



**FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ORTA
FREKANS KAYNAK MAKİNELERİ İLE DİRENÇ
NOKTA KAYNAK KABİLİYETİNİN İNCELENMESİ**

İsmail KAYA

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanları
Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Dr. Tanya Aycan BAŞER**

**FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ORTA FREKANS KAYNAK
MAKİNELERİ İLE DİRENÇ NOKTA KAYNAK KABİLİYETİNİN
İNCELENMESİ**

İsmail KAYA

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

**Tez Danışmanları:
Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Dr. Tanya Aycan BAŞER**

**KARABÜK
Haziran 2022**

İsmail KAYA tarafından hazırlanan “FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ORTA FREKANS KAYNAK MAKİNELERİ İLE DİRENÇ NOKTA KAYNAK KABİLİYETİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Ana bilim Dalı

Dr. Tanya Aycan BAŞER
2. Tez Danışmanı, Coşkunöz Kalıp Makina A.Ş., Bursa

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Hayriye ERTEK EMRE (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.”

İsmail KAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ORTA FREKANS KAYNAK MAKİNELERİ İLE DİRENÇ NOKTA KAYNAK KABİLİYETİNİN İNCELENMESİ

İsmail KAYA

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Dr. Tanya Aycan BAŞER

Haziran 2022, 92 sayfa

Her geçen yıl daha da gelişen otomotiv endüstrisinde alüminyum kullanımı sürekli olarak artmaktadır. Alüminyum kullanımının artmasının en önemli nedenleri; alüminyumun hafifliğinin yanı sıra yüksek mukavemet, korozyon direnci ve yüksek şekillendirilebilirliğe sahip olmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımları, yüksek karbon emisyon değerlerini azaltmak ve yakıt tüketiminden tasarruf etmek için gerekli malzemelerin seçiminde otomotiv endüstrisinde önemli bir kullanım alanına sahiptir. 5XXX serisi (Al-Mg) ve 6XXX (Al-Mg-Si) serisi alüminyum alaşımları birçok otobüs ve otomobil iç ve dış panellerinde geniş uygulama alanına sahiptirler. AA5754 ve AA6063 serileri bu alaşım grubunda en çok tercih edilen ve ticari olarak temin edilebilen serilerdir.

Bu çalışmada AA5754 ve AA6063 serisi alüminyum alaşımları kendi aralarında (AA5754-AA5754 ve AA6063-AA6063) ve birbirleri ile (AA5754-AA6063) doğru akımda MFDC (orta frekans doğru akım) teknolojisi kullanılarak birleştirilmişlerdir. Çalışmada birleştirilen malzemelerin kaynak bölgesini karakterize edebilmek için mikrosertlik ölçümleri ile optik mikroskop incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri çekme-makaslama ve çapraz-çekme testi ile belirlenirken korozyon dayanımları ise tuz sisi korozyon testi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmalar sonucunda tüm birleştirmelerde arayüzeyde gözenek hatalarına rastlanmış olmasına rağmen bu hataların çekme-makaslama ve çapraz-çekme testlerinde mekanik özelliklerini etkilemedikleri (tüm testlerde kopmalar kaynak çekirdeği etrafındaki ITAB'da meydana geldi) ancak bu hataların korozyon dayanımında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Alüminyum alaşımları, Orta frekans doğru akım (MFDC) elektrik direnç nokta kaynağı (RSW),

Bilim Kodu : 91511

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF SPOT RESISTANCE WELDABILITY OF DISSIMILAR ALUMINUM ALLOYS BY MEDIUM FREQUENCY WELDING MACHINES

İsmail KAYA

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

Thesis Advisors

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Dr .Tanya Aycan BAŞER

June 2022, 92 pages

The use of aluminum in the automotive industry, which is developing more and more each year, increases year by year. The most important reasons for the increase in the use of aluminum are; Besides the light-weight of aluminum, it has wide high strength, corrosion resistance and high formability. Due to these properties, aluminum alloys have an important area of use in the automotive industry in the selection of required materials to reduce high carbon emission values and to save fuel consumption. 6XXX series (Al-Mg-Si) and 5XXX (Al-Mg) series aluminum alloys have a wide application area in many bus and automobile inner and outer skin panels. AA6063 and AA5754 series are the mostly preferred and commercially available in this alloy group.

In this study, AA5754 and AA6063 series aluminum alloys were joined with similar (AA5754-AA5754 and AA6063-AA6063) and dissimilar (AA5754-AA6063) using MFDC technology in direct current. Microhardness measurements and optical microscope examinations were carried out to characterize the weld zone of the joined materials. While the mechanical properties of welded joints were determined by tensile-shear and cross-tensile tests, their corrosion resistance was tried to be determined by salt spray corrosion test. As a result of the studies, it was determined that although pore defects were encountered at the interface in all joints, these defects did not affect the mechanical properties in tensile-shear and cross-tensile tests (rupture occurred in the ITAB around the weld core in all tests), but these defects were effective in corrosion resistance.

Key Word : Aluminum alloys, medium frequency direct current (MFDC), resistance spot welding (RSW).

Science Code : 91511

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının araştırılmasında, planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, bana vakitlerini ayırarak çok kıymetli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren; Lisans ve Yüksek Lisans tez danışmanım çok değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a ve 2. Danışmanım COŞKUNÖZ Holding AR-GE Mühendisi Dr. Tanya Aycan BAŞER'a ve yine COŞKUNÖZ Holding AR-GE Mühendisi Dr. Mehtap HIDIROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca kaynaklı birleştirme işlemlerinin gerçekleşmesinde her türlü imkanı sağlayan ve büyük emekleri geçen Sayın Ünal KAHRAMAN'a, Halit GÜMLEMEÇ'e ve UNİS MAKİNA Fabrikası çalışanlarına teşekkür ederim.

Ve son olarak maddi ve manevi yardımı esirgemediğim yanımda oldukları için eşim Şenay KAYA'ya ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	4
2.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARIN SINIFLANDIRILMASI.....	8
2.1.1. Isıl İşlem Uygulanabilen Alüminyum Alaşımları.....	9
2.1.2. Isıl İşlem Uygulanamayan Alüminyum Alaşımları.....	10
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OTOMOBİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI	12
2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARIN BİRLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	14
2.3.1 Ergitmeli Kaynak yöntemleri	14
2.3.1.1 Gaz Kaynağı.....	14
2.3.1.2. Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı.....	15
2.3.1.3. Gaz Altı Kaynağı	16
2.3.1.4. Plazma Kaynağı	17
2.3.1.5. Lazer Işın Kaynağı.....	18
2.3.1.6. Elektrik Direnç Kaynağı	19

Sayfa

2.3.2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri	23
2.3.2.1. Soğuk Kaynak	23
2.3.2.2. Sürtünme Kaynağı	24
2.3.2.3. Patlatmalı Kaynak	25
2.3.2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı	25
2.3.2.5. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı	26
2.3.2.6. Ultrasonik Kaynak Yöntemi	27
2.3.2.7. Yüksek Frekans Kaynağı	28
 BÖLÜM 3	29
ÖNCEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	29
3.1. 5XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR	29
3.2. 6XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR	31
3.3. 6XXX-5XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR	32
3.4. MFDC YÖNTEMİ KULLANILARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR	34
 BÖLÜM 4	37
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
4.1. MALZEMELER	37
4.2. KAYNAK MAKİNASI	38
4.3. KAYNAK ELEKTRODU VE KALIPLARI	40
4.4. KAYNAK İŞLEMLERİ	41
4.5. KAYNAKLI NUMUNELERİN KARAKTERİZASYON İŞLEMLERİ	43
4.5.1. Numune Hazırlama	43
4.5.2. Makro/Mikroyapı Çalışmaları	43
4.5.3. Çekirdek Çapı ve Elektrod Dalma Derinliği Ölçümleri	45
4.5.4. Sertlik Testleri	45
4.5.5. Çekme-Makaslama Testi	46
4.5.6. Çapraz-Çekme Testi	47
4.5.7. Tuz Sisi Korozyon Testi	49

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	51
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	51
5.1. ELEKTROD DALMA DERİNLİĞİ VE NOKTA ÇAPI ÖLÇÜMLERİ	51
5.2. MAKRO/MİKROYAPI ÇALIŞMALARI	52
5.3. SERTLİK TESTİ.....	60
5.4. ÇEKME-MAKASLAMA TESTİ.....	61
5.5. ÇAPRAZ-ÇEKME TESTİ.....	65
5.6. KOROZYON TESTİ.....	69
5.6.1. Kesit Arayüzeyi Korozyon Testi	70
5.6.2. Yüzey Korozyon Testi	71
 BÖLÜM 6	 76
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR	78
 EK AÇIKLAMALAR A	 85
KOROZYON TEST RAPORLARI	85
 ÖZGEÇMİŞ	 92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. TIG kaynağı şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.2. MIG kaynak yöntemi şematik gösterimi.	17
Şekil 2.3. Plazma ark kaynak yöntemi şematik gösterimi.	18
Şekil 2.4. Lazer ışının oluşum şeması.	19
Şekil 2.5. Direnç nokta kaynak yöntemini çalışma prensibi.	20
Şekil 2.6. Elektrik direnç nokta kaynağı çevrimleri.	20
Şekil 2.7. MFDC orta frekans çevirici ve transformatörlü doğrultucu.....	21
Şekil 2.8. Sürtünme kaynak yöntemi çalışma prensibi.....	24
Şekil 2.9. Patlatmalı kaynak yöntemi görsel gösterimi.	25
Şekil 2.10. Sürtünen eleman ile kaymak yönteminin prensibi.	26
Şekil 2.11. Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin prensibi.....	27
Şekil 2.12. Ultrasonik kaynak makinasın donanımları.....	28
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan malzemeler a) AA5754 ve b) AA6063.....	38
Şekil 4.2. Kaynak işlemlerini gerçekleştirdiği MFDC makine.....	39
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan elektrodun şematik gösterimi.	40
Şekil 4.4. a) Çekme-makaslama ve b) çapraz çekme kalıp görselleri..	41
Şekil 4.5. Kaynak için numune ölçüleri a) çekme-makaslama ve b) çapraz-çekme.	41
Şekil 4.6. Kaynaklı numune örnekleri a) çekme-makaslama ve b) çapraz-çekme....	42
Şekil 4.7. Çalışmada kullanılan cihazlar a) kesme, b) gömme ve c) zımparalama. ..	44
Şekil 4.8. Metalografik çalışmaların yapıldığı optik mikroskop.	44
Şekil 4.9. Kaynaklı numunelerin sertlik ölçüm bölgeleri (Şematik).	45
Şekil 4.10. Sertlik ölçüm cihazı a) genel görünüm ve b) ekran görüntüsü.	46
Şekil 4.11. Çekme makaslama numuneleri, a) AA5754-AA5754, b) AA6063-AA6063 ve c) AA5754-AA6063.....	47
Şekil 4.12. Çekme cihazı; a) cihaz ve ekipmanları, b) test esnasında ekran görüntüsü.	47
Şekil 4.13. Çapraz-çekme numuneleri, a) AA5754-AA5754, b) AA6063-AA6063 ve c) AA5754-AA6063.....	48

Şekil 4.14. Çapraz-çekme testi, a) numune tutucu kalıbı ve b) test esnasındaki görüntüsü	48
Şekil 4.15. NSS testlerinin yapıldığı cihaz.	50
Şekil 5.1. Ana malzemenin mikro yapıları. a) AA5754-H111 ve b) AA6063-T4	52
Şekil 5.2. AA5754-AA5754 kaynak metali mikroyapıları.....	53
Şekil 5.3. AA6063-AA6063 kaynak metali mikroyapıları.....	54
Şekil 5.4. AA5754-AA6063 kaynak metali mikroyapıları.....	55
Şekil 5.5. AA5754-AA5754 birleştirmesinin ısı tesiri altında kalan bölgesi.	57
Şekil 5.6. AA6063-AA6063 birleştirmesinin ısı tesiri altında kalan bölgesi.	58
Şekil 5.7. AA5754-AA6063 birleştirmesinin ısı tesiri altında kalan bölgesi.	58
Şekil 5.8. Sertlik ölçüm sonuçları.....	60
Şekil 5.9. AA5754-H111 ve AA6063-T4 ana malzemelerin çekme sonuçları.	62
Şekil 5.10. Çekme-makaslama grafikleri.	62
Şekil 5.11. Çekme-makaslama testi sonrası kopma görüntüleri.....	64
Şekil 5.12. Çapraz çekme grafikleri.	66
Şekil 5.13. Çapraz-çekme testi sonrası kopma görüntüleri.	67
Şekil 5.14. Çapraz-çekme testi kopma yüzey ölçümleri.	68
Şekil 5.15. Kesit ara yüzey tuz sisi korozyon test sonrası görüntüler.	71
Şekil 5.16. AA5754-AA5754 birleştirmelerin korozyon test sonrası görüntüleri.....	72
Şekil 5.17. AA6063-AA6063 birleştirmelerin korozyon test sonrası görüntüleri.....	73
Şekil 5.18. AA5754-AA6063 birleştirmelerin korozyon test sonrası görüntüleri.....	74
Şekil Ek.1. AA5754-AA5754 kaynak kesit korozyon test raporu.	86
Şekil Ek.2. AA6063-AA6063 kaynak kesit korozyon test raporu.	87
Şekil Ek.3. AA5754-AA6063 kaynak kesit korozyon test raporu.	88
Şekil Ek.4. AA5754-AA5754 nokta yüzey korozyon test raporu.....	89
Şekil Ek.5. AA6063-AA6063 nokta yüzey korozyon test raporu.....	90
Şekil Ek.6. AA5754-AA6063 nokta yüzey korozyon test raporu.....	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.	9
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri	37
Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.	37
Çizelge 4.3. Kaynak makinesi teknik özellikleri.	40
Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri.	42
Çizelge 4.5. NSS korozyon deneyi uygulama değerleri.	49
Çizelge 5.1. Kaynak çekirdek ve nokta ebatları.	51
Çizelge 5.2. Çekme-makaslama test sonuçları.	62
Çizelge 5.3. Çapraz-çekme test sonuçları.	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al : Alüminyum
Cr : Krom
Cu : Bakır
Mg : Magnezyum
Mn : Mangan
Ni : Nikel
Si : Silisyum
Zn : Çinko

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AC : Alternative current (Alternatif Akım)
AMC : Aluminium Matrix Composites (Alüminyum Matris Kompozit)
CEN : European Committee for Standardization (Avrupa Standartlar Komitesi)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
DIN : Deutsche Institute für Normunge (Alman Standartlar Enstitüsü)
ISO : International Organization for Standardization
ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölümlendirme
LCS : Low Carbon Steel (Düşük Karbonlu Çelik)
MAG : Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)
MFDC: (Medium Frequency Direct Current (Orta Frekans Doğru Akım)
MIG : Metal Inert Gas (Metal Inert Gaz)
PWN : Pulse Width Modulation (Darbe Genişliği Modülasyonu)
RSW : Resistance Spot Welding (Direnç nokta Kaynağı)
TIG : Tungsten Inert Gas (Tungsten Inert Gaz)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum (Al), demir-çelikten sonra, üstün mekanik özellikleri sayesinde, çağımızın en çok kullanılan ikinci metali durumundadır. Demir ve bakıra göre daha hafif olması, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması, korozyona karşı direncinin yüksek olması, alaşımlarının sağlamlık ve hafiflik açısından son derece çeşitli olması, işlenebilme ve biçimlendirilebilmesi özelliğinin iyi olması, bu malzemenin kullanımının çok büyük bir hızla yaygınlaşmasına sebep olmuş, böylece bu malzemeyi 21. yüzyıla damgasını vuran bir metal yapmıştır [1].

Alüminyum metalinin alaşım içeriği değiştirilerek ve isteğe uygun ısıt işlemler uygulayarak farklı birçok fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek mümkündür. Alüminyum alaşımlarının hafifliği, kolay şekillendirilebilmesi, yüksek korozyon dayanımı, istenildiği taktirde geliştirilebilen fiziksel ve mekanik özellikleri bu malzemelerin kullanım alanını gün geçtikçe artırmaktadır. Mukavemeti çelik malzemeden düşük olsa da kesit alanı arttırılarak çeliğe benzer mukavemet sağlanmaktadır. Bu malzemelerin konstrüksiyonda kullanılması genellikle ağırlık azaltma avantajı sağlamaktadır [2].

Son yıllarda yakıt tasarrufunun çok önemli hale gelmesi sonucu araç ağırlığını düşürmeye yönelik girişimlerde bulunulmuştur. Örneğin Audi firması A8 modelinin kaporta kısmında hafiflik amaçlı alüminyum alaşımları kullanmıştır. Ancak alüminyum alaşımlarının kaporta imalatında kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı (NDK) ile kaynak edilmesinde yaşanan güçlükler otomotiv kaportasında bu malzemelerin yaygın olarak kullanılmasını geciktirmiştir [3]. Otomotiv sektörü, uzay ve uçak sanayi, hassas cihaz imalatı, elektroteknik ve makine sektörü gibi pek çok alanda kullanılan ince kesitli metal malzemelerin kaynağında yaşanan sorunlar, farklı kaynak türlerinin gelişimini sağlamıştır.

Kesit kalınlığı düşük (ince) malzemeler yüksek ısıya maruz kaldıklarında kalıcı şekil değişikliklerine neden olur. Bu nedenle kaynak işlemlerinin en düşük ısıda ve en kısa sürede yapma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Kaynaklı bağlantıların en kısa sürede ve minimum deformasyonla gerçekleştirilmesi, ekonomik ve kaynak dayanımının yüksek olması istenilen yerlerde, elektrik nokta direnç kaynağı ilk tercih olarak görülmektedir [4].

Basınç kaynak yöntemlerinden birisi olan NDK yöntemi, kaynak yapılacak sac malzeme kalınlığına bağlı olarak oldukça hızlı bir kaynak yöntemidir. Yüksek üretim kapasitesine sahip birleştirme hatlarında kolaylıkla kullanılabilmesi ve otomasyona uygunluğu sayesinde otomotiv sanayinde geniş bir kullanım sahası bulmuştur. NDK yöntemi, kaynak esnasında ilave metal kullanımına gerek olmaması sayesinde sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik görünümü, özel beceri gerektirmemesi ve yüksek kaynak hızı gibi nedenlerle günümüz sanayisinde sıklıkla kullanılmaktadır [5].

NDK yöntemi otomotiv endüstrisinde alüminyum levhaların birleştirilmesi işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının araç gövde ve yapı elemanlarında kullanımlarının artışıyla bu malzemenin elektrik direnç nokta kaynağının uygulama esasları daha önemli hale gelmiştir. Alüminyum malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri, çelik malzemelerin kaynak yöntemlerine benzer olmakla beraber alüminyum elektrik direnç kaynağının verimliliği çelik malzemelere göre daha düşüktür ve kaynak kontrolü de daha zordur. Bunun sebebi alüminyum malzemelerin ısı ve elektrik iletkenliklerinin yüksek olması ve kaynak işlemi sonunda beklenen çekirdek çapına ulaşabilmek için yüksek akım ve baskı kuvvetine gereksinim duymasıdır [6].

Otomobil ve otobüs üretimi için alüminyum alaşımı hafif ve iyi şekillenebilir olması nedeniyle büyük önem kazanmıştır. Geleneksel olarak nokta direnç kaynak işlemi en başarılı ve geniş çapta çelik gövdeler üzerinde gerçekleştiği kabul görmüş ve katılım olmuştur. Ancak bir malzeme olarak alüminyum, nokta direnç kaynağı için özel dikkat gerektirir. Bakır elektrod ile alaşım oluşturma eğiliminde olan alüminyum bakır elektrodun aşınması ve dolayısıyla kaynak kalitesinin kötüleşmesine neden olur [7].

Alüminyum malzemelerinin elektrik ve ısı iletkenliklerinin yüksek olması bu malzemelerin nokta direnç kaynak kabiliyetlerini düşürmektedir. Bu nedenle bu malzemelerin birleştirilmesinde çok yüksek akım değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde alternatif akım kaynak makinalarını birçoğu çelik malzemelerin birleştirilmesi için kullanıldığından çok yüksek akım değerlerine gerek kalmamaktadır. Bir başka ifade ile alüminyum malzemelerin alternatif akımda geleneksel kaynak makinaları ile birleştirilmesi için yüksek akım üretebilen kaynak makinası bulmak oldukça güçtür. Yeni nesil orta frekans doğru akım (MFDC) kaynak makinaları teknolojileri sayesinde hem yüksek akım değerlerine çıkabilmekte hem de çok kısa sürede kaynak işlemi gerçekleştirerek çarpılma ve distorsiyonu azaltabilmektedirler. Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyetleri belirli kaynak yöntemleri ile yüksek olmasına rağmen otomotiv endüstrisinde en çok tercih edilen direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi oldukça zordur. Bu çalışmada günümüzde gelişen teknolojiler ile ortaya çıkan orta frekanslı kaynak makineleri ile AA5754-AA6063 alaşımlarının kendi aralarında ve farklı kombinasyonlarda direnç punta kaynak yöntemi ile birleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada birleştirilen alüminyum malzemelerin kaynak bölgesini karakterize edebilmek için mikrosertlik ölçümleri ile optik mikroskop incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri çekme-makaslama ve çapraz-çekme testi ile belirlenirken korozyon dayanımları ise tuz sisi korozyon testi ile belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

İnsanoğlunun varoluşundan bu yana üzerine bastığı topraklarda yatan beyaz altın, 1807 yılında Sir Humphrey Davy'nin alüminada oksijene bağlı bir metalin varlığını tahmin etmesi ile “alüminyum” ismi altında tarihteki yerini almıştır [7].

1886'da elektrik enerjisi üretmek için büyük ölçekli ekipman geliştirilmesinin ardından, ABD'den Charles Martin Hall ve Fransa'dan Paul L.T Hérault (yani Hall-Hérault prosesi) tarafından neredeyse aynı anda Al_2O_3 'ün doğrudan elektrolitik ayrışması için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Elektrik akımı $980-1000^{\circ}C$ sıcaklıkta çözünmüş Al_2O_3 içeren erimiş kriyolitten geçirildiğinde katotta ergimiş alüminyumun biriktiğini ve karbon anotta CO_2 'nin serbest kaldığını keşfettiler. Bu, büyük bir ilerleme sağladı. Bu sayede yaklaşık 1890'dan itibaren alüminyumun ekonomik olarak üretilmesini mümkün kıldı. Sürecin önemli bir aşaması, boksit cevherinden alümina (Al_2O_3) elde edilmesiydi. Bunu yapmak için etkili bir yöntem 1888'de Karl Joseph Bayer tarafından geliştirildi. Bayer ve Hall-Hérault prosesleri, ticari miktarlarda alüminyum üretimi için en ekonomik yöntemler olmaya devam etmektedir ve birincil alüminyum endüstrisinin temelini oluştururlar [8].

Alüminyum üretimindeki bu gelişmelere paralel olarak 1890'lı yıllarda ilk içten yanmalı motorla çalışan araçlar ortaya çıkmış ve alüminyum ve alaşımları, otomotiv malzemesi olarak artan bir mühendislik değeri haline gelmeye başlamıştır. Ayrıca o yıllarda uzun mesafeli elektrik iletim hatlarında ve enerji üretim alanlarından elektrik enerjisi sağlayan havai kablo ağını destekleyen kulelerin inşası için çok büyük miktarlarda özgül ağırlığı düşük (hafif) ve elektrik iletkenliği yüksek metal kullanımı gerekliliği doğmuştur.

Wright kardeşler birkaç yıl içinde alüminyum endüstrisi ile ortaklaşa büyüyen tamamen yeni bir endüstrinin doğuşunu sağladı. Bunlar; uçaklar, motorlar ve sonrasında füze gövdeleri, yakıt hücreleri ve uydu bileşenleri için yapısal olarak güvenilir, güçlü ve kırılmaya dayanıklı parçaların üretimi idi. Alüminyum endüstrisinin büyümesi bu gelişmelerle sınırlı kalmadı. Alüminyumun ilk ticari uygulamaları ayna çerçeveleri, ev numaraları ve servis tepsileri gibi yeni ürünlerdi. Mutfak aletleri de önemli bir erken pazardı. Zamanla, alüminyum, modern yaşamın hemen hemen her alanında doğrudan veya dolaylı kullanılarak uygulama çeşitliği sayesinde oldukça büyümüştür [9].

Alüminyumun cevherden folyoya olan macerası çok kısa bir süre içerisinde gelişerek günümüzde çok kullanılır hale gelmiştir. Alüminyum ve alaşımlarının tüketiminin, demir-çelik ile mukayese edilecek duruma gelmesi, son yıllarda elektrik, kimya, tıp, inşaat ve otomotiv sanayinde ve bunların yan kollarında her geçen gün artan kullanımı, bu malzemelerin önemini de gün geçtikçe artırmaktadır. Hafif metal sınıfından olan alüminyumun bu önemi yumuşak ve demirden üç kat daha hafif, mukavemetin ağırlığına oranının yüksek olması, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olması, kolay işlenebilirliği, korozyona direnci, dekoratif görünümü, soğuk ve sıcak olarak şekillendirilebilirliği, talaşlı ve talaşsız olarak işlenebilirliği gibi özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Alüminyum endüstrisi geçtiğimiz 1 asır içerisinde sınırlı sayıda alaşım ve üründen, çok geniş bir ürün yelpazesine sahip büyük hacimli üretim miktarlarına gelişim göstermiştir. Günümüzde A.B.D. alüminyum üretiminin 5,6 milyon tonu düz hadde ürünü, 1,7 milyon tonu ekstrüzyon ve 2,4 milyon tonu ingot üretimi içermektedir. Dünyanın süper gücü olarak nitelendirilen A.B.D. bu gelişim çerçevesinde alüminyum geri dönüşümüne de lokomotif olmuştur [7].

Alüminyum (Al) atom numarası 13, yoğunluğu 2,70 gr/cm³ olan gümüş renkli hafif bir metaldir. Yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en bol bulunan element olan alüminyum doğada saf olarak bulunmaz, oksit ve silikat bileşikler halindedir. Alüminyum metali üretimi birincil ve ikincil üretim olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil alüminyum üretimi boksit cevherlerinden elde edilir. İkincil alüminyum ise hurda

alüminyumun geri dönüşümü yolu ile üretilir [7]. Alüminyum diğer metallere göre birçok alanda avantajlı kılan en önemli ana özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Hafifliği,
- Hafifliğine karşın alaşımlandırıldığında yeterli mukavemeti,
- Tekrar defalarca kullanılabilirliği,
- Yüksek korozyon direnci,
- Çekilebilirliği,
- Şekillendirilebilirliği,
- Dövülebilirliği,
- İşlenebilirliği,
- Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği,
- Işık ve ısı yansıtıcılığı,
- Kaynak edilebilirliği.

Alüminyumun en çarpıcı özellikleri arasında en önemlisi onun çok yönlü olmasıdır. Rafine edilmiş yüksek saflıkta alüminyumdan en karmaşık alaşımlara kadar alüminyumun her türünde çok çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirmek mümkündür. Üç yüzden fazla alaşım yaygın olarak bilinmektedir ve uluslararası ve tedarikçi/tüketici ilişkileriyle birçok ek varyasyon geliştirilmiştir. Birçok teknolojik alanda bu metali ve alaşımlarını ekonomik ve çekici yapan özellikler; görünüm, hafiflik, üretilebilirlik, fiziksel özellikler, mekanik özellikler ve korozyon direncidir.

Alüminyumun yoğunluğu düşük olup, çelik (7,83 g/cm³), bakır (8,93 g/cm³) veya pirinç (8,53 g/cm³)'in yaklaşık 1/3'ü kadardır. Atmosfer, su (tuzlu su dahil), petrokimya ve birçok kimyasal sistem dahil olmak üzere çoğu ortamda mükemmel korozyon direnci gösterebilir. Alüminyum yüzeyler yüksek oranda yansıtıcı olabilir. Işıma enerjisi, görünür ışık, ısıma ısı ve elektromanyetik dalgalar verimli bir şekilde yansıtılırken eloksal ve koyu eloksal yüzeyler yansıtıcı veya emici olabilir. Parlatılmış alüminyumun geniş bir dalga boyu aralığında yansıma yapması, çeşitli dekoratif ve fonksiyonel kullanımlar için tercih edilmesini sağlar.

Alüminyum tipik olarak mükemmel elektriksel ve termal iletkenlik gösterir, ancak yüksek derecede elektriksel direnç sahip spesifik alaşımlar da geliştirilmiştir. Alüminyum genellikle, eşdeğer ağırlık temelinde bakırın neredeyse iki katı olan elektrik iletkenliği için tercih edilir. Elektrik iletiminde yüksek iletkenlik ve mekanik mukavemet gereksinimleri, uzun hatlı, yüksek voltajlı, alüminyum çelik özlü takviyeli iletim kablolu kullanılarak karşılanabilir. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliği bakırın yaklaşık % 50 ila 60'ı kadardır ve ısı eşanjörleri, buharlaştırıcılar, elektrikle ısıtılan cihazlar, mutfak aletleri, otomotiv silindir kafaları ve radyatörler için avantajlıdır.

Alüminyum ferromanyetik değildir, bu da elektrik ve elektronik endüstrileri için önemli bir özelliktir. Yanıcı veya patlayıcı madde kullanımı veya maruziyeti içeren uygulamalarda önemli olan bir özellik olan kıvılcım almama (nonpiroforik) özelliğine sahiptir. Alüminyum ayrıca toksik değildir ve rutin olarak yiyecek ve içecek kaplarında kullanılır. Saf alüminyum ve bazı alüminyum alaşımları, son derece düşük mukavemet ve sertliğe sahipken, bazı alüminyum alaşımları mukavemet olarak yapı çeliklerinden üstündür [9].

Alüminyum kolayca diğer kimyasal elementlerle bileşikler oluşturduğundan çok çeşitli alaşımları (alüminyum-bakır, alüminyum-silis-magnezyum, alüminyum-magnezyum-çinko, alüminyum-magnezyum, alüminyum-silis, alüminyum-kalay, alüminyum-bor gibi) geliştirilmiştir. Çok az miktarda alüminyum bile metalin özelliklerini büyük ölçüde değiştirerek, yeni alanlarda kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu alaşımlardan bazıları ve kullanım alanları şu şekildedir;

Al-Cu Alaşımı: Mukavemeti iyi olduğundan çok zorlanan parçaların üretiminde kullanılır. Piyasada Lautal Quali - taet 55 Allautal ismi verilir.

Al-Si-Mg Alaşımı: Şekil değiştirme ve polisaj kabiliyeti iyi, mukavemeti orta ve korozyona karşı dayanıklıdır. Uçak yapımı, dekorasyon işleri, elektrik iletkenlerinin imalinde kullanılır.

Al-Cu-Mn Alaşımı: Yüksek değerlerde bir çekme mukavemetine sahiptir. Yüksek

mukavemet aranan konstrüksiyonlarda, makine parçalarının, taşıt vasıtalarının, kaldırma düzeneklerinin, demiryolu vagonlarının imalinde kullanılır. Sertleşmiş durumda mukavemeti St 52 çeliğinin mukavemetine erişir.

Al-Cu-Ni Alaşımı: Isıl işlem sonucunda oda sıcaklığında sertleşir. Sıcakta mukavemetini kaybetmez. Patlamalı motorların silindir kafaları ve pistonların imalatında kullanılır

Al-Zn-Mg Alaşımı: Bütün alüminyum alaşımlarından daha yüksek bir mukavemete sahiptir. Bundan dolayı da uçak sanayinde çok kullanılır.

Al-Mg Alaşımı: Deniz suyuna karşı dayanıklı olup çok yüksek mukavemete sahiptir. Gemi inşaatı, kimya ve gıda sanayinde, gözlük çerçevesi yapımında kullanılır [7].

2.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARIN SINIFLANDIRILMASI

Alüminyum alaşımları döküm ve dövme ürünler olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilir. Bu iki tür, kimyasal bileşime ve temper işaretlerine göre alt gruplara ayrılabilir. Temper işaretleri, alaşımın durumunu, yani alaşımın geçirdiği soğuk işleme miktarını veya ısıl işlem koşulunu tanımlamak için kullanılır. Bu işlemler; çözelti ısıl işlemi, su verme ve çökeltme veya yaşlandırma sertleşmesini içerir. Döküm ya da dövme olsun bu tip proseslerden geçen alaşımlara ısıl işlem görebilir alaşımlar denir. Diğer dövme bileşimler, genellikle özelliklerinin geliştirilmesi için çeşitli tavlama işlemleriyle birlikte mekanik indirgeme yoluyla sertleşmeye uğratılır. Bu alaşımlara deformasyon sertleşmesi (pekleşme) gören alaşımlar denir. Bazı döküm alaşımları aslında ısıl işleme tabi tutulamaz ve yalnızca döküldüğü haliyle kullanılır veya çözme veya çökeltme işlemleriyle ilgisi olmayan termal olarak modifiye edilmiş halde kullanılır [9,10].

Avrupa Standartlar Komitesi (CEN), Alüminyum Birliği ve ISO birbirine oldukça benzeyen tanımlama standartları kullanırlar. Bu çalışmada Alüminyum Birliği standardı kullanılmıştır. Buna göre, dövme alaşımlar için, aşağıda verildiği şekilde dört haneli bir sistem kullanılır. Isıl işlem durumlarıyla birlikte bu alaşımlar Çizelge 2.1’de sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.

Alüminyum ve Alaşımları	Ana Alaşım Elementleri	Isıl İşlem Durumu
1XXX	Saf alüminyum	Hayır
2XXX	Ana alaşım elementi Cu (Bazen Mg la birlikte)	Evet
3XXX	Ana alaşım elementi Mn (Bazen Mg la birlikte)	Hayır
4XXX	Ana alaşım elementi Si	Hayır
5XXX	Ana alaşım Elementi Mg	Hayır
6XXX	Ana alaşım elementi Mg ve Si	Evet
7XXX	Ana alaşım elementi Zn (Bazen Cu, Mg, Cr ya da Zr'la birlikte)	Evet
8XXX	Sn ve bazı Li bileşiklerini içeren diğer farklı alaşımlar	Normalde Evet
9XXX	İleride kullanılmak üzere ayrılmıştır	
2XXX; "2000 serisindeki tüm alaşımlar" anlamında kullanılan endüstriyel bir kısaltmadır.		

2.1.1. Isıl İşlem Uygulanabilen Alüminyum Alaşımları

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlar yüksek sıcaklıklarda çözünebilen elementlerin devamında su verme işlemi soğutularak çökelti oluşturması sonucunda mukavemeti arttırılan alüminyum alaşım gruplarıdır. Bu alüminyum alaşımları temelde 3 ana gruptan oluşmaktadır [11]

1. 2XXX alüminyum alaşımları: Bu grubun temel alaşım elementi bakırdır. Bu alaşımlar bazen temel alaşım elementi olan bakır ile birlikte magnezyum elementi de içerir. 2XXX alaşımlar optimum özelliklere sahip olabilmesi için ısıl işleme tabi tutulur, bazen de yaşlandırma ile mekanik özellikleri arttırılır.

2. 6XXX alüminyum alaşımları: Bu grubun temel alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Bu grupta ısıl işlem silisyum ve magnezyum elementlerinin birleşerek oluşturduğu Mg_2Si çökeltisinin sıcaklık ile değişen çözünürlüğünden dolayı gerçekleşmektedir. Bu alaşımlar çözelti içerisinde yapay olarak yaşlandırma prosesinden geçirilerek alüminyum matrisi içerisinde Mg_2Si partikülleri çöker. Bu şekilde orta seviyede bir mukavemet elde edilir. Elde edilen mukavemet 2XXX seri ve 7XXX serisi kadar yüksek olmasa da şekillendirme kabiliyeti, talaş kaldırma

kabiliyeti, kaynak kabiliyeti ve korozyon direnci bu serilere göre daha iyidir. Otomotiv ve uçak endüstrisinde göstermiş olduğu iyi mekanik özelliklerinden kaynaklı en çok tercih edilen serilerden biridir. Bu zamana kadar artan miktarda tabaka olarak üretilen alaşımlar, aslında ekstrüde formda kullanılmaktadır. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen alaşımlar genellikle yapı iskeletlerinde, araç ve otobüs şaseleri içinde tercih edilir ve bu uygulamalarda daha fazla öneme sahip olmaktadır.

3. 7XXX alüminyum alaşımları: Bu grubun temel alaşım elementi çinkodur. Çinko alaşım içerisinde yüzde 1 ile 8 oranında bulunur. Bu alaşım elementinde daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşmak için alaşım içerisine az oranda magnezyum ve bakır elementleri eklenir. Alüminyum alaşımları içerisinde en yüksek mukavemete sahip olan bu seri yüksek dayanım gerektiren uygulamalarda ve yapılarda kullanılır. Çinko element olarak sıcak çatlama ve soğuma çekmesine sebep olur. Buda bu seriyi içerdiği çinko elementinden dolayı dökülebilirlik kabiliyeti düşürmektedir. Bu alaşım grubu gösterdiği yüksek mukavemet den dolayı makine parçaları, uçak, otomotiv, roket ve savunma sanayinde tercih edilir.

2.1.2. Isıl İşlem Uygulanamayan Alüminyum Alaşımları

1. 1XXX alüminyum alaşımları: Bu içerisinde % 99 veya daha fazla alüminyum içeren seridir. Bu serideki alaşımlar yaşlandırma yoluyla mekanik özellikleri iyileştirilemez. Bu serinin mekanik özellikleri sadece deformasyon sertleşmesi ile iyileştirilir. Şekillendirme işleme kabiliyetleri yüksektir. Başlıca kullanım alanları elektrik iletim hatları, ısı aktarma ve ambalajlama sektöründe kullanılır.
2. 3XXX alüminyum alaşımları: Bu grubun temel alaşım elementi mangandır ve içerisinde %1,8 oranın mangan bulunur. Bu alaşım içerdiği mangan elementinden dolayı yüksek korozyon ve yüksek sünekliğe sahiptir. Bu serideki alüminyum alaşımları ısıl işlem yolu ile mekanik özellikleri iyileştirilmez mekanik özellikleri katı çözelti ile iyileştirilir.

3. 4XXX alüminyum alaşımları: Bu grubun temel alaşım elementi silisyumdur ve genel olarak içerisinde %12 oranına kadar silisyum bulunur. Silisyum element olarak bu alaşımlara daha düşük sıcaklıklarda ergimesine sebep olur. Daha düşük sıcaklıklarda ergimesi onu özellikle kaynak teli ve lehim alaşımı olarak kullanılmasında elverişli duruma getirir. Düşük sıcaklıklarda ergime dökülebilirlik özelliklerini iyileştirir. Bu serideki alüminyum alaşımları içerdiği silisyumun katkısı ile düşük termal genleşme katsayısına, yüksek aşınma direnci ve yüksek korozyon direncine sahip olurlar. Tüm bunların yanında ısıtılma işlemi ile mekanik özellikleri iyileştirilemez.
4. 5XXX alüminyum alaşımları: Bu grubun temel alaşım elementi magnezyumdur ve alüminyum alaşımları için en çok kullanılan alaşım elementi olarak öne çıkar. Alüminyum içerisinde önemli bir çözünürlüğe sahip olan magnezyum elementi bu alaşımda oluşturduğu katı çözelti ile alaşımın deformasyon yoluyla sertleşmesine katkı sağlar bu proses ile birlikte alaşımın mekanik özelliklerinde önemli bir artış meydana getirir. Bu gruptaki alüminyum alaşımları yüksek korozyon direnci, yüksek kaynak kabiliyeti ve orta ile yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler. Bu serideki alüminyum alaşımları ısıtılma işlemi görmeyen alüminyum alaşımları içerisinde en yüksek mukavemet değerine sahip alaşımlar olarak karşımıza çıkar. İçerisinde bulunan magnezyum oranı arttıkça şekillenebilir özelliği azalır, sertlik ve mukavemet bununla orantılı artış gösterir. Bu alaşım grubu göstermiş olduğu mekanik özelliklerinden dolayı gemilerin suyla temas eden yüzeylerinde ve otobüs, kamyon gibi taşıma araçlarının dış kısımlarında en çok tercih edilen malzemelerden biridir. Kullanım alanları bu sektörlerle sınırlı olmayıp sanayide birçok sektörde de tercih edilen bir malzeme grubu olarak karşımıza çıkar. En yaygın üretim ve temin edim şekli ise tabaka olarak tercih edilir.
5. 8XXX alüminyum alaşımları: Bu grubun temel alaşım elementi lityumdur. Lityum alüminyum içerisine %4 oranına kadar ilave edilir. Alüminyum alaşımlarına ilave edilen lityum malzemenin yoğunluğunda azalmaya neden olur bu yoğunluğun azalması içerdiği lityumun miktarı ile doğru orantılıdır. Bu gruptaki alüminyum alaşımlarının ortaya çıkış nedeni gelişen teknoloji ile

birlikte daha düşük yoğunlukta ve daha mukavemetli malzemelere ihtiyaç duyulmasıdır. Başlıca kullanım alanları ise uzay ve uçak sanayilerinde tercih edilir üretim maliyetleri diğer alaşımlara göre daha yüksektir.

2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OTOMOBİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

Günümüzde otomotiv sektörü dünyanın en gelişmiş ve gelişmekte olan sektörlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dünyadaki araç sayısının giderek artmasıyla açıklanabilir. 2018 yılında, uluslararası otomotiv endüstrisi tahminen 70,5 milyon binek otomobil üretti. Dünya çapında, binek otomobil satışlarının her geçen sene ile birlikte daha fazla yükselmeye devam etmesi bekleniyor [13]. Bu ihtiyacın karşılanabilir hale gelmesi için ihtiyaçların günümüz dünyasını olan kötü etkilerini de azaltacak şekilde belirlenmesi gerekir.

Otomobil yapmak için çeşitli malzemeler kullanılır. Bu otomobil, parça ve bileşenlerin yapımında kullanılan ana malzemeler ve gelecekteki trendler çelik, alüminyum, magnezyum, bakır, plastik ve karbon fiber öncelikli olarak tercih edilen malzemelerin başında gelir. Özellikle otomobil şasesi için malzeme seçiminde ana etkenler çoktur ve bunlar arasında termal, kimyasal veya mekanik direnç, kolay üretilebilirlik ve dayanıklılık sayılabilir. Araçta bir diğer önemli bir konu ise ekonomik üretim, işletme ve elden çıkarma maliyetleri de dahil olmak üzere bir otomobilin tüm yaşam döngüsüyle ilişkili maliyetlerin de malzeme seçiminde önemli bir etken olduğu görülür. Bu bağlamda otomobil üretmek günümüz teknolojilerinin daha fazla gelişmesini zorunlu hale getirir [14].

Otomotiv sektöründe, ağırlık azaltma güçlü bir şekilde enerji ve doğal kaynak tasarrufu için talep edilmektedir. Yüksek korozyon direnci, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet ve düşük enerjili şekillendirilebilirlik nedeniyle, alüminyum alaşımları otomotiv sektörünün en çok tercih edilen malzemelerinden biri olarak benimsenmiştir. Alüminyum kullanımı potansiyel olarak araç gövde ağırlığını azaltabilir. Son gelişmelerin bize göstermiş olduğu sonuçlardan biri, çeliğin alüminyum ile değiştirilmesiyle otomobil iskeleti için % 50'ye varan ağırlık

tasarrufunun sağlanabileceğidir. Alüminyum, gövde yapıları, şasi uygulamaları, kapaklar ve girişler, kapılar veya kaportalar gibi dış bağlantılar için kullanılır [15].

Mevcut veya yeni geliştirilmiş alüminyum alaşımları kullanılarak gelecek üzerine oluşturulan konsept otomobillerde daha hafiflik vurgusu öne çıktı. Yeni Avrupa otomobillerinde kullanılan alüminyum miktarı 1990'da 62 kg iken 2005 yılına kadar üretilen otomobillerinde bu miktar 132 kg'a kadar yükseldi. Alüminyum odaklı otomobil tasarımı ve genel otomobillerde alüminyum kullanımı şu şekilde karşımıza çıkar. Mekanik aksam olarak kullanılan motor bloğu, silindir kapakları, şanzıman gövdelerinde, yakıt sisteminde ve radyatörlerde 69 kg'dır. Hareket aksamı olarak kullanılan beşik, aks, tekerlekler, süspansiyon kolları, direksiyon sistemleri ve şaselerde 37 kg dır. Dış aksam olarak kullanılan araç gövdelerinde ise bu miktar 26 kg olarak karşımıza çıkar [16]. Mevcut olan ortamda pandemi kaynaklı ekonomik kriz ve dünya çapında ortaya çıkan çip krizi üretim hızında azalmaya sebep olmuştur. Bundan kaynaklı otomotivde alüminyumun gelişiminde bir miktar gerileme olsa da artan ihtiyaçlar ve şartlar ile birlikte aynı oranda da büyüme beklentisini destekler niteliktedir.

Alüminyum alaşımları günümüze kadar otomotiv sektöründe ağırlıklı olarak döküm ve dövme şeklide ağırlıklı olarak tercih edilmiştir. Bu üretim şekli ile ağırlıklı olarak motor blokları, jantlar, süspansiyon kolları, fren sistemleri ve direksiyon sistemleri üretimlerinde tercih edilmiştir [17]. Özellikle aşınma direncinin en çok ön planda tutulduğu hidrolik fren sistemi komponentlerinin imalatında, son zamanlarda her otomotiv sektörü, tribolojik özellikleri mükemmel olan hafif ağırlıklı parçalar üretmeye yönelmektedir. Ağırlık olarak hafif olan alüminyum, kompozit malzemelerin imalatında ana matris elemanı olarak kullanılabilir ve bunlar üretilen kompozitler, alüminyum matrisli kompozitler (AMC'ler) olarak adlandırılır [18].

Alüminyum alaşımları, örneğin otomobil gövdesi, güç aktarma sistemi, şasi ve asılı parçalar gibi otomotiv bileşenlerinde zaten iyi bir şekilde yerleşmiştir. Örneğin ısı işlem görebilen Al-Mg-Si alaşımları (6xxx serisi alaşımlar) ve ısı olmayan Araç gövdesi uygulamaları için tipik sac kalınlıklarında işlenebilir Al-Mg alaşımları (5xxx serisi alaşımlar) kullanılmıştır.

Otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımları tek başlarına bir şey ifade etmezler. Bu sektörde kullanılan alüminyum alaşımları üretim prosesi ile birlikte montaj edilebilir ya da birleştirilebilir olmalıdır. Alüminyum alaşımlarında ve genel endüstri malzemelerinde kullanılan montaj veya birleştirme yöntemleri montaj elamanları, (somon, cıvata vida vb) perçinleme ve kaynaklama yöntemleridir. Otomotiv endüstrisinde bu montaj veya birleştirme prosesi içerisinde en çok tercih edilen yöntemlerden biri kaynaklı birleştirme yöntemidir.

Direnç nokta kaynağı, düşük maliyeti, kolay otomasyonu, minimum beceri gereksinimleri ve parça tolerans varyasyonlarına karşı sağlamlığı nedeniyle otomotiv gövde yapımında ana birleştirme işlemidir. Sonuç olarak, alüminyum alaşımlı levhanın direnç noktası kaynağı, otomotiv üretim süreci için önemli bir ilgi konusudur [19].

2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ BİRLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Alüminyum ve alaşımları günümüzde hem ergitmeli (TIG, MIG, plazma, lazer, elektron ışın, elektrik nokta direnç vb) hem de katı hal (difüzyon, sürtünme, sürtünme-karıştırma, patlama, ultrasonik kaynak) birleştirilebilmektedir.

2.3.1. Ergitmeli Kaynak Yöntemleri

Ergime dereceleri aynı veya birbirine yakın iki veya daha fazla metal veya termoplastik malzememin ısı altında ilave bir malzeme katarak ya da katmaksızın yapılan birleştirme yöntemleridir. Ergitmeli kaynak yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1.1. Gaz Kaynağı

Gaz kaynağı günümüzde seri üretime çok uygun olamasa da kullanılan kaynak yöntemleri arasında basit ekipman ve düşük maliyet nedeniyle kullanılan gaz kaynağı; alüminyum, alüminyum alaşımları ve hafif metallerin kaynağında tercih edilen kaynak

yöntemleri arasında yerini korumaktadır [20]. Günümüzde bu kaynak yönteminin yerini gazaltı (TIG, MIG) yöntemleri almış bulunmaktadır.

Gaz kaynağı yakıcı bir gaz ve yanıcı bir gaz kullanarak oluşturulan alevin sıcaklığı ile ilave bir malzeme eklenerek veya eklenmeden yapılan bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde yakıcı gaz olarak en çok tercih edilen gaz oksijen olup yanıcı gaz seçiminde asetilen tercih edilir. Farklı gazlar kullanılsa da bu kaynak yönteminde verimlilik açısından bu iki gaz sıkça tercih edilmektedir. Yöntemin kendi içinde dezavantajları olsa da alüminyum ve alaşımları açısından tercih edilen bir yöntemdir. Bu güçlükler alüminyum ve alaşımlarında oluşan oksit tabakasının ergimesi için yüksek sıcaklıklara çıkılması gerekir fakat alevin göreceli olarak düşük sıcaklığı, alüminyum ve alaşımlarının yüksek ısı iletkenliği kaynak hızının düşmesine ve yüksek ısı girdisinden kaynaklı oluşan deformasyon örnek olarak verilebilir [21].

2.3.1.2. Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı

Örtülü elektrod ile ark kaynağı günümüzde seri üretim için uygun olmayan kaynak yöntemlerinden biridir. Fakat bu kaynak yöntemi sağlamış olduğu özgürlükler açısından her türlü ortam ve şartlar altında bize kullanım imkanı sağlar özellikle kritik yerlerde karşımıza kurtarıcı olarak çıkar. Bu kritik yerlere örnek vermek gerekirse denize açılmış bir gemide oluşan çatlak geçici olarak bu yöntem ile tamir edilebilir. Gerek maliyet açısından gerekse taşınabilirlik açısından tercih edilen ve kullanılan bir yöntemdir.

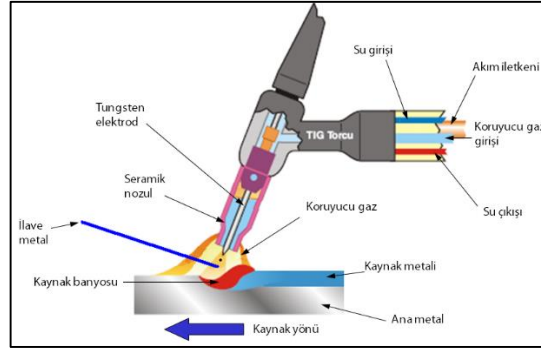
Örtülü elektrod ile ark kaynağında ısı elektrod ile malzeme arasında oluşan ark tarafından ortaya çıkar. Örtülü elektrod ile ark kaynağında oluşan ark eriyen elektrod ile iş parçası arasında yanarak kaynak metali halini alır. Elektrod ile birlikte elektrod örtüsü de yanarak ortaya gaz çıkar. Ortaya çıkan gazın görevi kaynak metalini dışarısının olumsuzluklarından korumak elektrod örtüsünün görevlerinden biridir. Elektrod örtüsü günümüz teknolojileri ile birlikte daha farklı alaşımlar ile daha zengin bir hale gelmiştir. Bu sayede eklenen alaşımlar ile birlikte kaynak metalinin de kimyasal ve mekanik özelliklerinde iyileştirmeler gözlemlenmektedir [22]. Kaynak için gerekli olan elektrik akımı, bu iş için üretilen bir kaynak akım üretici tarafından

üretilecek kablolar yardımı ile akım iş parçasına ve elektrod şasesine aktarılır. Bu yöntemde kaynak kalitesinin iyileştirilmesi ya da aksi bir durum kaynakçının almış olduğu eğitim ile doğru orantılıdır. Bu kaynak yönteminin iyileştirilmesi ile ortaya yeni kaynak yöntemleri ve çeşitleri ortaya çıkmıştır [23]. Elektrik ark kaynak yöntemi için üretilmiş örtülü farklı kimyasal örtü içeriğine sahip elektrodlar bulunmakta ancak son zamanlarda kullanımları giderek azalmaktadır.

2.3.1.3. Gaz Altı Kaynağı

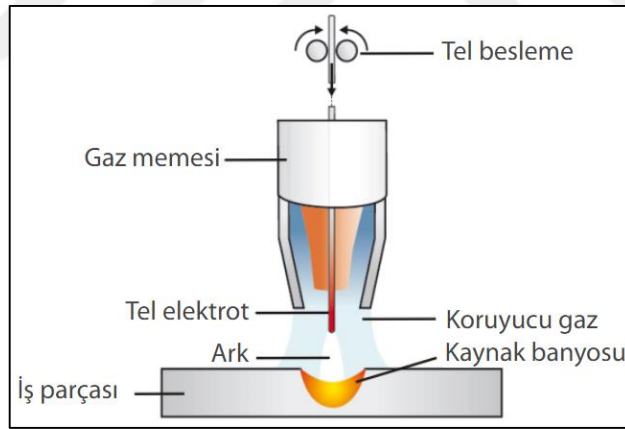
Gaz altı kaynağı günümüzde en çok tercih edilen kaynak yöntemlerinden biridir. Bu kaynak yöntemi seri üretime uygunluğu ile öne çıkmaktadır. Robotik kaynaklı üretim tesislerinde tercih edilir bir kaynak yöntemidir. Kaynak yöntemi kendi içinde kullanılan elektrod türüne göre ikiye ayrılır. Bu kaynak çeşitleri içerisinde ark oluşturmak için kullanan elektrod ergiyerek kaynak metaline geçiş yapmıyor ise TIG kaynak yöntemi, kullanılan elektrod ergiyerek kaynak metaline geçiş yapıyor ise MIG ve MAG kaynak yöntemi olarak adlandırılır. Alüminyum ve alaşımları için tercih edilen gaz altı kaynak yöntemleri TIG ve MIG kaynaklarıdır. TIG ve MIG kaynaklarının alüminyum ve alaşımlarında tercih edilmesinin sebebi koruyucu olarak kullandıkları asal gazlardır. TIG kaynak yöntemi ile ince çaplı borular ya da ince levhaların kaynaklı birleştirilmesinde ve çok pasolu kaynaklarda kök kaynak olarak tercih edilir. MIG kaynak yöntemi ise yığılma oranı daha yüksek olan kalın plaka ve boruların kaynağında kullanılır [24].

TIG kaynak yöntemi: Bu yöntem örtülü elektrod kaynağı ile benzer bir çalışma prensibi vardır. Ark ergimeyen tungsten bir elektrod tarafından iş parçası ile arasında oluşur. Oluşan ark ile birlikte ortaya çıkan ısı ile birlikte ilave bir metal kullanılarak veya kullanmadan yapılan kaynaklı birleştirme yöntemidir [25]. Bu yöntemde kaynak metalinin dışarıda oluşan olumsuz etkilerden etkilenmemesi için koruyucu gaz nozuldan gönderilir. Sistemin şematik gösterimi şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. TIG kaynağı şematik gösterimi.

MIG kaynak yöntemi: Bu kaynak yönteminde gerekli olan ısı ergiyen ve otomatik olarak beslenen elektrod ile iş parçası arasında oluşan ark tarafından kaynaklı birleştirme yapılır. Burada kaynak metalini dışarının olumsuz şartlarından korumak için tel elektrod ile birlikte sürekli olarak koruyucu gazda kaynak bölgesine gönderilir. Bu yöntemde tel elektrod otomatik olarak gönderildiği seri üretime uygun bir yöntem olur [26]. Sistemin şematik gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir.

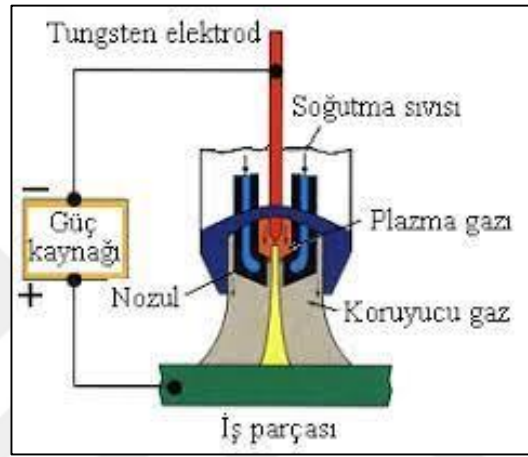


Şekil 2.2. MIG kaynak yöntemi şematik gösterimi.

2.3.1.4. Plazma Kaynağı

Plazma ark kaynağı günümüzde alüminyum ve alaşımlarının kaynağında yaygın olarak kullanılmış olmasa da bu yöntem ile alüminyum ve alaşımlarının kaynaklı birleştirilmesinde kullanım alanları vardır. Plazma endüstride yaygın olarak plazma kesim olarak tercih edilir. Bu kesim ve kaynak yönteminin düşük ısı girdisi ve yüksek soğuma hızından dolayı alüminyum ve alaşımlarının çarpılmasını veya deformasyona

uğramasına neden olur [27]. Plazma ark kaynağı yöntem olarak TIG kaynağından türetilmiştir. Kaynak için gerekli ısıyı elde etmek için ergimeyen bir tungsten elektrod ile diğer ark yöntemlerden farklı olarak ark iş parçası üzerinden değil, bir plazma torcunda tungsten elektrod ile nozul arasında pilot ark oluşur. Oluşan pilot ark ile birlikte tungsten elektrod etrafında gelen gaz iyonize olur ve plazma halini alır. İş parçasına iletilen plazma kaynaklı birleştirme işlemini yapar [28]. Plazma ark kaynağının şematik resmi Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Plazma ark kaynak yöntemi şematik gösterimi.

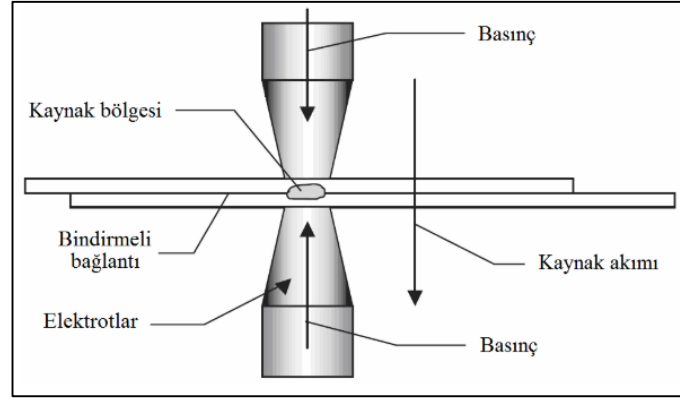
2.3.1.5. Lazer Işın Kaynağı

Lazer ışın kaynağı mevcut kaynak yöntemlerinin arasında en son geliştirilen yöntemlerden biridir. Uygulama alanında çok büyük yenilikler sağlayan lazer ışın kaynağı çıkmış olduğu dönemlerde akademik olarak en çok merak edilen ve araştırılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmıştır. Lazer ışın kaynağı yüksek ilerleme hızı, düşük ısı girdisi, dar kaynak dikişi ve ısıdan etkilenen bölgenin daha dar olması yöntemin avantajları olarak gösterilebilir. Bu avantajların yanında yüksek yatırım maliyetleri, kaynak pozisyonlarının kısıtlı olması, kalın parçaların kaynağında dar kaynak metali ve nüfuziyetin az olması yöntemin dezavantajları arasında gösterilebilir [29].

Lazer ışını optik rezonatör içine gönderilen enerjinin bir kısmının aktif madde ve hacim tarafından zamana bağlı olarak bir ışına çevrilir bu şekilde lazer ışını elde etmiş oluruz. Burada kullanılan aktif madde katı, sıvı ve gaz halde olabilir. Bu kaynak

2.3.1.6. Elektrik Direnç Kaynağı

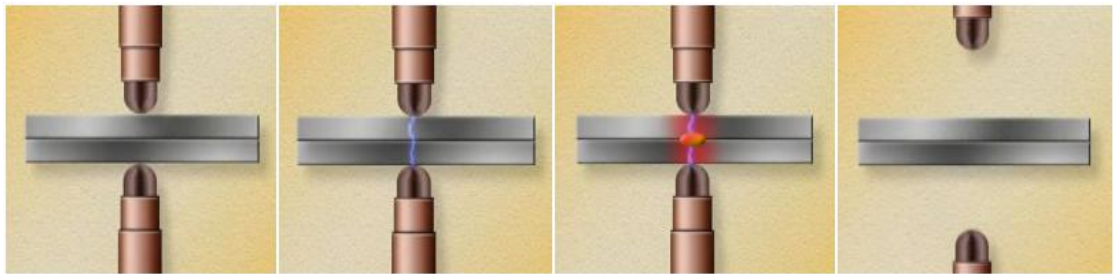
Elektrik direnç kaynağı seri imalata uygun ve oldukça yaygın bir kaynak yöntemidir. Yöntem bu tez çalışmasının konusu olduğu için diğer yöntemlere göre daha ağırlıklı olarak tanıtılmaya çalışılmıştır. Yöntem bir pedala veya düğmeye basarak makinaryı devreye sokan bir operatör veya robot tarafında çok kısa sürede gerçekleştirilir. Bu kaynak yöntemi ile birlikte otomotiv endüstrisinde kullanılan ince kesitli malzemelerin kaynaklı birleştirme uygulamalarında ortaya çıkan kalıcı deformasyon ve çarpılmaların oranı çok aza indirgenir. Bunun sebebi ilave bir metale ihtiyaç olmaması ve kaynak sürelerinin çok kısa olmasıdır. Bu kaynak yöntemi robotik sistemler ile uyumlu çalışması, özel bir beceri gerektirmemesi, yüksek kaynak mukavemeti kısa kaynak süreleri ve yöntemin uygulama çeşitliliği nedeniyle günümüzde otomotiv endüstrisinde en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden biridir. Elektrik direnç kaynağı: direnç nokta kaynağı, direnç dikiş kaynağı ve alın kaynağı olarak üç gruba ayrılmaktadır [31]. Elektrik nokta direnç kaynağını çalışma prensibi Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Direnç nokta kaynak yöntemini çalışma prensibi.

Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Çalışma Prensibi

Sistemim prensip olarak çalışabilmesi için kullanılan iş parçasının elektriği belli bir seviyeye kadar iletebilir ve direnç gösterilebiliyor olması gerekir. Bu özellikleri sahip iki elektrod arasın da belli bir basınç altında üst üste bindirilen iş parçası üzerinden geçirilen elektrik akımına karşı iş parçasının göstermiş olduğu direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynaklı birleştirme işlemidir. Sac metal parçalarının imalatı için en kullanışlı ve pratik kaynak yöntemlerinden biridir. Bu işlem düşük karbonlu çelik, paslanmaz çelik, nikel ve titanyum alaşımlarını birleştirmek için ideal kaynak yöntemlerinden biridir. Bu yöntem ile birlikte alüminyum ve alaşımlarının da kaynak uygulamaları yapılmaktadır [32]. Elektrik direnç nokta kaynağı 4 ana çevrim olan basma zamanı, kaynak zamanı, tutma zamanı ve ayrılma zamanından meydana gelir. Bu çevrimler Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Elektrik direnç nokta kaynağı çevrimleri.

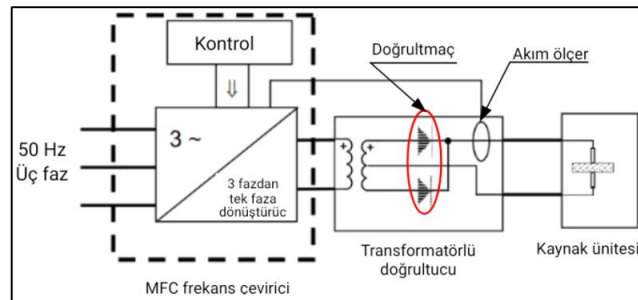
Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makineleri

Elektrik direnç nokta kaynak makineleri AC direnç nokta kaynak makineleri, DC direnç nokta kaynak makineleri ve MFDC direnç nokta kaynak makineleridir. MFDC kaynak makinesi DC kaynak makinelerinden türetilmiştir.

MFDC Direnç Nokta Kaynak Makineleri

Avrupa ve diğer gelişmiş imalat teknolojilerini kullanan ülkelerde 1000 Hz orta frekans kaynak makineleri (MFDC=Medium Frequency Direct Current) uzun zamandan beri 50 Hz direnç kaynak makinelerinin (single phase AC) yerini almış durumdadır. Ülkemizde de MFDC kaynak makinelerinin kullanımı otomotiv ana sanayilerin öncülüğünde başlayarak otomotiv yan sanayilerinde de yaygınlaşma eğilimindedir.

Yeni nesil yüksek dayanımlı çelikler başta olmak üzere alüminyum, titanyum ve alaşımlarının artan kullanımı MFDC teknolojisinin geliştirilmesine neden olmuştur. MFDC teknolojisi, üç fazlı beslemesi olan bir invertör yardımıyla akımı doğrultup filtreleyerek 500 V ve 1000 Hz alternatif gerilim üretir ve doğrultulmuş kaynak akımı sağlayan uygun bir trafoya besler. Bu teknoloji ile, 1000 Hz’de yapılan kaynakta kompakt pulse formu ile yüksek güç elde edilir. 1 ms’deki düzenleme (regülasyon) ve indüktif kayıpları düşürülerek dinamik bir düzenleme sağlanır. MFDC kaynak makineleri, Şekil 2.7’de görüldüğü gibi orta frekans çevirici ve transformatörlü doğrultucu kısımlarından oluşmaktadır



Şekil 2.7. MFDC orta frekans çevirici ve transformatörlü doğrultucu.

Orta frekans çeviriciler ise yukarıdaki şekil 2.7’de görüldüğü üzere 2 kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar; güç elektroniği ve kontrol elektroniğidir.

1. Güç elektroniği: Bu kısım, üç faz besleme geriliminden kaynak transformatörüne değişken voltaj darbeleri üretilmesini sağlar.
2. Kontrol elektroniği: Bu kısım, akımın kontrolüne yönelik kaynak fonksiyonlarını yerine getirir. Ayrıca programlanabilir otomatik görevlerin ve haberleşme ara yüzlerinin desteklenmesini sağlar.

Şekil 2.7’de MFDC frekans çevirici olarak anlatılan kısımda 50/60 Hz üç faz besleme gerilimi bir yarı kontrollü doğrultucu köprüsü tarafından doğru gerilime dönüştürülür ve depolama kondansatörleri tarafından düzenlenir. Bu üretilen doğru voltaj (hat gerilimi $\times \sqrt{2}$) transistör içeren H köprüsüne uygulanarak frekansı 1000 Hz’lik kare dalga voltajına dönüştürülür. Bu gerilim bir transformatörlü doğrultucuya bağlanır. Kare dalganın genliğini değiştirme yöntemi (PWM, Pulse Width Modulation) ile voltajın değeri değiştirilebilir [33].

Şekil 2.7’de transformatörlü doğrultucu olarak anlatılan kısımda ise çevirici tarafından üretilen değişken voltaj darbeleri kaynak transformatörlü doğrultucuya uygulanarak voltaj seviyesi düşürülür (5 V ile 18 V arası) ve akım artırılması sağlanır. Voltaj ve akım parametreleri 1000 Hz’ye göre doğrulduğu için sekonder devrede kayıplar düşük olur.

MFDC kaynak teknolojisinin ülkemizde kullanımı özellikle otomotiv sanayi başta olmak üzere son zamanlarda hızla artmaktadır. Bunun sebebi MFDC teknolojisinin, Ti ve galvaniz kaplamalı malzemelerde düşük kaynak izi oluşturmasıdır. Bu teknoloji sıcak şekillendirilmiş Al-Si kaplamalı malzemenin nokta direnç kaynağında ise akımın her milisaniyede hassas bir şekilde kontrol edilmesi sayesinde çok kısa sürede gerçekleşmesi, yüksek akımla kaplama tabakasının kırılması ve ardından ana kaynak akımı ile kaynak çekirdeğinin oluşturulması gerektiğinden önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca makinanın etkin soğutması sayesinde elektrodların aşınması

azaltılarak % 30 ısıl ömrü iyileştirir. Bunların dışında MFDC teknolojisinin sağladığı üstünlüklerin bazıları şunlardır.

- Kaynak süresi geleneksek yöntemlere göre oldukça kısadır.
- Dada az ısı girdisinden dolayı daha az deformasyon meydana getirir.
- Daha az enerji tüketimi ile tasarruf sağlar.
- Daha iyi ve hassas kaynak akım kontrolü sağlanır.
- Kısa kaynak süresi, alüminyum ve alaşımlarında kaynak kabiliyetini artırır.

Bu olumlu avantajlarının yanında MFDC teknolojisi ile çalışan kaynak makinalarının maliyetlerinin geleneksel kaynak makinalarına göre yüksek olması dezavantajlarından sayılabilir.

2.3.2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri

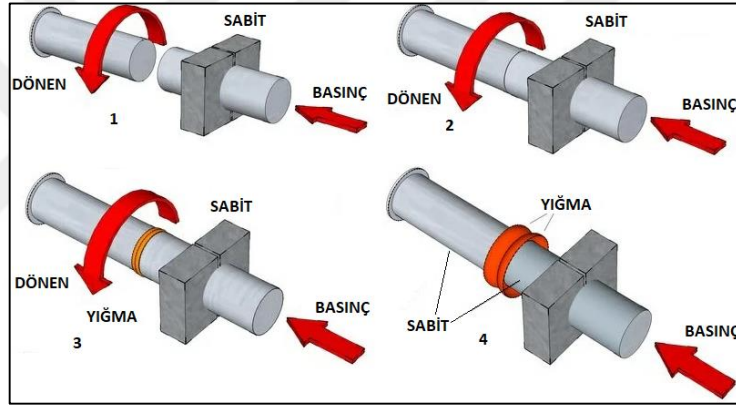
Katı hal kaynak yöntemi malzemelerin ergime dereceleri altında dışarıdan uygulanan basınç yardımıyla birbirine temas eden birbiriyle aynı veya farklı malzemelerin iki yüzey arasında metalürjik bağ oluşturularak yapılan birleştirme işlemidir. Katı hal kaynak yöntemleri için ilave bir metale ihtiyaç duyulmaz. Soğuk kaynak, sürtünme kanağı, ultrasonik kaynak, patlatma kaynağı, difüzyon kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı uygulanan katı hal kaynak yöntemleridir [34].

2.3.2.1. Soğuk Kaynak

Bu birleştirme yöntemi farklı katı hal kaynak yöntemlerinin gelişimine ve türetilmesine katkısı olmuş ancak günümüzde kullanılmayan bir birleştirme yöntemidir [34]. Soğuk kaynak yöntemi bilinen en eski kaynak yöntemlerinden biridir. Bu kaynak yöntemi eski zamanlarda demircilerin üst üste bindirdikleri iki metal parçayı döverek yaptıkları birleştirme işlemidir. Günümüzde ve yakın gelecekte bu birleştirme yönteminin tercih edilen bir kaynak yöntemi olarak ortaya çıkması düşük bir ihtimaldir.

2.3.2.2. Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı katı hal kaynak yöntemleri içinden endüstride en çok tercih edilen birleştirme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemin endüstride bu denli çok tercih edilmesi, farklı malzemelerin birleştirilmesi, yüksek mukavemet değerlerine ulaşılması ve seri üretime uygun olması gösterilebilir. Sürtünme kaynağı prensip olarak biri dairesel olarak hareket eden iş parçası ile sabit yatay hareket eden iş parçası arasında sürtünme ve basınç etkisiyle ısı meydana gelir. Isınan iş parçalarının sürtünme yüzeyleri hamur kıvamına gelince dairesel harekete son verilir ve yatay eksenli bir basınç uygulanır. Uygulanan basınç ile birlikte birleştirme işlemi gerçekleşir. Şekil 2'8 de sistemin prensibi gösterilmiştir [35].



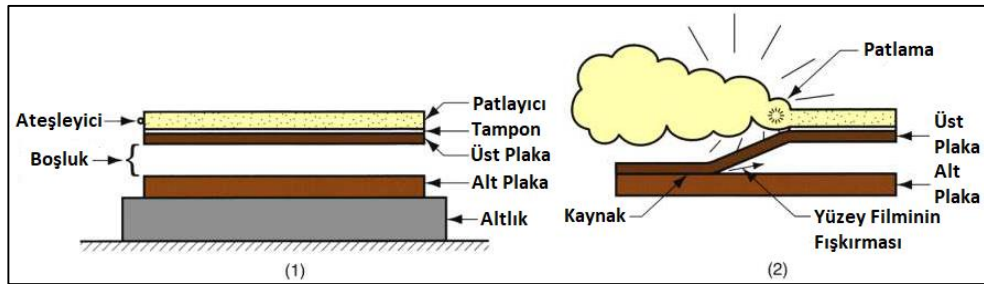
Şekil 2.8. Sürtünme kaynak yöntemi çalışma prensibi.

Difüzyon kelime anlamı olarak maddelerin çok yoğun ortamdan az yoğun ortama yayılmasına denir. Kaynak yöntemi de kelime anlamından yola çıkarak malzemelerin ergime derecelerinden düşük sıcaklıklarda sıcaklık ve basınç etkisiyle iş parçaları arasında oluşan atomsal yayılma ile oluşan birleştirme yöntemidir. Bu kaynak yöntemi farklı malzemelerin birleştirilmesine olanak sağlar. Difüzyon kaynağı uzun ve maliyetli bir birleştirme yöntemi olduğu için seri üretim için çok uygun değildir. Bu birleştirme işlemi uzay endüstrisindeki, kritik ve stratejik parçaların kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Difüzyon kaynağı prensip olarak iş parçasına verilen ısı ile atomlar arası bağlar genişler ve basınç etkisiyle genişlemesi yönlendirilen atomlar iş parçaları arasında karşılıklı atom geçişleri olur. Bunun etkisiyle iş parçaları arasında kaynaklı birleştirme meydana gelir. Bu kaynak yöntemi aralarında yüksek ergime

dereceleri farkı olan malzemelerin kaynağında ve daha hızlı kaynak süreleri istenen parçaların birleştirilmesinde ara tabaka olarak üçüncü bir malzeme kullanılır [36–38].

2.3.2.3. Patlatmalı Kaynak

Geleneksel kaynak yöntemleri büyük levhaların ve boruların birleştirilmesinde pozisyon olarak alın alına, levha üzerine dikme veya parçanın belli bir kısmının üst üste bindirilmesi ile yapılır. Fakat bu geleneksel yöntemler levhaların ve boruların bir kaplama gibi tüm yüzeyde birleştirilmesine olanak sağlamamıştır. Bu istek doğrultusunda bir tesadüf eseri olarak birinci dünya savaşı sırasında bombalardan kopan parçaların etraftaki metal parçalara yapışmasıyla ilk dikkatleri çeken patlatmalı kaynak yöntemi geliştirilmiş ve günümüzdeki şekline gelmiştir. Patlatmalı kaynak yöntemi prensip olarak aralarında boşluk bırakılan iki ya da daha fazla levhanın üzerinde bir patlayıcı maddenin patlaması ile oluşan basınç altında malzemeler arasında bağ meydana gelmesidir. Bu yöntemde taban plakası bir altlık ile desteklenmelidir. Patlatmalı kaynak işlemi yapılabilmesi için özel bir ortam ve özel izinlerin alınması gerekir [39,40]. Şekil 2.9’da patlatmalı kaynağının görsel gösterimi verilmiştir.

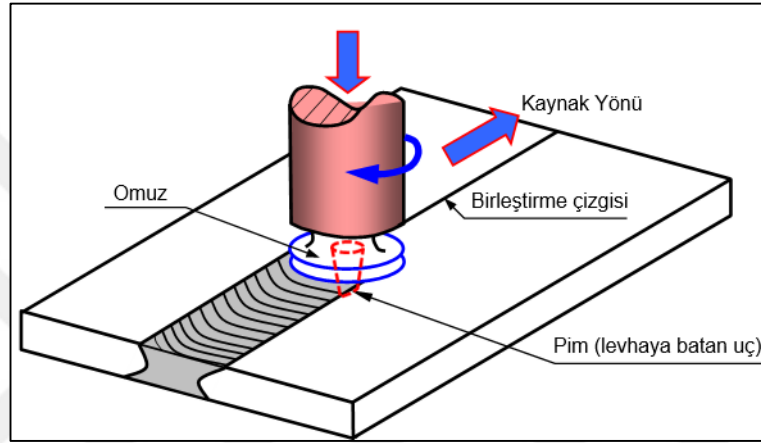


Şekil 2.9. Patlatmalı kaynak yöntemi görsel gösterimi.

2.3.2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme-karıştırma kaynak yöntemi geleneksel kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi zor olan birbiri ile aynı veya farklı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağında genel olarak silindirik malzemelerin birleştirilmesi ve farklı şekilli malzemelerin kaynağın da zorlukların olması sürtünme

karıştırma kaynak yönteminin ortaya çıkış nedenlerinden biridir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, alın altına birleştirilmiş olan iş parçalarının birleşme yüzeylerinden yüksek devirde dönen karıştırıcı bir uç istenilen mesafe boyunca belirli bir ilerleme hızıyla birleştirme işlemidir. Sürtünme karıştırma kaynağı farklı pozisyonlarda kaynak işlemine olanak sağlamadığından dolayı otomotiv sektöründe kullanılan montaj hatlarında kullanılmaya çok da uygun değildir [41,42]. Şekil 2.10'da sürtünen eleman ile kaynak yönteminin prensibi verilmiştir.



Şekil 2.10. Sürtünen eleman ile kaymak yönteminin prensibi.

2.3.2.5. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı

Sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi seri üretim ve kaynak pozisyonu açısından zayıf kalan sürtünme karıştırma kaynağından geliştirilmiştir. Bu kaynak yöntem mevcut kaynak yöntemleri içerisinde en güncel kaynak yöntemlerinden biridir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı 21. yy. da elektrik direnç nokta kaynağına bir alternatif olarak literatüre sunulmuştur. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, daldırma, karıştırma ve geri çekilme olarak üç aşamadan oluşur [21,43].

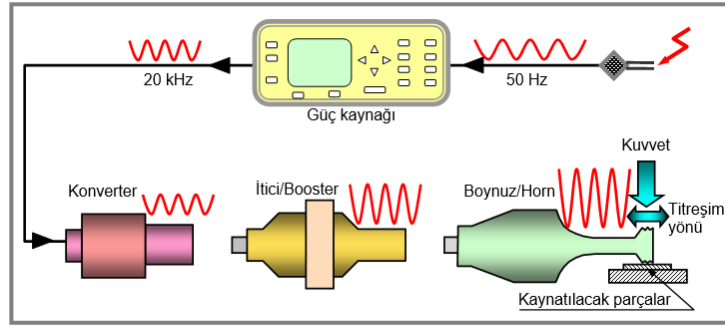
Daldırma: Belirli bir devir ile dönen kaynak ucu üst üste bindirilmiş iş parçasına daldırılır ve kaynak için gerekli ısının ortaya çıkması beklenir.

Karıştırma: Isıyla hamur kıvamına gelen kaynak metalinin plastik akışını omuzun desteklemesi ile birleştirme işlemi gerçekleşir.

Şekil 2.11. Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin prensibi

2.3.2.6. Ultrasonik Kaynak Yöntemi

Ultrasonik kaynak; elektrik-elektronik endüstrisinde kondaktör, mikro devre bağlantıları gibi ince alüminyum ve benzeri gereçlerin nokta ve seri olarak kaynatılmalarında kullanılmaktadır. Genellikle diğer kaynak yöntemleri ile kaynatılması güç olan laboratuvar ve araştırmalardaki hassas, ince parçaların birleştirilmesi kolaylıkla yapılmaktadır. Bu yöntemle genel olarak, kalınlıkları 0.025-2,5 mm arasındaki gereçler kaynak yapılmaktadır. Şekil 4.12’de ultrasonik kaynak makinası donanımları verilmiştir.



Şekil 2.12. Ultrasonik kaynak makinasın donanımları.

2.3.2.7. Yüksek Frekans Kaynağı

Yüksek frekans kaynağı (High-frequency welding), elektrik direncinden doğan yüksek sıcaklık ile iş parçası hareket ederken uygulanan birleştirme (yığma) kuvvetinin etkisi ile metal malzemelerin birleştirilmesi işlemidir. Bilinen direnç kaynak yöntemlerinde 50 Hz alternatif akım veya doğru akım kullanılır. Metalin ısınması için dirençte yüksek akımlar gereklidir ve büyük parçalara elektrik bağlantısı yapıldığında kaynak bölgesinin çevresinin kapalı olması gereklidir. Voltaj düşerken kaynak nüfuziyeti düşer ve bir elektrodtan parçaya düşük direnç akımı ile hareket boyunca bir iz meydana getirir.

BÖLÜM 3

ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

3.1. 5XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Din ve arkadaşları [45] farklı kalınlıktaki AA5052 alüminyum alaşımlarını elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve kalınlık farkının mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Bunun için 2 mm kalınlığındaki AA5052 alüminyum alaşımlarını sırasıyla 1,2 mm ve 3,2 mm kalınlığındaki sac parçaları 6 mm çapındaki elektrod ile aynı parametrelerde birleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda sac kalınlığının artması ile kırılma hızın arttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca 2 mm 3,2 mm kalınlığındaki kaynaklı numunelerin hızlı soğumasından dolayı, kaynak çekirdeğinin hem enine doğru hem de kalınlık yönünde en düşük sertlik değerlerine sahip olduğu ölçülmüştür. Birleşme mikro yapısı, daha büyük ergimiş metal hacmini gösteren daha kalın tarafta daha büyük olan asimetrik çekirdek çapı şeklinde görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Han ve diğerleri [46] AA5754 alüminyum alaşımlarını elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirerek, çekme-makaslama, çapraz-çekme ve soyma test (coach-peel) uygulamaları ile mekanik mukavemet özelliklerinin tespit edilmesi için çalışmalar yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda kaynak çekirdek çapının çekme-makaslama mukavemetine doğrudan bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte çapraz-çekme testi içinde ölçülen mukavemet değerlerine de kaynak çekirdek çapının etkisi tespit edilmiştir. Ana levhanın kalınlığına bağlı olarak soyulma testi için de ayrı mukavemet seviyeleri olduğu tespit edilerek rapor edilmiştir.

Senkara ve diğerleri [47] yaptıkları deneysel çalışmada AA5754 alüminyum alaşımlarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde oluşan çatlak oluşumunu gözlemek ve buna çözümler üretmeyi hedeflemişlerdir.

Kaynaklı malzemelerin metalografik incelemelerinde, ısıdan etkilenen bölgede (HAZ) yer alan çatlakları gözlemişlerdir. Bu çatlakları sadece boyuna alınan kesitlerde görüldüklerini belirtmiştir. Dentritik kırılma ve yüzey morfolojisi, sıvı metal varlığı yüksek sıcaklıklarda taneler arası çatlak oluşumunu ve yönelimini kanıtladığı literatüre eklenmiştir.

Reshid ve arkadaşları [48] AA5182 alüminyum alaşımlarının küresel uçlu elektrodla elektrik direnç nokta kaynağı sırasında çekirdek oluşumunu ve büyümesini incelemişlerdir. Ara yüzeydeki temas davranışını incelemek için deneysel çalışmalar ve sonlu eleman analizi kullanmışlardır. Elektrik nokta direnç kaynağı sırasında levhaların arasında deformasyondan kaynaklı oluşan ayrılmaların, basınç sırasında meydana geldiği ve basıncın çekirdek oluşumuna etkisinin olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca akım fazının başlangıcında meydana gelen yüksek akım yoğunluğu temas yüzeylerinde önemli ölçüde ısı oluşumu meydana geldiğini ve bu ısının çekirdek oluşumunu başlattığını gözlemişlerdir.

Hassanifard ve Zehsaz [49] AA5083 alüminyum alaşımını elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirmiş, bilgisayar ile modellemiş olduğu elektrod ve plakaları ansys programında artık gerilmelerin yorulma ömrü üzerindeki etkilerinin tespiti için simülasyon çalışmaları yapmışlardır. Elektrik direnç nokta kaynağı sırasında kullanılan basınç hariç diğer tüm proses parametreleri sabit kabul etmişler, ayrıca üç farklı basınç değeri seçilerek çekirdek ve ITAB boyutlarını sayısal olarak elde etmişlerdir. Yerel gerilim aralıklarını elde etmek için kullandıkları testler ve yorulma ömürlerini tahmin etmek için kullanmış oldukları Morrow denklemi ile deneyler arasında yakın değerler elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Ayrıca elektrod basıncının artması ile sac plakalar arasında boşluğun arttığını ve gerilmelerin azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca yorulma ömürlerinin sayısal sonuçları ile deneysel veriler arasındaki karşılaştırma, sayısal tahminler ve deneyler arasında iyi bir uyum olduğunu rapor etmişlerdir.

3.2. 6XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sashank ve diğerleri [50] AA6063 alüminyum alaşımını sırasıyla 700, 1000 ve 1500 devir hızında ve 60-100 mm/dk ilerleme kullanarak sürtünme-karıştırma kaynağı ile birleştirmişlerdir. Çalışmalarında 4 mm çapında pim ve 15 mm çapında omuz kullanmışlardır. Kaynaklı bağlantıların mikroyapıları incelenmiş ayrıca mekanik özelliklerinin tespiti için çekme ve sertlik testleri yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda yaklaşık 700 rpm takım dönüş devri ile 60 mm/dk kaynak ilerleme hızı kullanılarak yeterli çekme mukavemeti ve sünekliğin elde edildiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca kaynak, karıştırma bölgesinde ince yeniden kristalize edilmiş taneler ve termomekanik olarak etkilenen bölgede geri kazanılmış taneler gözlemlemişlerdir.

Ramirez ve diğerleri [51] 6XXX alüminyum alaşımlarının içerdiği elementlerin etkisi ile katılma sonundaki sıvı miktarının, katılma çatlak sayısı ve artmasında veya azalmasında baskın bir faktör olmasından yola çıkarak 6061 – T6 alüminyum alaşımının elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde ısı girdisinin katılma çatlaklarına etkisini incelemişlerdir. Ayrıca elde edilen kaynaklı numunelerin çatlama dereceleri, TIG kaynağı mikroyapıları ile inceleyerek çatlama derecesinin ölçümleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada ısı girdisinin mikro ayrışma miktarını kontrol eden yapısal soğutma başlangıcını tetiklediğini, düşük ısı girdisi ile ötektik sıvı tanelerde toplanarak çatlama duyarlılığında azalma olmasını ve yüksek ısı girdisi ile ötektik sıvı tanelerde değil de tane sınırlarında birikerek çatlak oluşumunu tetiklediği ve büyümesini kolaylaştırdığını tespit etmişlerdir.

Pereira ve diğerleri [52] 1 mm kalınlığındaki AA6082–T6 alüminyum alaşımını farklı kaynak akımı, kaynak zamanı ve kaynak kuvveti kullanarak elektrik direnç nokta kaynağı ile farklı kaynak parametreleri kullanarak elde ettikleri kaynaklı numuneleri mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişler ve kaynak parametrelerinin kaynak kalitesine olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Kaynaklı birleştirmeler, dayanımlarını ve kırılma durumlarını belirlemek için statik çekme-makaslama testlerine tabi tutulmuştur. Yaptıkları çekme-makaslama çalışmalarda kaynak akımının ve süresinin artması ile çekirdek çapının ve kaynak mukavemetinin arttığını ayrıca arayüzey ayrılma modunun değiştiğini belirtmişlerdir. Çalışmalar sonunda sac kalınlığı ve

kaynağın mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak, ısıtım işlem görebilen alüminyum alaşımların kaynaklarında çekirdek çapının tahmini için basit bir model önermişlerdir.

Turnage ve diğerleri [53] 2 mm kalınlığında AA6061-T6 alüminyum alaşımını elektrik direnç nokta kaynak yönteminde MFDC teknolojisi kullanarak ile 3,8 kN elektrot kuvveti, 30 kA kaynak akımı ve 0,115 s sürelerde birleştirerek kaynak sırasında meydana gelen sıcaklığın mikroyapıya ve mekanik özelliklere etkilerini incelemişlerdir. Yapılmış olan deneysel çalışmada, çökelti dağılımı nedeniyle ısıdan etkilenen bölge ve ergime bölgesinde malzeme mukavemetinin azaldığını gözlemişlerdir. Ayrıca, kaynak çekirdeğinde porozitelerin meydana geldiğini, bu porozitelerinde sünekliği düşürdüğünü ve çatlak başlangıcı oluşturduklarını tespit etmişlerdir. Genel olarak çökelti dağılımının kaynak sırasında meydana gelen mikroyapıyı etkilediğini raporlamışlardır.

3.3. 6XXX-5XXX ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Shi ve Guo [54] AA6111-T4 ve AA5754 alüminyum alaşımlarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirerek kaynaklı bağlantıların yorulma davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca kaynaklı numunelere çekme-makaslama, soyma (coach peel) ve sertlik testleri uygulamışlardır. Yorulma testlerinde yük kontrolü gerçekleştirmek için bir MTS servo hidrolik test sistemi kullanmışlardır. Yorulma sonuçları, elektrik direnç nokta kaynağının yorulma mukavemetinin öncelik olarak numune yükleme tipine ve ölçü kalınlığına bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ana malzeme ve yük oranının kaynaklı numunenin yorulma direnci üzerindeki etkilerini önemsiz olarak belirtmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada tanımlanan yorulma hasarı parametresinin, büyük miktarda yorulma verisini dar bir bantta birleştirmede etkili olduğunu kanıtlamışlar ve özellikle bileşenlerin ve numunelerin karşılaştırmalı yorulma mukavemeti değerlendirmek için uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Lee [55] 30x100x 1 mm ebatlarındaki AA6014-T4 ve AA5052-O serisi farklı alüminyum alaşımlarını 30, 35 ve 40 kA kaynak akımı ve 60, 80 ms kaynak süresi ve

3.55, 3.78 ve 3.79 kN yük altında elektrik direnç nokta kaynak yöntemi birleştirmiş ve meydana gelen problemleri ele almıştır. Deneysel çalışmada maksimum çekme-makaslama kuvveti ve en büyük çekirdek boyutunu elde etmek için kaynak parametrelerini optimize etmiştir. Kaynağın mekanik özellikleri, ergime bölgesi yanı sıra ısıdan etkilenen bölgenin özelliklerinin de etkilendiğinden, kaynak mikroyapısını ve mekanik performansı ele almak için mikroskobik analiz yapmıştır. Kaynak çekirdeğinde gözeneklerin oluştuğunu, ayrıca kaynağın asimetrik çekirdek morfolojisi ve hetorejen özellikleri, kaynaklı malzemelerin ayırt edici fiziksel özelliklerinden ve mekanizmalarından kaynaklandığını belirtmiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada Ferreira ve diğerleri [56] yeniden doldurma sürtünme-karıştırma nokta kaynak yöntemi ile birleştirdikleri 120x30x1.2 mm ebatlarındaki AA5754-H22 ve AA6061-T6 alüminyum alaşımlarının iç kusur oluşumunu araştırmışlar. Çalışmalar esnasında 1000, 1500 ve 2000 dv/dk dönme hızı kullanmışlardır. Ayrıca Box-Behnken yöntemini kullanan bir deney tasarımı, ardından varyans analizi kullanan istatistiksel bir inceleme ve yanıt yüzeyi modellemesi, güvenilir bir optimizasyon metodolojisi olduğu kanıtlanan analiz araçları kullanmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada kullanan optimizasyon, yüksek kesme-makaslama mukavemetine sahip sağlam kaynaklı birleştirmeler ürettiğini, istatistiksel analiz, doğrusal dalma derinliğinin, ikinci dereceden dönme hızı, besleme hızı, dönme hızının ve iki yönlü etkileşiminin kesme mukavemeti üzerinde büyük bir etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun yanında kötü parametre (outlier sample) kullanılarak yapılan diğer kaynaklı numunesi üzerindeki metalografik analizde büyük ölçekteki düşük sürtünmeli ısı girdisine kadar olan boşlukların ve yeniden doldurma kusurların işaret ettiğini gözlemlemiş ve bu kusurların varlığı kaynaklı bağlantının erken çatlak oluşumunu gözlemlemişlerdir.

Hu ve diğerleri [57] 1.0 mm kalınlığında AA5754-O, 1.2 mm kalınlığında AA6022-T4 alüminyum alaşımı mslzemeleri 2.0 mm kalınlığında sıcak galvaniz kaplı düşük karbonlu çelikle sorunsuz bir şekilde birleştirmek için GM patentli çok halkalı kubbe elektrod ile birlikte geleneksel elektrik direnç nokta kaynak yöntemi kullanmışlardır. AA5754-düşük karbonlu çelik ve 6022-T4- düşük karbonlu çelik şeklinde elektrik direnç kaynak yöntemi ile birleştirdikleri numuneleri kaynak profili, arayüz mikro

yapısı, kusur dağılımı ve çekme-makaslama performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için deneysel çalışmalar yaptılar. Yapılan deneysel çalışmada AA5754 alüminyum alaşımının atmosferik koşullara maruz kaldığında daha yüksek bir temas direnci geliştirdiğini, erimiş alüminyum çekirdeğinin fişkırması ile çekirdek boyutunda eş zamanlı azalma ile elektrik direnç nokta kaynağının kesintiye uğraması ile mekanik performansta kayba neden olduğunu gözlemlenmiştir. Buna karşılık AA6022-T4 alüminyum alaşımının daha düşük bir temas direnci göstererek fişkırmayı azalttığını ve daha büyük çekirdek oluşumuna sebep olduğu ve AA5754 alüminyum alaşımından daha iyi mekanik performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

3.4. MFDC YÖNTEMİ KULLANILARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR

Venugopal ve Fernandez [58] orta frekanslı doğru akım (MFDC) makineleri kullanarak elektrik direnç nokta kaynağı uygulamalarında zamanla değişen elektrod kuvvetinin kaynak çekirdek boyutu üzerindeki etkilerini incelemişler ve elektrik direnç nokta kaynak prosesini SORPASTM kullanılarak, değişen kuvvet profilleri ve süreleri ile MFDC-RSW için simülasyonlar yapmışlar. Bununla karşılaştırmak için Unidriye TM motor dengeleyicisi ve gerçek zamanlı yerleşik programla birlikte 4,5 KW'lık bir servo motorla donatılmış bir elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile kaynaklı numuneler elde edilmiştir. Simülasyon ve sabit profili ile sabit akım kullanılarak elde edilen kaynaklı bağlantın sonuçları karşılaştırmışlar. Simülasyon sonuçları, üç seviyeli bir kuvvet kademesinin, aynı kaynak akımı ve kaynak süresi ayarları için çekirdek boyutunu %10 oranında artırabileceğini göstermiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada ise Li ve diğerleri [59] Alternatif akım (AC) elektrik direnç nokta kaynağı (RSW) ile orta frekanslı doğru akım (MFDC) elektrik direnç nokta kaynağı (RSW) uygulamalarının, kaynak boyutu, enerji tüketimi ve verimliliği açısından karşılaştırmak için deneysel çalışmalar yapılmış, deneysel çalışmada enerji ölçümü için transformatörün hem birincil hem de ikincil tarafındaki ölçüm cihazları ile donatılmış ve kaynak boyutunu ölçümü içinde çekirdek büyüme deneyi yapılmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada AC ve MFDC elektrik direnç nokta kaynağı için aynı kaynak akımı verildiğinde kaynak boyutunun farklı olduğu, düşük kaynak akımı verildiğinde farkın daha belirgin olduğu ve yüksek kaynak akımı

verildiğinde ise kaynak boyutunun benzer olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca AC-RSW işleminde aynı kaynak boyutunu ele etmek için MFDC-RSW işlemine göre %10 daha fazla toplam enerji gerektiği ölçülmüş ve AC-RSW ile MFDC-RSW kaynak işlemlerinin verimliliğini tartışmışlardır. Genel olarak, DC kaynak makinesi daha verimli olduğunu, AC kaynağının enerji verimliliği yaklaşık % 26, yani toplam elektrik enerjisinin %74'ü kaynak makinesinin kendisinde boşa harcandığını, DC kaynak işleminde enerji verimliliği yaklaşık %37 olduğunu ve elektrik enerjisinin %63'ünün makinede kaybolduğunu rapor etmişlerdir.

Yapılan bir diğer çalışmada ise Li ve arkadaşları [60] alternatif akım (AC) ile orta frekanslı doğru akım (MFDC) elektrik direnç nokta kaynak (RSW) uygulamalarının kaynak boyutunu ve enerji tüketimini karşılaştırmak için hem deneyler hem de sonlu eleman simülasyonu ile araştırmışlar. Deneyler, biri tek fazlı AC ve diğeri orta frekanslı DC kaynak kontrollü iki özdeş elektrik direnç nokta kaynak makinelerinde yapılmıştır. Makinelerin enerji hesaplamaları için hem birincil hem de ikincil voltaj ve akım sinyallerinin toplanabileceği şekilde düzenek oluşturulmuş, AC ve MFDC süreçleri arasındaki farkın altında yatan mekanizmaları anlamak için sonlu eleman simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Akım dalga formunu etkisinin incelenmesi için simülasyon modeline girdi olarak gerçek süreç ölçümleri kullanılarak araştırmışlardır. MFDC kaynak prosesinin aynı değerlerde kaynak akımı ile kaynak yapıldığında AC kaynak prosesine göre daha büyük kaynak çekirdeği oluşumunu gözlemişlerdir. Bununla birlikte nispeten daha düşük akımlarda kaynak yapıldığında aralarındaki fark daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu çalışmalarında literatürde [59] referanslı yapmış oldukları önceki çalışmalarda da belirttiği AC kaynak yönteminin MFDC kaynak yöntemine göre daha fazla enerji gerektirdiği bu çalışmada tekrar etmiştir. İki yöntem arasındaki farkların temas direnci davranışından ve elektrik endüktansından kaynaklandığını söylemişlerdir.

Xia ve arkadaşları [61] MFDC elektrik direnç nokta kaynağı makinelerinde kullanılan analog entegratörlerin performansın etkileyen entegrasyon kayması ve kapasitif sızıntı hatasını ölçmek ve bunu telafi etmek için yeni hassas bir entegratör sistemi geliştirmek istemişlerdir. Kapasite kaçaktan kaynaklanan entegrasyon hatasını ölçmek için voltaj tutma testi yapmışlar ve kapasite kaçak hatasını gerçek zamanlı telafi etmek için geri

besleme toplayıcı entegrasyonlu tasarlamışlardır. Yapılan deneysel sonuçlar ve istatistiksel analizler yeni analog entegratör sisteminin hem sürüklenmeyi (entegrasyon kayması) hem de kapasitif sızıntı hatasını sınırladıkları ve bunun etkisi ile farklı çıkış sinyallerine ve voltaj seviyelerine karşı dayanıklı olduğunu gözlemişlerdir.



BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasının bu bölümde öncelikle çalışmalarda kullanılan malzemeler kısaca tanıtılacak akabinde bu çalışmayı diğerlerinden bir adım ön plana çıkaran MFDC teknolojisi ile çalışan DA kaynak makineleri hakkında bilgiler verilecektir. Bu bölümün ilerleyen kısımlarda ise çalışmada kullanılan kaynak parametreleri ve kaynak işlemlerinin yapılışı ile kaynaklı numunelere uygulanan mekanik ve metalürjik testler hakkında detaylı açıklamalar yapılmıştır.

4.1. MALZEMELER

Bu çalışmada yüksek deformasyon özellikleri nedeniyle otomobil iç parçalarında ve döşeme panelinde yaygın olarak kullanılan AA5754 (yaşlandırılmaz Al-Mg alaşımı) alüminyum alaşımı ile yüksek mukavemet ve korozyon direnci nedeniyle otomotiv sanayinde de tercih edilen AA6063 (yaşlandırılabilir Al-Mg-Si alaşımı) alüminyum alaşımı malzemeler kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de çalışmalarda kullanılan AA5754 ve AA6063 malzemelerin kimyasal bileşimleri, Çizelge 4.2’de ise aynı malzemelerin bazı mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri (Ağırlıkça %).

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA5754	<0.40	<0.40	<0.10	<0.50	2.6-3.6	<0.30	<0.20	<0.15	Kalan
AA6063	0.43	0.15	0.001	0.015	0.47	0.001	0.002	0.008	98.90

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.

	Kondüsyon	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
AA5754	H111	80	190-240	14	52
AA6063	T4	90	160	21	50

Çizelge 4.2’de verilen AA5754 malzeme için H111 kondisyonu deformasyon sertleşmesi sonrası hafif düzeyde gerginlik giderme ısıtılmalı, AA6063 malzeme için T4 kondisyonu ise çözeltiye alma işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış durumdadır.

Kaynak çalışmaları için seçilen AA5754 malzemeler genellikle levhalar halinde (2000x5000x1.5 mm), AA6063 malzemeler ise “L” geometrili (20x40x1.5 mm) ekstrüzyon profiller olarak bulunmaktadır. Kaynak çalışmaları için piyasadan ticari olarak temin edilen AA5754 levhalardan lazer kesim ile, “L” geometrili AA6063 ekstrüzyon profillerinden ise testere ile 30x100x1.5 mm boyutlarında plakalar kesilmiştir. Kaynak işlemleri için her bir malzeme çeşidinden 50’şer adet kesilmiş ve bu numunelerin bir kısmı pilot çalışmalar için, bir kısmı da çalışmalarda kullanılmıştır. Kaynak işlemleri için kesilen AA5754 ve AA6063 malzemelerin görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan malzemeler a) AA5754 ve b) AA6063.

4.2. KAYNAK MAKİNASI

Alüminyum malzemelerin ısı ve elektrik iletkenliklerinin yüksek olması bu malzemelerin kaynak işlemlerini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin birleştirilmesinde yüksek akım değerleri kullanmak zorunlu hale gelmektedir. Örneğin bir çalışmada Sun ve diğerleri [62]; 1.5 mm kalınlığında AA5182 ve AA6111 malzemeleri nokta direnç kaynak yöntemi ile AC akımda birleştirmek için 0.370-inç elektrod, 34.0 kA kaynak akımı, 1050 lbf elektrod kuvveti ve 8 periyod kaynak süresi kullanmışlardır. Bir başka çalışmada Naimi ve arkadaşları [63] 0.6, 1.0 ve 1.5 mm

kalınlığında AA1050 alüminyum malzemelerin AC akımda birleştirebilmek için 26-32 kA kaynak akımı, 1.85 elektrod kuvveti ve 18 periyod kaynak zamanı kullanmışlardır. Verilen bu bilgiler ışığında çalışmada kullanılan malzemelerin birleştirilmesinde AC akım yerine DC akımda MFDC (Medium Frequency Direct Current) teknolojisi olan bir makinenin kullanılmasına karar verilmiştir. Ülkemiz şartlarında bu yüksek akım değerlerinde kaynak işlemi yapabilecek kaynak makinasının sınırlı olması, ayrıca MFDC teknolojisinin üstün özelliklerinin bulunması bu çalışmanın DC akımda yapılması için itici bir güç olmuştur. Literatürde [64] MFDC tekniğinde kısa kaynak süresinin alüminyum ve alaşımlarında kaynak kabiliyetini arttırdığı, ayrıca bu teknoloji ile sıçramaların azaltıldığı belirtilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan MFDC teknolojisine sahip bilgisayar kontrollü Un-BETA-323 2x170KVA kaynak makinası görüntüsü Şekil 4.2’de, kaynak makinasına ait teknik özellikler de Çizelge 4.3’de verilmiştir.



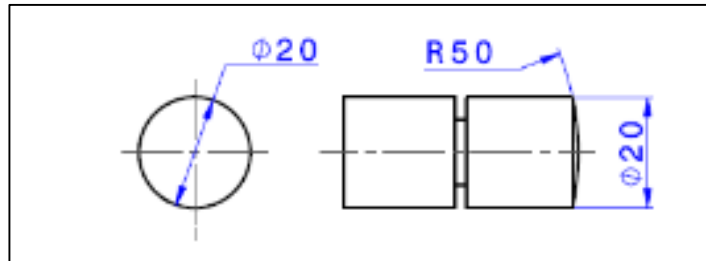
Şekil 4.2. Kaynak işlemlerini gerçekleştirdiği MFDC makine.

Çizelge 4.3. Kaynak makinesi teknik özellikleri.

Un-Beta 323 2x170KVA MFDC Projeksiyon Kaynak Makinası		
Kaynak Trafosu	-	TSEMF-170 (x2)
Kaynak Gücü 50% F.M.	KVA	2x170
Toplam Güç	KVA	340
Besleme Voltajı 50Hz	V	400
Primer Akımı 50% F.M.	A	890
Sekonder Kısa Devre Akımı (CC 5 peridos)	KA	100
Inverter (Master-Slave)	-	MFC-3015W (x2)
Sigorta Beslemesi	A	900
Kontrol Ünitesi (Master&Slave)	-	2 x MFC-3015
Kaynak Silindiri.	ø	125 TANDEM
Kaynak Silindiri Çalışma Kursu	mm	125
Makina Anma Hava Basınç Giriş beslemesi	bar	6
Kaynak Silindiri Hava Tüketimi (50 mm. Kursa göre)	Nl	15
Silindir baskı kuvveti (6 bar)	daN	1400
Su akışı (4bar)	l/dk	18
Giriş suyu Min-Max. Sıcaklık	°C	22-24
Su Basıncı Nominal değere göre.	bar	4

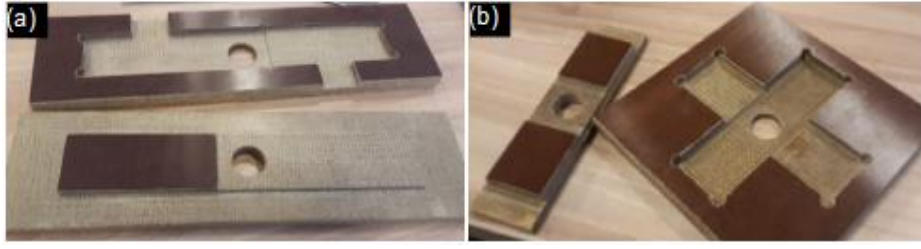
4.3. KAYNAK ELEKTRODU VE KALIPLARI

Çalışmada kullanılacak malzemelerin birleştirilmesinde yüksek iletkenlik kabiliyetine sahip R50 mm radyuslu 20 mm çapında AC1Z (CuCrZr) su soğutmalı bakır elektrod kullanılmıştır.

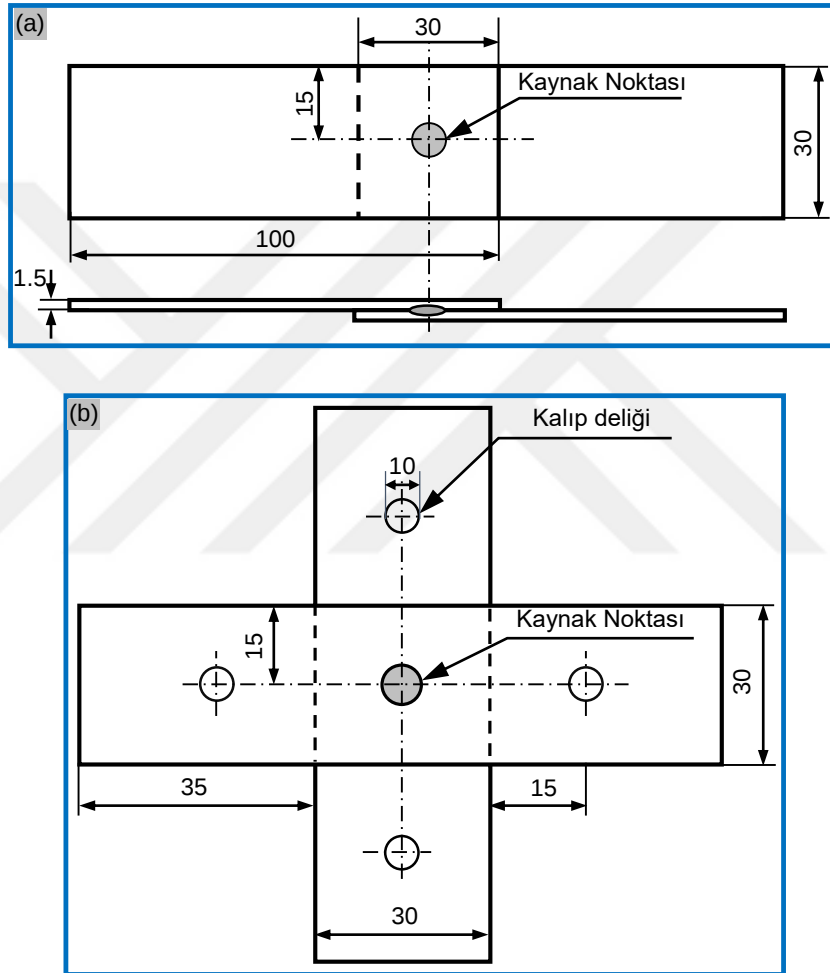


Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan elektrodun şematik gösterimi.

Kaynaklı numunelerin standard özelliklerde gerçekleşmesi için hem çekme-makaslama hem de çapraz-çekme numuneleri için basit bir kalıp tasarlanıp imal edilmiş ve tüm kaynak işlemleri bu kalıplarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4'te kaynak işlemlerinde kullanılan kalıp görselleri Şekil 4.5'de ise çekme-makaslama ve çapraz-çekme numune ölçüleri verilmiştir.



Şekil 4.4. a) Çekme-makaslama ve b) Çapraz çekme kalıp görselleri.



Şekil 4.5. Kaynak için numune ölçüleri a) Çekme-makaslama ve b) Çapraz-çekme.

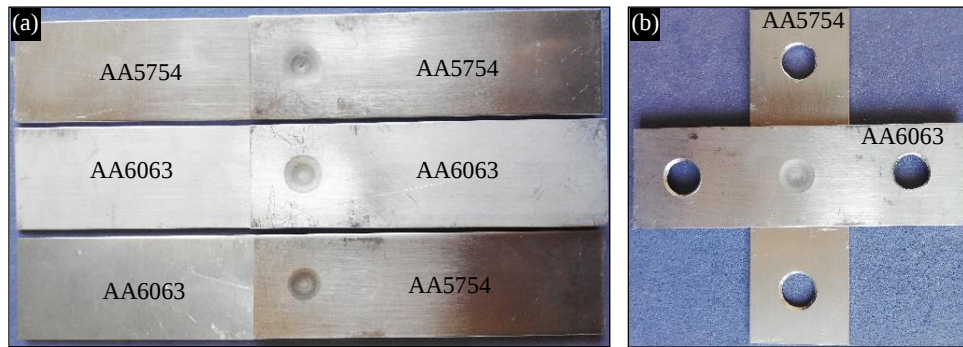
4.4. KAYNAK İŞLEMLERİ

Benzer (AA5754-AA5754 ve AA6063-AA6063) ve farklı (AA5754-AA6063) malzemelerin birleştirme işlemleri Şekil 4.2’de resmi verilen kaynak makinasında ve Şekil 4.4’te verilen kaynak kalıpları kullanılarak Çizelge 4.4’de verilen kaynak parametreleri ile gerçekleştirilmiştir. Optimum kaynak parametreleri kaynak

makinasında mevcut program sayesinde çok sayıda pilot çalışma yapılarak belirlenmiştir. Ayrıca bu belirlenen parametreler geçmiş literatür bilgileri, elektrod dalma derinlikleri, kaynak çekirdek çapları ve basit elle yırtılma testleri sonuçları dikkate alınarak doğrulanmıştır. Kaynaklı numunelerdeki elektrod dalma derinliğinin; kullanılan malzeme kalınlıklarının %30'unu geçmeyecek şekilde olmasına özen gösterilmiştir. Kaynak işlemleri her bir birleştirmeden 7'şer adet (AA5754-AA5754, AA6063-AA6063 ve AA5754-AA6063) çekme-makaslama ve 4'er adet çapraz çekme olmak üzere toplam 21 çift çekme-makaslama ve 12 çift çapraz-çekme test numunesi elde edilmiştir. Bu birleştirmelerden çekme-makaslama konfigürasyonunda birleştirilen numunelerden 3'er tanesi çekme-makaslama testi için kullanılır iken 1'er adedi mikroyapı ve sertlik testi, 1'er adedi kesitten korozyon testi ve 1'er tanesi de yüzeyden korozyon testi için kullanılmış kalan bir çift ise yedek olarak kullanılmak için bekletilmektedir. Çapraz-çekme için her bir seriden birleştirilen 4'er adet numuneden 3'er tanesi çapraz-çekme testi için kullanılırken, 1'er adedi yedek olarak bekletilmektedir. Kaynak işlemi sonrasında kaynaklı numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır. Şekil 4.6'da kaynak işlemi gerçekleşen numunelere ait çekme-makaslama ve çapraz-çekme numune örnekleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri.

	Akım (kA)	Elektrod kuvveti (daN)	Kaynak süresi (ms)	Birleştirilen numune sayısı (adet)	
				Çekme-makaslama	Çapraz-çekme
AA5754-AA5754	45	800	40	7	4
AA6063-AA6063	45	700	40	7	4
AA5754-AA6063	45	700	40	7	4



Şekil 4.6. Kaynaklı numune örnekleri a) Çekme-makaslama ve b) Çapraz-çekme.

4.5. KAYNAKLI NUMUNELERİN KARAKTERİZASYON İŞLEMLERİ

Nokta direnç kaynak yöntemi ile optimum parametrelerde birleştirilen kaynaklı numuneler üzerinde öncelikle kaynak bölgesinin analiz edilebilmesi için görsel muayene, kaynak çekirdek ölçümleri ve makro/mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca bu bölgelere sertlik testleri uygulanmış ve mikroyapı/sertlik ilişkileri araştırılmıştır. Kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme-makaslama ve çapraz-çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak benzer ve farklı kaynak metallerinin elde edildiği bu çalışmada kaynaklı numuneler nötr tuz püskürtme (NSS: Notr Salt Spey) testine tabi tutularak kaynak bölgelerinin korozyona karşı tepkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

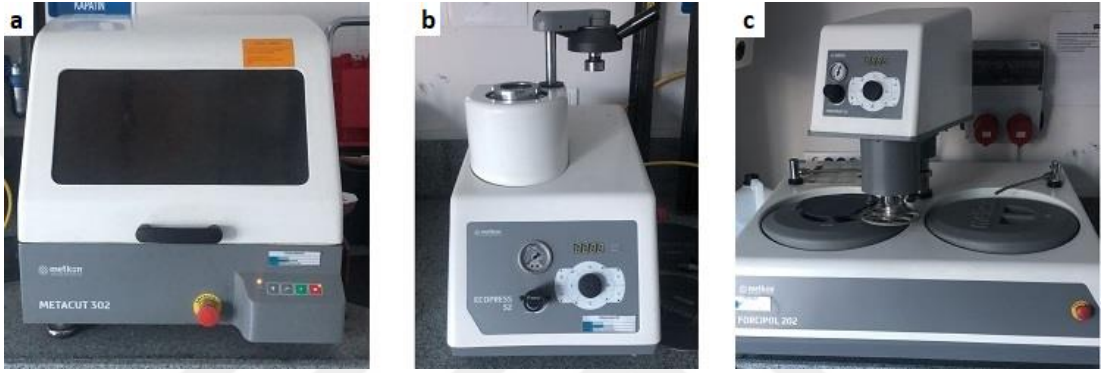
4.5.1. Numune Hazırlama

Kaynaklı birleştirme sonucunda çekme-makaslama konfigürasyonunda elde edilen 170x30 ebadında her bir seriden 2'şer adet numune kaynak çekirdeği merkezine yakın bir noktadan enlemesine abrasiv kesme diskleri kullanılarak sulu numune kesme cihazın vasıtasıyla hassas bir şekilde kesilmişlerdir. Bu numunelerden 1'er tanesi metalografik ve sertlik çalışmaları için diğeri ise kesitten korozyon testi için hazırlanmıştır. Kesilen numune ebatları yeterince büyük olmadığı için hem metalografik çalışmalar hem de korozyon testleri için tüm numuneler ayrı ayrı bakalite alınmışlardır.

4.5.2. Makro/Mikroyapı Çalışmaları

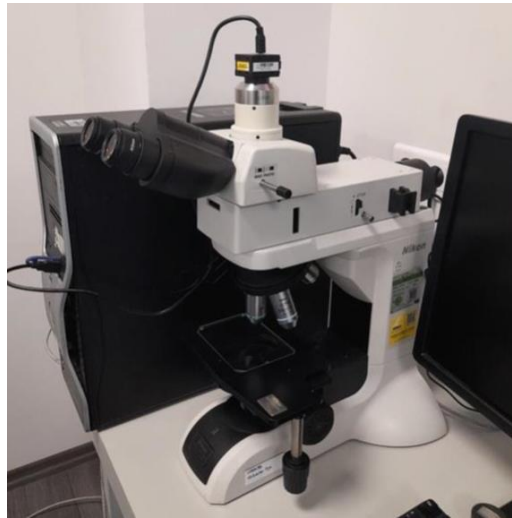
Nokta direnç kaynağı ile benzer ve farklı olarak birleştirilen alüminyum malzemelerin, kaynak bölgesinde (kaynak metali ve ITAB) kaynak hatalarının tespiti ve kaynak bölgesindeki tane morfolojisine etkilerinin belirlenmesi amacıyla optik mikroskop çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için sıcak bakalite gömme işlemine tabi tutulan kaynaklı numuneler sırasıyla olmak üzere 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik silisyum karbür su zımparası ile ve de her zımparalama arasında 90° çevrilerek hazırlanmışlardır. Zımparalama işlemi biten kaynaklı numuneler malzeme yüzeyini hazırlamada son basamak olan parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu

işleminde amaç yüzeyi düzgün ve çizik olmayan bir görünüm sağlamaktır. Parlatma işlemi, otomatik parlatma makinasında dönen bir disk üzerine yerleştirilmiş 3 µm bir keçe ile gerçekleştirilmiş ve bu keçe üzerine de 3 µm'lik elmas pasta emdirilmiştir. Parlatma işlemleri esnasında 600 dev/dk hız kullanılmış olup, her bir numune 5 dakika süreyle disk üzerinde yük uygulanmaksızın tutulmuştur. Şekil 4.7'de kaynaklı numunelerin metalografik çalışmalarında kullanılan hassas kesme, gömme ve zımparalama/parlatma makinaları verilmiştir.



Şekil 4.7. Çalışmada kullanılan cihazlar a) kesme, b) gömme ve c) zımparalama.

Yukarıdaki işlemlerden geçen numuneler 30 ml suya 12 gr sodyum hidroksit eklenerek hazırlan dağlayıcı ile 30 sn sürede dağlanarak mikroyapı için hazır hale getirilmişlerdir. Şekil 4.8'de metalografik çalışmaların yapıldığı optik mikroskobun resmi verilmiştir.



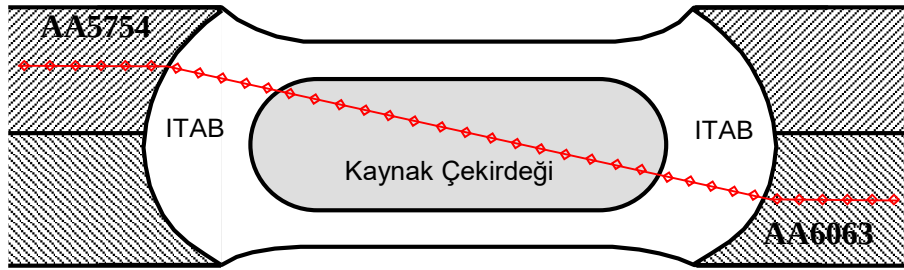
Şekil 4.8. Metalografik çalışmaların yapıldığı optik mikroskop.

4.5.3. Çekirdek Çapı ve Elektrod Dalma Derinliği Ölçümleri

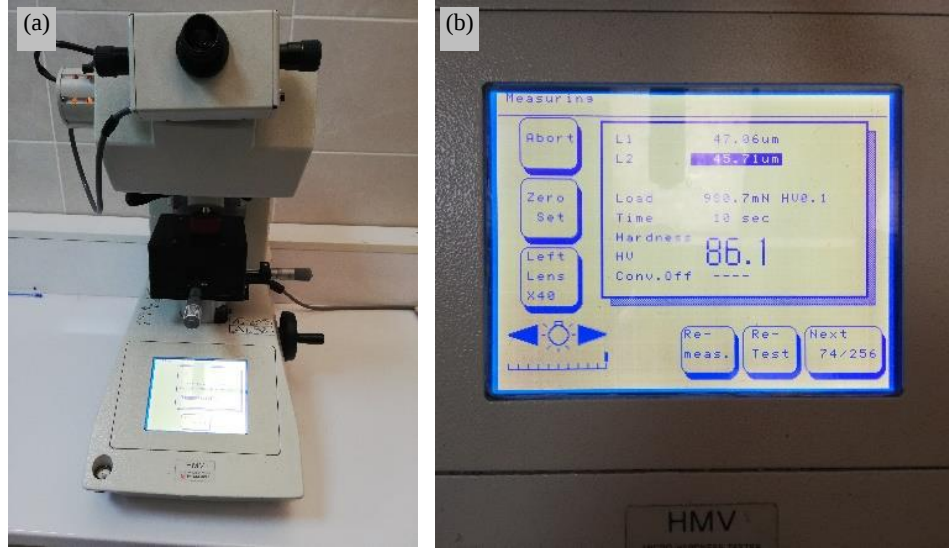
Benzer (AA6754-AA5754 ve AA6063-AA6063) ve farklı (AA5754-AA6063) malzemelerin nokta direnç kaynağı ile birleştirildiği kaynaklı numunelere çekirdek çapı ve elektrod dalma derinliği ölçümleri yapılmıştır. Çekirdek çapının enine ve boyuna ölçüleri dijital kumpas ile ölçülerek ortalaması çekirdek çapı olarak alınmıştır. Ayrıca kaynak çekirdek derinlikleri hem üst elektrodun hem de alt elektrodun bastığı noktalardan ölçülmüştür. Sonuçlar en az 5 numuneden yapılarak ortalamaları değerlendirilmiştir.

4.5.4. Sertlik Testleri

Mikroyapı incelemelerinde kullanılan numuneler sertlik ölçümü için de kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Shimadzu marka Vickers sertlik ölçüm cihazı kullanılarak kaynak metali ve ITAB boyunca eksenlere paralel doğrultuda $HV_{0,2}$ değerinde 15 saniye süreyle 0,5 mm aralıklarla yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9’da nokta direnç kaynaklı numunelerin düzlemsel sertlik ölçüm bölgeleri, Şekil 4.10’da ise ölçümlerde kullanılan sertlik cihazı resmi verilmiştir.



Şekil 4.9. Kaynaklı numunelerin sertlik ölçüm bölgeleri (Şematik).

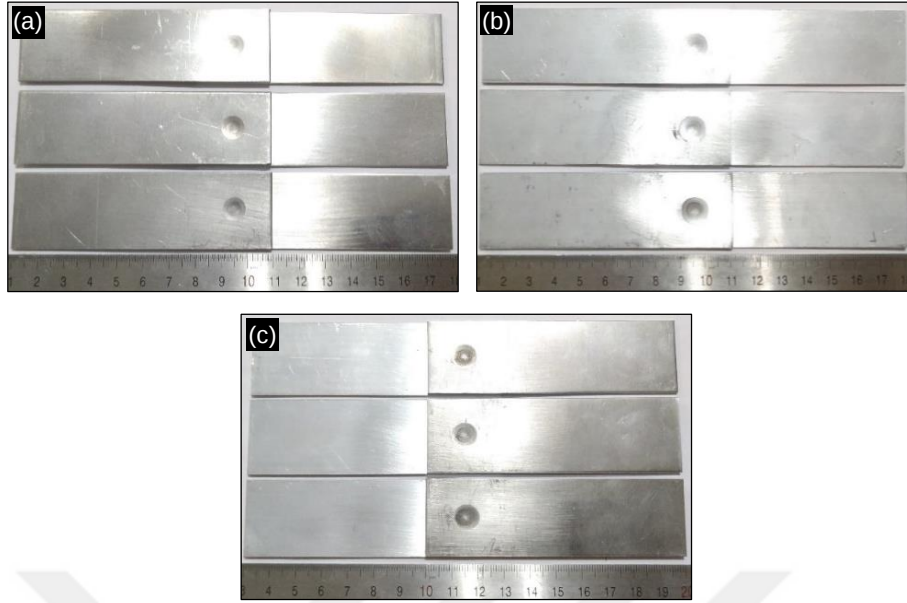


Şekil 4.10. Sertlik ölçüm cihazı a) genel görünüm ve b) ekran görüntüsü.

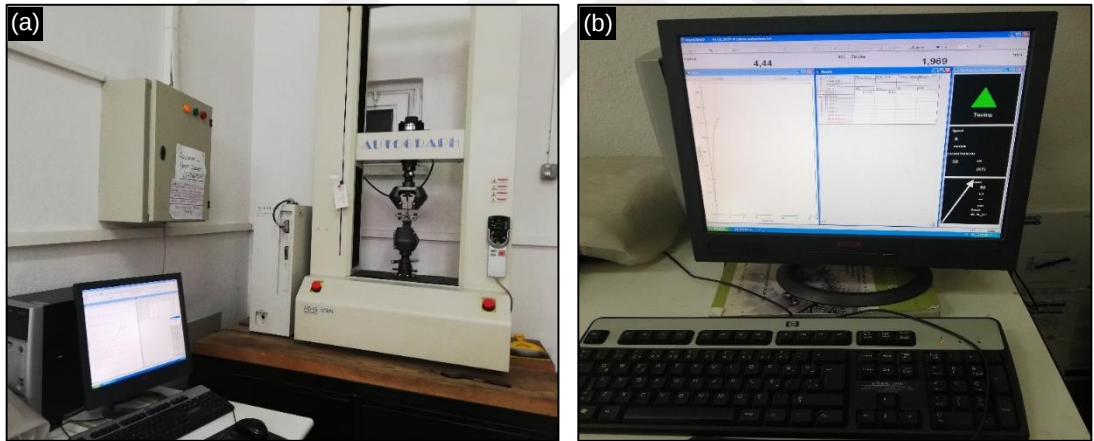
4.5.5. Çekme-Makaslama Testi

Nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirme esnasında test numunesinin üretiminin kolaylığından dolayı kaynak dayanımını belirlemek için çekme makaslama testi en sık kullanılan metottur. Bu amaç doğrultusunda kaynak numuneleri DIN EN ISO 14272 standardına uygun olarak her kaynak parametresi için üçer adet hazırlanmıştır. Nokta direnç kaynak yöntemi ile çekme-makaslama testi için her bir seriden birleştirilen 3 adet kaynaklı numunenin görselleri Şekil 4.11’de verilmiştir.

Çekme-makaslama testleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme Laboratuvarı’nda bulunan 5 ton kapasiteli Shimadzu ticari marka universal çekme test cihazında yapılmıştır. Çekme-makaslama test esnasında çekme hızı 2 mm/dk olarak seçilmiştir. Çekme-makaslama testleri her bir parametreden üçer adet yapılmış ve sonuçlarda bu üç değerın ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.12’de çekme test cihazı ve çekme esnasındaki ekran görüntüsü verilmiştir.



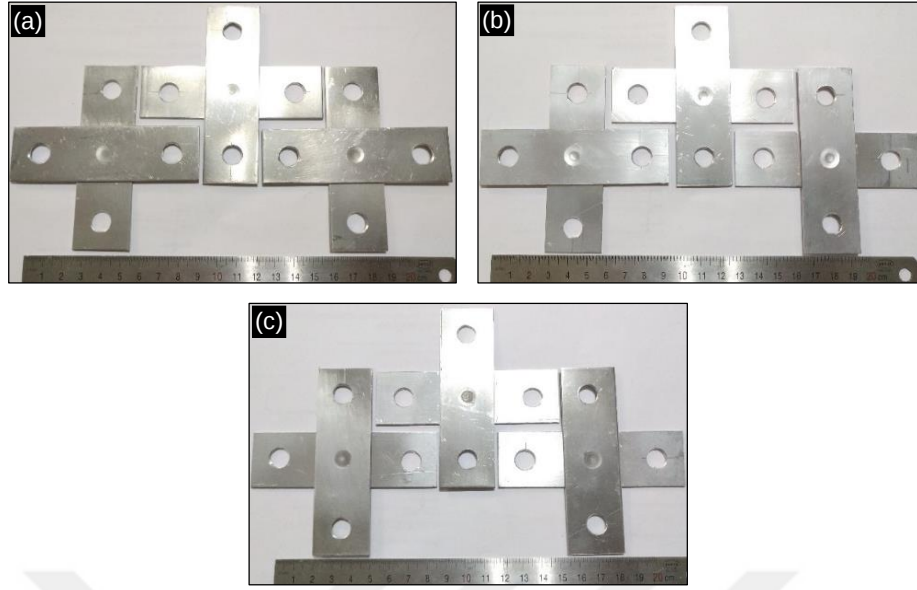
Şekil 4.11. Çekme makaslama numuneleri, a) AA5754-AA5754, b) AA6063-AA6063 ve c) AA5754-AA6063.



Şekil 4.12. Çekme cihazı; a) Cihaz ve ekipmanları, b) test esnasında ekran görüntüsü.

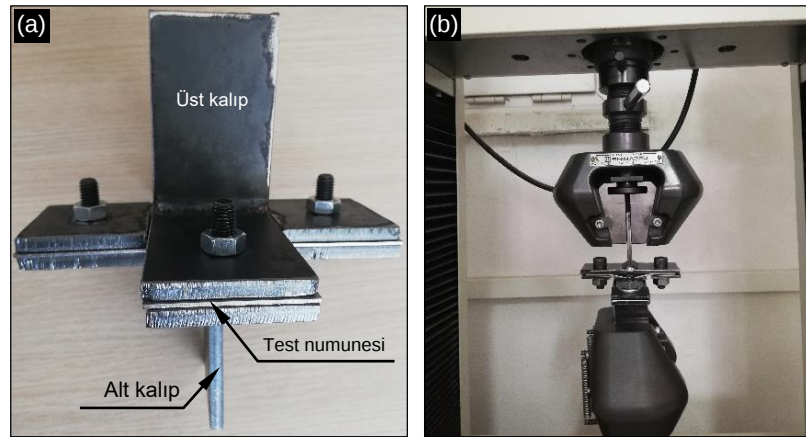
4.5.6. Çapraz-Çekme Testi

Nokta direnç kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan temel testlerden bir diğeri olan çapraz-çekme deneyidir. Çapraz-çekme test numuneleri DIN EN ISO 14272 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Şekil 4.13'te çapraz-çekme testi için nokta direnç kaynağı ile birleştirilen kaynaklı numuneler verilmiştir.



Şekil 4.13. Çapraz-çekme numuneleri, a) AA5754-AA5754, b) AA6063-AA6063 ve c) AA5754-AA6063.

Çapraz-çekme testleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan 5 ton kapasiteli Shimadzu ticari marka universal çekme test cihazında yapılmıştır. Çapraz-çekme test esnasında çekme hızı 2 mm/dk olarak seçilmiştir. Çekme-makaslama ve çapraz-çekme testleri her bir parametreden üçer adet yapılmış ve sonuçlarda bu üç değerin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.14'de çapraz-çekme testi numune tutucu kalıbı ve test esnasındaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.14. Çapraz-çekme testi, a) numune tutucu kalıbı ve b) test esnasındaki görüntüsü.

4.5.7. Tuz Sisi Korozyon Testi

Korozyon testleri kaplamalı ürünlerin oksitlenmeye korozyona karşı hızlandırılmış ömür testleri olarak talep edilmektedir. Standartlarda belirtilen koşullar altında yapılan testlerde bir ürünün yaklaşık olarak 10 yıllık bir süreçte göstereceği dayanımı gözlemlemek için uygulanır.

Korozyon deneyleri, “TS EN ISO 9227 korozyon deneyleri-yapay atmosferde tuz püskürtme deneyleri” standartına uygun olarak yapılmıştır. Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen kaynaklı numuneler iki tür teste tabi tutulmuştur. Bunlardan ilkinde kaynaklı numunenin çekirdek yüzeyine tuzlu su direkt püskürtülmüş, ikincisinde ise bakelite alınan numunelerin kesit yüzeylerine tuzlu su püskürtülmüştür. Korozyon testinde parçaların yüzeyine standartlarda belirtilen şartlarda hazırlanan solüsyon cihaz yardımıyla buharlaştırılarak belirli basınç ve ısı altında püskürtülmesi şeklinde gerçekleştirilir.

Testler WEISS SC 1000 model tuz sisi korozyon cihazı ile 120 saat (5 gün) sürede 24 saat aralıklarda ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Plakalar kabin içerisindeki özel askıya dikeyle $20^{\circ} \pm 5^{\circ}$ açı yapacak şekilde asılmıştır. Korozyon testi sonunda test sonuçları, firmada uzman statüsünde çalışan yetkili bir personel tarafından raporlanmıştır. Çizelge 4.5’de NSS korozyon deneyi uygulama parametreleri, Şekil 4.15’de ise korozyon testinin yapıldığı cihaz verilmiştir.

Çizelge 4.5. NSS korozyon deneyi uygulama değerleri.

ATOMİZER BASINÇ	SAF SU	HAZIRLANAN TUZ ÇÖZELTİSİ		TEST KABİNİ						
Basınç 0,7-1,7 Bar	İletkenlik Max 20 µS/cm	PH6,0- 7,5	Yoğunluk 1.025-1055 g/l	Isı 33-37 °C	Biriken Tuzlu su 1-2 ml/h Collector 1	Biriken Tuzlu su 1-2 ml/h Collector 2	Biriken Tuzlu su 1-2 ml/h Collector 3	Birikme Suyu PH 6,0- 7,5	Doyma Kabin Sıcaklığı 45-60 °C	Bağıl Nem RH >%95
1	15,27	6,23	1029	35,4	1,14	1,18	1,19	6,45	48	%98
1	17,13	6,18	1029	35,4	1,13	1,15	1,15	6,36	48	%98
1	14,58	6,19	1029	35,5	1,11	1,17	1,16	6,32	48	%98



Şekil 4.15. NSS testlerinin yapıldığı cihaz.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde çalışma kapsamında öncelikle nokta direnç kaynağı ile birleştirilen benzer ve farklı malzemelerin kaynak çekirdeği ve elektrod dalma derinlik ölçüm sonuçları daha sonra makro/mikroyapıları hakkında bilgiler verilmiştir. Kaynaklı numunelerin sertlik ölçüm sonuçlarının yanında mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çekme-makaslama ve çapraz-çekme sonuçları verilmiştir. Ve son olarak yapay atmosferde tuz püskürtme deneylerine tabi tutulan k kaynak çekirdek yüzeyi ve kaynak kesitinden sonuçlar toplanmıştır. Çalışmada elde edilen tüm verilen sebep-sonuç ilişkisi içerisinde yorumlanarak, literatür bilgileri ışığında değerlendirilmiştir.

5.1. ELEKTROD DALMA DERİNLİĞİ VE NOKTA ÇAPI ÖLÇÜMLERİ

Birleştirilen numunelerin birleşme bölgesi enine kesitinden alınan makro görüntülerden yararlanılarak kaynak çekirdek çapı (dn), çekirdek yüksekliği (hn) ve elektrod dalma derinliği (ie) ölçülmüştür. Ayrıca kaynaklı malzeme yüzeyinde elektrodun oluşturmuş olduğu iz çapı (spot diameter: ds) ölçü aletleri ile 90 derece olacak şekilde ölçülerek 5 ölçüm sonucun ortalamaları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaynak çekirdek ve nokta ebatları.

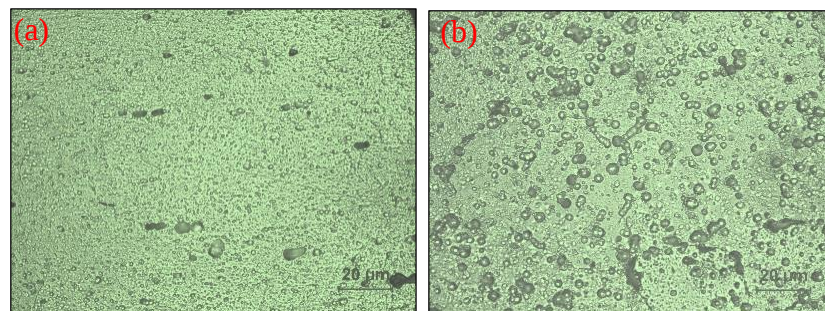
	Çekirdek çapı (mm)	Çekirdek yüksekliği (mm)	Elektrod dalma derinliği (mm)	Nokta çapı (mm)
AA5754-AA5754	7,62	1,54	0,48	9,5
AA6063-AA6063	7,24	1,56	0,54	10,4
AA5754-AA6063	8,08	1,86	0,52	AA5754: 9,6 AA6063: 10,5

Nokta direnç kaynağı kabul edilebilir kaynak aralığı diyagramında akım şiddeti ve kaynak zamanı değişimine bağlı elektrod dalma derinliğinin; kullanılan malzeme kalınlığının %30'unu geçmeyecek şekilde seçilmesi ile ölçülmektedir. Bu değerlerin üzerinde fişkırmalar meydana gelebilmektedir. Elektrod dalma derinliğinin kesit kalınlığının %30'u altına inmesi durumunda nokta kaynağı istenilen dayanım özelliğini sağlayamayabilir [65,66]. Ayrıca kaynak esnasında çeşitli kaynak kuruluşları tarafından kabul gören nokta çapının ortalama değeri, ince olan malzeme kalınlığının kare kökünün beş buçuk katı iken (optimum nokta çapı: $dp = 5.5\sqrt{t}$), minimum ortalama çap bu kalınlığın karekökünün dört katından (minimum nokta çapı: $dp_{min} = 4\sqrt{t}$) az olmamalıdır [64].

Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri dahilinde tüm birleştirmedeki ölçüm değeri literatürde verilen değer aralığı sınırları içerisinde. Burada kaynak parametrelerinin kaynak makinası programı tarafından doğru seçildiği sonucu çıkarılabilir. Ayrıca kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan çekme-makaslama ve çapraz-çekme testlerinde düğme şeklindeki kopma türleri bu sonucu destekler niteliktedir.

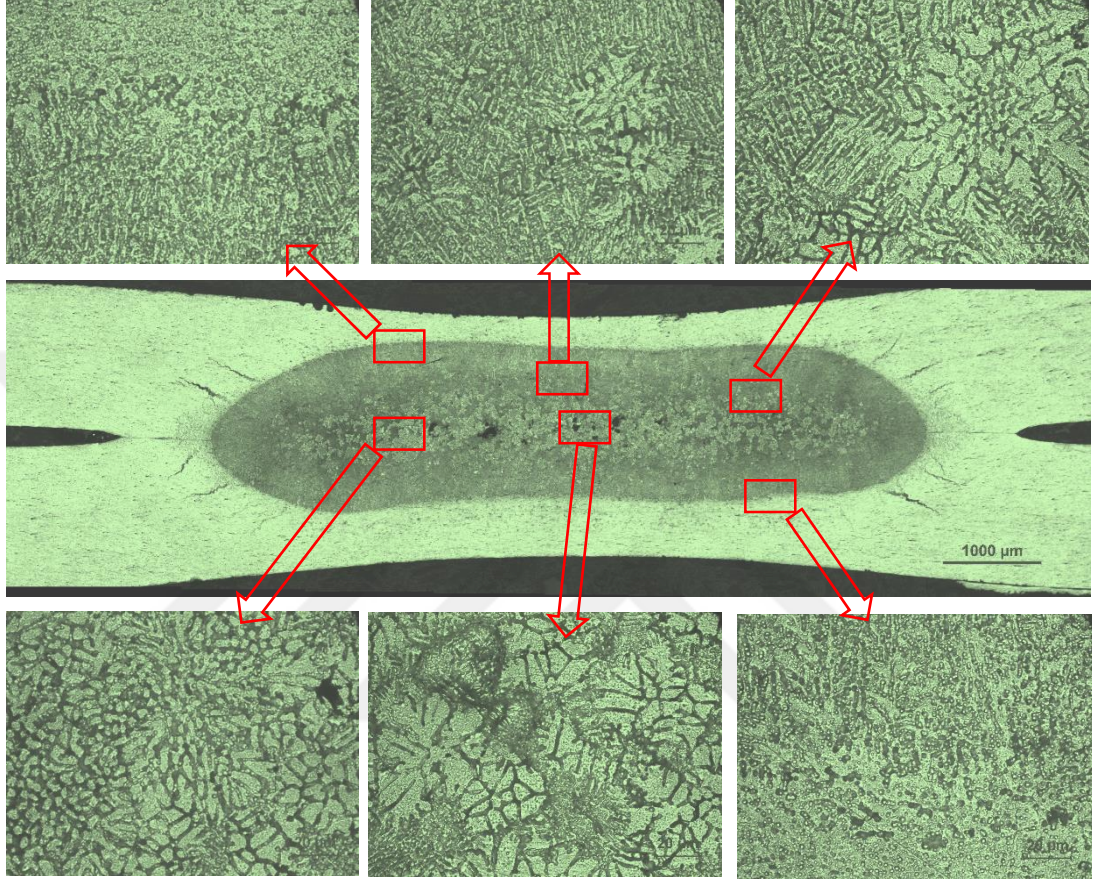
5.2. MAKRO/MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

Nokta direnç kaynak yöntemi ile MFDC teknolojisi kullanılarak birleştirilen ana malzemelerin tipik mikro yapıları Şekil 5.1'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde her iki ana malzemenin mikroyapısının da eş eksenli bir yapıda olduğu görülmüştür. Şekil 5.2-5.4'te ise nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmiş benzer ve farklı kaynaklı numunelerin ana malzemeyi de kapsayacak şekilde kaynak bölgelerinin (ITAB ve kaynak metali) farklı kısımlarından alınan görüntüler verilmiştir.



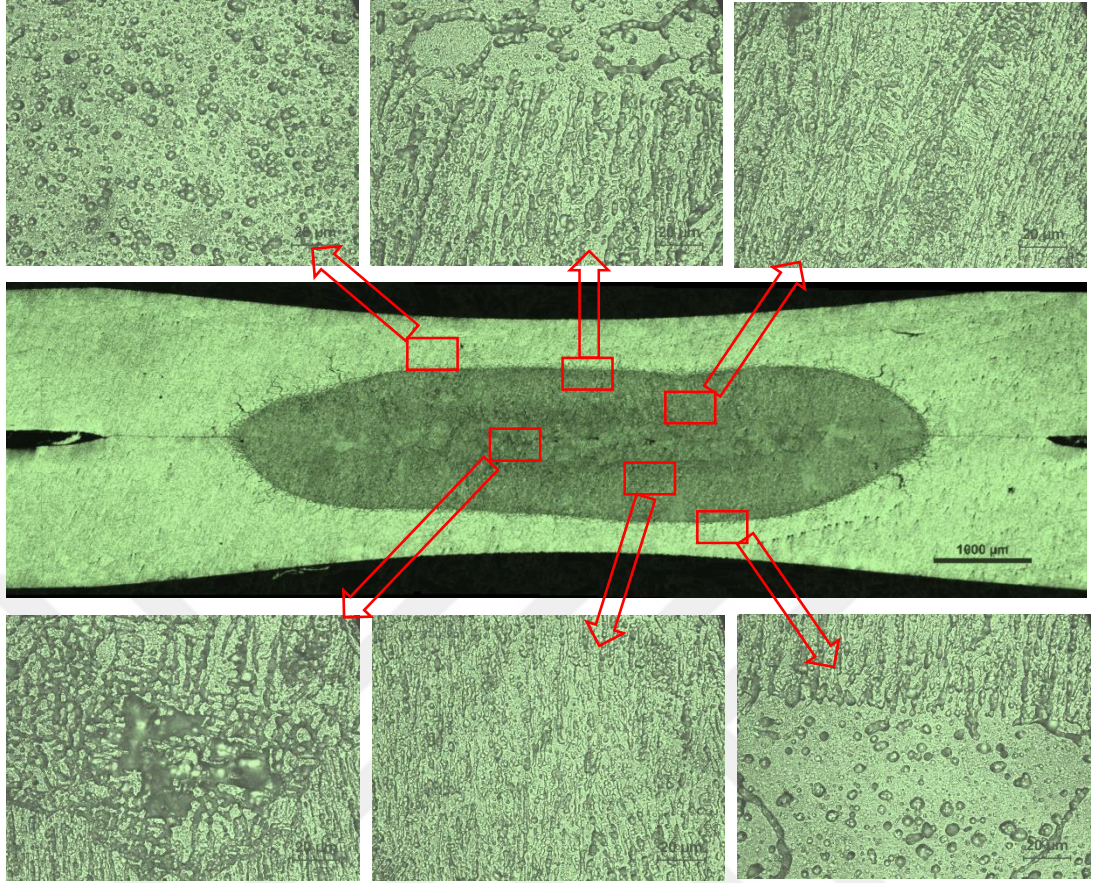
Şekil 5.1. Ana malzemenin mikro yapıları. a) AA5754-H111 ve b) AA6063-T4

Genel olarak, nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen alüminyum ve alaşımlarının mikroyapısı üç farklı bölgeye ayrılabilir. Bunlar; ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge (ITAB) ve ergime bölgesi, bir başka ifade ile kaynak çekirdeğidir.



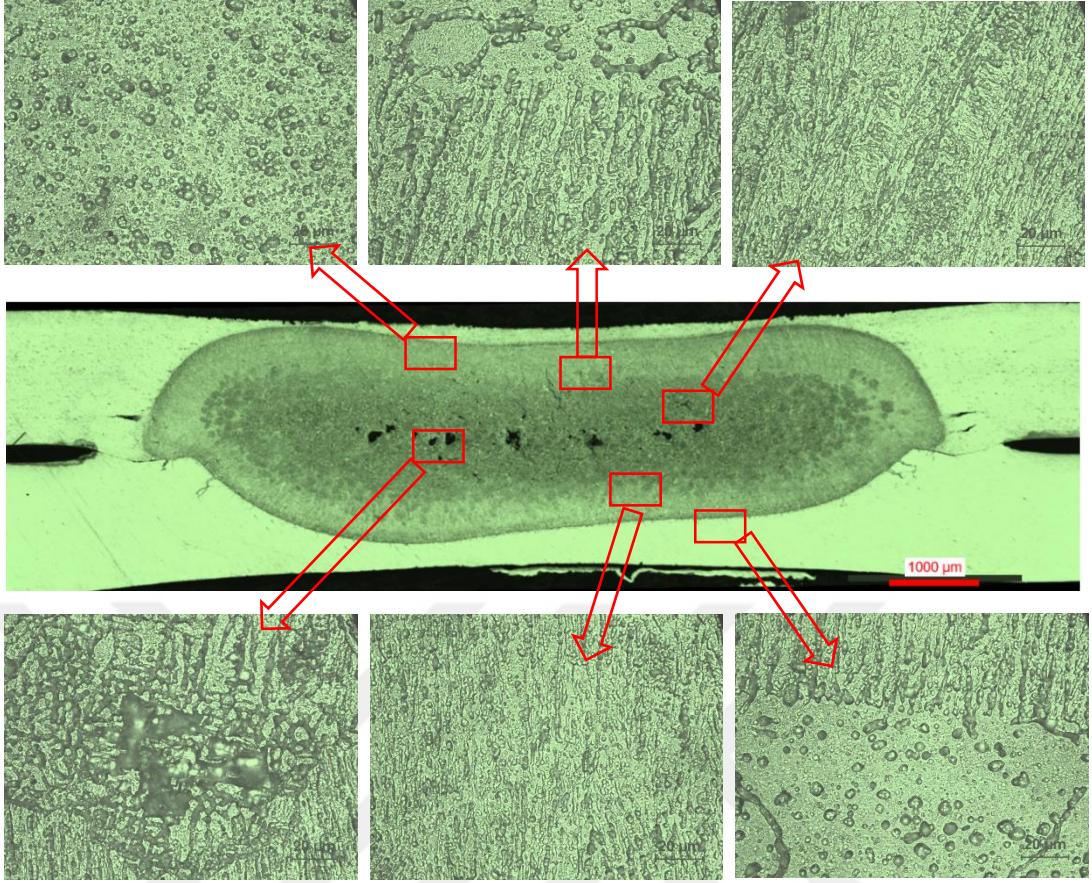
Şekil 5.2. AA5754-AA5754 kaynak metali mikroyapıları.

Şekil 5.2’de verilen makro yapı resimleri dikkatli bir biçimde incelendiğinde kaynak metalinin birleşme arayüzeyinde ve simetrik olarak oluştuğu, kaynak birleşme arayüzeyinde olmak üzere arayüze yakın bölgelerde farklı boyutlarda porozite ve metal dışı kalıntıların (inklüzyon) olduğu görülmektedir. Ancak alüminyum malzemelerin ergitmeli kaynağında sıklıkla görülen çatlaklara ve nokta direnç kaynağında yanlış parametre seçimi, kirli yüzey vb nedenlerle arayüzeyde meydana gelen fışkırma (expulsion) hatasına rastlanmadığı görülmüştür. Kaynak metalinin muhtelif yerlerinden alınan mikroyapı resimlerine bakıldığında kaynak merkezine yakın kısımlarda dentritik, ergime sınırından uzaklaştıkça (ergime sınırına yakın bölgelerde) sütunsal biçimde olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3. AA6063-AA6063 kaynak metali mikroyapıları.

Şekil 5.3'te nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen AA6063-AA6063 numunesinin kaynak metali makro ve mikroyapıları verilmiştir. Şekil genel olarak değerlendirildiğinde kaynak metali yapısı ve görüntüsünün ama malzeme ve hatta ITAB'dan oldukça farklı olduğu söylenebilir. Kaynak metali makroyapısı incelendiğinde birleşme arayüzeyinde; bir başka ifade ile kaynak esnasında direncin en yüksek olduğu malzeme-malzeme temas noktalarına çok küçük ebatlarda ve çok az miktarda porozite ve oksit kalıntılarının olduğu, ancak bu kısımda çatlak vb kaynak hatalarının oluşmadığı görülmektedir. Şekil üzerinde verilen mikroyapılar incelendiğinde ise arayüzeyden uzak ve ITAB'a yakın kaynak metalinde ısı akış yönünde sütunsal yapının, kaynak merkezi ve çevresinde ise ağırlıklı olarak hızlı soğumadan dolayı dentritik yapının oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.4. AA5754-AA6063 kaynak metali mikroyapıları.

Şekil 5.4'te elektrik nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen AA5754-AA6063 malzemelerin birleştirme sonrası kesit görüntüleri verilmiştir. Resimde verilen makro yapı incelendiğinde öncelikle kaynak çekirdeğinin merkezinde diğer iki benzer (AA5754-AA5754 ve AA6063-AA6063) birleştirmeye göre porozite ve oksit kalıntılarının büyüklüğü ve miktarının arttığı, ayrıca kaynak metalinin ağırlıklı olarak birleştirmenin AA6063 tarafında kaydığı görülmektedir.

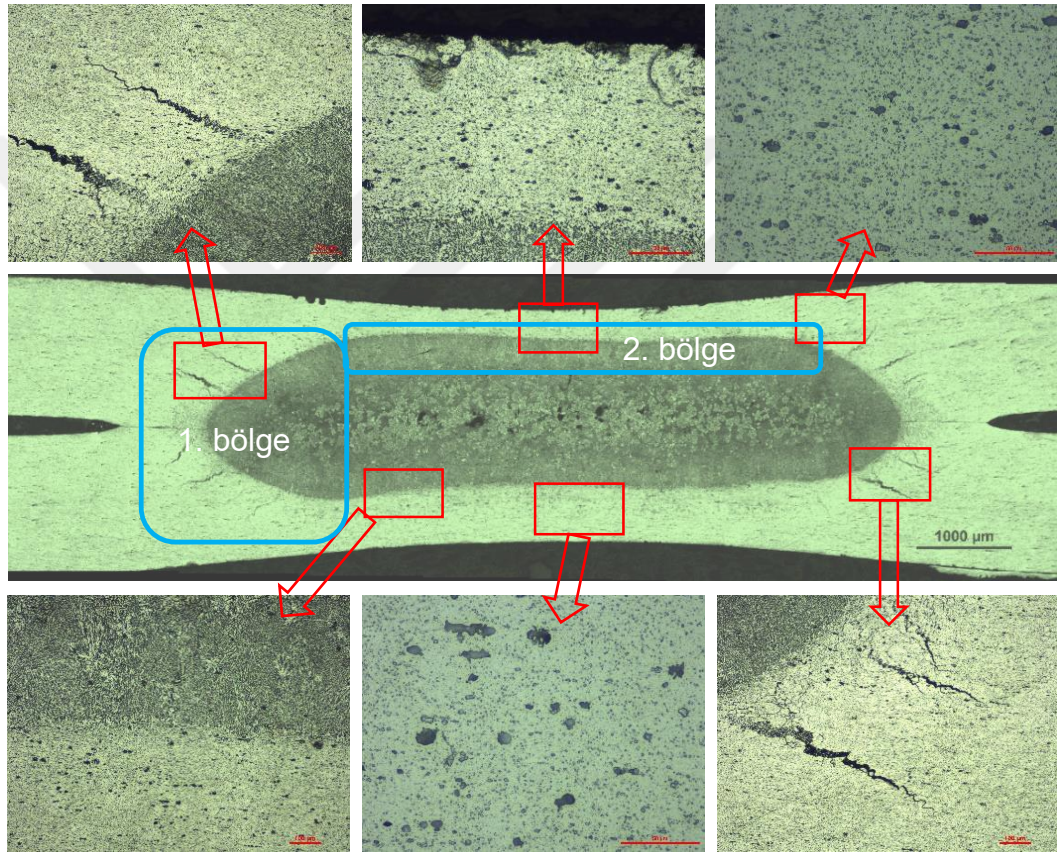
Şekil 5.2-5.4 arasında verilen kaynak bölgesi makroyapıları genel olarak değerlendirildiğinde kendi aralarında birleştirmelerde (AA5754-AA5754 gibi) kaynak metalinin birleştirme arayüzeyinde ve simetrik olduğu ancak farklı AA5754-AA6063 birleştirmesinde ise arayüzeyin birleştirmenin AA6063 tarafına kaydığı açıkça görülmektedir. Bunun sebebinin her iki malzemenin ısı iletim katsayılarının farklı olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Kaynak işlemlerinde kullanılan AA5754 malzemenin AA6063 malzemeye göre ısı iletim katsayısının düşük olması sebebiyle arayüzeyden sıcaklık yayılımı daha yavaş olarak gerçekleşmiş, dolayısı ile

kaynak metali ergimesi ağırlıklı olarak birleştirmenin AA6063 tarafına kaymış bulunmaktadır. Benzer şekilde AA5754 ve AA6013 malzemelerin birleştirildiği bir çalışmada AA5754 malzemenin ısı iletim katsayısının düşük olması sebebiyle sıcaklık yayılımının AA6013 malzemeye göre daha yavaş olarak gerçekleştiği rapor edilmiştir [67].

Makroyapı resimleri dikkatli bir biçimde incelendiğinde hem kendi aralarında yapılan birleştirmelere hem de farklı malzemelerin birleştirildiği kaynak metallere farklı miktar ve boyutlarda porozite ve kalıntılarının olduğu görülmektedir. Literatürde alüminyum malzemelerin nokta kaynağında genellikle -soğuk kaynak -çok küçük veya büyük çekirdek,- sıçrama (expulsion/weld splash) ve -kaynak metali içerisinde çatlak-porozite-gözenek vb. (cracks, porosity, pores, etc.), hataların olduğu belirtilmiştir. Özellikle hassas alaşım türlerinde bir miktar çekirdek porozitesi veya çatlak (nugget porosity or cracking) meydana geldiği rapor edilmiştir [68]. Alüminyum malzemelerin ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde malzeme yüzeylerinde mevcut oksit tabakasının kırılarak kaynak işleminin gerçekleşmesinin güç olduğu bilinmektedir. Alüminyum oksidin ergime sıcaklığının (yaklaşık 2050 °C) alüminyum malzemeden (yaklaşık 660 °C) yaklaşık olarak üç kat daha fazla olması bu güçlüğün en büyük sebebidir. Nokta direnç kaynağı esnasında kaynak süresi çok kısa olduğu için temas eden kaynak arayüzeyindeki oksit tabakası bazı temas noktalarından bölgesel olarak başlamakta ve kaynak işlemi bu arayüzey oksidi tam parçalanamadan tamamlanabilmektedir. Bu durumda arayüzeyde istenmeyen kaynak hataları oluşmaktadır. Kaynak esnasında meydana gelen bu kaynak hatalarının kendi aralarında yapılan birleştirmeler de bile farklı olduğu görülmektedir. AA5754'ün kendi arasında birleştirildiği numunedeki porozite miktarının AA6063'ün kendi arasında birleştirildiği numunedeki hatalardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca farklı malzeme birleştirmelerdeki arayüzey hatalarının benzer birleştirmelere göre daha fazla olduğu, bunun sebebinin de malzeme yüzeylerindeki oksit tabakalarının kararlılıklarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Naimi ve diğerleri [63] AA1050 malzemeleri NDK ile birleştirmişler ve makro muayenede kaynak çekirdeğinde belirgin porozitelerin olduğunu belirtmişlerdir. Oluşturulan kaynak çiftlerinin makro/mikroyapıları incelendiğinde kaynak metali bölgesinde farklı soğuma rejimlerinden dolayı sütunsal ve dendritik mikroyapı

oluşturmuştur. Mikroyapılar genel olarak değerlendirildiğinde arayüzeyden uzak ve ITAB'a yakın kaynak metalinde ısı akış yönünde sütunsal yapının, kaynak merkezi ve çevresinde ise ağırlıklı olarak hızlı soğumadan dolayı dentritik yapının olduğu tespit edilmiştir.

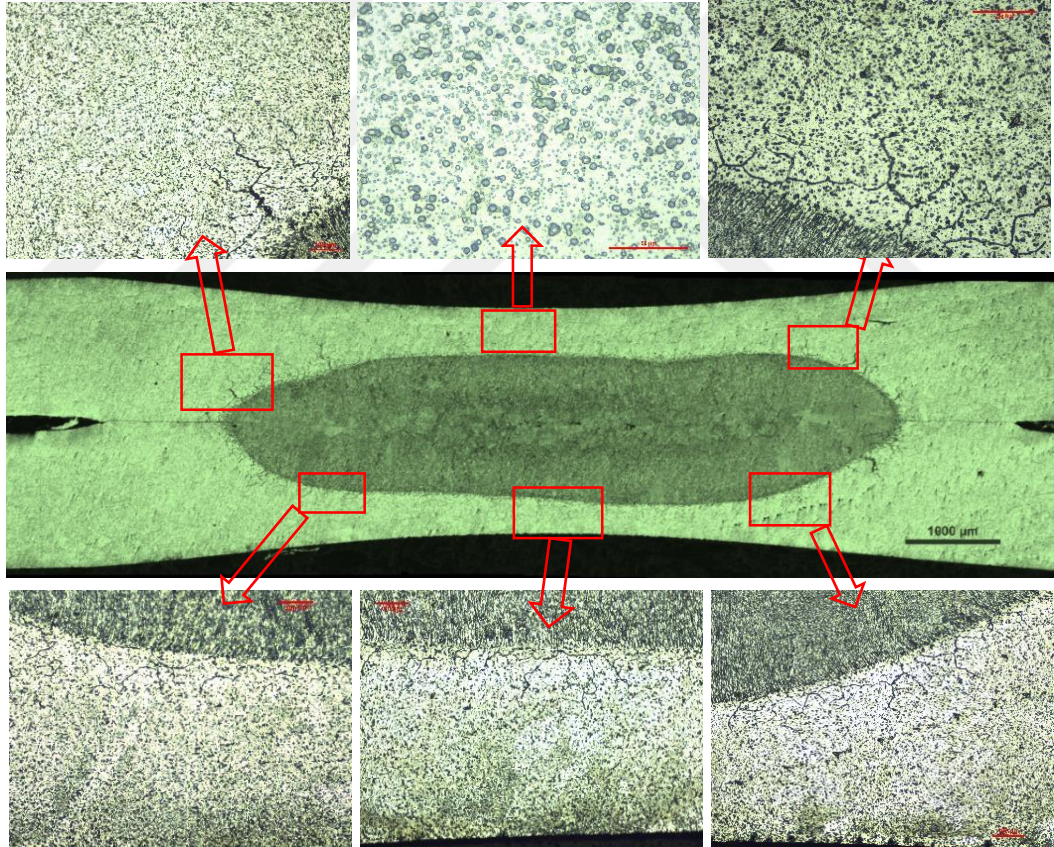
Şekil 5.5-5.7 arasında kaynak bölgesi makro görüntüleri ile ısı tesiri altında kalan (ITAB) bölgenin mikroyapıları verilmiştir.



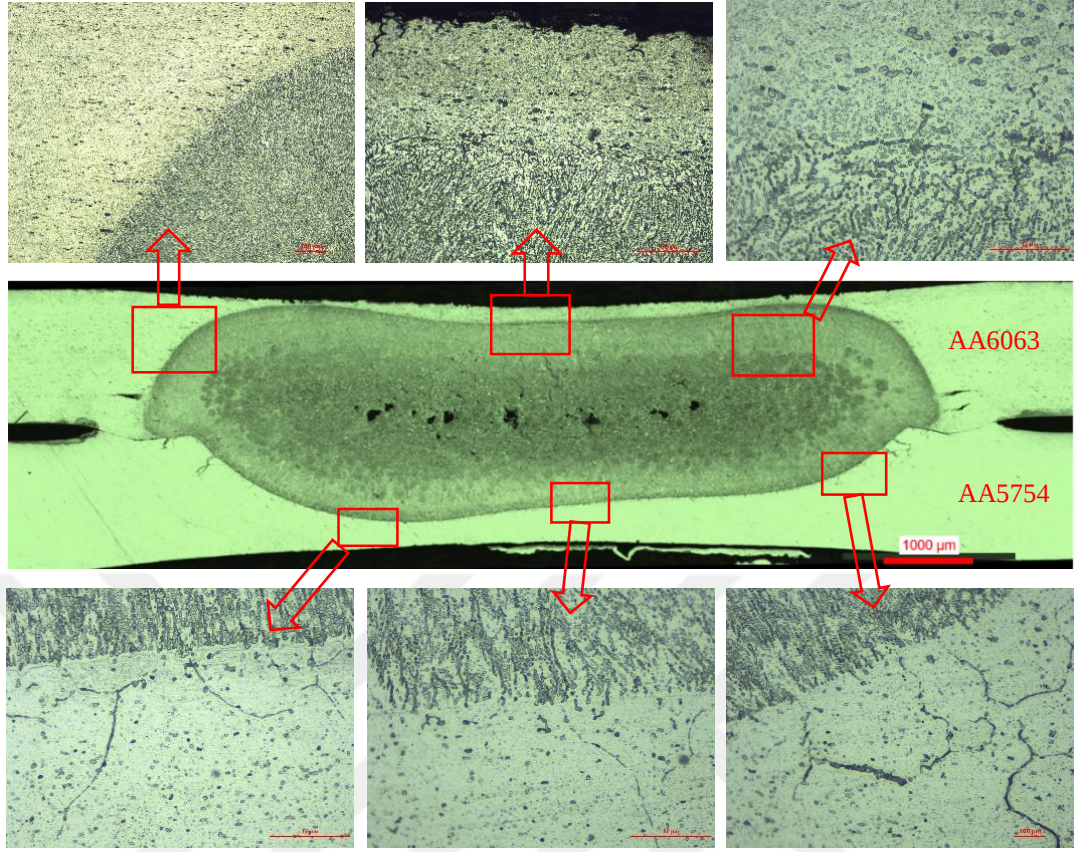
Şekil 5.5. AA5754-AA5754 birleştirmesinin ısı tesiri altında kalan bölgesi.

Şekil 5.5’de verilen nokta kaynağı ile birleştirilmiş kaynaklı numunenin kaynak çekirdeği etrafı çatlak değerlendirilmesi bakımından iki bölüme ayrılmıştır. Bunlardan ilki olan 1. bölge kaynak çekirdeği ergime sınırına bitişik ITAB’dır ve bu bölgede çatlak yoğunluğu oldukça fazladır. 2. bölge; dikkate alınabilir bir çatlağın görülmediği bölgedir ve bu bölge elektrod ile ergimiş/katılmış kaynak metal arasında kalan kısımdır. Ayrıca kaynak sonrasında 1. bölgedeki ısının ana malzeme tarafından hızlı bir şekilde absorbe edilmesi, dolayısıyla da soğuma hızının alt ve üst elektrodlar

arasında yüke maruz kalan 2. bölgede daha düşük olması ile açıklanabilir. ITAB üzerindeki 1. bölgede (iri taneli ITAB) ısının en yüksek olması da soğumanın o kısımda en hızlı olduğunu işaret etmektedir. Bir başka ifade ile Şekil 5.5 ile gösterilen makroyapıda 1. bölge olarak adlandırılan kısım, aynı görselde 2. bölge olarak adlandırılan kısma göre daha hızlı soğumakta dolayısıyla da bu kısımda çatlak oluşumu gözlenmektedir. Çatlaklar kaynak sırasında kaynak metali-ITAB arasındaki sıvı-katı arayüzeyinden başlayarak ana malzemeye doğru ilerlemektedir. Çatlakların bu bölgede toplanmalarının bir nedeninin de o bölgede artan stres ve gerilme yığılmasından dolayı meydana geldiği tahmin edilmektedir. Ayrıca ergime sınırına bitişik iri taneli ITAB'dan başlayan çatlakların ana malzemeye doğru gidildikçe küçülerek sonlandığı belirlenmiştir.



Şekil 5.6. AA6063-AA6063 birleştirmesinin ısı tesiri altında kalan bölgesi.



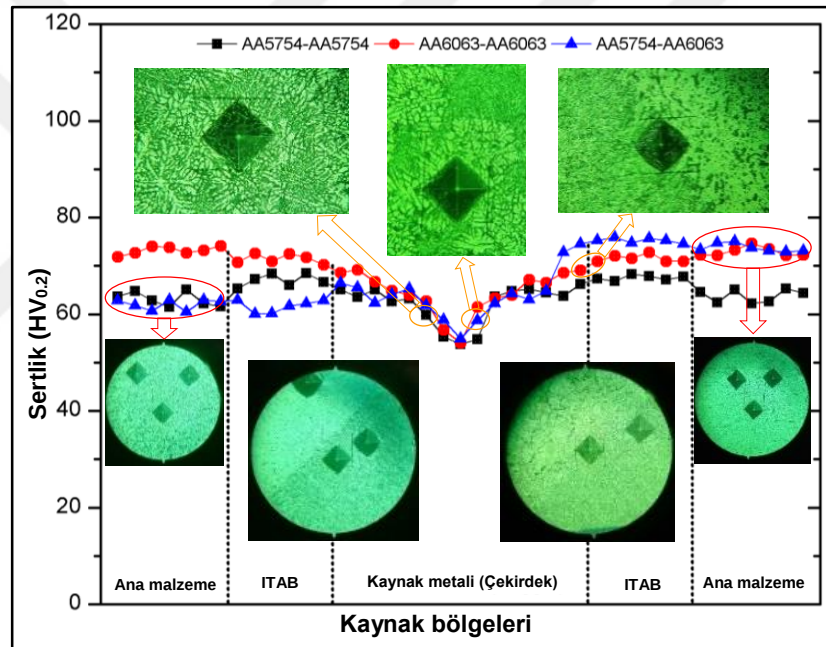
Şekil 5.7. AA5754-AA6063 birleştirmesinin ısı tesiri altında kalan bölgesi.

Şekil 5.6’da AA6063 malzemenin kendi kendine birleştirildiği kaynaklı numunenin makro ve mikroyapılarını göstermektedir. Bu malzemenin birleştirilmesinde kullanılan elektrod kuvvetinin bir önceki birleştirmeye (AA5754-AA5754) göre düşük olması ITAB’da meydana gelen çatlakların azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca birbirleri ile birleştirilen AA5754 malzemelerin (Şekil 5.5) H111 kondisyonunun deformasyon sertleşmesi sonrası hafif düzeyde gerginlik giderme ısıtma işlemi olması, kendi kendine birleştirilen AA6063 (Şekil 5.6) malzemelerin T4 kondisyonunun ise çözeltiye alma işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış olması ITAB’da meydana gelen çatlakların miktar ve boyutlarını etkilediği tahmin edilmektedir. AA5754 malzemesinin kondisyonunun H111 olması nedeniyle termal stres ve lokalize gerilmeler bu çatlaklarının yoğunluğunun başlıca sorumlusu olarak gösterilebilir. Senkara ve Zhang [47] AA5754 alüminyum malzemeleri nokta direnç kaynağı ile birleştirmişler ve çalışmaları sonucunda çatlakların ergime bölgesi devamındaki HAZ’da başladığı ve termal stres ve gerilme

yığılmasından dolayı meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca HAZ'da başlayan bu çatlakların ana malzemeye doğru daralarak ilerlediği kaydedilmiştir.

5.3. SERTLİK TESTİ

Nokra direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmiş benzer ve farklı alüminyum malzemelerin kesit yüzeylerinden ana malzeme, ITAB ve kaynak metalini (nugget) kapsayacak şekilde sertlik testi yapılmış ve çalışma sonucu ölçülen değerler ile Şekil 5.8'de verilen grafik çizilmiştir. Şekil üzerinde ayrıca kaynaklı malzemelerin farklı bölgelerinden elde edilen ölçüm izleri verilmiştir.



Şekil 5.8. Sertlik ölçüm sonuçları.

Şekil 5.8'de verilen sertlik grafiği incelendiğinde genellikle ana malzeme sertlik değerlerinin ITAB sertlik değerlerinden çok az miktarda düşük olduğu ancak kaynak metal (nugget) sertlik değerlerinin ana malzeme ve ITAB'lardan dikkate değer derecede daha düşük olduğu görülmektedir. Bir başka ifade ile sertlik grafiğinden göze çarpan en belirgin özellik kaynak metal sertlik değerlerinin düşük olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan AA5754 H111 malzemeye deformasyon sertleşmesi sonrası hafif düzeyde gerginlik giderme ısıtma işlemi uygulandığı, AA6063 T4 malzemeye ise çözeltiye alma işleminden sonra kararlı bir duruma kadar doğal yaşlandırıldığı

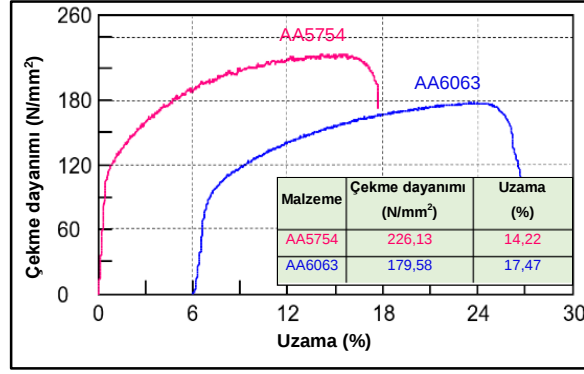
bilinmektedir. Mukavemetleri deformasyon sertleşmesi ve doğal yaşlanma ile arttırılan malzemeler kaynak esnasında bu özelliklerini kaybetmekte dolayısıyla sertlikleri de azalmaktadır. Çünkü nokta direnç kaynak esnasındaki ergime ve katılaşma çevrimi ana malzemelerde var olan mukavemet artırıcı olayların ortadan kaldırılmasına yol açmaktadır. Shi ve Guo [54] AA6111-T4 ve AA5754 malzemeleri RSW yöntemi ile birleştirmişler ve sertlik çalışmaları sonucunda ergime ve yeniden katılaşmanın ana malzemedeki çökeltme sertleşmesinin ortadan kaldırılmasına neden olduğunu bu nedenle kaynak metali sertliğinin azaldığını belirtmişlerdir.

Sun ve diğerleri [62], bir alüminyum kaynağı için kaynak çekirdeğinin çekme ve akma dayanımının ana metalinkine yakın olması gerektiğini belirtmişlerdir. Sertlik çalışmaları sonucunda ITAB'ın ortalama sertlik değerinin, ana metalin ortalama sertliğinden daha yüksek olduğunu ve alüminyum nokta direnç kaynağı için bu gözlemlerin, kaynak çekirdeğinin ve ITAB'ın ana metalden daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu yumuşak çelik malzemelerin nokta direnç kaynağındaki durum ile çeliştiğini rapor etmişlerdir.

5.4. ÇEKME-MAKASLAMA TESTİ

Nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen benzer ve farklı alüminyum numunelerin dayanımını belirlemek için kaynaklı numunelere çekme-makaslama testi uygulanmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle bu çalışma kapsamında kullanılan ana malzemeler (AA5754 ve AA6063) çekme testine tabi tutulmuş ve çekme sonuçları ve test grafiği Şekil 5.9'da verilmiştir.

Çekme testleri sonucunda AA5754-H111 ve AA6063-T4'ün çekme dayanımları sırasıyla 226 MPa ve 179 MPa olarak elde edilmiştir. Ayrıca, AA5754-H111 malzemenin uzama değeri % 17,4 ve AA6063-T4'ün uzama değerine ise % 14,2 olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucu ana malzemelerden elde edilen değerlerin Çizelge 4.2'de verilen katalog değerleri ile örtüştükleri görülmektedir.

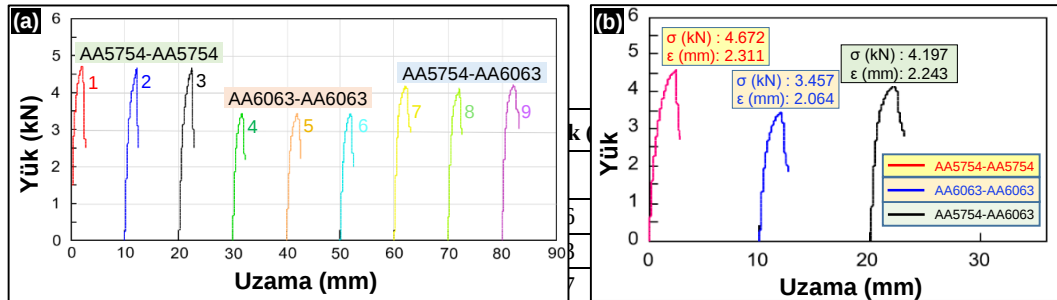


Şekil 5.9. AA5754-H111 ve AA6063-T4 ana malzemelerin çekme sonuçları.

Nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen alüminyum malzemelerin çekme testi sonrasında elde edilen çekme-makaslama değerleri Çizelge 5.2’de, çekme testi esnasında çekme cihazından elde edilen grafikler ise Şekil 5.10’da verilmiştir. Şekil 5.10 a’da tüm çekme grafikleri Şekil 5.10 b’de ise her bir birleştirmeden elde edilen 3 çekme ortalaması alınarak elde edilmiş ortalama grafik gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Çekme-makaslama test sonuçları.

	Yük (kN)		Uzama (mm)	
	Ölçüm no	Ortalama	Ortalama	
AA5754- AA5754	1. ölçüm	4.696	2.314	2.305
	2. ölçüm	4.613	2.297	
	3. ölçüm	4.657	2.304	
AA6063- AA6063	1. ölçüm	3.454	2.018	2.064
	2. ölçüm	3.461	2.134	
	3. ölçüm	3.458	2.042	
AA5754- AA6063	1. ölçüm	4.191	2.247	2.243
	2. ölçüm	4.189	2.226	
	3. ölçüm	4.212	2.258	



Şekil 5.10. Çekme-makaslama grafikleri.

AA6063- AA6063	1. ölçüm	3.454	2.018	2.064
	2. ölçüm	3.461	2.134	
	3. ölçüm	3.458	2.042	
AA5754- AA6063	1. ölçüm	4.191	2.247	2.243
	2. ölçüm	4.189	2.226	
	3. ölçüm	4.212	2.258	

Öncelikle Çizelge 5.2’de verilen çekme-makaslama test sonuçları incelendiğinde her bir birleştirme serisi için hem çekme-makaslama yük taşıma kabiliyetlerinin hem de uzama değerlerinin birbirlerine son derece yakın oldukları ve elde edilen bu sonuçların tekrarlanabilirlik açısından çok olumlu olduğu görülebilir. Bir başka ifade ile çalışma dahilinde kullanılan tüm parametrelerin kaynaklanabilirliğe olumlu etki yaptıkları söylenebilir. Sonuçların birbirlerine yakın değerler vermesi özellikle seri üretim yapan otomobil şirketleri gibi kuruluşlar için son derece önemli oldukları bilinmektedir. Çizelge ve şekillerde verilen çekme sonuçları incelendiğinde yüksek çekme-makaslama yük taşıma kabiliyetini 4.655 kN ile AA5754-AA5754 birleştirmesinin verdiğini, en düşük dayanımın ise 3.457 kN ile AA6063- AA6063 birleştirmesinde olduğu görülmektedir. Bu birleştirme serilerinin her ikisi de kendi aralarında yapılan birleştirmelerdir. AA5754-AA6063 farklı birleştirmesinde ise her iki birleştirmenin yaklaşık ortalamasında bir sonuç elde edilmesi normal bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde uzama değerlerine bakıldığında çekme-makaslama sonuçları ile benzer sıralama gösterdikleri ve uyum içerisinde oldukları belirlenmiştir. Elde edilen bu çekme-makaslama sonuçları ile ana malzemelerden elde edilen çekme sonuçları mukayese edildiğinde uyum içerisinde oldukları görülmektedir. Kaynaklı birleştirmeler bir başka açıdan değerlendirildiğinde, birleştirilen malzemelerden daha yüksek çekme dayanımı gösteren AA5754 ana malzemenin, birleştirildikten sonra da çekme-makaslama dayanımının yüksek ölçüldüğü görülmüştür. Sonuç olarak; nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemelerin çekme-makaslama dayanımlarının ana malzeme dayanımları ile yakından ilgili oldukları tespit edilmiştir.

Nokta kaynağı ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin çekme-makaslama testi sonrasında kopmaların düğme (plug failure) ve ITAB kopması biçiminde gerçekleştiği görülmüştür. Şekil 5. 11’de çekme-makaslama testi sonrası kaynaklı numunelerin kopma görüntüleri verilmiştir. Burada a) AA5754-AA5754, b) AA6063-AA6063 ve c) AA5754-AA6063 birleştirmelerini göstermektedir. Şekil 5. 11 a ve b incelendiğinde kendi arasında gerçekleştirilen benzer birleştirmelerde kopma düğme (nugget pull-out) biçiminde gerçekleşirken, birbirleri arasındaki farklı birleştirmede ise kopma AA6063 malzeme ITAB’ından gerçekleşmiştir. Bu kopma türünün gerçekleşmesinin sebebi çekirdeğe yakın bölgenin aşırı ısınması ve yumuşaması olarak gösterilebilir. Ayrıca,

çekirdek etrafındaki kırılmanın tüm numunelerde sünek yırtılma şeklinde olduğu görülmüştür.

AA1050 alüminyum malzemelerin nokta direnç kaynağı ile birleştirildiği çalışmada kırılma modları üç tür olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar; (1) arayüzey kopması (nugget fracture in shear), (2) düğme modu kopma (nugget pull-out) ve (3) ITAB'dan (failure in the HAZ) kopmadır. Burada (1) tipik olarak yetersiz ısıtmayı gösteren düşük girdi enerjisinde, (2) tatmin edici ısıtmayı gösteren orta girdi enerjisinde ve (3) ise yüksek girdi enerjisinde çekirdeğe yakın bölgenin aşırı ısınma ve yumuşama meydana geldiğini rapor etmişlerdir [64].



Şekil 5.11. Çekme-makaslama testi sonrası kopma görüntüleri.

Çekme-makaslama testleri sonucunda arayüzey ayrılması olamaması kaynak parametrelerinin uygun olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Nokta direnç kaynaklı birleştirmelerin çekme-makaslama testi sonrasında kopma türlerinin düğmelenme tipi olması istenir [69,70].

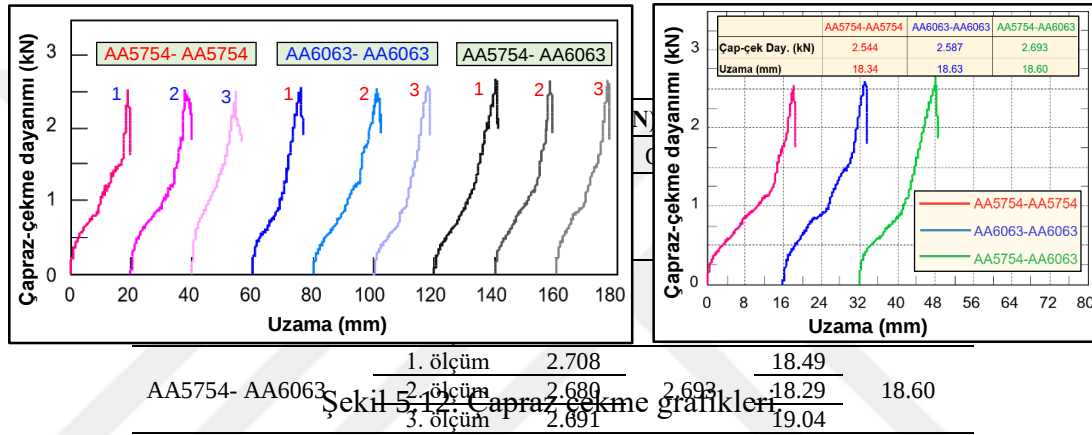
Şekil 5.2-5.4’de verilen makro resimlerde kaynak çekirdeğinde görülen porozitelerin kaynaklı bağlantının çekme-makaslama yükü taşıma kapasitelerine bir etkisinin olmadığı bir görülmüştür. Eğer kopmalar arayüzeyden gerçekleşmiş olsa idi bu durumda porozitelerin bağlantının yük taşıma kapasitesini (load-bearing capacity) etkilediği söylenebilirdi. Literatürde [68] kaynak çekirdek merkezinde bulunan küçük gözenekler ve diğer süreksizliklerin nokta kaynak performansını önemli ölçüde etkilemediği belirtilmiştir. Ancak bu porozite ve süreksizlikler (discontinuities) genişlerse veya uygulanan gerilimlerin etkisinin daha büyük olduğu kaynak çekirdeğinin kenarına kadar uzanırlarsa ciddi bir hasarın (catastrophic failure) meydana gelebileceği rapor edilmiştir.

5.5. ÇAPRAZ-ÇEKME TESTİ

Nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesi dayanımını belirlemek için en çok kullanılan yöntemlerden birisi de çapraz-çekme (cross-tension) testidir. Bu testte kaynak bölgesi dik doğrultuda çekme kuvveti etkisi altında bırakılarak kaynak arayüzeyi ayrılmaya zorlanmaktadır. Çalışma kapsamında DIN EN ISO 14272 standardına uygun olarak hazırlanan hem benzer hem de farklı birleştirmelerin tamamına çapraz-çekme testi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.12’de çapraz-çekme testi esnasında çekme makinası tarafından bilgisayara aktarılan grafikler verilmiştir. Burada a’da tüm çapraz-çekme grafikleri, b’de ise her bir birleştirmeden elde edilen 3 çapraz-çekme sonucunun ortalaması alınarak elde edilmiş grafik gösterilmiştir. Çizelge 5.3’de verilen sonuçlar incelendiğinde her bir testten yapılan 3 adet çapraz-çekme test sonuçlarının (hem dayanım hem de uzama) son derece tekrarlanabilir oldukları görülmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki çalışma kapsamında kullanılan tüm parametrelerin, hatta çevresel etkilerin kaynak işlemlerine olumlu yansıdığı söylenebilir.

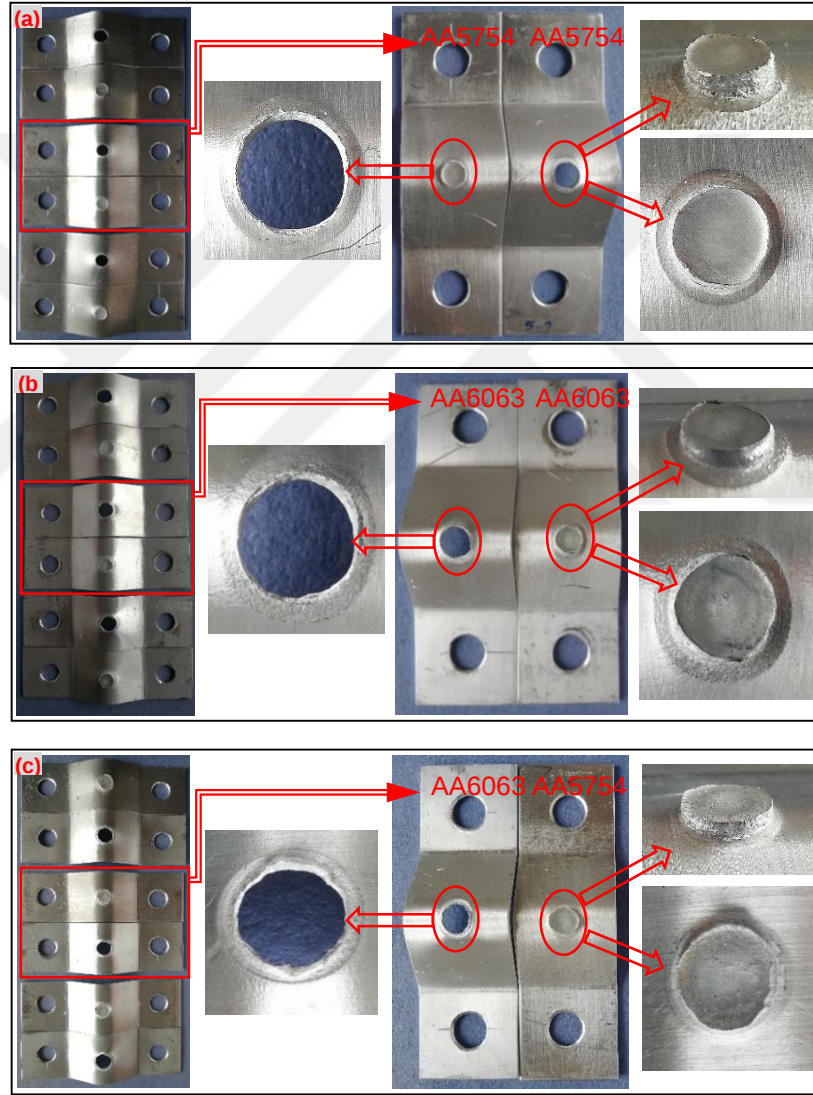
Çizelge 5.3. Çapraz-çekme test sonuçları.

	Yük (kN)			Uzama (mm)	
	Ölçüm no		Ortalama		Ortalama
AA5754- AA5754	1. ölçüm	2.575	2.544	19.29	18.34
	2. ölçüm	2.539		18.07	
	3. ölçüm	2.518		17.67	
AA6063- AA6063	1. ölçüm	2.587	2.587	18.09	18.63
	2. ölçüm	2.570		19.77	
	3. ölçüm	2.604		18.03	
AA5754- AA6063	1. ölçüm	2.708	2.693	18.49	18.60
	2. ölçüm	2.680		18.29	
	3. ölçüm	2.691		19.04	

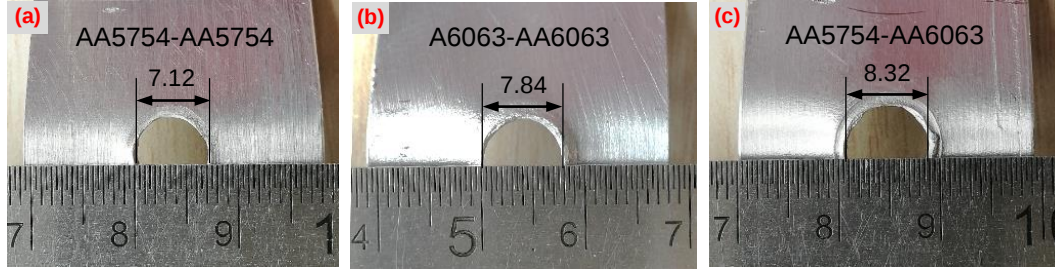


Çizelge 5.3 ve Şekil 5.12 incelendiğinde arayüzey çapraz-çekme dayanımlarının birbirlerine yakın olmakla birlikte en yüksek dayanımın farklı malzemelerin birleştirildiği AA5754-AA6063 birleştirmede 2.693 kN olarak ölçüldüğü görülmektedir. Bu test sonucunda en düşük dayanım ise AA5754-AA5754 birleştirilmesinden 2.544 kN olarak ölçülmüştür. Kaynaklı numunelerden ölçülen çapraz-çekme değerlerinin çekme-makaslama test değerlerinden ortalama yaklaşık %40 düşük olduğu tespit edilmiştir. Nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin çekme-makaslama test değerlerinin, çapraz-çekme test değerlerinden yüksek ölçülmesi test esnasında kuvvetin uygulanış biçimi ile ilgili olduğu bilinmektedir. Bamberg ve arkadaşları [71] AA7075 alüminyum malzemeleri nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve çapraz-çekme değerlerinin çekme-makaslama test değerlerine göre daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Deng ve arkadaşları [72], 1.2 mm kalınlığında AA6022-T4 malzemeleri nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve birleştirmelerin çapraz-çekme test sonuçlarının, çekme-makaslama testine göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen kaynaklı numunelerin çapraz-çekme testinden elde edilen mukavemet değerlerinin test sonrası kopma modları ile yakından ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle kaynaklı numunelerin çekme testi sonra kopma yüzeyleri makro olarak detaylı bir biçimde incelenmiş ve Şekil 5.13’de çapraz-çekme testi sonrası kaynaklı numunelerin kopma bölgelerinden alınan görüntüler verilmiştir. Ayrıca kolay görülebilmesi ve anlaşılabilmesi için Şekil 5.14’de kopma yüzeylerinin ölçüm sonuçlarının görselleri paylaşılmıştır.



Şekil 5.13. Çapraz-çekme testi sonrası kopma görüntüleri.



Şekil 5.14. Çapraz-çekme testi kopma yüzey ölçümleri.

Şekil 5.13’de verilen çapraz-çekme test numunelerinin çekme testi sonrası kopma görüntüleri incelendiğinde tüm numunelerde kopmanın düğmelenme modunda olduğu ve kopmanın ITAB’ın sertliği en düşük kısımdan gerçekleştiği görülmektedir. Burada çekme-makaslama testinde en yüksek mukavemetin elde edildiği AA5754-AA5754 birleştirmesinde kaynak çekirdek boyutunun diğer iki birleştirmeden daha düşük olduğu için dayanımının da bir miktar düşük olduğu görülmüştür. Şekil 5.14’de verilen kopmaya maruz kalan kaynak çekirdek çaplarına bakıldığında AA5754 birleştirmesinde bu çap yaklaşık olarak 7.12 mm olarak ölçülmüştür. AA6063 birleştirmesinde ise bu değer 7.84 mm olarak belirlenmiştir. AA5754-AA6063 farklı malzeme birleştirmede kopma AA6063 malzemesinden gerçekleşmiş ve çekirdek çapı 8.32 mm olarak ölçülmüştür. AA5754-AA6063 farklı malzeme birleştirmedeki kaynak çekirdek çaplarındaki artış kendi arasında birleştirilen AA5754 birleştirmesine göre %10 ve AA6063 birleştirmesine ise göre %6 olarak hesaplanmıştır. Burada üzerinde durulması gereken en önemli konu AA5754-AA6063 farklı malzeme birleştirmesinde kopan çekirdek çapının kendi arasında birleştirilen AA6063-AA6063 birleştirmesine göre niçin daha büyük olduğudur. Bunun kaynak işlemlerinde kullanılan farklı malzemelerin hem elektrik hem de ısı iletkenliklerinin farklı olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu durum Şekil 5.7’de verilen makro yapı resminde açıkça görülmektedir. Bu fiziksel farklılıklar kaynaklı numunelerden birisinin hızlı soğumasına, diğerinin ise daha yavaş soğumasına neden olmaktadır. Dolayısıyla her iki malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgesi ve bu bölgelerin metalurjik özellikleri farklılık göstermektedir. Böylece test esnasında çapraz-çekme yüküne maruz kalan en zayıf bölgeden deformasyon başlamakta ve bu bölgenin çap olarak büyüklüğü test sonuçlarını etkilemektedir. Sonuç olarak kopma çaplarındaki bu artış çapraz-çekme test sonuçlarına olumlu bir şekilde yansımıştır.

Çapraz-çekme test sonuçları bir başka açıdan ele alındığında kendi arasında birleştirilen AA5754 numunesinin ITAB'ında (Şekil 5.5) en yoğun çatlağın olduğu unutulmamalıdır. Kaynak metaline sınır ITAB'da başlayan bu çatlakların çapraz-çekme testi esnasında deformasyon için kolaylaştırıcı bir görev yaptıkları düşünülmektedir. Çapraz-çekme testi sonrasında kaynaklı numunelerin kaynak arayüzeyinden ayrılmaması, kaynak metalllerinde mevcut porozitelerin çapraz-çekme mukavemetlerine olumsuz bir etki yapmadığı biçiminde yorumlanmıştır.

Kaynaklı numunelerden elde edilen çapraz-çekme sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde alüminyum malzemeler için seçilen elektrod geometrisinin oluşturduğu çekirdek boyutu ve kaynak metalinde oluşan gözenek miktarının kopma modunda olumsuzluk oluşturmadığı görülmüştür. Ayrıca elektrod dalma derinliğinin (electrode indentation) kaynaklı bağlantıların çapraz-çekme dayanımlarını olumsuz etkileyecek derecede yüksek olmadığı sonucuna varılmıştır. Literatürde alüminyum malzemelerin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinde fazla kaynak girintisinin, kaynak boyutunun ve gözeneklik seviyesinin kaynaklı bağlantıların çapraz-çekme mukavemetlerini etkilediği rapor edilmiştir [62].

5.6. KOROZYON TESTİ

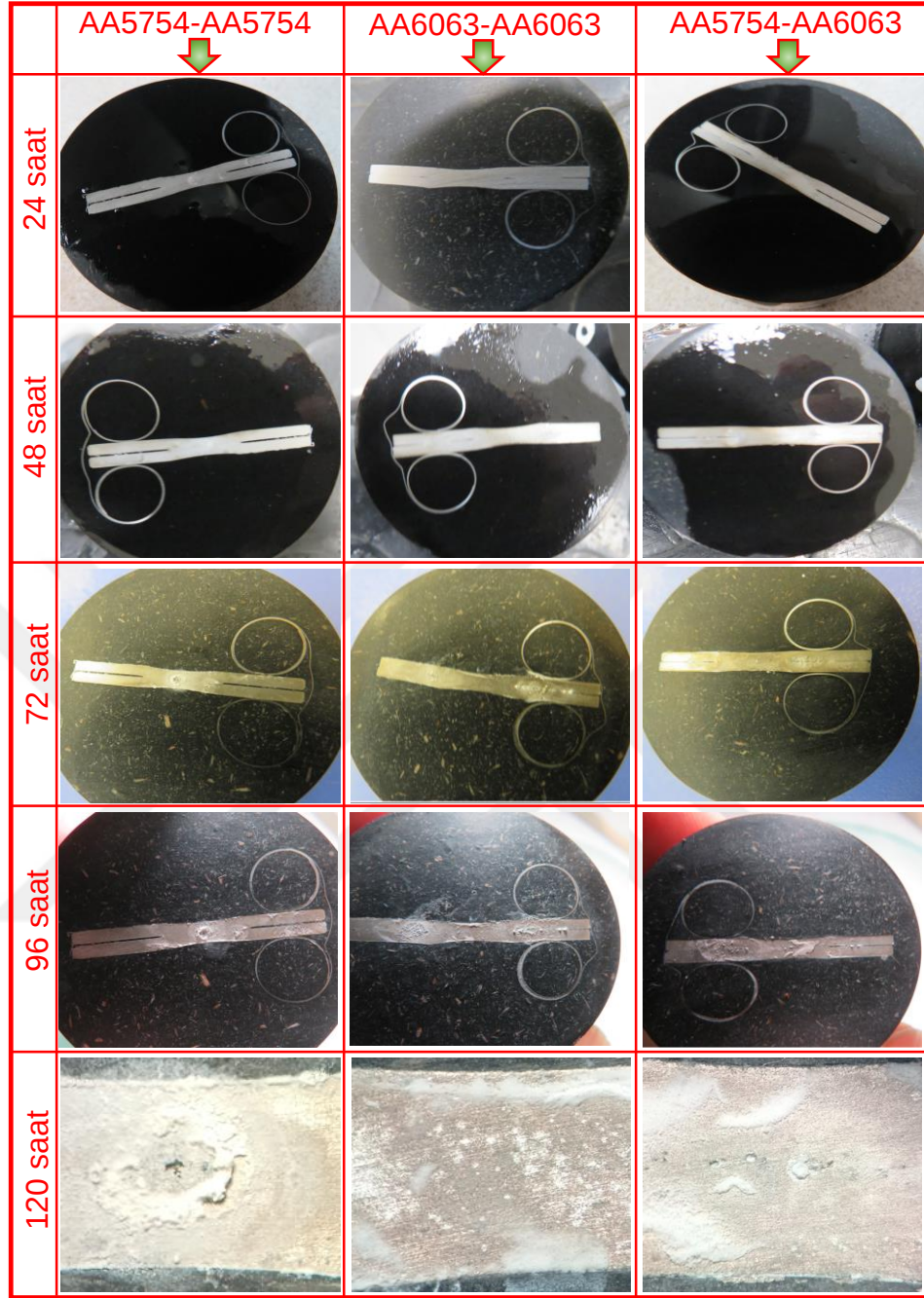
Deneyisel çalışmalarda belirtildiği üzere nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen benzer ve farklı alüminyum numuneler hem kesit arayüzeyinden hem de çekirdek yüzeyinden EN ISO NSS 9227 standardına uygun olarak tuz sisi testine tabii tutulmuşlar ve sonuçlar iki ayrı başlık altında verilmiştir.

Nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen kaynaklı numuneler servis şartlarında genellikle yüzeysel korozyona maruz kalmaktadırlar. Yani kaynak esnasında elektrodun baskı uyguladığı kaynak çekirdeği yüzeyinde sadece ısı girdisinin etkisi ile meydana gelen korozyon direncindeki azalma görülebilmektedir. Bir başka ifade ile nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen farklı malzemelerin birleştirilmesinde yüzeyden yapılan testlerde sadece o ana malzemeye ait korozyon dayanımı belirlenebilir. Kesitten yapılan kaynaklı birleştirmelerde benzer malzemelerin birleştirilmesinde kaynak metali homojen bir yapı sergilemektedir. Buradaki korozyon

direncinin azalması kaynak esnasındaki ısı girdisi ile alakalıdır. Farklı malzemelerin birleştirildiği kesit arayüzeyinden yapılan testlerde ise kaynak çekirdeği iki farklı ana malzemenin karışımından oluştuğu için kimyasal bileşim ve mikroyapısal olarak da farklıdır. Burada kaynak metali ana malzemelerin fiziksel özelliklerine göre homojen olmayıp bir miktar farklılık gösterebilir. Yukarıda gerekçeleri sunulan sebeplerden dolayı kaynaklı numunelerin kesit ve yüzeylerinin farklı korozyon direnci göstereceği düşünüldüğü için hem kesitten hem de yüzeyden korozyon testlerine tabi tutulmuşlardır.

5.6.1. Kesit Arayüzeyi Korozyon Testi

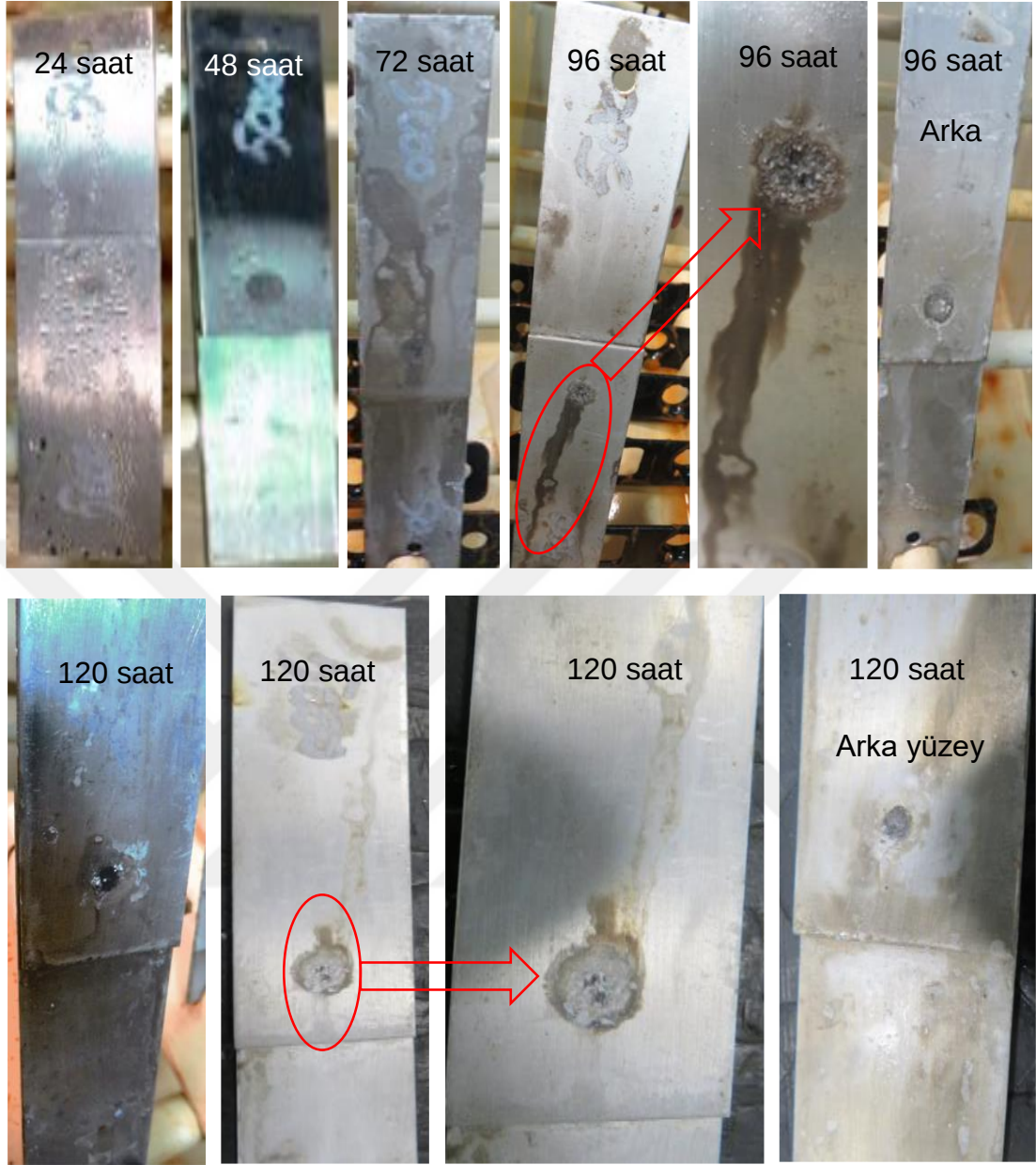
Kaynaklı bağlantının kaynak kesit arayüzeyinin tuz sisi testi sonrası belirlenen sürelerdeki görüntüleri Şekil 5.15'te ve uzman personel tarafından hazırlanan test sonuç raporları ise tez çalışmasının sonunda EKLER bölümünde verilmiştir. Kaynak arayüzeyinden belirlenen saatlerde alınan görüntüler incelendiğinde en yüksek korozyon dayanımının AA6063-AA6063 birleştirmesinde, en düşük korozyon direncinin ise AA5754-AA5754 birleştirilmesinde meydana geldiği görülmektedir.. Korozyon testi sonrası AA6063-AA6063 ara kesitinde kaynak çekirdeği çevresinde çukur korozyonu başlamıştır (Şekil 5.15). Korozyon testi sonrası AA5754-AA6063 birleştirmenin ara kesitinde boşlukların boyutunun ve derinliğinin arttığı görülmektedir. AA5754-AA5754 birleştirmenin kaynak metalinde korozyon çukurlarının derinliği ve boyutu artmıştır. Böylece en düşük korozyon direnci AA5754-AA5754 birleştirmede tespit edilmiştir. Kaynak metalinde gözenek oluşumu nedeniyle korozyon direnci literatürde belirtildiği gibi azalmıştır. Bunun sebebinin yapılan literatür [73] araştırmalarında da gözlemlenen kaynak bölgesindeki kaynak boşluklarının sebep olduğu düşünülmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında da AA5754 alüminyum alaşımının AA6063 alüminyum alaşımına göre korozyon direncinin içerdiği magnezyum miktarından kaynaklı daha yüksek olduğu rapor edilmiştir [74,75].



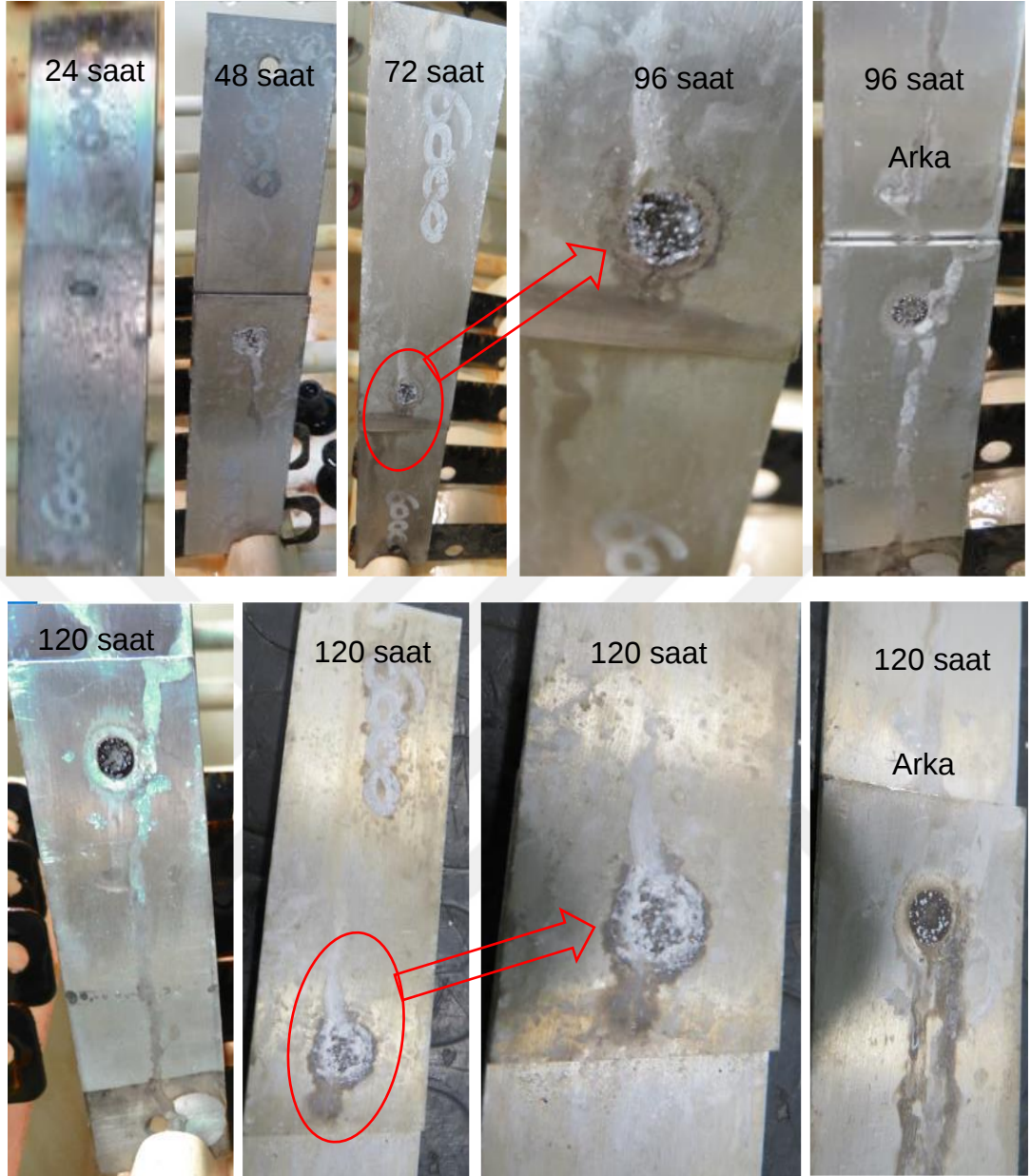
Şekil 5.15. Kesit ara yüzey tuz sisi korozyon test sonrası görüntüler.

5.6.2. Yüzey Korozyon Testi

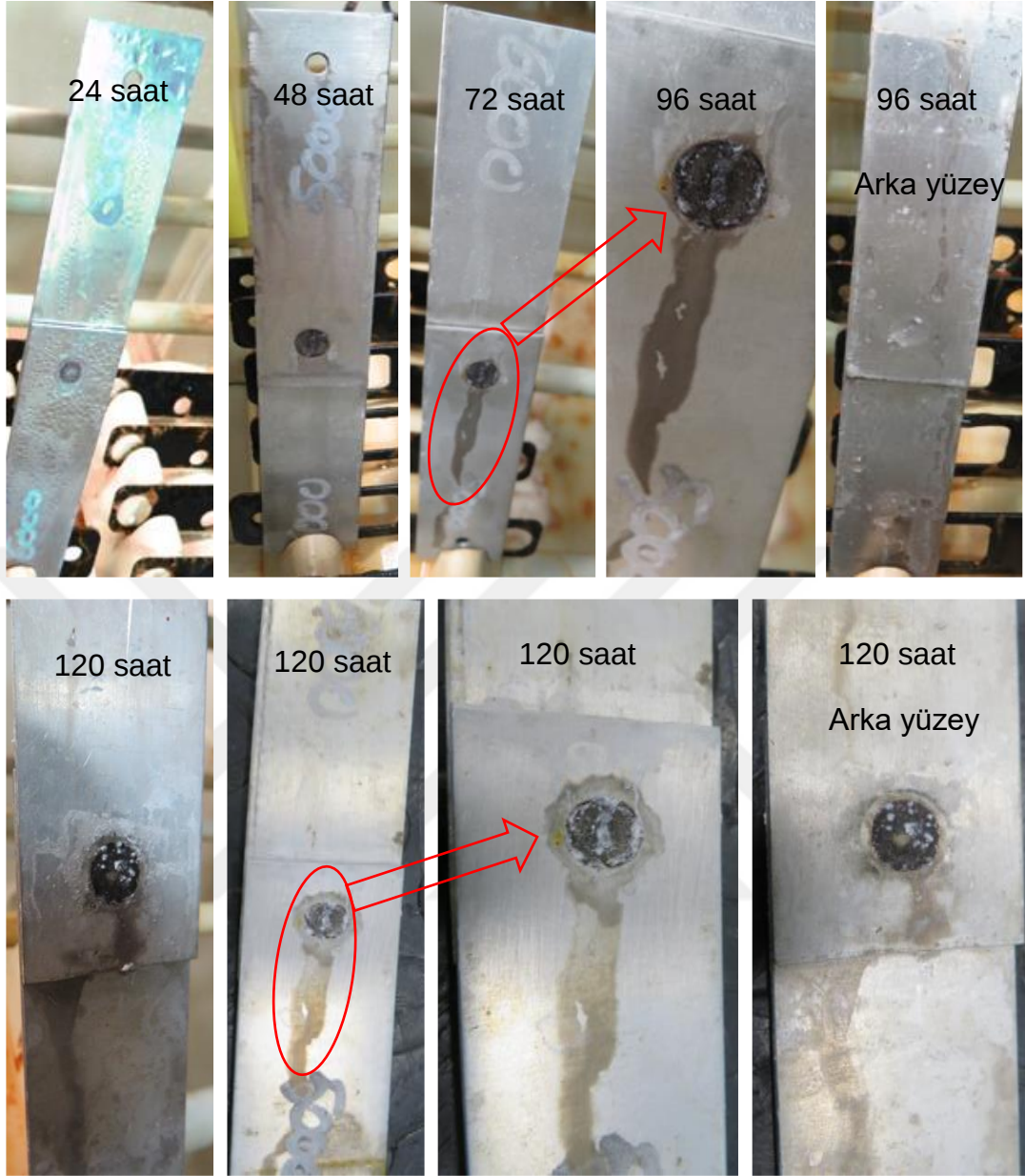
Kaynaklı numuneleri servis şartlarında ağırlıklı olarak nokta çekirdek yüzeyleri atmosferik şartlara maruz kaldığı dikkate alınarak kesitten korozyon testine ilave olarak kaynak nokta yüzeyleri de aynı standart ve sürelerde teste tabi tutulmuş ve test sonucu elde edilen görüntüler Şekil 5.16-5.18 aralığında paylaşılmıştır.



Şekil 5.16. AA5754-AA5754 birleştirmelerin korozyon test sonrası görüntüleri.



Şekil 5.17. AA6063-AA6063 birleştirmelerin korozyon test sonrası görüntüleri.



Şekil 5.18. AA5754-AA6063 birleştirmelerin korozyon test sonrası görüntüleri.

Uzman kişi tarafından ilgili standarda göre yapılan değerlendirmede her ne kadar 120 saat teste tabii tutulan ürünlerde 48.saatte beyaz pas başlangıcı görüldüğü, kırmızı pas görülmediği raporda belirtilse de Şekil 5.16 ila 5.18 arasında verilen makro görüntüler incelendiğinde en yüksek korozyon direncinin AA5754-AA5754 birleştirmesinde tespit edildiğini ve bu birleştirmenin diğer iki birleştirmeye göre korozif ortamlarda daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir [74-76].

Hem kesit arayüzeyinden hem de nokta yüzeyinden yapılan korozyon sonuçları birlikte değerlendirildiklerinde korozyona karşı en yüksek dayanımın yüzey korozyon testlerinde AA5754-AA5754 birleştirmesinde, kesitten korozyon testlerinde ise AA6063-AA6063 birleştirmesinde olduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı numunelere uygulanan farklı (yüzey ve kesit) iki korozyon test sonucunun koroziif ortamlarda kullanımının tavsiyesi açısından kullanım şartlarındaki durumuna göre seçim yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bir başka ifade ile yüzey korozyonuna maruz kalan ortamlarda AA5754-AA5754 birleştirmesi tercih edilmelidir.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

AA5754 ve AA6063 alüminyum malzemelerin benzer (AA5754-AA5754 ve AA6063-AA6063) ve farklı (AA5457-AA6063) kombinasyonlarda nokta direnç kaynak yönteminde MFDC teknolojisi kullanılarak birleştirildiği bu çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır.

- Kaynaklı birleştirmelere yapılan makro muayenede ağırlıklı olarak AA5754-AA6063 farklı birleştirilmesinde olmak üzere kaynak çekirdek merkezlerinde farklı miktar ve boyutlarda porozite ve kalıntılarının oluştuğu görülmüştür. Ancak nokta direnç kaynaklı birleştirmelerde arayüzeyde sıklıkla karşılaşılan fişkırtma (expulsion) hatasına rastlanılmamıştır.
- Kaynak çekirdeği etrafında yapılan incelemelerde ise tüm birleştirmelerde kaynak metali-ITAB arasındaki sıvı-katı arayüzeyinden başlayıp ana malzemeye doğru giderek küçülen çatlaklara rastlanmıştır. Bu çatlakların en yoğun olduğu birleştirme AA5457-AA5457 birleştirmesi iken, diğer iki birleştirmede çatlak yoğunluğunun daha az olduğu gözlemlenmiştir.
- Kaynak metali mikroyapı incelemelerinde, yapının, kaynak merkezine yakın kısımlarda dentritik, ergime sınırından uzaklaştıkça (ergime sınırına yakın bölgelerde) sütunsal biçimde olduğu gözlemlenmektedir.
- Nokta direnç kaynaklı numuneler üzerinde yapılan sertlik ölçümleri sonucunda kaynak metali sertliklerinin ana malzeme ve ITAB'lara göre daha düşük olduğu görülmüştür.

- Çekme-makaslama testlerinde kendi arasında birleştirilen benzer malzemelerin kaynağında kopma düğme modunda gerçekleşirken, farklı malzemelerin birleştirildiği numunelerde kopma ITAB'dan gerçekleşmiştir.
- Çapraz-çekme testlerinde tüm kopmalar düğmelenme türü olup en yüksek çapraz-çekme dayanımı AA5754- AA6063 birleştirilmesinde 2.693 kN olarak ölçülmüştür.
- Yapılan korozyon testleri sonucunda 48. saatte beyaz pas başlangıcı görüldüğü, ancak kırmızı pas görülmediği belirlenmiştir. Ayrıca korozyona en yüksek dayanımın yüzeyde AA5754-AA5754 birleştirmesinde, kesitte ise AA6063-AA6063 birleştirmesinde olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında aşağıdaki öneriler yapılabilir.

- Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen kaynaklı numunelere yorulma testi uygulanarak çatlak ve gözeneklerin yorulma ömürlerine etkisi incelenebilir.
- Ayrıca çalışma AC akımda yapılarak mekanik ve mikroyapı özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Dündar, M., "Alüminyumun yaygın kullanımı için potansiyel uygulamalar", **II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi**, Konya, (2002).
2. Vatansever, F., Ertürk, A., ve Karabay, S., "Alüminyum-silisyum alaşımlarının mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin T6 ısıtım işlemi ile iyileştirilmesi", **Dokuz Eylül University-Faculty of Engineering Journal Of Science And Engineering**, 20 (59): 201–211 (2018).
3. Çam, G., "Sürtünme karıştırma kaynağı uygulamalarında son gelişmeler", **Kaynak Teknolojisi VI Ulusal Kaynak Kongresi**, Ankara, 35–43 (2007).
4. Internet: Baylan, O., "Elektrik Direnç Kaynağı", <https://www.metaluzmani.com/elektrik-direnc-kaynagi/>.
5. Eryürek, B., "Elektrik direnç kaynağı", **Mühendis ve Makina**, 24: 22–27 (1982).
6. Sun, X. and Dong, P., "Analysis of aluminum resistance spot welding processes using coupled finite element procedures", **Welding Journal (Miami, Fla)**, 79 (8): 215–221 (2000).
7. Eroğlu, G. and Şahiner, M., "Dünyada ve türkiyede alüminyum", **Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü**, 1–23 (2018).
8. Totten, G. E. and MacKenzie, D. S., "Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy production and materials manufacturing", **CRC Press**, (2003).
9. Rooy, E. L., "Introduction to aluminum and aluminum alloys", **ASM International, Metals Handbook, Tenth Edition.**, 2: 3–14 (1990).
10. Mathers, G., "The Welding of Aluminium and Its Alloys", **Woodhead Publishing Ltd And CRC Press LLC**, Cambridge, 10–46 (2016).
11. Dağdelen, E. and Ulus, A., "Aluminum Sheet Production: Heat Treatment of Aluminium and Temper Designations of Aluminium Alloys", **XVIII. Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi**, İstanbul 681–684 (2016).
12. Cavaliere, P., Cerri, E., and Squillace, A., "Mechanical response of 2024-7075 aluminium alloys joined by Friction Stir Welding", **Journal Of Materials Science**, 40 (14): 3669–3676 (2005).
13. Jovanović, A. and Teodorović, D., "Multi - criteria optimization of single intersection under over-saturated conditions", **Mobility And Vehicle Mechanics**, 45 (3): 1–11 (2019).

14. Todor, M. P. and Kiss, I., "Systematic approach on materials selection in the automotive industry for making vehicles lighter, safer and more fuel-efficient", *Applied Engineering Letters*, 1 (4): 91–97 (2016).
15. Musfirah A.H, J. A. ., "Magnesium and aluminum alloys in automotive industry", *Journal Of Applied Sciences Research*, 8 (9): 4865–4875 (2012).
16. Hirsch, J., "Aluminium in innovative light-weight car design", *Materials Transactions*, 52 (5): 818–824 (2011).
17. Güven, F. ve Rende, H., "Elektrikli araçların tasarımında malzeme seçiminin önemi", *Mühendis Ve Makina*, 58 (689): 81–95 (2017).
18. Sharma, P., Khanduja, D., and Sharma, S., "Dry sliding wear investigation of Al6082/Gr metal matrix composites by response surface methodology", *Journal Of Materials Research And Technology*, 5 (1): 29–36 (2016).
19. Qiu, R., Zhang, Z., Zhang, K., Shi, H., and Ding, G., "Influence of welding parameters on the tensile shear strength of aluminum alloy joint welded by resistance spot welding", *Journal Of Materials Engineering And Performance*, 20 (3): 355–358 (2011).
20. Senyen, C., "Alüminyum alaşımlarının kaynağında dikkat edilecek hususlar", *Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi*, Ankara, 253–265 (2001).
21. Kahraman, B., "Otomotiv endüstrisinde kullanılan 5754 alüminyum alaşımı saçların direnç nokta kaynağı(RSW) ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemleri ile birleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli*, (2009).
22. Anık, S., Tülbentçi, K., and Kaluç, E., "Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı", *Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Gedik Eğitim Vakfı*, 11–24 (1991).
23. Şafak, S. A., "Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*, (2011).
24. Ramji, B. R., Baharathi, V., and Prabhu Swamy, N. R., "Characterization of TIG and MIG welded Aluminium 6063 alloys", *Materials Today: Proceedings*, 46: 8895–8899 (2021).
25. Anık, S. and Vural, M., "Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG)", *Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Gedik Eğitim Vakfı*, 50–157 (1997).
26. Tülbentçi, K., "Mig-Mag Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı", *Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Gedik Eğitim Vakfı*, 1–50 (1990).

27. Köse, C. ve Topal, C., "Plazma ark kaynağıyla birleştirilen AISI 410S ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı ve mekanik özelliklerine ısıtılma işleminin etkisi", *European Journal Of Science And Technology*, (19): 201–212 (2020).
28. Eker, T., "Otomotivde endüstrisinde kullanılan kaporta sacının plazma ark kaynağı", *Selçuk-Teknik Dergisi*, 9 (1): 67–78 (2010).
29. Aydın, K. ve Karaağaç, İ., "Lazer Kaynağı ve Lazer Kaynağının Başlıca Uygulamaları", *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2): 693–705 (2018).
30. Yüce, C., "Yüksek mukavemetli çelikler ile alüminyum alaşımlarının lazer kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin bağlantı üzerine etkilerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa*, (2018).
31. Akyol, M., "Otomotiv sanyinde kullanılan direnç nokta kaynak uygulamaları ve karşılaşılan sorunlar", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, (2001).
32. Adanır, H., Türker, M., ve Tosun, M., "5754 ve 7072 farklı alüminyum alaşımlarının direnç nokta kaynaklarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi", *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre Ve Sergisi*, Ankara, 1–11 (2017).
33. İnternet: Şahin, U. O., "Elektrik Direnç Kaynağında Yeni Trend: Orta Frekans Kaynak Makineleri", <https://www.subconturkey.com.tr/elektrik-direnc-kaynaginda-yeni-trend-orta-frekans-kaynak-makineleri/>.
34. Oğuz, B., "Demir Dışı Metallerin Kaynağı", *Oerlikon*, İstanbul, 2–6 (1990).
35. Dede, A., Soy, U., ve Aslanlar, S., "Sürtünme Kaynak Yöntemi", *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (1): 7–12 (2002).
36. Kejanlı, H. ve Avcı, M., "T/M yöntemiyle üretilmiş Mg-Ti alaşımının difüzyon kaynağı ile birleştirilmesine ara tabakanın etkisi", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9: 279–289 (2018).
37. Colak, F., Tasgetiren, S., Kaya, R., ve Virdil, H., "Difüzyon kaynağı ile birleştirilen Fe-Cu çiftinin mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 45–52 (2006).
38. Delice, U., "1,4462 dubleks paslanmaz çelik malzemelerin nikel ara tabaka kullanarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir*, (2021).
39. Kaya, Y., "Patlatmalı kaynak yöntemi ile üretilen grade a gemi sacı-paslanmaz çelik kompozitlerin mikroyapı, mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*, 45-64 (2014).

40. Acarer, M., "Patlamalı kaynakta patlayıcı oranı, ara boşluk mesafesi ve altlık cinsinin çelik/çelik birleştirilmesi kalitesine etkisi", Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya**, (2001).
41. Şık, A., Ertürk, İ., ve Önder, M., "AA2024 Alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında farklı parametrelerin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 16 (2): 139–147 (2010).
42. Çam, G., "Sürtünme karıştırma kaynağı ve uygulamaları", **IX. Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, Denizli, 450–458 (2002).
43. Bodur, D., Oğuzcan, C., Ertürk, S., ve Bozkurt, Y., "Direnç ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Levhaların Karşılaştırılması", **El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi**, 4 (2): 266–273 (2017).
44. Mert, Ş. ve Mert, S., "Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin incelenmesi", **İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi**, 2 (1): 26–35 (2013).
45. Din, N. A. M., Zuhailawati, H., and Anasyida, A. S., "Resistance Spot Welding of AA5052 Sheet Metal of Dissimilar Thickness", **IOP Conference Series: Materials Science And Engineering**, 114 (1): 012126 (2016).
46. Han, L., Thornton, M., Boomer, D., and Shergold, M., "A correlation study of mechanical strength of resistance spot welding of AA5754 aluminium alloy", **Journal Of Materials Processing Technology**, 211 (3): 513–521 (2011).
47. Senkara, J. and Zhang, H., "Cracking in spot welding aluminum alloy AA5754", **Welding Journal (Miami, Fla)**, 79 (7): (2000).
48. Rashid, M., Medley, J. B., and Zhou, Y., "Nugget formation and growth during resistance spot welding of aluminium alloy 5182", **Canadian Metallurgical Quarterly**, 50 (1): 61–71 (2011).
49. Hassanifard, S. and Zehsaz, M., "The effects of residual stresses on the fatigue life of 5083-O aluminum alloy spot welded joints", **Procedia Engineering**, 2 (1): 1077–1085 (2010).
50. Sashank, J. S., Sampath, P., Krhisna, P. S., Sagar, R., Venukumar, S., and Muthukumaran, S., "Effects of friction stir welding on microstructure and mechanical properties of 6063 aluminium alloy", **Materials Today: Proceedings**, 5 (2): 8348–8353 (2018).
51. Ramirez, A., Graciano-Urbe, J., Hincapie, D., and Torres, E., "Segregation effect on solidification cracking in spot welding of the 6xxx aluminum", **Engineering Transactions**, 68 (4): 417–431 (2020).

52. Pereira, A. M., Ferreira, J. M., Loureiro, A., Costa, J. D. M., and Bártolo, P. J., "Effect of process parameters on the strength of resistance spot welds in 6082-T6 aluminium alloy", *Materials & Design (1980-2015)*, 31 (5): 2454–2463 (2010).
53. Turnage, S. A., Darling, K. A., Rajagopalan, M., Whittington, W. R., Tschopp, M. A., Peralta, P., and Solanki, K. N., "Influence of variable processing conditions on the quasi-static and dynamic behaviors of resistance spot welded aluminum 6061-T6 sheets", *Materials Science And Engineering: A*, 724: 509–517 (2018).
54. Shi, Y. and Guo, H., "Fatigue performance and fatigue damage parameter estimation of spot welded joints of aluminium alloys 6111-T4 and 5754", *Fatigue And Fracture Of Engineering Materials And Structures*, 36 (10): 1081–1090 (2013).
55. Lee, T., "Resistance spot weldability of heat-treatable and non-heat-treatable dissimilar aluminium alloys", *Science And Technology Of Welding And Joining*, 25 (7): 543–548 (2020).
56. Ferreira, A. C., Campanelli, L. C., Suhuddin, U. F. H., Alcantara, Ne. G. de, and Santos, J. F. S., "Investigation of internal defects and premature fracture of dissimilar refill friction stir spot welds of AA5754 and AA6061", *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 7 (106): 3523–3531 (2020).
57. Hu, S., Ma, Y., Li, Y., Lin, Z., Haselhuhn, A. S., and Carlson, B. E., "Comparison of the resistance spot weldability of AA5754 and AA6022 aluminum to steels", *Welding Journal*, 99 (8): 224S-238S (2020).
58. Venugopal, D., Das, M., and Fernandez, V., "Study and implementation of a force stepper and a part fit-up solver algorithm for a servo controlled MFDC spot welder", *IEEE International Conference On Electro/Information Technology*, 286–291 (2009).
59. Li, W., Feng, E., Cerjanec, D., and Grzadzinski, G. A., "Energy Consumption in AC and MFDC resistance spot welding", *Sheet Metal Welding Conference XI*, Detroit, 1–12 (2004).
60. Li, W., Cerjanec, D., and Grzadzinski, G. A., "A comparative study of single-phase AC and multiphase DC resistance spot welding", *Journal Of Manufacturing Science And Engineering, Transactions Of The ASME*, 127 (3): 583–589 (2005).
61. Xia, Y. J., Zhang, Z. D., Xia, Z. X., Zhu, S. L., and Zhang, R., "A precision analogue integrator system for heavy current measurement in MFDC resistance spot welding", *Measurement Science And Technology*, 27 (2): (2015).

62. Sun, X., Stephens, E. V., Davies, R. W., Khaleel, M. A., and Spinella, D. J., "Effects of fusion zone size on failure modes and static strength of aluminum resistance spot welds", ***Welding Journal (Miami, Fla)***, 83 (11): (2004).
63. Al Naimi, I. K., Al Saadi, M. H., Daws, K. M., and Bay, N., "Influence of surface pretreatment in resistance spot welding of aluminum AA1050", ***Production & Manufacturing Research***, 3 (1): 185–200 (2015).
64. Kahraman, N. ve Gülenç, B., "Modern Kaynak Teknolojisi", 4. Ed., ***Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti***, Ankara, 170–175 (2020).
65. Wu, K. C., "Electrode indentation criterion for resistance spot welding(Electrode indentation in resistance spot welds related to weld strength for titanium, steel and aluminum alloy)", ***Welding Journal, Research Supplement***, 10: 472–478 (1968).
66. Xinmin, L., Xiaoyun, Z., Yansong, Z., and Guanlong, C., "Weld quality inspection based on online measured indentation from servo encoder in resistance spot welding", ***IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement***, 56 (4): 1501–1505 (2007).
67. Yürük, A., Çevik, B., ve Kahraman, N., "The Design of Fatigue Test Machine and the Analysis of Fatigue Behavior of FSWed Dissimilar Aluminum Alloys", ***Experimental Techniques***, 1–11 (2022).
68. Internet: European Aluminium Association, "Resistance Welding", <https://www.european-aluminium.eu/resource-hub/aluminium-automotive-manual/> .
69. Pouranvari, M. and Ranjbarnoodeh, E., "DP600 / AISI1008 dissimilar resistance spot welding: on the reduction of energy absorption at high heat input welding condition", 1-4 (2012).", ***Research Journal Of Applied Sciences, Engineering And Technology***, 1–4 (2012).
70. Emre, H. E. and Kaçar, R., "Development of weld lobe for resistance spot-welded TRIP800 steel and evaluation of fracture mode of its weldment", ***The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology***, 83 (9): 1737–1747 (2016).
71. Bamberg, P., Gintrowski, G., Liang, Z., Schiebahn, A., Reisgen, U., Precoma, N., and Geffers, C., "Development of a new approach to resistance spot weld AW-7075 aluminum alloys for structural applications: an experimental study – Part 1", ***Journal Of Materials Research And Technology***, 15: 5569–5581 (2021).
72. Deng, L., Li, Y. B., Carlson, B. E., and Sigler, D. R., "Effects of electrode surface topography on aluminum resistance spot welding", ***Welding Journal***, 97 (4): 120s-132s (2018).

73. Chehreh, A. B., Grätzel, M., Bergmann, J. P., and Walther, F., "Effect of corrosion and surface finishing on fatigue behavior of friction stir welded EN AW-5754 aluminum alloy using various tool configurations", *Materials*, 13 (14): 1–20 (2020).
74. Park, D.-H., Choi, S.-W., Kim, J.-H., and Lee, J.-M., "Cryogenic mechanical behavior of 5000- and 6000-series aluminum alloys: Issues on application to offshore plants", *Cryogenics*, 68: 44–58 (2015).
75. NIŞANCIOĞLU, K., "Corrosion and protection of aluminum alloys in seawater", *Corrosion Behaviour and Protection of Copper and Aluminium Alloys in Seawater*, *Elsevier*, 145–155 (2007).
76. Gooch, W. a., Burkins, M. S., and Squillacioti, R. J., "Ballistic testing of commercial aluminum alloys and alternate processing techniques to increase the availability of aluminum armor", *XXIII. International Symposium On Ballistics*, Spain, 981–988 (2007).

EK AÇIKLAMALAR A
KOROZYON TEST RAPORLARI

TUZ SİSİ TEST RAPORU / SALT SPREY TEST REPORT

TANIMLAMA / IDENTIFICATION	
Test Numarası / Test No : RP/22	Tuz Sis Kabin No /
Test Nedeni / Reason for the Test : 5000-5000 BAKALİTE KOROZYON TEST PROJE ÇALIŞMASI	Salt Sprey Chamber No : OA00114-OA00115
Müşteri Adı / Customer Name :	
Referans - Şartname / :	Sipariş - Lot No /
Reference - Designation :	Order - Batch No : 12.04.2022 TRH. NUMUNE
Norm / Norme : EN ISO NSS 9227	Lot Miktarı /
	Batch Quantity :
Kaplama Tipi / : Kaplamasız Alüminyum Malzeme	Uygulayan / Applicator : -
Type of coating :	Hat Adı / Line Designation : -
İstenen Kaplama / :	
Demanded Thickness :	Özel Şartlar / Special Condition : -
Bulunan Kaplama / :	Fırın Kurutma / Oven Drying : saat - ° C
Thickness found :	h
TEST KABİNİ AGRESİFLİK AYLIK KONTROLÜ / TEST CHAMBER AGGRESSIVENESS MONTHLY CHECK	
Son Kontrol Tarihi : 08.03.2022	Bir Sonraki Kontrol Tarihi : Test başlangıcı
Date of last check	Date of next check
AGRESİFLİK NOTU (1'den 5'e) : 2-3	(2 ve 3 arası UYGUN'dur)
Aggressiveness Mark (1 to 5) :	(complies between 2 and 3)
TEST PARAMETRELERİ / TEST PARAMETERS	
Başlangıç Tarihi : 12.03.2022	Parçaların Sayısı : 1 ADET
Starting date	Number of parts
Gereklilik : Beyaz Pas	Saat Kırmızı Pas 120 Saat
Requirements White Rust Hour	Hour Red Rust Hour
TEST SONUÇLARI / TEST RESULTS	
Herbir gözlem sırasında, test edilen parçaların sayısı belirtilmeli. Herbir kolonun toplamı test edilen parçaların toplam sayısına karşılık gelmelidir. During each observation, indicate the number of parts involved. The sum of each column should correspond to the total number of parts for the test.	
A: Paslanma Yok B: Beyaz Pas Görünümü C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas D: Kırmızı Pas Görünümü A: no rust B: appearance of white rust C: white rust over more than 5% of the surface D: appearance of red rust	
D	
C	x x x
B	x x
A	
Saatler / Hours	24 48 72 96 120
D	
C	
B	
A	
Saatler / Hours	528 552 576 600 624 648 672 696 720 744 768 792 816 840 864 888 912 936 960 984 1008
Beyaz Pas Görünümü Appearance of White Rust	Kırmızı Pas Görünümü Appearance of Red Rust
48 saat/hour	- saat/hour
Toplam Test Süresi Total test duration	
120 saat/hour	
KARAR / TEST CONCLUSION	
UYGUN / COMPLIES ☐	UYGUN DEĞİL / DOES NOT COMPLY ☐ (%)
Yorumlar / Comments : 5000-5000 Kodlu Numune Ürün 120 saat tuz sis Korozyon testine tabii tutulmuştur. Üründe 24. saatte beyaz pas başlangıcı görüldü, 72. ve 96. saatlerde beyaz pasın yoğunlaştığı ve kararına şekillendi oksitlenme görüldü, kırmızı pas görülmedi.	
Kontrolü Yapan : N.KARADUMAN Operator	Onaylayan : Approved By
Tarih : 25.03.2022 Date	
DAĞITIM : Üretim Proje kalite	
Sayfa 1/3	

TUZ SİSİ TEST RAPORU / SALT SPREY TEST REPORT

TANIMLAMA / IDENTIFICATION	
Test Numarası / Test No : RP/22	Tuz Sisi Kabin No /
Test Nedeni / Reason for the Test : 6000-6000 BAKALİTE KOROZYON TEST PROJE ÇALIŞMASI	Salt Spray Chamber No : OA00114-OA00115
Müşteri Adı / Customer Name :	Sipariş - Lot No /
Referans - Şartname / :	Order - Batch No: 12.04.2022 TRH. NUMUNE
Reference - Designation :	Lot Miktarı /
Norm / Norme : EN ISO NSS 9227	Batch Quantity :
Kaplama Tipi / : Kaplamasız Alüminyum Malzeme	Uygulayan / Applicator : -
Type of coating :	Hat Adı / Line Designation : -
İstenen Kaplama / :	Özel Şartlar / Special Condition : -
Demande Thickness :	Fırın Kurutma / Oven Drying : saat - °C
Bulunan Kaplama / :	Thickness found : h
TEST KABİNİ AGRESİFLİK AYLIK KONTROLÜ / TEST CHAMBER AGGRESSIVENESS MONTHLY CHECK	
Son Kontrol Tarihi : 08.03.2022	Bir Sonraki Kontrol Tarihi : Test başlangıcı
Date of last check	Date of next check
AGRESİFLİK NOTU (1'den 5'e) : 2-3	(2 ve 3 arası UYGUN'dur)
Aggressiveness Mark (1 to 5) :	(complies between 2 and 3)
TEST PARAMETRELERİ / TEST PARAMETERS	
Başlangıç Tarihi : 12.03.2022	Parçaların Sayısı : 1 ADET
Starting date	Number of parts
Gereklilik : Beyaz Pas	Saat Kırmızı Pas 120 Saat
Requirements : White Rust	Hour Red Rust Hour
TEST SONUÇLARI / TEST RESULTS	
Herbir gözlem sırasında, test edilen parçaların sayısı belirtilmeli. Herbir kolonun toplamı test edilen parçaların toplam sayısına karşılık gelmelidir. During each observation, indicate the number of parts involved. The sum of each column should correspond to the total number of parts for the test.	
A: Paslanma Yok B: Beyaz Pas Görünümü C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas D: Kırmızı Pas Görünümü A: no rust B: appearance of white rust C: white rust over more than 5% of the surface D: appearance of red rust	
D	C
B	A
Saatler / Hours	24 48 72 96 120
D	C
B	A
Saatler / Hours	528 552 576 600 624 648 672 696 720 744 768 792 816 840 864 888 912 936 960 984 1008
Beyaz Pas Görünümü Appearance of White Rust	Kırmızı Pas Görünümü Appearance of Red Rust
48 saat/hour	- saat/hour
Toplam Test Süresi Total test duration	
120 saat/hour	
KARAR / TEST CONCLUSION	
UYGUN / COMPLIES ☐	UYGUN DEĞİL / DOES NOT COMPLY ☐ (%)
Yorumlar / Comments : 6000-6000 Kodlu Numune Ürün 120 saat tuz sisi Korozyon testine tabii bulunmuştur. Üründe 48 saatte beyaz pas başlangıcı ve kararına şeklinde oksitlenme 72. ve 96. saatlerde beyaz pasın ve oksitlenmenin yoğunlaştığı görüldü, kırmızı pas görülmedi.	
Kontrolü Yapan : N.KARADUMAN Operator	Onaylayan : Approved By
Tarih : 25.03.2022 Date	
DAĞITIM : Üretim Proje kalite	Sayfa 1/3

F07 11-09

Şekil Ek.2. AA6063-AA6063 kaynak kesit korozyon test raporu.

TUZ SİSİ TEST RAPORU / SALT SPREY TEST REPORT

TANIMLAMA / IDENTIFICATION									
Test Numarası / Test No : RP/22					Tuz Sis Kabin No /				
Test Nedeni / Reason for the Test : 6000-5000 BAKALİTE KOROZYON TEST PROJE ÇALIŞMASI					Salt Sprey Chamber No : OA00114-OA00115				
Müşteri Adı / Customer Name :					Sipariş - Lot No /				
Referans - Şartname / :					Order - Batch No: 12.04.2022 TRH. NUMUNE				
Reference - Designation :					Lot Miktarı /				
Norm / Norme : EN ISO NSS 9227					Batch Quantity :				
Kaplama Tipi / : Kaplamasız Alüminyum Malzeme					Uygulayan / Applicator : -				
Type of coating :					Hat Adı / Line Designation : -				
İstenen Kaplama / :					Özel Şartlar / Special Condition : -				
Demanded Thickness :					Fırın Kurutma / Oven Drying : saat - ° C				
Bulunan Kaplama / :					Thickness found : h				
TEST KABİNİ AGRESİFLİK AYLIK KONTROLÜ / TEST CHAMBER AGGRESSIVENESS MONTHLY CHECK									
Son Kontrol Tarihi : 08.03.2022					Bir Sonraki Kontrol Tarihi : Test başlangıcı				
Date of last check					Date of next check				
AGRESİFLİK NOTU (1'den 5'e) : 2-3					(2 ve 3 arası UYGUN'dur)				
Aggressiveness Mark (1 to 5) :					(complies between 2 and 3)				
TEST PARAMETRELERİ / TEST PARAMETERS									
Başlangıç Tarihi : 12.03.2022					Parçaların Sayısı : 1 ADET				
Starting date					Number of parts				
Gereklilik : Beyaz Pas					Kırmızı Pas 120				
Requirements					White Rust Hour Red Rust Hour				
TEST SONUÇLARI / TEST RESULTS									
Herbir gözlem sırasında, test edilen parçaların sayısı belirtilmeli. Herbir kolonun toplamı test edilen parçaların toplam sayısına karşılık gelmeli.									
During each observation, indicate the number of parts involved. The sum of each column should correspond to the total number of parts for the test.									
A: Paslanma Yok B: Beyaz Pas Görünümü C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas D: Kırmızı Pas Görünümü									
A: no rust B: appearance of white rust C: white rust over more than 5% of the surface D: appearance of red rust									
D									
C				x	x				
B	x	x	x						
A									
Saatler / Hours	24	48	72	96	120				
D									
C									
B									
A									
Saatler / Hours	528	552	576	600	624	648	672	696	720
	744	768	792	816	840	864	888	912	936
	960	984	1008						
Beyaz Pas Görünümü					Kırmızı Pas Görünümü				
Appearance of White Rust					Appearance of Red Rust				
48 saat/hour					- saat/hour				
					120 saat/hour				
KARAR / TEST CONCLUSION									
UYGUN / COMPLIES ☐					UYGUN DEĞİL / DOES NOT COMPLY ☐ (%)				
Yorumlar / Comments : 6000-5000 Kodlu Numune Ürün 120 saat tuz sisi Korozyon testine tabii tutulmuştur. Üründe 24. saatte beyaz pas ve yüzeyde kararına şeklinde oksitlenme başlangıcı görüldü, 48. ve 72. saatlerde beyaz pasın ve kararına şeklindeki oksitlenmenin yoğunlaştığı gözlemlendi, kırmızı pas görülmedi.									
Kontrolü Yapan : N.KARADUMAN					Onaylayan :				
Operator					Approved By				
Tarih : 25.03.2022					Date				
DAĞITIM : Üretim Proje kalite					Sayfa 1/3				

F07 11-09

Şekil Ek.3. AA5754-AA6063 kaynak kesit korozyon test raporu.

TUZ SİSİ TEST RAPORU / SALT SPREY TEST REPORT

TANIMLAMA / IDENTIFICATION															
Test Numarası / Test No : RP/22										Tuz Sis Kabin No /					
Test Nedeni / Reason for the Test : 5000-5000 PROJE ÇALIŞMASI										Salt Sprey Chamber No : OA00114-OA00115					
Müşteri Adı / Customer Name :										Sipariş - Lot No /					
Referans - Şartname / :										Order - Batch No: 11.03.2022 TRH. NUMUNE					
Reference - Designation :										Lot Miktarı /					
Norm / Norme : EN ISO NSS 9227										Batch Quantity :					
Kaplama Tipi / : Zinc Plate										Uygulayan / Applicator : -					
Type of coating :										Hat Adı / Line Designation : -					
İstenen Kaplama / :										Özel Şartlar / Special Condition : -					
Demanded Thickness :										Fırın Kurutma / Oven Drying : saat - °C					
Bulunan Kaplama / :										Thickness found : h					
TEST KABİNİ AGRESİFLİK AYLIK KONTROLÜ / TEST CHAMBER AGGRESSIVENESS MONTHLY CHECK															
Son Kontrol Tarihi : 08.03.2022										Bir Sonraki Kontrol Tarihi : Test başlangıcı					
Date of last check										Date of next check					
AGRESİFLİK NOTU (1'den 5'e) : 2-3										(2 ve 3 arası UYGUN'dur)					
Aggressiveness Mark (1 to 5) :										(complies between 2 and 3)					
TEST PARAMETRELERİ / TEST PARAMETERS															
Başlangıç Tarihi : 11.03.2022										Parçaların Sayısı : 1 ADET					
Starting date										Number of parts					
Gereklilik : Beyaz Pas										Kırmızı Pas 120					
Requirements White Rust										Red Rust Hour					
TEST SONUÇLARI / TEST RESULTS															
Herbir gözlem sırasında, test edilen parçaların sayısı belirtilmeli. Herbir kolonun toplamı test edilen parçaların toplam sayısına karşılık gelmeli. During each observation, indicate the number of parts involved. The sum of each column should correspond to the total number of parts for the test.															
A: Paslanma Yok B: Beyaz Pas Görünümü C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas D: Kırmızı Pas Görünümü A: no rust B: appearance of white rust C: white rust over more than 5% of the surface D: appearance of red rust															
D															
C				x	x										
B				x											
A	x	x													
Saatler / Hours	24	48	72	96	120										
D															
C															
B															
A															
Saatler / Hours	528	552	576	600	624	648	672	696	720	744	768	792	816	840	
Beyaz Pas Görünümü						Kırmızı Pas Görünümü					Toplam Test Süresi				
Appearance of White Rust						Appearance of Red Rust					Total test duration				
48	saat/hour					- saat/hour					120 saat/hour				
KARAR / TEST CONCLUSION															
UYGUN / COMPLIES ☐ UYGUN DEĞİL / DOES NOT COMPLY ☐ (%)															
Yorumlar / Comments : 5000-5000 Kodlu Numune Ürün 120 saat tuz sis Korozyon testine tabii tutulmuştur. Üründe 48. saatte beyaz pas başlangıcı görüldü, 96. ve 120. saatlerde beyaz pasın yoğunlaştığı ve karama şeklinde oksitlenme görüldü, kırmızı pas görülmedi.															
Kontrolü Yapan : N.KARADUMAN Operator										Onaylayan : Approved By					
Tarih : 25.03.2022 Date															
DAĞITIM : Üretim Proje kalite															
Sayfa 1/3															

F07 11-09

Şekil Ek.4. AA5754-AA5754 nokta yüzey korozyon test raporu.

TUZ SİSİ TEST RAPORU / SALT SPREY TEST REPORT

TANIMLAMA / IDENTIFICATION																
Test Numarası / Test No : RP/22								Tuz Sis Kabin No /								
Test Nedeni / Reason for the Test : 6000 -6000 PROJE ÇALIŞMASI								Salt Sprey Chamber No : OA00114-OA00115								
Müşteri Adı / Customer Name :								Sipariş - Lot No /								
Referans - Şartname / :								Order - Batch No: 11.03.2022 TRH. NUMUNE								
Reference - Designation :								Lot Miktarı /								
Norm / Norme : EN ISO NSS 9227								Batch Quantity :								
Kaplama Tipi / : Zinc Plate								Uygulayan / Applicator : -								
Type of coating :								Hat Adı / Line Designation : -								
İstenen Kaplama / :								Özel Şartlar / Special Condition : -								
Demanded Thickness :								Firm Kurutma / Oven Drying : saat - ° C								
Bulunan Kaplama / :								Thickness found : h								
TEST KABİNİ AGRESİFLİK AYLIK KONTROLÜ / TEST CHAMBER AGGRESSIVENESS MONTHLY CHECK																
Son Kontrol Tarihi : 08.03.2022								Bir Sonraki Kontrol Tarihi : Test başlangıcı								
Date of last check								Date of next check								
AGRESİFLİK NOTU (1'den 5'e) : 2-3								(2 ve 3 arası UYGUN'dur)								
Aggressiveness Mark (1 to 5) :								(complies between 2 and 3)								
TEST PARAMETRELERİ / TEST PARAMETERS																
Başlangıç Tarihi : 11.03.2022								Parçaların Sayısı : 1 ADET								
Starting date								Number of parts								
Gereklilik : Beyaz Pas								Saat Kırmızı Pas 120 Saat								
Requirements White Rust Hour Red Rust Hour																
TEST SONUÇLARI / TEST RESULTS																
Herbir gözlem sırasında, test edilen parçaların sayısı belirtilmeli. Herbir kolonun toplamı test edilen parçaların toplam sayısına karşılık gelmeli.																
During each observation, indicate the number of parts involved. The sum of each column should correspond to the total number of parts for the test.																
A: Paslanma Yok B: Beyaz Pas Görüntümü C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas D: Kırmızı Pas Görüntümü																
A: no rust B: appearance of white rust C: white rust over more than 5% of the surface D: appearance of red rust																
D																
C			x	x	x											
B		x														
A	x															
Saatler / Hours	24	48	72	96	120											
D																
C																
B																
A																
Saatler / Hours	528	552	576	600	624	648	672	696	720	744	768	792	816	840	864	
Beyaz Pas Görüntümü						Kırmızı Pas Görüntümü					Toplam Test Süresi					
Appearance of White Rust						Appearance of Red Rust					Total test duration					
24	saat/hour					- saat/hour					120 saat/hour					
KARAR / TEST CONCLUSION																
UYGUN / COMPLIES ☐ UYGUN DEĞİL / DOES NOT COMPLY ☐ (%)																
Yorumlar / Comments : 6000-6000 Kodlu Numune Ürün 120 saat tuz sisi Korozyon testine tabii tutulmuştur. Üründe 24. saatte beyaz pas başlangıcı ve karama şeklinde oksitlenme 72. ve 96. saatlerde beyaz pasın ve oksitlenmenin yoğunlaştığı görüldü, kırmızı pas görülmedi.																
Kontrolü Yapan : N.KARADUMAN Operator								Onaylayan : Approved By				Tarih : 25.03.2022 Date				
DAĞITIM : Üretim Proje kalite																
Sayfa 1/3																

TUZ SİSİ TEST RAPORU / SALT SPREY TEST REPORT

TANIMLAMA / IDENTIFICATION									
Test Numarası / Test No : RP/22					Tuz Sis Kabin No /				
Test Nedeni / Reason for the Test : 5000-6000 PROJE ÇALIŞMASI					Salt Sprey Chamber No : OA00114-OA00115				
Müşteri Adı / Customer Name :					Sipariş - Lot No /				
Referans - Şartname / :					Order - Batch No: 11.03.2022 TRH. NUMUNE				
Reference - Designation :					Lot Miktarı /				
Norm / Norme : EN ISO NSS 9227					Batch Quantity :				
Kaplama Tipi / : Zinc Plate					Uygulayan / Applicator : -				
Type of coating :					Hat Adı / Line Designation : -				
İstenen Kaplama / :					Özel Şartlar / Special Condition : -				
Demanded Thickness :					Fırın Kurutma / Oven Drying : - saat - ° C				
Bulunan Kaplama / :					Thickness found : h				
TEST KABİNİ AGRESİFLİK AYLIK KONTROLÜ / TEST CHAMBER AGGRESSIVENESS MONTHLY CHECK									
Son Kontrol Tarihi : 08.03.2022					Bir Sonraki Kontrol Tarihi : Test başlangıcı				
Date of last check					Date of next check				
AGRESİFLİK NOTU (1'den 5'e) : 2-3					(2 ve 3 arası UYGUN'dur)				
Aggressiveness Mark (1 to 5) :					(complies between 2 and 3)				
TEST PARAMETRELERİ / TEST PARAMETERS									
Başlangıç Tarihi : 11.03.2022					Parçaların Sayısı : 1 ADET				
Starting date					Number of parts				
Gereklilik :		Beyaz Pas		Saat	Kırmızı Pas		120	Saat	
Requirements		White Rust		Hour	Red Rust		Hour	Hour	
TEST SONUÇLARI / TEST RESULTS									
Herbir gözlem sırasında, test edilen parçaların sayısı belirtilmeli. Herbir kolonun toplamı test edilen parçaların toplam sayısına karşılık gelmeli.									
During each observation, indicate the number of parts involved. The sum of each column should correspond to the total number of parts for the test.									
A: Paslanma Yok B: Beyaz Pas Görünümü C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas D: Kırmızı Pas Görünümü									
A: no rust B: appearance of white rust C: white rust over more than 5% of the surface D: appearance of red rust									
D									
C									
B			x	x					
A	x	x							
Saatler / Hours	24	48	72	96	120				
D									
C									
B									
A									
Saatler / Hours	528	552	576	600	624	648	672	696	720
	744	768	792	816	840	864	888	912	936
	960	984	1008						
Beyaz Pas Görünümü					Kırmızı Pas Görünümü				
Appearance of White Rust					Appearance of Red Rust				
48 saat/hour					- saat/hour				
					120 saat/hour				
KARAR / TEST CONCLUSION									
UYGUN / COMPLIES ☐					UYGUN DEĞİL / DOES NOT COMPLY ☐ (%)				
Yorumlar / Comments : 6000-5000 Kodlu Numune Ürün 120 saat tuz sis Korozyon testine tabii tutulmuştur. Üründe 48. saatte beyaz pas ve yüzeyde karamma şeklinde oksitlenme başlangıcı görüldü, 72. ve 96. saatlerde beyaz pas ve karamma şeklindeki oksitlenmenin yoğunlaştığı gözlemlendi, kırmızı pas görülmedi.									
Kontrolü Yapan : N.KARADUMAN					Onaylayan :				
Operator					Approved By				
Tarih : 25.03.2022					Date				
DAĞITIM : Üretim Proje kalite					Sayfa 1/3				

F07 11-09

Şekil Ek.6. AA5754-AA6063 nokta yüzey korozyon test raporu.

ÖZGEÇMİŞ

İsmail KAYA İlkokul ve ortaokul öğrenimi Bursa’da tamamladı. Tophane Teknik Lisesi Endüstriyel Kalıpcılık Bölümü’nden mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve mezun olarak İmalat Mühendisliği diplomasına sahip oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı ve halen Eğitimine devam etmektedir. Bu arada 3 yıldır makine imalat sektöründe, kaynaklı ve talaşlı imalat alanında İmalat Mühendisi olarak çalışmaktadır.