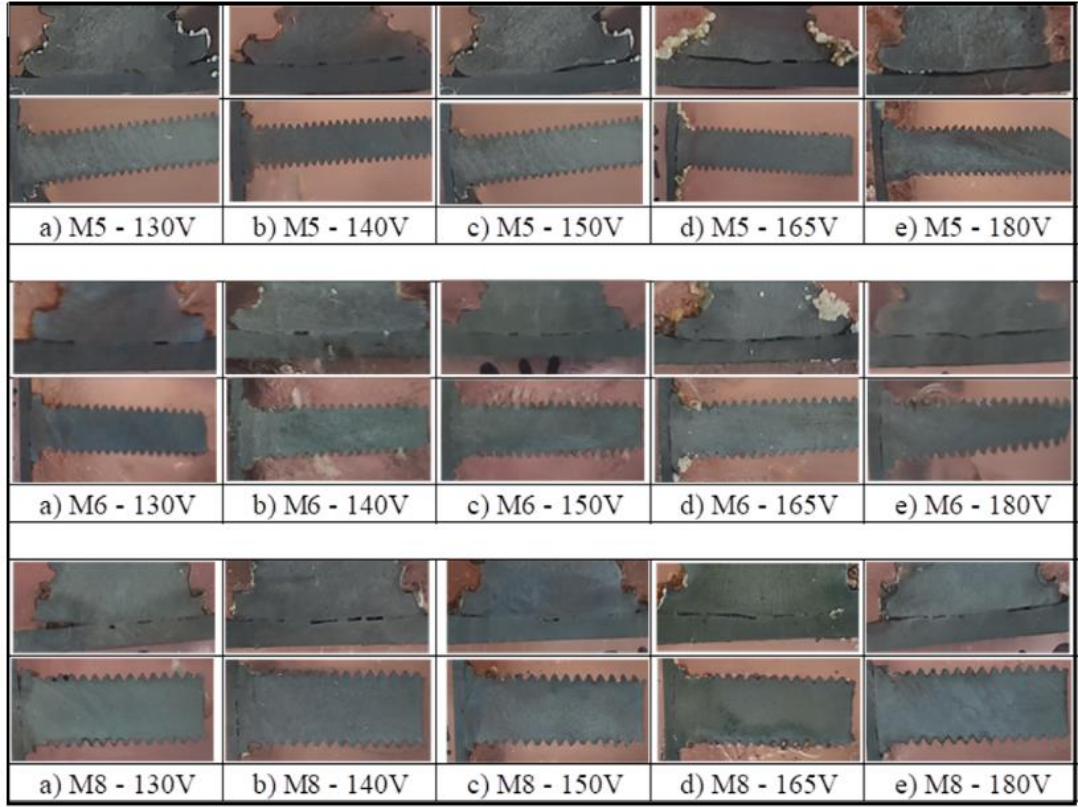
Niğış vd. (2015) 10 mm kalınlığındaki Grade A gemi sacına 18 mm çapındaki saplamaları farklı kaynak parametreleri (900 A-0,5 sn, 1200 A-0,6 sn, 1600 A-0,8 sn ve 2000 A-1 sn) kullanarak saplamalı kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve birleştirmelere uygulanan sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerinin kaynak metalinden ölçüldüğü bildirilmiştir.

Atmaca vd. (2014), Inconel 718 süperalaşım malzemeye 5 mm çapında çelik saplamalar kondansatör boşaltmalı saplama kaynak yöntemi ile 130, 150 ve 180 V kaynaklı birleştirme uygulaması yapmışlar ve sertlik incelemesi sonucunda, en düşük ve en yüksek kaynak gerilimlerinde sertlik değerinin düştüğü, orta kaynak geriliminde ise sertliğin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca en yüksek sertlik değerinin kaynak bölgesinden elde edildiği bildirilmiştir.

6.5. METALOGRAFİK İNCELEMELER

6.5.1 Makroyapı

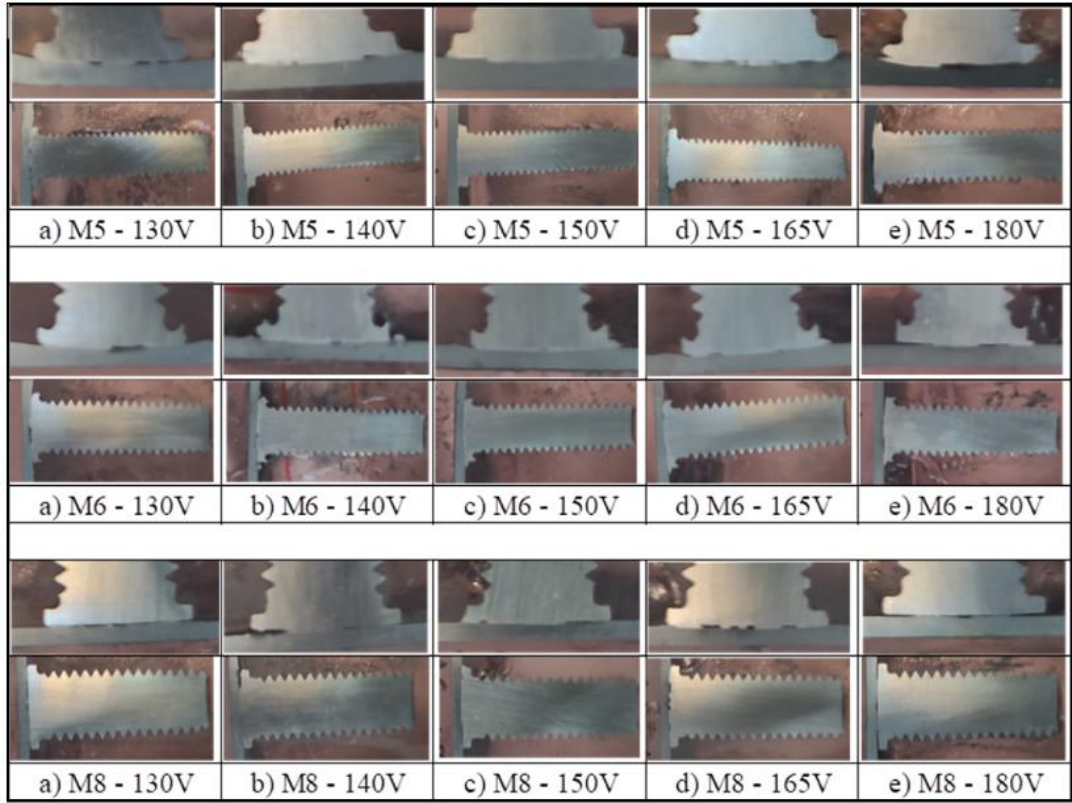
Saplama kaynağı yöntemi kullanılarak farklı saplama tipleri, farklı saplama çapları ve farklı kaynak gerilimleri kullanarak birleştirilen numunelere makroyapı incelemeleri yapılmıştır. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.14'te verilmiştir.



Şekil 6.14. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri.

Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri incelendiğinde, M5 saplama çapında, 130 V kaynak geriliminde neredeyse tamamen birleştirme sağlanırken, kaynak gerilimi 140 V'tan 180 V'a arttırıldığında birleştirme arayüzeyinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, M6 saplama çapında, 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinde neredeyse tamamen birleştirme sağlanırken, kaynak gerilimi 165 V'tan 180 V'a arttırıldığında birleştirme arayüzeyinin azaldığı görülmüştür. Ek olarak, M8 saplama çapında, 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinde neredeyse tamamen birleştirme sağlanırken, kaynak gerilimi 165 V'tan 180 V'a arttırıldığında birleştirme arayüzeyinin azaldığı görülmüştür. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri değerlendirildiğinde, M5, M6 ve M8 saplama çapında, 180 V kaynak geriliminde birleştirme arayüzeyinde çok az bir birleştirme meydana geldiği tespit edilmiştir.

Paslanmaz çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15. Paslanmaz çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri.

Paslanmaz çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri incelendiğinde, M5, M6 ve M8 saplama çapında, 130 V, 140 V, 150 V ve 165 V kaynak geriliminde neredeyse tamamen birleştirme sağlanırken, 180 V kaynak geriliminde ise birleştirme arayüzeyinin azaldığı görülmüştür. Paslanmaz çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri değerlendirildiğinde, M5, M6 ve M8 saplama çapında, 180 V kaynak geriliminde diğer numunelere göre birleştirme arayüzeyinin azaldığı tespit edilmiştir.

Bakır kaplamalı çelik saplama ve paslanmaz çelik saplama makroyapı numuneleri kıyaslandığında, paslanmaz çelik saplama bakır kaplamalı çelik saplama göre tüm saplama çaplarında daha iyi bir birleşme sağladığı ve daha iyi nüfuziyete sahip olduğu belirlenmiştir.

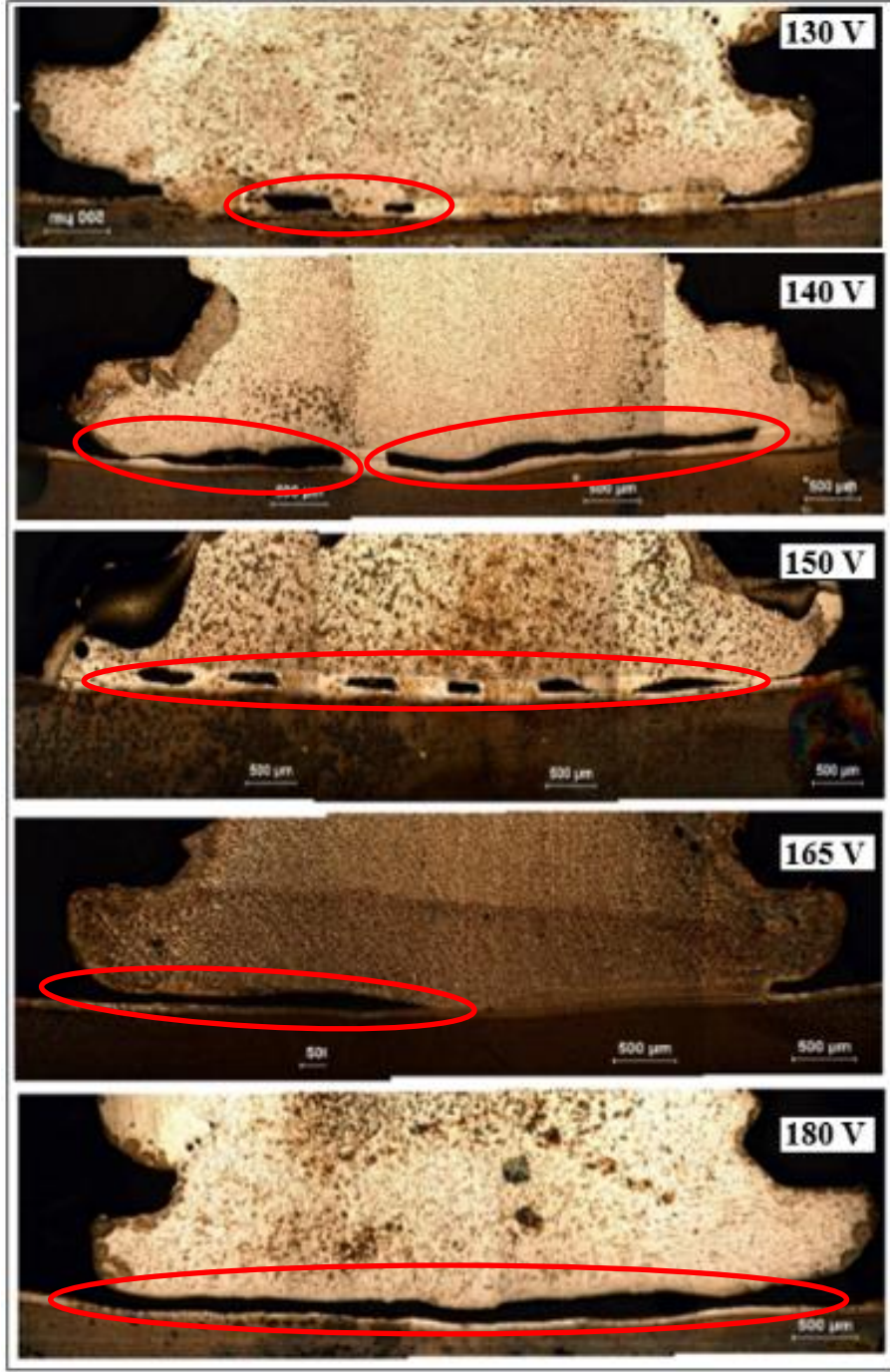
6.5.2 Mikroyapı

Saplama kaynağı yöntemi farklı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilen numunelere mikroyapı incelenmeleri yapılmıştır. Bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.16-6.18’de verilmiştir.

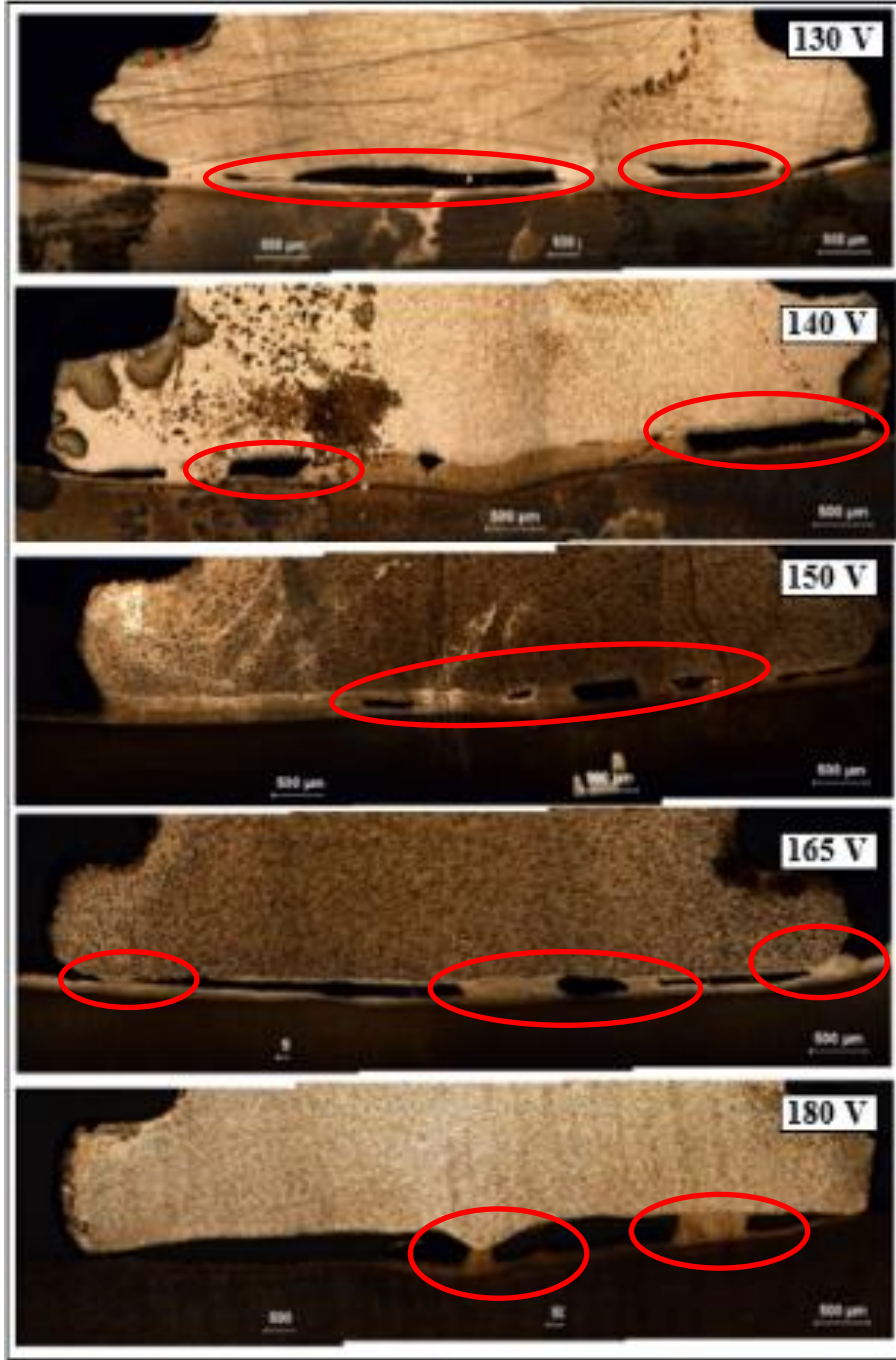
Şekil 6.16’daki M5 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, 130 V kaynak geriliminde küçük gözenekler olmasına rağmen genel olarak birleşme sağlandığı görülmüştür. 140 V kaynak geriliminde sadece iki küçük bölgede birleştirme sağlanırken, büyük boşluklar göze çarpmıştır. 150 V kaynak geriliminde fazla sayıda küçük gözenekler olmasına rağmen bazı bölgelerde birleşme sağlandığı görülmüştür. 165 V kaynak geriliminde sol tarafta birleştirme sağlanmazken, sağ tarafta ise çatlaklı bir birleşme sağlanmıştır. 180 V kaynak geriliminde ise neredeyse hiç birleştirme olmadığı görülmüştür.

Şekil 6.17’daki M6 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, 130 V kaynak geriliminde üç küçük bölgede birleştirme sağlanırken, büyük boşluklar fark edilmiştir. 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinde birkaç boşluk/gözenek olmasına rağmen genel olarak birleşme sağlandığı görülmüştür. 165 V ve 180 V kaynak gerilimlerinde sadece iki küçük bölgede birleştirme sağlanırken, büyük boşluklar göze çarpmıştır.

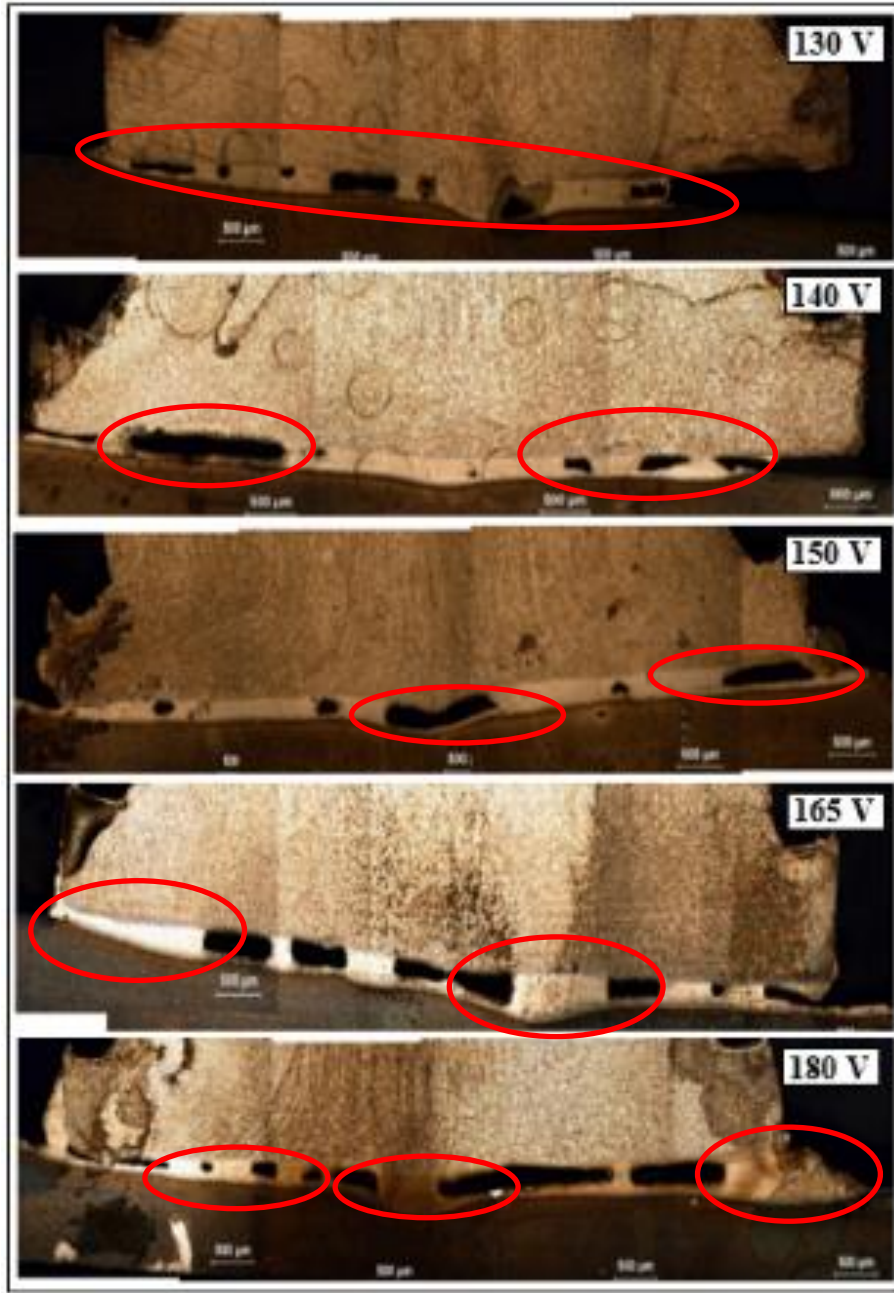
Şekil 6.18’daki M8 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinde az sayıda gözenek olmasına rağmen genel olarak birleşme sağlandığı görülmüştür. 165 V ve 180 V kaynak gerilimlerinde ise birkaç küçük bölgede birleştirme sağlanırken, irili faklı büyük boşluklar göze çarpmıştır.



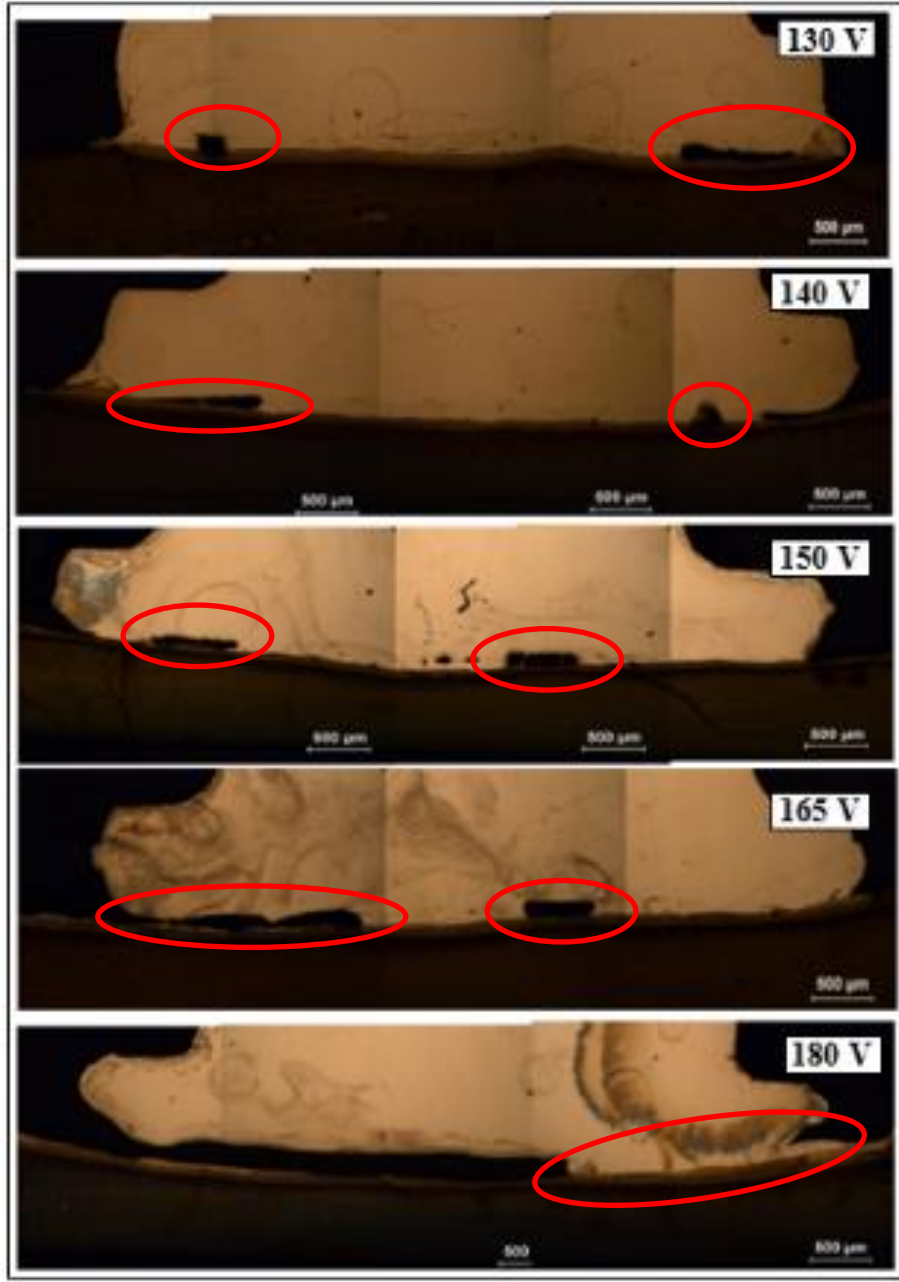
Şekil 6.16. M5 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.



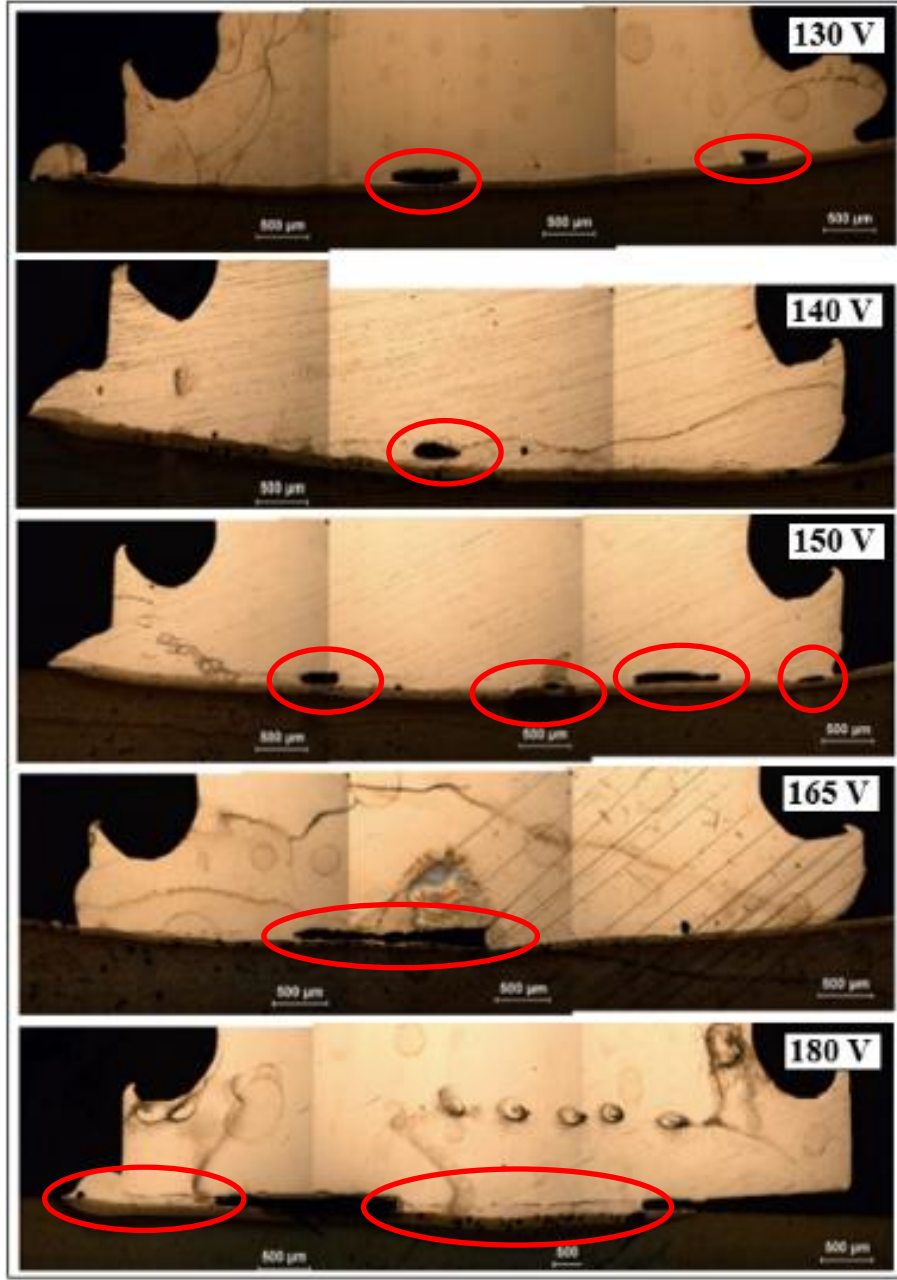
Şekil 6.17. M6 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.



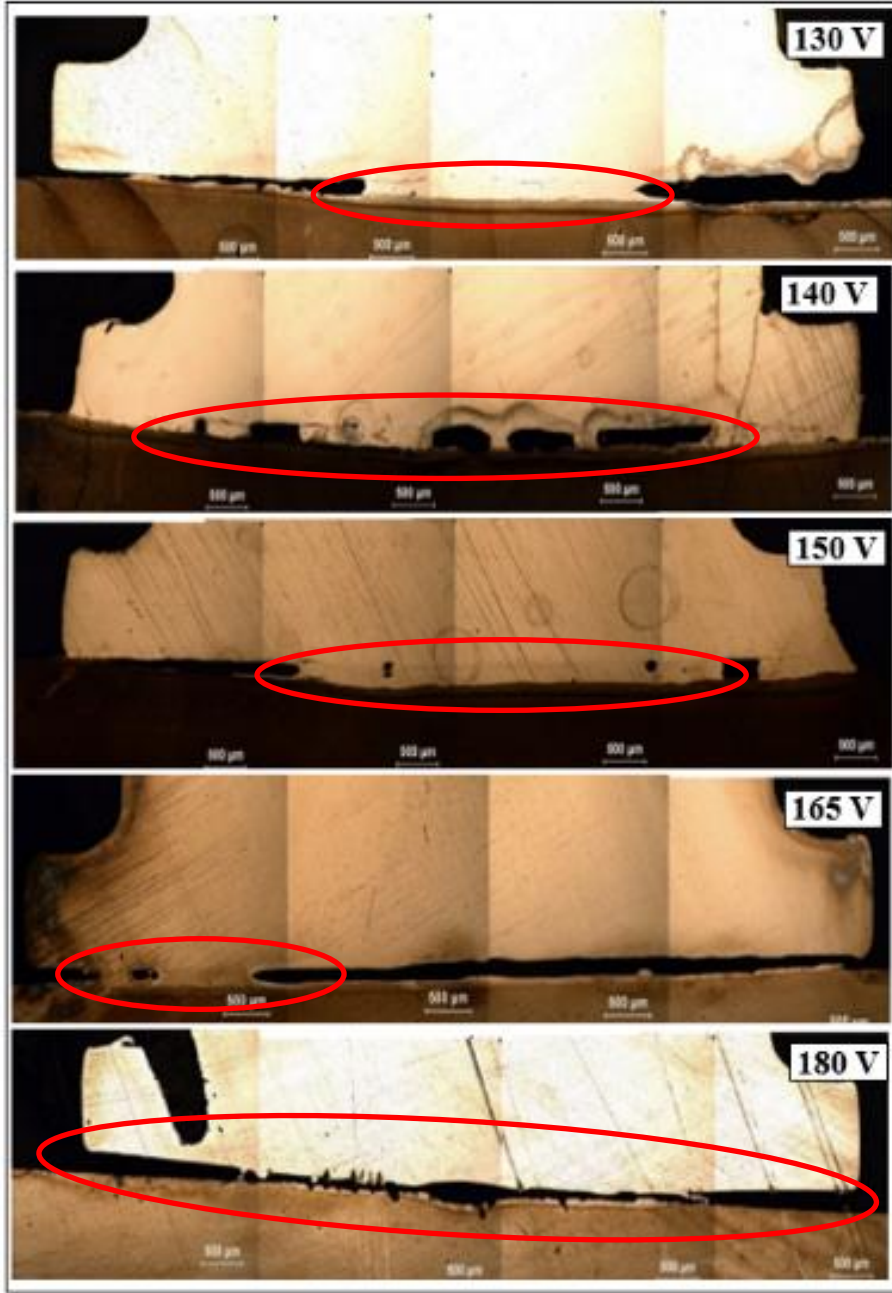
Şekil 6.18. M8 saplama çapına sahip bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.19. M5 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.20. M6 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.21. M8 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.19'daki M5 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, 130 V, 140 V 150 V ve 165 V kaynak gerilimlerinde az sayıda gözenek/boşluk olmasına rağmen genel olarak birleşme sağlandığı görülmüştür. 180 V kaynak geriliminde ise sağ tarafta bir bölgede birleştirme sağlanırken, sol tarafta ise büyük boşluk nedeniyle birleştirme sağlanamamıştır.

Şekil 6.20'deki M6 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, 130 V, 140 V 150 V ve 165 V kaynak gerilimlerinde yine az sayıda gözenek/boşluk olmasına rağmen genel olarak birleşme sağlandığı görülmüştür. 180 V kaynak geriliminde ise büyük boşluklar nedeniyle az bir birleştirme sağlanamamıştır.

Şekil 6.21'deki M8 saplama çapına sahip paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, 130 V, 140 V ve 150 V kaynak gerilimlerinde bir miktar gözenek/boşluk olmasına rağmen genel olarak birleşme sağlandığı görülmüştür. 165 V kaynak geriliminde sol tarafta az bir birleştirme sağlanmışken sağ tarafta ise birleştirme sağlanamamıştır. 180 V kaynak geriliminde ise neredeyse hiç birleştirme olmadığı görülmüştür.

Bakır kaplamalı çelik saplama numune ve paslanmaz çelik saplama numune mikroyapıları kıyaslandığında, tüm saplama çaplarında paslanmaz çelik saplamaların bakır kaplamalı çelik numunelere göre daha iyi birleştirme arayüzeyine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ercan (2011) 3 mm kalınlığındaki bakır kaplamalı çelik saplamaları, 3 mm ve 5 mm kalınlığındaki bakır levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile 100 V, 120 V, 150 V, 180 V ve 200 V kaynak gerilimleri kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan mikroyapı incelemeleri sonrasında, kaynak akımı artışına bağlı olarak kaynak arayüzeyinde gözenek oluşumunun arttığı bildirilmiştir.

Gündoğdu (2011) 5 mm çapındaki saplamaları 5 mm kalınlığındaki alüminyum levhalara saplamalı kaynak yöntemi ile 100 V, 130 V, 150 V, 180 V ve 200 V kaynak gerilimleri kullanarak birleştirmiş ve birleştirmelere uygulanan mikroyapı incelemeleri sonrasında, artan kaynak geriliminin ısıyı arttırarak ergiyen metal miktarını arttırdığı, bunun ise soğuma süresini uzattığı, uzayan soğuma süresiyle kaynak arayüzeyi kalınlığının da arttığı, fakat artan kaynak geriliminin ise optimum değer üzerinde ergiyen metal sıçramasıyla (fişkırma) birleştirmelerin kaynak arayüzeyi kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, IF 7114 sacı üzerine M5, M6 ve M8 çapında, bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik saplama, 130 V, 140 V, 150 V, 165 V ve 180 V kaynak gerilimleri kullanılarak kaynaklanmıştır. Farklı kaynak parametrelerinin kaynak bölgesi mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemek amacıyla çekme, eğme ve tork testleri yapılmıştır. Ayrıca kaynaklı numuneler üzerinde sertlik, makroyapı ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonrasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik saplama numunelerde, en yüksek çekme dayanımı M8 saplama çapı ve 150 V kaynak geriliminde, en düşük çekme dayanımı ise M5 saplama çapı ve 180 V kaynak geriliminde birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca, paslanmaz çelik saplama numunelerin, bakır kaplamalı çelik saplama numunelere göre daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Bakır kaplamalı çelik saplama numuneler ile paslanmaz çelik saplama numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri karşılaştırıldığında ise, bakır kaplamalı çelik saplama numunelerin belirli parametrelerde başarılı olduğu görülürken, paslanmaz çelik saplama numunelerin ise neredeyse tamamen başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca, paslanmaz çelik saplama numunelerin, bakır kaplamalı çelik saplama numunelere göre daha yüksek eğme mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik saplama numunelerin tork testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek tork dayanımı M8 saplama çapı ve 150 V kaynak gerilimlerinde, en düşük tork dayanımı ise M5 saplama çapı ve 180 V kaynak gerilimlerinde birleştirilen saplama kaynaklı numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca,

paslanmaz çelik saplama numunelerin, bakır kaplamalı çelik saplama numunelere göre daha yüksek tork dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik saplama numunelerde, en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB'lar (bakır kaplamalı çelik saplama ITAB > IF 7114 ITAB) ve ana malzemeler (bakır kaplamalı çelik saplama ana malzeme > IF 7114 ana malzeme) takip etmektedir. Ayrıca, paslanmaz çelik saplamaların bakır kaplamalı çelik saplamalara göre daha yüksek sertlik sonuçlarına sahip olduğu görülmüştür.
- Bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik saplama numunelerin makroyapı görüntüleri değerlendirildiğinde, M5, M6 ve M8 saplama çapında, 180 V kaynak geriliminde diğer numunelere göre birleştirme arayüzeyinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, paslanmaz çelik saplamaların bakır kaplamalı çelik saplamalara göre tüm saplama çaplarında daha iyi bir birleşme sağladığı ve daha iyi nüfuziyete sahip olduğu belirlenmiştir.
- Bakır kaplamalı çelik ve paslanmaz çelik saplama numunelerin mikroyapı görüntüleri kıyaslandığında, tüm saplama çaplarında paslanmaz çelik saplamaların bakır kaplamalı çelik numunelere göre daha iyi birleştirme arayüzeyine sahip olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Abbas, E. N., Omran, S., Alali, M., Abbas, M. H., Abood, A. N., “Dissimilar Welding of AISI 309 Stainless Steel to AISI 1020 Carbon Steel Using Arc Stud Welding”, *International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)*, (2018).

Akay, S. K., “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çift Fazlı Çeliklerin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2005).

Anık, S., Vural, M., “Özel Kaynak Yöntemleri (Sürtünme, Soğuk Basınç, Dar Aralık, Patlamalı ve Difüzyon Kaynağı ve Yapıştırma)”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi*, İstanbul, (1993).

Atmaca, E. S., Algan, İ. B., Kurt, A., “Saplama Kaynak Yöntemi ile INCONEL 718 Süperalaşım malzemenin Kaynaklanabilirliği”, *3. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi*, (2014).

Başığit, A. B., Kurt, A., “Investigation of the Weld Properties of Dissimilar S32205 Duplex Stainless Steel with AISI 304 Steel Joints Produced by Arc Stud Welding”, *Open Access Metallurgy Journal*, (2017).

Chambers, H. A., “Principles and Practices of Stud Welding”, *PCI Journal*, (2001).

Çakmakaya, M., Yönetken, A., Erol, A., “Kondansatör Deşarjlı Saplama Kaynağı Kaynak Voltunun AA6082 Alüminyum Alaşımında Birleşmeye Etkisi” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 43-49 (2016).

Ekici, M., “IF Çeliklerinin Mig-Brazing Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2016).

Erol, H. A., “Arc Stud Welding for Hollow Parts” *University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences*, Gaziantep, (2018).

Ercan, İ., “Saplama Kaynak Metodu ile Birleştirilen Bakır Malzemelerin Birleştirme Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2011).

Güleç, S., Çakmakaya, M., “Demir Esaslı İntermetalik Malzemelere Paslanmaz Çelik, Çelik ve Alüminyum Saplamaların Kondansatör Deşarjlı Saplama Kaynağı ile Birleştirilmesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (2013).

Gündoğdu, E., “Saplama Kaynağı ile Birleştirilmiş Saplama ların Kaynak Bölgelesinin Mekanik ve Metalurjik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2011).

Hameed F. H., Mohamed, M. T., Nawi, S. A., Gattmah, J., “Dissimilar Arc Stud Welding AISI 304/AISI 1008: Mechanical Properties” *2nd International Scientific Conference of Engineering Sciences (ISCES 2020)*, 1076 (2021).

Hamza, A. A., “Investigation of The Effect of Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Arc Stud Welding” *University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences*, Gaziantep, (2014).

Hasanbaşoğlu, A., “Direnç Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen IF Çelikleri ile Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyetlerinin Belirlenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, (2005).

Hasanbaşoğlu, A., Kaçar, R., Gündüz, S., Gülenç, B., “Akım şiddetinin AISI 304- IF 7114 direnç kaynaklı birleştirmeleri özelliklerine etkisi”, *Kaynak Teknolojisi V. Ulusal Kongresi, Kocaeli*, 45-52 (2005).

Hayat, F., Demir, B., Aslanlar, S., “Nokta Direnç Kaynak Süresinin IF 7114 Çeliği Birleştirmelerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *IV. Demir -Çelik Kongresi*, (2007).

Hayat, F., “Trip Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, (2010).

İmdat, K., Kaya, Y., Gülenç, İ. T., Yıldırım, M. S., Durgutlu, A., Gülenç, B., Kahraman, N., “An Investigation Into the Application of Stud Welding to Grade a Ship Steel”, *4th International Conference on Welding Technologies and Exhibition (ICWET'16)*, (2016).

İnternet: Yu-ne-ka Metal San. Ve Tic. Ltd. şti., Kaynak Teknolojisinin Tarihsel Gelişimi, <https://yuneka.com.tr/kaynak-teknolojisinin-tarihsel-gelisimi/> (2022)

İnternet: Arcelor Mittal Global Automotive& Mobility Solutions, Products, <https://automotive.arcelormittal.com/products/flat/HYTSS/IF> (2022)

Kaya, K., “Östenitik Paslanmaz Çelik ve IF Çeliğinin Nokta Direnç Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2022).

Kaya, Y., “Titanium Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2010).

Kumru, U. C., “Otomotivde Yaygın Kullanılan Saplama Bağlantı Elemanlarının Kaynaklanabilirliğinin Altı Sigma Metodu ile Optimizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul, (2021).

Niğiş, M., İmdat, K., Kaya, Y., Durgutlu, A., Güleç, B., Kahraman, N., “Grade A Gemi Sacına Saplama Kaynağı Uygulaması ve Kaynak Bölgesinin Etidü”, **2. Uluslar arası Demir Çelik Sempozyumu (IISS’15)**, Karabük Türkiye, 1-3 Nisan (2015).

Oduncuoğlu, M., Yılmaz, N. F., Kurt, H. İ., “Mathematical Formulation of 304 Stainless Steel Welded Arc Stud Welding Method” **El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi**, Cilt 4 No 3 334-340 (2017).

Özdemir, O. A., şirin, H., Karataş, Ç., “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelik Saclardaki Alaşım Elementlerinin şekillendirmeye Etkisinin Araştırılması”, **Fen Bilimleri Dergisi-Part C Tasarım ve Teknoloji**, (2017).

Samardžić, I., Kladarić, I., Klarić, S., “The Influence of Welding Parameters on Weld Characteristics in Electric Arc Stud Welding”, **Metalurgija** 48-3, (2009).

Yıldız, İ., “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Sacların şekillenebilirlik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2006).

Yılmaz, N. F., Hamza, A. A., “Effect of Process Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Arc Stud Welds” **Materials Testing for Welding Applications**, 56 10 806-811 (2014).

Yılmaz, N. F., Çakır, M. V., Yılmaz, M., “Saplama Kaynak Bağlantılarının Çekme Dayanımının ANFIS ile Modellenmesi”, **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi** 31, (2016).

Yılmaz, N. F., Kurt, H. İ., Oduncuoğlu, M., Yılmaz, M., “Ark Saplama Kaynak Parametrelerinin 6013-T6 Alüminyum Alaşımları Kaynak Bölgesi Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkileri”, **El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi** Cilt: 4, No: 3, (2017).

ÖZGEÇMİŞ

Fatma ÇİNAY; ilk ve orta öğrenimini Eskişehir’de tamamladı, Eskişehir Anadolu Teknik ve Meslek Lisesi, Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Mekatronik alanından mezun olduktan sonra 2011 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2017’de mezun oldu. 2017 yılından bu yana tam zamanlı olarak Otomotiv endüstrisinde, 2021 yılı itibariyle de Feka Mold A.Ş. şirketinde Kalıp Proje Mühendisi olarak çalışmaktadır.