

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**5005-H24 ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE BH 20/34 ÇELİĞİNİN CMT
YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE
KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

HALDUN NÜMAN

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

5005-H24 ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE BH 20/34 ÇELİĞİNİN
CMT YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU

HALDUN NÜMAN

Prof. Dr. Emel TABAN
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Erdiñç KALUÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Doç. Dr. Uğur ÖZSARAÇ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 02.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

5005-H24 alüminyum alaşımı ile BH 20/34+Z çeliğinin robotik CMT kaynak bağlantılarının gerçekleştirilmesi ve kaynak parametrelerinin optimizasyonu ile bağlantıların metalurjik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi konulu bu çalışmayı bana öneren ve her türlü desteği sağlayan, tez danışmanım hocam Sayın Doç. Dr. Emel TABAN'a ve bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren Prof. Dr. Erdinç KALUÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Robotik CMT kaynaklarının gerçekleştirilmesinde ASAŞ Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. de tüm imkanları sağlayan Proje Koordinasyon Müdürü Sayın Zafer ZORLU'ya ve kaynakların yapılmasında yoğun emeği geçen Sayın Murat KONAR'a teşekkür ederim. Yorulma deneylerinin yapılmasında gerekli laboratuvar imkanını sağlayan Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Aydın ŞIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu uzun ve zorlu süreçte olduğu gibi her koşulda desteğini esirgemeyen ve yanımda olan eşime sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunar tezin sonuçlarının tüm bilim dünyasına ve ülke endüstrisine faydalı olmasını dilerim.

Haziran – 2018

Haldun NÜMAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Alüminyum ve Genel Özellikleri	3
1.1.1. Fiziksel özellikleri.....	4
1.1.2. Mekanik özellikleri	10
1.2. Alüminyum Alaşımları.....	12
1.2.1. Dövme alüminyum alaşımları.....	13
1.2.2. Döküm alüminyum alaşımları	18
1.3. Alüminyuma Uygulanan Geleneksel Kaplamalar	22
1.3.1. Anodik oksidasyon	22
1.3.2. Krom kaplama.....	23
1.3.3. Plazma sprej kaplama	24
1.3.4. Kataforez kaplama	25
1.3.5. Elektrostatik toz boya	26
2. ÇELİK.....	27
2.1. Çeliğin Gelişimi	28
2.2. Çeliğin Malzeme Özellikleri	29
2.2.1. Fiziksel özellikleri.....	29
2.2.2. Kimyasal özellikleri.....	29
2.2.3. Mekanik özellikleri	30
2.3. Otomotiv Endüstrisi ve Çelik.....	33
2.3.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelikler.....	36
3. ALÜMİNYUM-ÇELİK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ	39
3.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı.....	39
3.2. Sürtünme Nokta Karıştırma Kaynağı (FSSW).....	42
3.3. Elektrik Nokta Direnç Kaynağı	45
3.4. Deltaspot Kaynağı	47
3.5. Laser Roll Kaynağı.....	49
3.6. Laser-MIG Hibrit Kaynağı	50
3.7. Cold Metal Transfer (Soğuk Metal Transferi) Yöntemi	51
3.8. Konuyla İlgili Daha Önceden Yapılmış Çalışmalar	56
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	68
4.1. Çalışmanın Amacı ve Planlanması.....	68
4.2. Genel	69
4.3. Deney Malzemesi ve Mekanik Özellikleri	69

4.4. Deney Faktörleri ve Seviyeleri.....	70
4.4.1. Sabit parametreler	70
4.5. Deney Parçalarının Boyutları ve Deney Düzenegi.....	70
4.6. Kaynak Parametre Optimizasyonu	74
4.7. CMT Kaynaklarının Makro ve Mikro İncelenmesi.....	75
4.8. SEM ve EDS Sonuçları	78
4.9. Mikrosertlik Test Sonuçları.....	82
4.10.Çekme Testi Sonuçları ve Hasar Türleri	83
4.11. Yorulma Deneyleri	84
4.11.1. Yorulma numunelerinin hazırlanması	85
4.11.2. Yorulma deneyi sonuçları	86
4.12. Görsel İnceleme Sonuçları	87
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	91
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	97
ÖZGEÇMİŞ	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Birim hacim başına ağırlık miktarı	7
Şekil 1.2.	Alüminyumun elektrik iletkenliği	8
Şekil 1.3.	Alüminyumun ısı iletkenlik değerinin diğer metaller ile karşılaştırılması	9
Şekil 1.4.	Haddelenmiş 3103 alüminyum levhanın çukurcuk korozyon dayanımı	9
Şekil 1.5.	Alaşım elementinin alüminyumun korozyon dayanımı ve yorulma mukavemetine etkisi	10
Şekil 1.6.	Farklı saflıktaki alüminyum ve alaşımlarının sıcaklığa bağlı olarak % uzama ve mukavemetlerindeki değişim (1) %99,5 (2) %99,99 (3) %99,997	11
Şekil 1.7.	Alaşım elementlerinin mekanik özelliklere etkisi.....	12
Şekil 1.8.	Al-Mg alaşımlarında akma-uzama oranının Mg oranıyla değişimi	17
Şekil 1.9.	Al-Zn denge diyagramı	18
Şekil 1.10.	Anodizasyon işleminin şematik görünümü	23
Şekil 2.1.	Gerilme-Uzama (σ - ϵ) diyagramı	31
Şekil 2.2.	Çeliğin uzama-gerilme diyagramı.....	32
Şekil 2.3.	Kazalarda kullanılan malzemelere göre koruma oranı.....	34
Şekil 2.4.	Bir binek otomobilin farklı bölgelerinde kullanılan yaygın farklı çeliklerin mukavemet-uzama kombinasyonu şematik gösterimi	36
Şekil 2.5.	Taşıtlarda çeliklerin kullanım oranları	36
Şekil 2.6.	AHSS saclar, düşük mukavemetli saclar ve konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar (HSS) arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi.....	37
Şekil 3.1.	Sürtünme karıştırma kaynağını şematik gösterim.....	40
Şekil 3.2.	Sürtünme karıştırma kaynağının oluşum süreci.....	41
Şekil 3.3.	Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yönteminin prensibi.....	43
Şekil 3.4.	FSSW yöntemi ile birleştirilmiş alüminyum ile çelik levha kesit görüntüsü.....	44
Şekil 3.5.	Robotik FSSW uygulanan Mazda RX-8 arka kapısı ve dış panel görüntüsü.....	44
Şekil 3.6.	Nokta kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi.....	46
Şekil 3.7.	Elektrik direnç nokta kaynağı makinesinin şematik görünüşü	46
Şekil 3.8.	Deltaspot kaynak yönteminde kullanılan kaynak tabancası.....	48
Şekil 3.9.	Deltaspot kaynağı proses bandı.....	48
Şekil 3.10.	Laser Roll kaynak prosesinin şematik gösterimi	49
Şekil 3.11.	Hibrit Laser-MIG kaynak prosesi	51
Şekil 3.12.	CMT yönteminin aşamaları (a-d).....	53
Şekil 3.13.	CMT yönteminin milisaniye zaman diliminde akışı.....	53
Şekil 3.14.	CMT yönteminde akım ve gerilimin zamanla ilişkisi.....	54

Şekil 3.15.	Robotik ve manuel uygulamada CMT sistem konfigürasyonu.....	55
Şekil 3.16.	Dış şekilli intermetalik tabaka.....	58
Şekil 3.17.	Çelik - kaynak metali geçişine ait SEM görüntüsü.....	59
Şekil 3.18.	Çelik – Alüminyum kaynağına ait intermetalik tabaka SEM görüntüsü.....	60
Şekil 3.19.	Çelik – Alüminyum spot plug kaynağına ait erime bölgesi.....	60
Şekil 3.20.	Çelik – Alüminyum bindirme kaynağına ait intermetalik tabaka kalınlığı dağılımı.....	61
Şekil 3.21.	CMT kaynağının makro ve mikroyapıları a) üst görünüş ve b) kesit görünüş.....	62
Şekil 3.22.	Kaynak konfigürasyonu.....	62
Şekil 3.23.	Kaynak metalindeki çinko-zengin bölge.....	64
Şekil 3.24.	İntermetalik tabakanın SEM görüntüsü.....	65
Şekil 3.25.	CMT kaynak edilmiş alüminyum ile galvanizsiz karbon çeliği makro ve kesit görüntüsü a) üst görünüş ve b) kesit görüntüsü.....	66
Şekil 3.26.	Hata türleri ve kırılma yüzeyleri a) alüminyum IEB bölgesinden kırılma ve b) alüminyum çelik arayüzeyinden kırılma.....	66
Şekil 3.27.	Isıdan etkilenmiş bölge şematik görünüm.....	67
Şekil 4.1.	Deney düzeneği.....	71
Şekil 4.2.	Robotic CMT uygulaması.....	72
Şekil 4.3.	Kaynatılacak parçalar arası boşluk.....	73
Şekil 4.4.	Nabertherm marka termik fırın.....	73
Şekil 4.5.	Çekme testi a) test numuneleri b) Zwick/Roell marka çekme test ekipmanı.....	74
Şekil 4.6.	T9 CMT kaynağına ait makro görüntüler a) kesit görüntüsü b) üstten görüm.....	76
Şekil 4.7.	SEM ve optik mikroskop analizleri için hazırlanmış olan T14, T9, T5 ve T3 numuneleri.....	77
Şekil 4.8.	Optik mikroskop görüntüleri.....	78
Şekil 4.9.	Kaynağa ait IMC tabaka detayı a) T14, T9, T5 ve T3 kaynak numunelerine ait SEM & EDS görüntüleri b) T14 numaralı numuneye ait SEM görüntüsü c) Kaynak teli seçimine göre intermetalik tabaka kalınlığı değişimi.....	80
Şekil 4.10.	T14 numaralı numuneye ait intermetalik tabaka kalınlığı.....	81
Şekil 4.11.	Kaynak metali ve esas metal arası mikrosertlik dağılım grafiği.....	82
Şekil 4.12.	Mikrosertlik ölçümü alınan bölge şematik gösterimi.....	83
Şekil 4.13.	Çelik tarafına yakın ısıdan etkilenen bölgeden kırılma (Tip 1).....	83
Şekil 4.14.	Kaynak dikişinden kırılma (Tip 2).....	84
Şekil 4.15.	Yorulma deney numuneleri görüntüleri a) yorulma numuneleri üstten görünüş ve b) yorulma numuneleri yandan görünüş.....	84
Şekil 4.16.	Yorulma deney numune ölçüleri.....	85
Şekil 4.17.	Eğmeli yorulma test grafiği.....	87
Şekil 4.18.	CMT kaynaklı numunelere ait kaynak dikişi görüntüleri.....	88

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Saf alüminyumun fiziksel özellikleri	5
Tablo 1.2.	Dövülebilen alüminyum alaşım grupları.....	13
Tablo 1.3.	Alüminyum ve alüminyum alaşımlarına TS 1321'e göre uygulanan temel sertleştirme işlemleri.....	15
Tablo 1.4.	Döküm alüminyum alaşımları.....	19
Tablo 1.5.	Alüminyumun çeşitli uygulamalarda avantaj ve dezavantajları	22
Tablo 2.1.	Çeliğin fiziksel özellikleri	29
Tablo 2.2.	Çeliğin üretiminde kullanılan alaşım elemanları ve etkiler	30
Tablo 4.1.	Alüminyum ve çelik saca ait mekanik ve ölçüsel özellikler	70
Tablo 4.2.	Deney faktörleri ve seviyeleri	70
Tablo 4.3.	Elektrod kimyasal bileşimi.....	70
Tablo 4.4.	L16 Taguchi deney tasarımı.....	72
Tablo 4.5.	Çekme test sonuçları	74
Tablo 4.6.	Kaynak parametrelerinin sonuca etki bakımından sıralaması.....	75
Tablo 4.7.	Eğmeli yorulma test sonuçları.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Amper
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
He	: Helyum
I	: Akım
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
KWh	: Kilowatt/hour
Lt	: Litre
Mg	: Magnezyum
MPa	: Mega Pascal
Rm	: Maksimum çekme mukavemeti
Rp0,2	: Akma mukavemeti
V	: Voltaj
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

ALCAO	: Aluminum Company of America (Alüminyum Amerika Şirketi)
ANSI	: American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü)
AOİ	: Anodik Oksidasyon İşlemi
AW	: Aluminum Wrought (Dövme Alüminyum)
AWS	: American Welding Society (Amerikan Kaynak Cemiyeti)
BH	: Bake Hardening (Fırın Sertleştirme)
CMT	: Cold Metal Transfer (Soğuk Metal Transferi)
CMTP	: Cold Metal Transfer Pulse (Soğuk Metal Transferi Puls)
DNK	: Direnç Nokta Kaynağı
EDX	: Energy Dispersive Spectroscopy (Enerji Dağılım Spektrometresi)
EN	: European Norms (Avrupa Standartları)
FSSW	: Friction Spot Stir Welding (Sürtünme Nokta Karıştırma Kaynağı)
FSW	: Friction Stir Welding (Sürtünme Karıştırma Kaynağı)
GMAW	: Gas Metal Arc Welding (Gaz Metal Ark Kaynağı)
HAZ	: Heat Affected Zone (Isıdan Etkilenmiş Bölge)
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HV	: Hardness Vickers (Vickers Sertlik)
IACS	: International Annealed Copper Standard (Uluslararası Tavlı Bakır Standardı)
IMC	: Intermetallic Compound (Metallerarası Bileşik)
KTL	: Kataforez Kaplama

LNG	: Liquid Natural Gas (Sıvı Doğal Gaz)
FSW	: Friction Stir Welding (Sürtünme Karıştırma Kaynağı)
LOM	: Light Optical Microscope (Işık Mikroskobu)
MAG	: Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)
MIG	: Metal Inert Gas (Metal İnert Gaz)
S/N	: Signal/Noise (Sinyal/Gürültü)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)



5005-H24 ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE BH 20/34 ÇELİĞİNİN CMT YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Son yıllarda gelişen teknoloji ve artan rekabet nedeni ile araç gövdelerinde düşük fiyat, iyi korozyon direnci ve yüksek mekanik özelliklerini birleştiren galvanizli çelik sacların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Galvanizli BH 20/34 çelik saclar, özellikle otomotiv endüstrisinde, yüksek korozyon direnci sağlamaları ve fırınlama sonrası artan mekanik özellikleri nedeni ile kapı ve kaput dış sacı olarak geniş oranda kullanılmaktadırlar. Benzer şekilde 5xxx serisi alüminyum alaşımları da yüksek korozyon direnci sebebi ile özellikle dış panellerde yaygın kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada 0,65 mm kalınlığa sahip BH 20/34 çelik sac ile 2 mm kalınlığında 5005-H24 alaşımı alüminyum levha CMT (Cold Metal Transfer) yöntemi kullanılarak silisyum esaslı bir tel olan AlSi5 (ER 4043) teli ile birleştirilmiştir. 2 metalin birleşme arayüzeyleri arasına değişen miktarda boşluk verilerek kaynak işlemi yine değişen tel besleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kaynatılan numuneler, otomotiv üretimindeki boya fırınlarında olduğu gibi, 180 C sıcaklığa değişen sürelerde maruz bırakılmışlardır. Optimum kaynak parametrelerini belirlemek için L16 Taguchi deney tasarımı yönteminden faydalanılmıştır. Bağlantıların en yüksek çekme dayanımlarını tespit etmek için çekme testi uygulanmış ve buna göre ideal kaynak parametreleri; Tel besleme hızı: 5,5 metre/dakika, parçalar arası boşluk: 0,3 mm ve fırınlama süresi: 0 dakika olarak belirlenmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi amacıyla yorulma testleri uygulanmış, numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM), Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) ile analiz edilmiştir. Bağlantıların kaynak bölgelerinden alınan numuneler mikroskobik ve makroskobik olarak incelenmiş, mikro sertlik taraması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: BH 20/34 Çeliği, CMT, Farklı Metallerin Kaynağı, Taguchi Analizi, 5005-H24 Alüminyum Alaşımı.

INVESTIGATION OF 5005-H24 ALUMINUM ALLOY AND BH 20/34 STEEL WELDABILITY WITH CMT WELDING PROCESS AND WELDING PARAMETER OPTIMIZATION

ABSTRACT

Using the aluminum alloy into the steel body structure allows the reduction in the vehicle weight and improves the fuel efficiency. However, it is still great challenge to weld aluminum alloy to steel due to their differences in the physical, mechanical and metallurgical properties.

In this study, aluminum alloy was welded with zinc coated steel by cold metal transfer (CMT). 0,65 mm BH 20/34 +Z galvanized steel and 2.0 mm EN-5005-H24 aluminum alloy have been used. Total number of 16 welds has been obtained using various parameters such as wire feeding speed, pre-setting gap and post heat treatment duration by means of L16 array taguchi analysis. The aim of the study is to determine the optimum process parameters based on the peak load for mechanically sound weld. The tensile tests were carried out to evaluate peak loads of the welds. Optimum parameters for 0,65 mm BH 20/34 +Z galvanized steel and 2.0 mm EN-5005-H24 aluminum alloy using the CMT process have been determined for the wire feeding speed of 5,5 m/min, pre-setting gap of 0,3 mm and no post heat treatment. Experimental results indicated that the intermetallic layer thickness in the CMT weld takes critical role to achieve relatively high weld strength. Increasing of pre-setting gap also make positive effect to increase weld strength due to decreasing of welding porosity. Energy dispersive spectroscopy (EDS) and scanning electron microscope (SEM) were conducted at 3 different zone of the joints; galvanized steel side, IMC layer and aluminum alloy side.

Key words: BH 20/34 Steel, CMT, Dissimilar Metal Joining, Taguchi Analysis, 5005-H24 Aluminum Alloy.

GİRİŞ

Alüminyum dünyada en çok tüketilen demir dışı metaldir. Yüzyıllardır kullanımı artan bir şekilde insanoğluna hizmet etmektedir. Günümüzde yaşantımızın hemen hemen her konumunda kullanılan ve vazgeçilmez bir malzemedir.19.yy başlarında Sir Humphrey Davy tarafından alüminyum elementinin varlığının açıklandığını kabul etmektedir. 1825 yılında ilk olarak Hans Christian Oersted laboratuvar ortamında alüminyumu ayrıştırarak alümiyum varlığını ortatya koymuştur.1886 yılına kadar geçen süre içersinde laboratuvar ortamında bir çok çalışma yapılmıştır ve az miktarda üretimi gerçekleştirilmiştir. Ticari olarak üretimi ise 1886 yılında birbirinden habersiz olan ve iki farklı kıtada yaşayan Charles Martin Hall (ABD), Paul Heralt (France) tarafından gerçekleştirilmiştir (Güçlüer, 2007).

Alüminyum ve alüminyuma alaşımları, ticari hayatta öncelikle bakır prinç ve bronzun yerine geçmiştir. Ticari anlamda üretimin ilk yıllarında yaşanan problemlerden dolayı 1885 yılında yıllık 200 ton alüminyum üretilirken 2015 yılda bu rakam 105 milyon tona ulaşmıştır. Alüminyumun keşfinden günümüze kadar olan süreçte muadili malzemlere göre mukavemet, hafiflik, iletkenlik, uzun ömürlülük gibi özelliklerinden dolayı kullandığımız hava kara deniz taşıtlarından mutfak eşyasına kadar yaygın olarak kullanılmaktadır (Darıdereli, 2010).

Alüminyumun otomobil gövdesinde kullanılması, kaynak teknolojisi gelişimi paralelinde ilerlemektedir. Otomobil gövdesinde kullanılan geleneksek çeliklerin yerini alan alüminyum gelişen çevre dostu araçların maksimum verimle kullanılması sağlanmaktadır. Bu da iki metalin uygun yöntem ve/veya yöntemler ile birleştirilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Çelik ve alüminyum mekanik bağlantı yöntemleri ve adesif bağlantı yöntemleri ile başarılı bir şekilde birleştirilmesine rağmen düşük mekanik özellikler ve kısıtlanmış bindirme geometrisi gibi özelliklerden dolayı verimsiz kalmaktadır. Alüminyum ile çeliğin birleştirilmesinde katı hal kaynağından ergitme esaslı kanak yöntemlerine kadar bir çoko çalışma yapılmıştır. Bunlar direnç nokta kaynağı (RSW), delta spot, sürtünme karıştırma kaynağı (FSW), sürtünme karıştırma nokta, difüzyon kaynağı manyetik puls, patlamalı kaynak gaz metal ark

kaynağı, soğuk metal transgeri (CMT) ve lazer kaynağı gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Yıllardır devam eden çalışmaların sonucu olarak MIG/MAG kaynak yöntemi üzerine geliştirilen soğuk metal transferi prosesi sayesinde farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bu iki metalin uygun bir biçimde birleştirilmesi mümkün kılınmıştır. Yöntemin sağladığı üstünlük, 70-150 hz arasında ayarlanabilir tel besleme hızı özel tel besleme hareketi ile düşük ısı girdisi oluşturmaktadır.

Günümüzde otomobil sektörü alüminyumu otomobil gövdelerinde kullanarak elik gövdeye göre %24 daha hafif araçlar üretmektedir, bu da her 100 kilometrede 2 litre yakıt tasarrufu (araç türüne göre değişiklik gösterir) ve kilometrede ortalama 9 gram daha az CO₂ salınımı demektir. Günümüze kadar gelen bu süreçte otomobil üreticileri araçlarda alüminyumu ilk olarak 100 yıldan daha uzun süre önce kullanmaya başlamışlardı. Hafif oluşu ve korozyon dayanımı, gelişen otomotiv endüstrisi için mükemmel bir potansiyel oluşturuyordu. (nel, 2016).

Bu çalışmada 0,65 mm kalınlığa sahip BH 20/34 elik sac ile 2 mm kalınlığında 5005-H24 alüminyum alaşımı levha CMT (Cold Metal Transfer) yöntemi kullanılarak silisyum esaslı bir tel olan AlSi5 (ER 4043) teli ile birleştirilmiştir. BH 20/34 eliği ile 5005-H24 alüminyum alaşımı bindirme kaynak yöntemine uygun olarak konumlandırılmış ve 2 metalin birleşme yüzeyleri arasına değişen miktarda boşluk verilerek kaynak işlemi yine değişen tel besleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kaynatılan numuneler, otomotiv üretimindeki boya fırınlarında olduğu gibi, 180 C sıcaklığa değişen sürelerde maruz bırakılmışlardır.

CMT yöntemi ile kaynatılmış malzemelerin mukavemet özellikleri, çekme testi ile analiz edilmiştir. Bu alışmada Minitab Programı kullanılarak Taguchi Deney Tasarımı oluşturulmuştur. Mekanik zelliklerin etkisine bağlı olarak optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

Günümüzde en fazla tüketilen metal dışı malzemenin alüminyum ve alaşımları olduğu görülmektedir. Alüminyumun diğer metallerle birleşmiş bir şekilde yer kabuğunun %8'ini oluşturduğu bilinmektedir. Hafif bir metal olmasıyla tanınmakta ve bu nedenle hafif metaller sınıfına girmektedir. Saf alüminyumun gayet yumuşaktır ve demirden neredeyse üç kat daha hafif olduğunu belirtmek gerekir. Diğer metallerin çok az katılması ile alaşımlandırıldığı zaman; yoğunluğunun az artışına karşılık olarak, mekanik dayanımında artmalar görülmektedir (Serfiçeli, 2000).

1.1. Alüminyum ve Genel Özellikleri

Alüminyum ve alaşımları yaşamın önemli bir parçasıdır. Bunun en büyük nedeni bir metalde aranılan özelliklerin çoğunun tek çatıda toplama durumudur. Bu özellikler mukavemet, hafiflik, sonsuz geri dönüşüm, elektrik ile korozyon direncinin yüksek olması, dayanıklılık, süneklik, şekillendirilen ve yalıtkan olması olarak sıralanmaktadır. Bu özelliklerin bir bünyede toplanması sonucunda, uçak, hızlı tren, yüksek performanslı otomobil ile yüksek hızlı deniz taşıt, evlerin ısınması, elektriğin taşınması ve yemeklerin saklanması gibi birçok alanda insanlara hizmet sunulmaktadır (Güngör, 2013).

Alüminyum, silisyum ve oksijenin ardından tabiatta en fazla bulunan elementtir. Yerkabuğunun %8'ini oluşturmaktadır ve doğada genellikle bileşik halde bulunmaktadır. Saf alüminyumun yoğunluğu çelikle kıyaslandığı zaman üçte biri kadar olduğu görülmüştür. Saf alüminyum çekme dayanımı ise yaklaşık olarak 40-90 MPa'dır. Alüminyumla alüminyum alaşımlarının tekrar ergitilebilmesi ve ergitilerek şekillendirilmesinin ardından yeni ürüne dönüştürülelebilmektedir (Haydar, 2012).

Bakır, kurşun ve çinko gibi daha ağır metaller ile karşılaştırıldığında, hafif bir metal olduğu görülmektedir. Ayrıca endüstri alanına girişi de nispeten bir yenilik

sayılmaktadır. H. Davy'ın 1807 yılında keşfettiği, laboratuvarında elde edilmiş olan alüminyumun ilk defa yirmi iki yıldan sonra Wöhler tarafından diğer elementlerden ayrılarak elde edildiği görülmektedir. Deville, 1856'da Fransa'da, redükleyici etken şeklinde metalik sodyumu kullanarak libresi yaklaşık olarak 20 poundtan 60 libre kadar alüminyum metali üretmiştir. Endüstriyel anlamda üretimi ise 1886'da P.L.T. Herault ile CM. Hail tarafından geliştirildiği görülen erimiş kriyolit-alumina banyosunun elektroliziyle gerçekleştirildiği görülmüştür. Böylelikle alüminyum fiyatının ekonomik bir seviyeye indirildiği ve alüminyumun endüstriyel olarak üretimi başlamış olmuştur. 1887'de K. J. Bayer'in geliştirildiği proses ile saf olan Al_2O_3 üretimi gerçekleştirilmiştir. Prosese göre boksit cevherlerinin yüksek sıcaklık ve basınç altındaki sodyum hidroksit çözeltisiyle çözündürülebilmektedir. Ele geçen çözeltinin değerlendirilmesiyle Al_2O_3 üretiminin yapıldığını da burada belirtmek gerekir (Oğuz, 1990).

Alüminyumun özellikleri, onu son derece yararlı bir mühendislik malzemesine getirmiştir. Sahip olduğu düşük yoğunluğu ($2,7 \text{ gr/cm}^3$) nedeniyle özellikle konstrüksiyon uygulamalarında tercih edilmektedir. Saf halde bulunan alüminyumun düşük dayanımın olmasına karşın, alaşımlandırılarak dayanımının 690 MPa'a kadar çıkartılabilmektedir (Daşcılar, 2006). Aşağıda alüminyumun özellikleri daha ayrıntılı olarak verilmiştir.

1.1.1. Fiziksel özellikleri

Bugünün koşullarında ekonomik üretimin %50-60 nispetinde " Al_2O_3 " ihtiva ettiği görülen yüksek tenörlü maden yataklarından yapılır. Bazı ülkelerde yüksek tenörlü boksit cevherlerinin ithalatının yerine düşük tenörlü alüminyum cevherlerinden asidik prosesler ile alümina üretimi tercih edilmektedir. Stratejik ve ekonomik anlamda araştırma konusu oluşturan asidik proseslerin üzerinde yapılan çalışmaların; daha düşük tenörlü yataklardan alümina elde edilebiliyor olması önem kazanmıştır (Oğuz, 1990). Tablo 1.1'de saf alüminyumun fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri (Dennis, 1971)

Sembol	Al
Atom ağırlığı	26,97
Atom numarası	13
Yoğunluk (20°C'de)	2,7 gr/cm ³
Akma sınırı	1 -3 kg/mm ²
Sertlik (HB 2,5)	12 -20 kg/mm ²
Elastiklik modülü	7,2.10 ⁵ kg/cm ²
Kayma modülü	2,7.10 ⁵ kg/cm ²
Çentikli darbe direnci	10 kgm/in
Bükülme modülü	3,5.10 ⁶ lb/in ²
Poisson oranı	0,34
Isıl genişleme katsayısı	2,3.5.10 ⁻⁶ (20-100°C)
Özgül ısı	0,211 cal/g (0-100°C)
Ergime sıcaklığı	660°C
Kaynama sıcaklığı	1800°C
Elektrik direnci	2,65-2,95
Elektrik iletkenliği	64,94 %1 ACS (Saf Al, 2°C'de)
Katılma halinde çekme	%6,7
Yansıtma	75-85
Manyetik hassasiyet	0,58.10 ⁻⁶ c.g.s.birimi
Elektrot potansiyeli (25°C'de)	-1,67 V
Kristal kafes yapısı	YMK

Alüminyumun saflık derecesine bağlı olarak aşağıdaki özellikleri taşıdığı görülmektedir (Darıdereli, 2010):

- 1.Düşük yoğunluk
- 2.İklima dayanıklılık
- 3.İyi ısı ve elektrik iletkenliği
- 4.Soğuk şekil değiştirme kabiliyeti
- 5.Yüksek parlaklıkta cilalanabilme

Yukarıdaki özellikleri alüminyumun sahip olduğu iyi özellikler kategorisinde değerlendirmek mümkündür: Bunların yanında kötü sayılabilen özellikleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

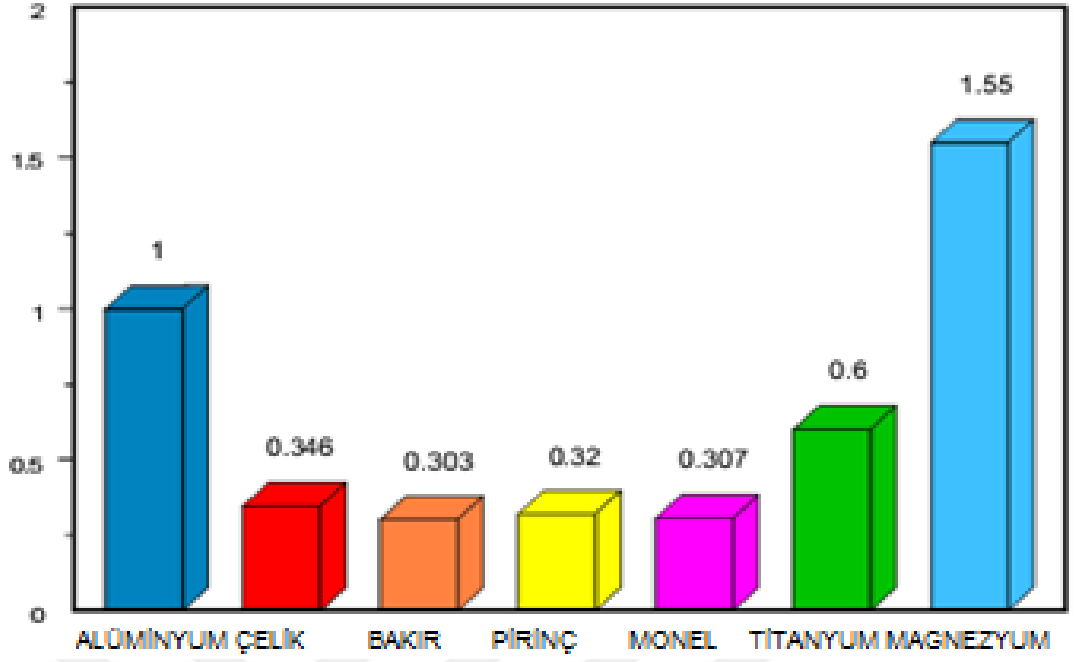
1.Düşük mukavemet ve akma sınırı

2.Bazik karakterli maddelere karşı dayanıksızlık

3.Kaynak ve lehimleme kabiliyeti ancak dekapanlarla veya özel usullerle mümkündür.

4.Saf alüminyumun çok yumuşak olması ve düşük özgül kütlesi nedeniyle sanayide alayım halinde kullanılır. Alayımın üretiminde en fazla kullanılan metaller, Si, Mn, Mg ve Zn'dur.

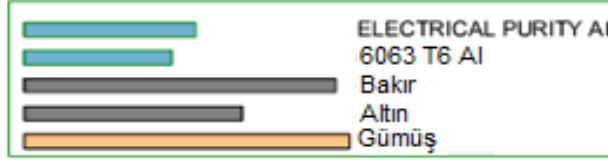
Hafif oluşu, alüminyumun bilinen karakteristiklerindedir. Magnezyum ve titanyum dışında sık kullanılan diğer metallere göre 1/3 oranında daha hafif olduğu görölmektedir (Bkz. Şekil 1.1). Diğer metallerin çoğunda olduğu gibi sıcaklığın artmasıyla beraber yoğunluğu azalmaktadır ancak; lityumun dışında farklı metallerle alayımlandığı zaman yoğunluğunda önemli bir değışim gözlenmemektedir ($\pm 0,02$). Lityumla alayımlandığı zaman yoğunluğun %15' e kadar düştüğü görölmektedir. Burada ağırlık hareket kapsayan bütün uygulamalar için oldukça önemli olduğunu da belirtmek gerekir.



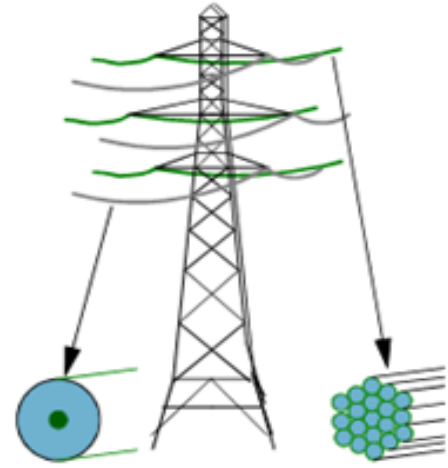
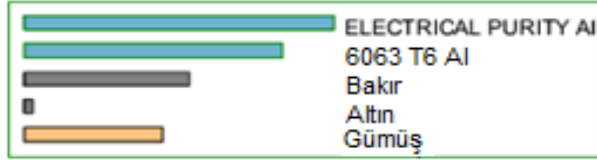
Şekil 1.1. Birim hacim başına ağırlık miktarı (Darıdereli, 2010)

% 99,99 saflığı olan alüminyumun elektrik iletkenliğinin 20°C’de “IACS” (International Annealed Copper Standard’ nin %63,8 olduğu görülmektedir. Özgül ağırlığı düşük olduğu için saf alüminyumun elektrik iletkenliği tavlanmış olan bakırın elektrik iletkenliğinin iki katından, diğer bütün metallere daha fazla olduğu saptanmıştır (Bkz. Şekil 1.2).

METALLERİN İLETKENLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI



İLETKENLİK / BİRİM AĞIRLIK



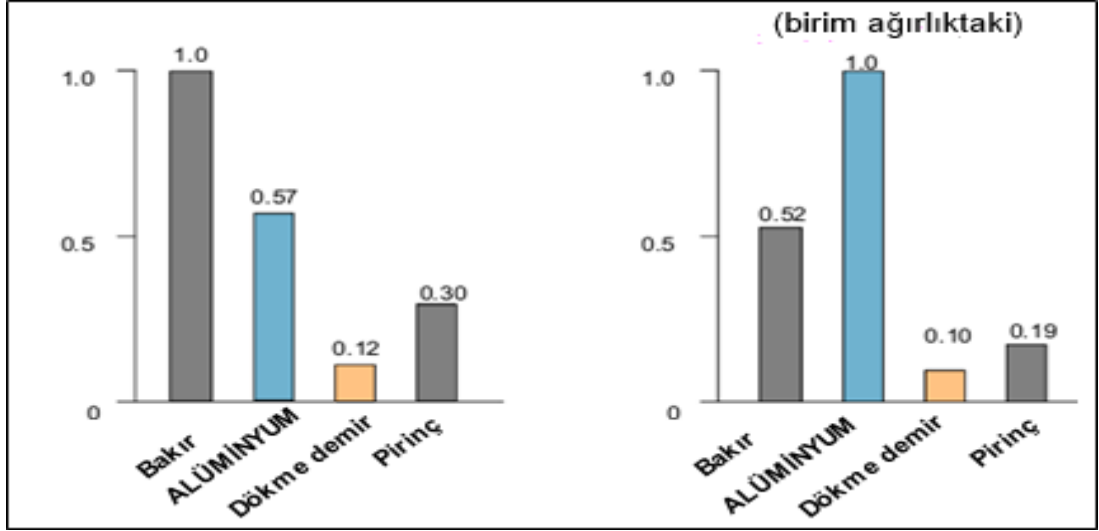
Galvanize çelik tel
ile sarılmış 1350
Aluminum

6061 Alaşımı

Şekil 1.2. Alüminyumun elektrik iletkenliği (Darıdereli, 2010)

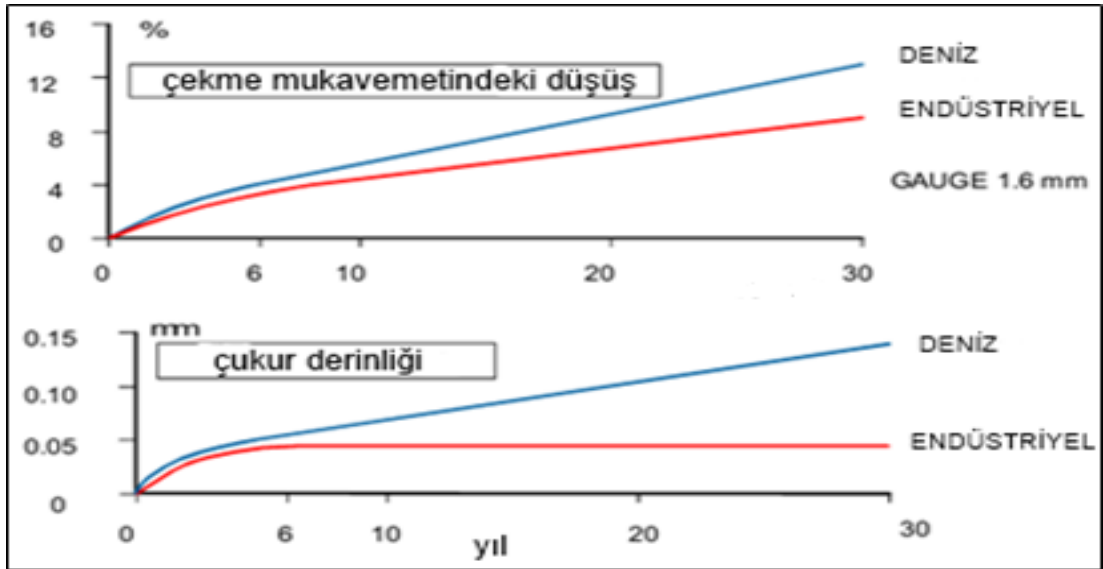
Alüminyumun elektrik iletkenliği yüksektir. Bu nedenle direnç nokta kaynağı uygulamalarında dezavantaj bir durum oluşturması da muhtemeldir.

% 99,99 saflığı olan saf alüminyumun ısıl iletkenliği 0-100 °C sıcaklıklarının arasında “244 W/mK”; IACS'nin % 61,9'unu oluşturduğu görülmektedir. Bu durum ısıl iletkenlik değerlerinin bakırın ısıl iletkenliğinden iki kattan daha fazla olduğunu gösterir (Bkz. Şekil 1.3). Alaşım elementlerinin yapıya girmesiyle ısıl iletkenlik keskin olarak azalmaktadır. Isıl iletkenlik değerinin, iyi şekillendirilebilme ve hafiflik durumu gibi özelliklerin bir arada toplanmasıyla özellikle ısı değiştiricileri, araba radyatör ve mutfak araçlarının yapımında sıklıkla kullanılır. Alüminyumun ısıl iletkenlik değeri çelikten altı kat daha fazladır. Bu durumda alüminyumun kaynağı için ısı kaynağının çeliğe göre daha yoğun ve şiddetli olması gerekmektedir (Mathers, 2002)



Şekil 1.3. Alüminyumun ısı iletkenlik değeri diğer metaller ile karşılaştırılması (Daridereli, 2010)

Alüminyumun üzerindeki ince ve sağlam film oksit tabakası sayesinde diğer bütün metallere göre korozyona daha dayanıklı oldukları görülmektedir. Bu oksit tabakası oksijen atmosferinde her zaman alüminyumun üzerinde varlığını sürdürmektedir. İki farklı ortamda alüminyumun korozyon dayanımını Şekil 1.4'de görmek mümkündür (Cobden ve Banbury, 1994).



Şekil 1.4. Haddelenmiş 3103 alüminyum levhanın çukurcuk korozyon dayanımı (Ünel, 2016)



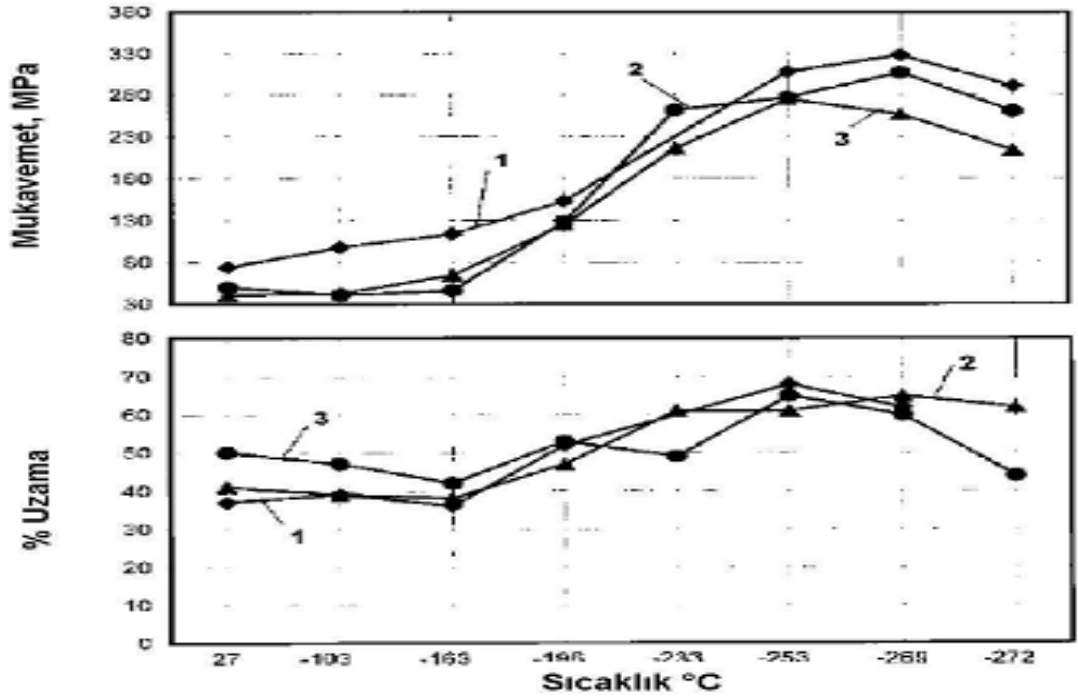
Şekil 1.5. Alaşım elementinin alüminyumun korozyon dayanımı ve yorulma mukavemetine etkisi (Ünel, 2016)

1.1.2. Mekanik özellikleri

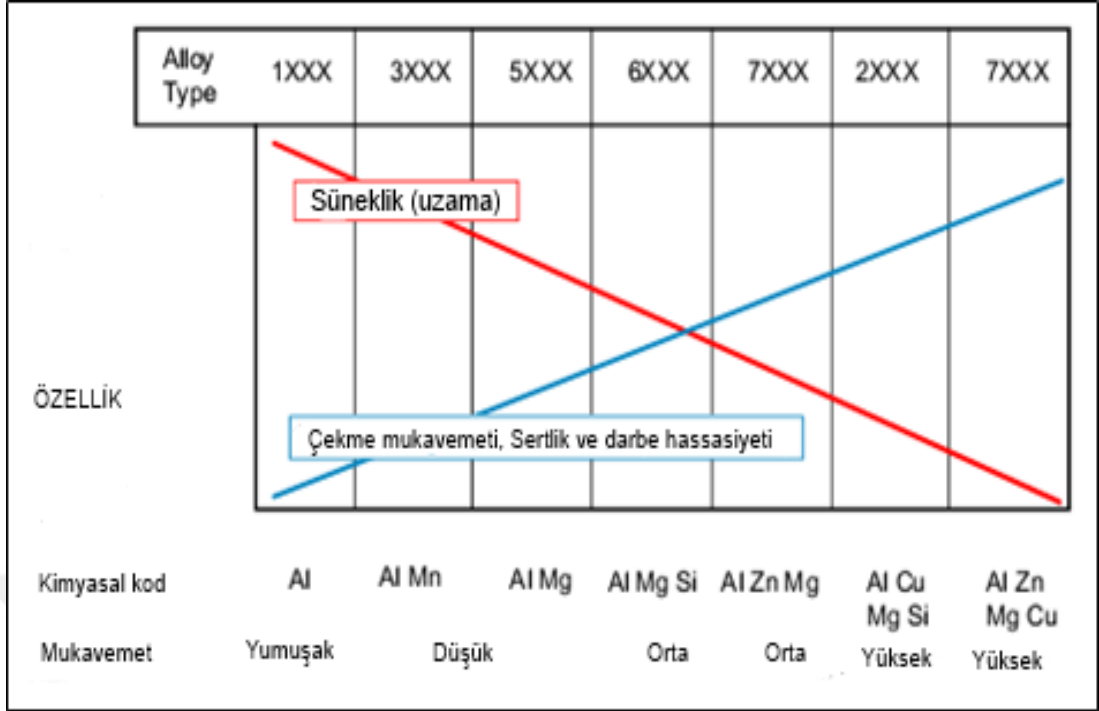
Alüminyum ve alaşımlarının birçoğunun kırılma tokluk ve enerji yüklenme kapasitesinin son derece yüksek olduğu görülmektedir. Bu sebeple düzensiz çatlak büyüme ve gevrek kırılma dayanımının arandığı uygulamalarda önemli bir tercih nedenidir. 5xxx alüminyum 15 alaşımlarının LNG tanklarında kullanımı bunun en önemli örneklerindedir. Alüminyum ve alaşımlarının, özellikle “3xxx, 5xxx ve 6xxx” serileri, çok iyi düşük sıcaklık tokluğu göstermektedir. Sıfır altı sıcaklık hatta mutlak sıfıra kadar süneklik, tokluk ve mukavemetleri oda sıcaklığına göre daha yüksektir. Alüminyum saflık derecesine göre sınıflandırılmaktadır. Mekanik özellikleri içeriğinde bulunan “Si, Fe, Ti, Cu ve Zn” gibi elementlerin etkisiyle yükselmesine karşılık kimyasal maddelere karşı direnci azalmaktadır; mekanik özellikler alüminyuma uygulanan şekil verme işlemine bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir (Taban, 2004).

Elektrik ve gıda endüstrisindeki alüminyumun % 99,99 saflık derecesi vardır ve alüminyum boru ve sacların % 99,5 ile 99,8, bazı durumlardaysa %99,98 derecesinde saf oldukları görülmektedir. Bu tarz alüminyumda geri kalan kısmın genel olarak katışık bir şekilde bulunan demir ve silisyumdan oluştuğu görülmektedir. Alüminyumun bileşimlerinde katışık olarak bulunan demir, özelliklerini belirgin olarak etkilememektedir. Bunun karşısında alüminyum 250-350 °C’de tavlınırsa,

katı çözeltili durumlarında olan silisyum ayrışmakta ve bu sıcaklığın üstünde tekrar katı çözeltili durumuna geçmektedir. Silisyumun ayrışmasıyla alüminyumun mukavemeti oldukça azalmaktadır. Bu açıdan bu sıcaklık derecelerinin üzerinde bir sıcaklığa kadar tavlanan, silisyum içeren alüminyum alaşımlarının, soğuma esnasında bu aralığı hızlı geçtiği görülmektedir. Örneğin kaynak işleminin ardından parça su verilerek hızla soğutulması gerekir (Güngör, 2014).



Şekil 1.6. Farklı saflıktaki alüminyum ve alaşımlarının sıcaklığa bağlı olarak % uzama ve mukavemetlerindeki değişim (1) %99,5 (2) %99,99 (3) %99,997 (Totten ve Mckenzie, 2003)



Şekil 1.7. Alaşım elementlerinin mekanik özelliklere etkisi (Cobden ve Banbury, 1994)

Alaşım elementi türlere bağlı mukavemet ile süneklikte büyük değişimler gerçekleşmektedir. Alüminyum ile alaşımlarının birçok endüstrideki ihtiyaçların karşılanabilmesinin temelinde de bu özellikten kaynaklanır. Şekil 1.'de görüldüğü gibi alaşımların farklı alaşım elementleriyle mekanik özelliğinde oluşan değişim net olarak görülmektedir. Alaşımsız alüminyumun çekme mukavemetinin 70 MPa iken 7xxx serisi alaşımda yaklaşık olarak 700 MPa değerlere kadar çıkabilmektedir.

1.2. Alüminyum Alaşımları

Alüminyumun saf durumunda kullanımında oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Alüminyum daha ziyade alüminyum alaşımları olarak kullanılır. Saf alüminyuma alaşım elementlerinin ilave edilmesinin temel nedenlerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Darıdereli, 2010):

1. Akışkanlığı arttırmak, sıcak yırtılma eğilimini azaltmak
2. Alaşımların korozyon direncini, mekanik özelliklerini ve kaynak kabiliyeti gibi özelliklerini geliştirmektir.

Alüminyum alaşımlarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

1.2.1. Dövme alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımlarının; plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirildiği görülen dövme alüminyum alaşımları; katılaşma ve ergitme işlemleriyle şekillendirilmiş döküm alüminyum alaşımları olmak üzere iki grupta sınıflandırılır (Smith 2001). ALCAO (Aluminum Company of America), içermiş olduğu alaşım elementlerine göre dövme alüminyum alaşımları Tablo 1.2’de belirtilmiştir:

Tablo 1.2. Dövülebilir alüminyum alaşım grupları (Kurt ve diğ., 2004)

Ana alaşım elementi	Alaşım sayısı
Minimum % 99 Al	1XXX
Bakır	2XXX
Mangan	3XXX
Silisyum	4XXX
Magnezyum	5XXX
Magnezyum +Silisyum	6XXX
Çinko	7XXX
Diğer elementler(Lityum dahil)	8XXX
Kullanılmayan seri	9XXX

Tablo 1.2’de gruplandırılan dövülebilir alüminyum alaşımlarının tanımlanması için dört rakamlı bir işaret kullanılmaktadır. İlk rakam belli alaşım elementlerini kapsayan alaşım grubunu belirtmektedir. Son iki rakamın alüminyum alaşımını tanımlar ve/veya alüminyumun saflığını belirtmektedir. İkinci rakam başlangıçta olan alaşımın üzerinde yapılan değişiklikleri ve/veya katışık sınırlarını belirtmektedir (Smith, 2001).

Bu tür içerisinde yer alan alaşımları “Cu, Mg, Mn, Si ve Ni” gibi elementler içerdiğini belirtmek gerekir. Çoğunlukla sürekli döküm yöntemiyle blok halinde elde edilmesinin ardından, homojenleştirme tavı uygulanmaktadır, haddeme veya ekstrüzyonla biçimlendirilmektedirler. Döküm yapısında tane sınırlarında oluşan sürekli gevrek fazların, şekillendirme esnasında parçalandığı ve ana kütleyle dağıldığı

görülmektedir. Böylelikle alaşım soğuk şekillendirmeye uygun duruma geçmektedir (Taban, 2004).

1xxx serisinin % 99,00 ve daha yüksek saflık derecesinde olan alüminyum ve alüminyum alaşımlarını kapsadığı görülmektedir. Son iki rakamın minimum saflık değeri ifade etmektedir. Örneğin 1070 minimum %99,70 saflıkta alüminyum alaşımı olduğunu belirtmektedir. İkinci rakamsa empürite limiti ve/veya alaşım elementini belirtir. 1-9 arasındaki rakamlarla gösterilmektedir. Örneğin 1145, minimum % 99,45 saflıkta olduğu ve 1 de demir ve silisyum elementlerini empürite olarak yapıda olduğunu belirtir. 2xxx ile 8xxx gruplarındaysa son iki rakam özel bir durumu belirtmemekle beraber seri içindeki farklı alaşımları göstermekte kullanılmaktadır. İkinci rakam alaşım modifikasyonunu belirtmekte ve sıfır da orijinal alaşım olduğu belirtilmektedir (Cobden ve Banbury, 1994).

1xxx, 3xxx ve 5xxx serisi dövme alüminyum alaşımları ısıl işlem uygulanamayan türleri ifade etmektedir. Bunlar sadece şekil değişimi ile sertleştirilebilmektedir. 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi dövme alüminyum alaşımlarıysa ısıl işleme tabi tutulabilmektedir. 4xxx serisi hem ısıl işleme tutulabilmekte hem de ısıl işleme tutulamaz alaşımlar içermektedir. Ark kaynağı uygulamalarının bu iki tür alaşım serisi üzerindeki etkileri göz önünde tutulduğu zaman bu farkın önemli olduğunu belirtmek gerekir (Taban, 2004).

Tablo 1.3. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarına TS 1321'e göre uygulanan temel sertleştirme işlemleri

M	Üretildiği biçimde		
F	İşlendiği biçimde		
O	Yumuşak tavllanmış		
H	Soğuk biçimlendirme ile sertleşmiş (H harfinden sonra temel işlem tipini belirten bir rakam ve soğuk biçimlendirmenin son durumunu gösteren ikinci bir harf kullanılır.)		
Temel işlem tipleri			
H1 H2 H3	Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş. Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş ve kısmi tavllanmış. Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş.		
Soğuk biçimlendirme sertleşmesinin son durumu X harfi 1,2 ve 3 ten uygun olanını ifade eder; ancak bazı uygulamalarda bu rakamlar kullanılmadan belirtme yapıldığı da görülür.			
HxH HxD HxB HxF HxJ	Tam sertleştirme işlemi. Çekme dayanımı yaklaşık O hali ile HxH değeri arasında. Çekme dayanımı yaklaşık O hali ile HxD değeri arasında. Çekme dayanımı yaklaşık HxD hali ile HxH değeri arasında. Çekme dayanımı HxH değerinden çok		
T	M, F, O ve H'' dan başka ısı işlem görmüş. (T harfinden sonra, işlemlerin belirli sırasını gösteren ikinci bir harf kullanılır.		
TA	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış.		
TB	Katı çözeltili ısı işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış.		
TC	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş soğuk biçimlendirilmiş. Doğal yaşlandırılmış.		
TD	Katı çözeltili ısı işlemi uygulanmış, soğuk biçimlendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış.		
TE	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş ve katı çözeltili ısı işlemi uygulanmış.		
TF	Katı çözeltili ısı işlemi uygulanmış ve katı çözeltili işlemi uygulanmış.		
TG	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra soğutulmuş, soğuk biçimlendirilmiş ve katı çözeltili işlemi görmüş.		
TH	Katı çözeltili işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve katı çözeltili işlemi uygulanmış.		
TL	Katı çözeltili ve katı çözeltili işlemi uygulanmış. Soğuk işlenmiş.		
TM	Çözeltili işlemi uygulanmış ve stabilize edilmiş (dengeleştirilmiş)		
TS 1321'' deki gösterim	Alternatif gösterim	TS 1321'' deki gösterim	Alternatif gösterim
M	H112	TB	T4
F	F	TC	T2
O	O	TD	T3
H1B, H2B, H3B	H12, H22, H32	TE	T5
H1D, H2D, H3D	H14, H24, H43	TF	T6
H1F, H2F, H3F	H16, H26, H36	TG	T10
H1H, H2H, H3H	H18, H28, H38	TH	T8
H1J, H2J, H3J	H19, H29, H39	TL	T9
TA	T1	TM	T7

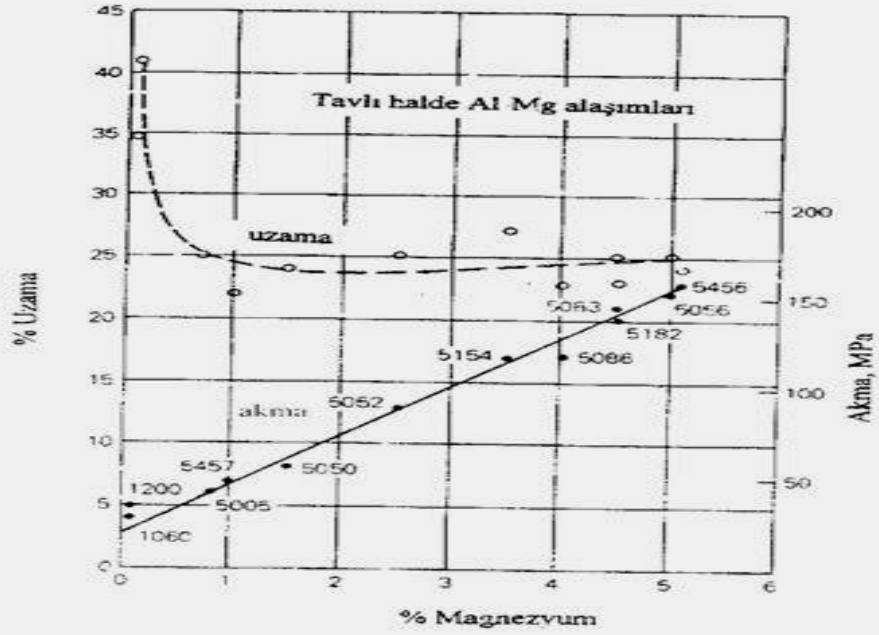
1XXX Serisi: Bu grubun % 99 alüminyum içerdiği malzeme standart numarasının son iki rakamın % 99'un ardından gelen alaşım miktarının minimum yüzdesini gösterdiği görülmektedir. Örneğin 1060'da alüminyum oranının en az % 99,60 olması gerekmektedir.

2XXX Serisi: Genel olarak yaşlanmayla sertleştirilmektedir. Böylece mukavemet artarken süneklik de azalmaktadır. Yaşlandığı görülen alaşımlarda elektrik iletkenliği azalmaktadır. Bu alaşımlarda korozyon direncinin saf alüminyumdan oldukça düşük olması söz konusudur. Yüksek mukavemet ile hafif konstrüksiyon aranan yerlerde kullanılmaktadır.

3XXX Serisi: Bu grubun temel alaşım elementi mangan olarak bilinmektedir. Manganın çözünürlüğünün 658 oC de max. % 1,82 kadar olması söz konusudur. Sıcaklık düştükçe mangan çözünürlüğü de azalmaktadır. Azalan çözünürlükle alaşımların çeşitlendirilmesi de azalmaktadır. Mukavemetleri 1XXX serisi alaşımlarından % 20 daha fazladır. En fazla kullanılan 3003 alaşımıdır. Yağ tankı, boru ve gıda kutusu gibi amaçlarda kullanılmaktadır (Şaldır, 2003).

4XXX Serisi: Bu grup % 2,5 kadar silisyum alaşımlandırılması yapılmaktadır. Silisyum oranının artmasıyla ergime sıcaklık aralığı da azalmakta ve dökülebilme kabiliyeti artmaktadır. Bu yüksek silisyumlu alaşımların düşük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci ile yüksek aşınma direnci olmaktadır. Bu sebeple dövme motor pistonlarının 4032 alaşımlarından yapıldığı görülmektedir (Şaldır, 2003).

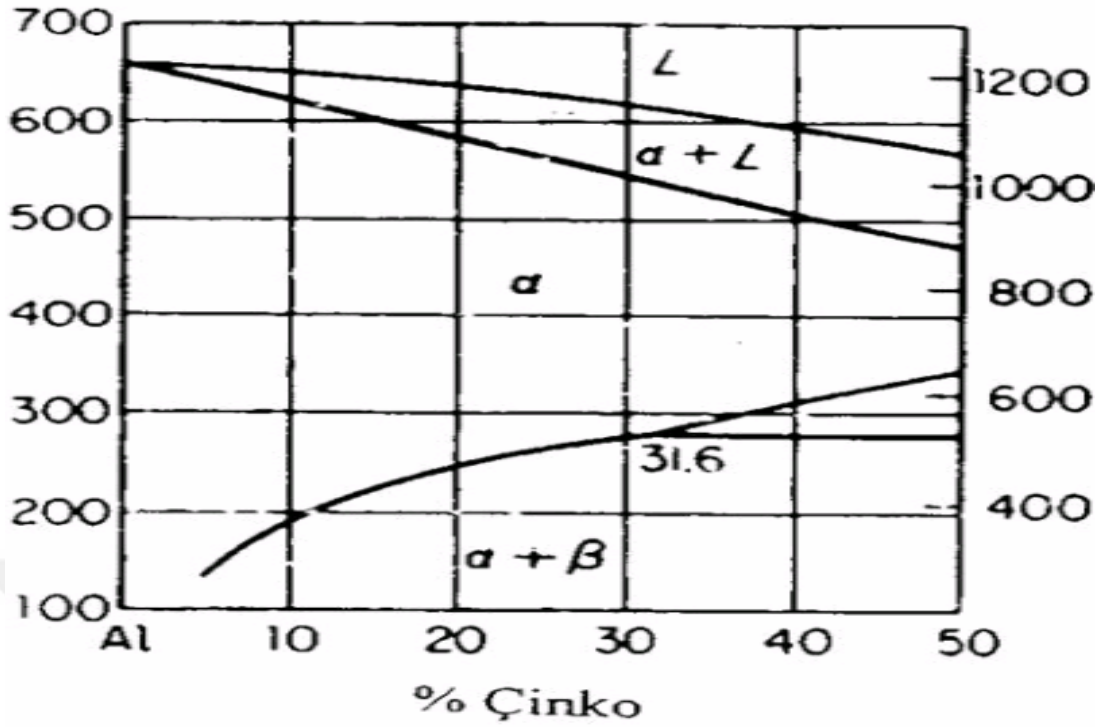
5XXX Serisi: Genel olarak soğuk şekil vermeyele sertleştirilebilir alaşımlar elde edilmektedir. % 5'den az magnezyum ile yeterince silisyumu olmayan alaşımlar yaşlandırmayla sertleştirilemezler. 5XXX grubu alaşımlarda Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artarken süneklik azalmaktadır. Alaşımların kaynak kabiliyeti ve deniz korozyonu direnci yüksektir.



Şekil 1.8. Al-Mg alaşımlarında akma-uzama oranının Mg oranıyla değişimi (Şaldır, 2003)

6XXX Serisi: Magnezyum ve Silisyum bileşimi Mg_2Si oluşturmaktadır. Bu bileşiğin yaşlandırma sonucunda çökmesiyle orta düzeyde mukavemet ile sertlik elde edilmektedir. Bu mukavemet “2XXX” ve “7XXX” grubundan daha düşük olmaktadır. Şekillendirme, kaynak ve talaş kaldırma kabiliyeti ile korozyon direnci diğer yaşlandırılan alaşımlardan daha yüksektir (Şaldır, 2003).

7XXX Serisi: Bu alaşım grubuna biraz magnezyum ilavesiyle mukavemeti arttırılmaktadır. 7178 Alaşımı en yüksek mukavemete sahip olan alüminyum alaşımıdır. Malzeme çatlama olasılığının karşısında biraz fazla yaşlandırılmaktadır. Böylelikle geliştirilmiş mukavemet-kırılma tokluğu-korozyon direnci kombinasyonu elde edilmektedir.



Şekil 1.9. Al-Zn denge diyagramı (Şaldır, 2003)

8XXX Serisi: Uçak ve uzay sanayinde özellikle kullanılmaya başlanan bu malzeme düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek yorulma direnci, yüksek ve düşük sıcaklıklarda tokluk özellikleriyle dikkatleri üzerine çeker. Bunun yanında 3-4 kat yüksek olan üretim maliyetleri kullanımlarını sınırlar (Şaldır, 2003). Dövme alüminyum alaşımlarında bir genelleme yapılırsa; 1xxx, 3xxx ve 5xxx serisinin dövme alüminyum alaşımlarının ısı işleme uygulanamayan türleridir. Bunlar sadece şekil değişimi ile sertleştirilebilmektedir. 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi dövme alüminyum alaşımlarıysa ısı işleme tabi tutulabilmektedirler. 4xxx serisi hem ısı işleme tabi tutulabilmekte hem de ısı işleme tabi tutulamaz alaşımları içermektedirler (Özdiğer, 2006).

1.2.2. Döküm alüminyum alaşımları

Döküm alüminyum alaşımları ANSI'ye (American National Standards Institute) göre Tablo 1.4'de belirtildiği gibi gruplandırılmaktadır (Kurt ve diğ., 2004). Alaşım elementlerine göre son iki rakamı arasına bir nokta konan dört rakam ile tanımlanmaktadır. Alüminyumun, magnezyum ve silisyum gibi elementlerle yaptığı alaşımlar, uygulamalarda en fazla kullanılanlardır. Alüminyumun bu elementler ile

yaptığı alaşımlar, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi açısından önem taşımaktadır (Serfiçeli, 2000).

Alüminyum - bakır alaşımlarının, duralüminyum şeklinde isimlendirilen alaşımlar bu grup içinde değerlendirilmektedir. % 2-6 oranında bakır kapsayan bu alaşımın en yaygın kullanan alüminyum alaşımı olduğu görülmektedir. Korozyona karşı direncin, diğer alaşım gruplarına göre düşük olduğunu belirtmek gerekir. Kaynak kabiliyetiyle sınırlıdır ki örnek olarak Al 2024, Al 2025 verilebilir (Serfiçeli 2000).

Tablo 1.4. Döküm alüminyum alaşımları

Ana alaşım elementi	Alaşım sayısı
Minimum % 99 Al	1XX.0
Bakır	2XX.0
Silisyum, bakır ve magnezyum	3XX.0
Silisyum	4XX.0
Magnezyum	5XX.0
Kullanılmayan seri	6XX.0
Çinko	7XX.0
Kalay	8XX.0
Diğer elementler	9XX.0

Alüminyum - silisyum - magnezyum alaşımlarının, iç yapısında % 1,3'e kadar silisyum (Si) ile magnezyum (Mg) eşit olarak bulunmaktadır. Az miktarda bakır (Cu), krom (Cr) veya kurşun (Pb) yaşlandırma durumunda korozyon direnci ve dayanımını arttırmak için ilave edilmektedir. Makine parçaları, vida, köprü ve mobilya taşıma elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Örneğin, Al 6061, Al 6063 (Serfiçeli, 2000).

Bu tarz alaşımların çoğunluğunun silisyum içerdiği görülmektedir. % 11,7 silisyum içeren alaşım ötektik bileşimde olduğu için çok üstün döküm özellikleri vardır. Bu alaşımın korozyona direnci ile kaynak kabiliyetinin de oldukça iyi olduğunu söylemek mümkündür. Döküm alüminyum alaşımlarına biraz bakır katılması, talaş kaldırma özelliklerini geliştirmektedir. Buna karşılık korozyon direncinde azalmaya sebep olmaktadır. Döküm alaşımlarında silisyumdan başka magnezyum katılarak

çökme yoluyla sertleştirilebilen ve deniz suyunun korozif etkilerinin karşısında dirençli alaşımlar elde edilmektedir. 2xxx, 3xxx, 4xxx ve 7xxx serisi döküm alaşımlarsa ısı işleme tabi tutulabilmektedir (Taban, 2004).

Herhangi bir alaşımın fiziksel özelliklerinin tam olarak tanımlanması için çeşitli temperler ve temper kodlarını bilmek gerekmektedir. Temel temperlerin harf notasyonu ile belirtilmesi söz konusudur. Tam bir tanımlama için harf notasyonu ile beraber bir ya da daha çok rakam notasyonu kullanılmaktadır. Bu rakamlar, ürün kalitesini etkileyen karmaşık temel operasyon akışını belirtmekte kullanılmaktadır.

F: Bu harf malzemenin üretildiği temperde olduğunu göstermektedir. Bu temper gösteriminde malzemenin muhtemel herhangi bir temper durumunun sağlanması için termal durumunun kontrol edilemediği sadece şekillendirme ile üretim işlemlerinin uygulandığını belirtmektedir. Aynı zamanda gösterim malzemelerinin işlem sertleşmesi durumlarında herhangi bir kontrol altında olmadığını da ifade etmektedir (Okumuş, 2003).

O: Bu temper gösteriminin işlem alaşımlarının yeniden kristalleştirildiği ve mukavemetinin belli seviyelere indirildiği anlamına gelmektedir. Uygulanan operasyon neticesinde malzemenin % uzama özelliğinin dolayısıyla şekillendirildiğinde artış sağlanmaktadır. Bu özelliğin ürünlerin özellikle derin çekme için elverişli duruma ulaşmalarını sağlamaktadır. Tavlama ürüne boyutsal stabilite sağlamaktadır. Dövme ve dökme alaşımlarına ortak olarak uygulanmaktadır.

H: Bu harf yalnızca deformasyonla sertleştirilebilen işlem alaşımlarında kullanılmaktadır. Deformasyon sertleşmesini sağlayan işlem kondüsyonu modifiye etmek için akabinde termal işlem kademesi de içerebilmektedir. H gösteriminin daima iki ve/veya daha çok rakam takip etmektedir.

H kondüsyonunun ilk rakamı üç farklı gurubu belirtmektedir:

H1: Yalnızca deformasyonla sertleşmesi,

H2: Deformasyonla sertleştirilmiş ve kısmi tavllanmış,

H3: Deformasyonla sertleştirilmiş ve kısmi stabilise edilmiştir.

H1 gösteriminin işlem sertleşmesine uğrayan malzemenin deformasyon sertleşmesinden başka ısı bir işleme tabii tutulmadığını belirtmektedir. Deformasyon ile sertleştirilmiş olan malzeme kısmi yumuşatma için ısı işleme maruz bırakılmış

(H2) olabilmektedir. H2 kodüsyonu H1 kondüsyonuyla aynı çekme mukavemetine sahip olmasının karşısında daha yüksek bir yüzde uzamaya sahiptir.

H kondüsyonunun ikinci rakamı ek sertlik skalasını göstermektedir. Yüksek oranlarda deformasyona tabi tutulan malzemeler için H18 kullanılmakta ve tam sert olarak adlandırılmaktadır. H19 temperi H18 temperinden daha fazla bir deformasyonu belirtmektedir. 9 rakamı 8 rakamı ile tanımlanan temperden minimum 10 Mpa daha yüksek mukavemeti göstermektedir. H16, H14 ve H12 temperleri daha düşük miktarda soğuk işlem uygulandığını ifade etmektedir. Ayrıca; $\frac{3}{4}$ sert , $\frac{1}{2}$ sert ve $\frac{1}{4}$ sert olarak isimlendirilmektedir.

W: Bu notasyon alaşımın çözeltiye alma ısıl işleminin ardından hızlıca oda sıcaklığına soğutulduğu yaşlandırma işlemi oldukça hızlıdır. Tam bir tanımlama için W harfini dakika olarak zaman süre takip eder.

T: Özel temper durumunu ifade etmek için kullanılmaktadır. Genel olarak iki veya üç rakam bu harfi takip etmektedir (Okumuş, 2003).

Alüminyuma eklenebilen alaşım elementlerinin, alaşımın mekanik özelliklerini değiştirdiği gibi ısıl işlemle kaynak kabiliyetini de önemli oranda etkilemektedir. Bu bakımdan dünya genelinde “Alüminyum Birliği” tarafından sınıflandırılması yapılan alüminyum ve alüminyum alaşımlarının Avrupa Birliği’nce Avrupa Standardları bazında sınıflandırılmışlardır. Bu standartların, DIN standartlarında yapılan gösterimden tamamen farklı olduğu büyük oranda Amerikan Standardlarına yakınlık gösterir. Türkiye’de bu konuda belirlenen herhangi bir standart henüz hazırlanamamıştır. Bu bakımdan, bu sektörlerdeki mühendis ile teknik elemanların özellikle yeni Avrupa Standardlarına (EN) göre gösterimleri bilmeleri gerekmektedir. Tablo 1.5’de alüminyumun çeşitli uygulamalarda avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Tablo 1.5. Alüminyumun çeşitli uygulamalarda avantaj ve dezavantajları (Ünal, 2005)

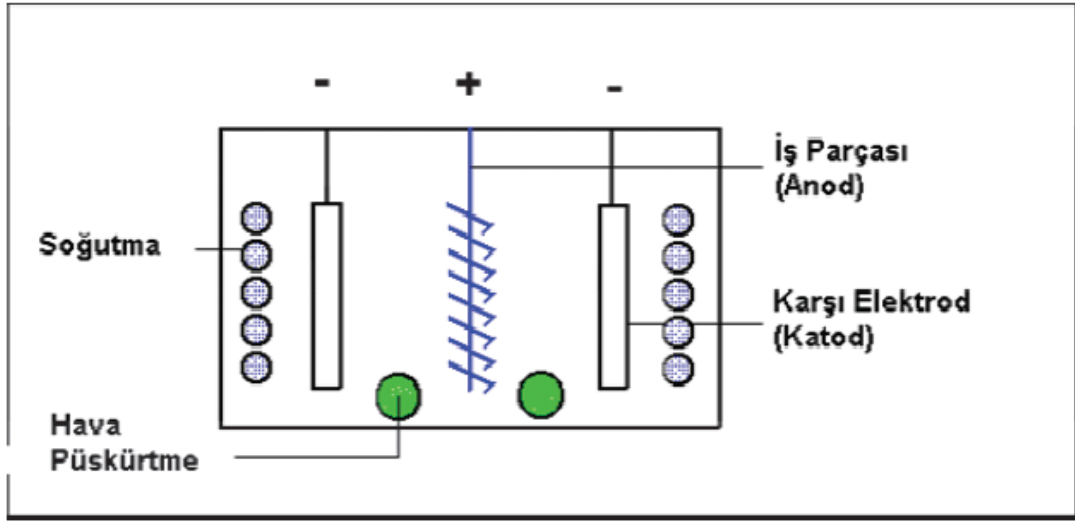
UYGULAMA	AVANTAJ	DEZAVANTAJLAR
Elektriksel Güç İletimi	Elektriksel iletkenlik Korozyon dayanımı Kolay bağlantı Düşük özgül ağırlık Maliyet	Mekanik dayanım
Taşıma Araçları Gövdeleri	Düşük özgül ağırlık Korozyon dayanımı Kolay montaj Onarım ve bakım kolaylığı	Maliyet
Kapı ve pencereler	Kolay fabrikasyon Korozyon dayanımı Modülerlik Maliyet	
Jantlar	Düşük özgül ağırlık Yüksek ısı iletkenlik Görünüm Korozyon dayanımı	Maliyet Yetersiz mekanik dayanım
Otomobil gövdeleri	Görünüm İşlenebilirlik Korozyon dayanımı	Düşük darbe dayanımı
Yiyecek kapları	Antioksid oluşu Korozyon dayanımı İşlenebilirlik Kolay yeniden değerlendirme	Maliyet

1.3. Alüminyuma Uygulanan Geleneksel Kaplamalar

Alüminyuma uygulanan geleneksel kaplamalar aşağıda özetlenmiştir.

1.3.1. Anodik oksidasyon

Anodik oksidasyon işlemi (AOİ) alüminyum, titanyum, magnezyum ve zirkonyum gibi malzemeler, elektrolitik hücre içinde anot malzemeyi oluşturduğu ve işlem esnasında malzeme yüzeylerinde oksit tabakasının meydana geldiği bir elektrokimyasal proses olarak görülmektedir (Şişmanoğlu, 2009). Bu proseste kaplanacak olan parçaların anod ve katod olarak birbirlerine elektriksel olarak bağlandıklarını aşağıdaki şekilde görmek mümkündür.



Şekil 1.10. Anodizasyon işleminin şematik görünümü (Tohumcu, 2005)

Endüstride bilinen diğer ismiyle eloksal kaplama, Almanca tabiri olduğu görülen (Elektrolytische Oxidation des Aluminums) kısacası alüminyumun anodik oksidasyonu kelimelerinin baş harflerinin birleştirilerek türetilmiştir. Genel olarak uluslararası terminolojide Anodic Oxidation (Anodik Oksidasyon) veya Anodising / Anodizing (Anodizasyon / Anodize) olarak tanımlanmaktadır (Övündür, 2014).

AOİ teknolojisinin yaklaşık 80 yıl önce geliştirildiği ve ilk defa 1930'larda pencere iskeletleri için uygulanmaya başlandığı görülmektedir. 1950 ve 1960 yıllarının arasında gözle görülen bir şekilde anodik oksidasyon endüstrisinin ilerlediğini belirtmek gerekir. Günümüzle karşılaştırıldığında çok az bir oranda yapılarda kullanılmaya devam edilse, mimari uygulamalarda hala en sağlam bitirme işlemi olma özelliğine sahiptir (Şişmanoğlu, 2009).

Alüminyum ve alaşımlarının, AOİ'nin endüstriyel uygulamalarda en büyük pay sahibidir. Magnezyum ve titanyum gibi malzemelerin yanı sıra alüminyumun bu şekilde eşsiz bir yerinin olması, asidik elektrolit içinde ince oksit tabakası ve yüksek yoğunlukta mikroskobik por oluşturabilmesindedir (Şişmanoğlu, 2009).

1.3.2. Krom kaplama

Krom kaplama tekniğinin, alüminyum alaşımları en başta çelik ve çinko malzemelere senelerden bu yana uygulanan, ticari anlamda geçmişi 1930'lara kadar dayanan

geleneksel bir kaplama yöntemi olduğu görülmektedir. Krom kaplamanın genel olarak üç temel kullanım alanı vardır (Hui-cheng ve diğ., 2008);

- a. Nikel kaplamanın üzerine, dekoratif amaçla, kararmayan ve parlak kaplamanın elde edilmesi için,
- b. Aşınmış metal yüzeylerinde, metal işleme takım veya döküm yüzeyleri gibi sert olması gereken yüzeylerin kaplanabilmesi için,
- c. Motor silindirlerinin iç yüzeyleri ve mil yatakları gibi, aşınan ve bu sebeple gözenekli ve sert yapısının olması gereken yüzeylerde kullanılmaktadır. Gözenekli yapı yağın gözeneklerde tutunarak motor ömrünün uzun olmasını sağlamaktadır (Hui-cheng ve diğ., 2008).

Teknik uzun dönemler endüstride kabul gören bir uygulama olmasının karşısında özellikle kromik asitin (Krom-VI-oksit;Cr+6) toksik özelliklerinden dolayı çevreci bir proses olmadığı bilinir. Bu nedenle bazı ülkelerde uygulamaları yasaklanmıştır. Bunun yanında özellikle 2000'lerden sonra geliştirilen "Cr+3" oksik kullanımı (trivalent chromium coating), tekniğinin daha çevreci duruma getirmiştir ve uygulama alanlarını da arttırmıştır (Övündür, 2014).

1.3.3. Plazma sprey kaplama

Metaller üzerine yapılan kaplamalar, kaplama ile metal arasında bir difüzyon bağı oluşturarak ve bir difüzyon bağı oluşturmaksızın kaplama ile altlık arasında mekanik bir yapışma şeklinde iki şekilde yapılmaktadır. Difüzyonlu kaplamalarda altlıkla kaplama arasında bulunan bağı özelliklerinin malzeme bileşimi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Plazma sprey yöntemi gibi difüzyonsuz kaplamalarda ise altlık ve kaplama arasındaki mekanik yapışma tamamen kaplama prosesi koşullarına bağlıdır (Yeşildal ve Günay, 2007).

Plazma sprey kaplamalarda bağlanma mukavemetini arttırmak için kaplama öncesi altlık yüzeyinin pürüzlendirilmesi gerekmektedir. Kaplama uygulanacak olan yüzeye ergitilmiş partiküller hızlı bir şekilde püskürtülmekte ve yüzeye çarpan partiküller de hızla soğuyarak katılaşmaktadır. Altlık yüzeyindeki partiküllerin, ergimiş partiküllerin katılaşması esnasında gerilmelerin yoğunluk kazandığı bölgeleri göstermektedir. Bu bölgesel gerilme noktalarının yüzeye çarpan partiküllerin yüzeye tutunmasını sağlamaktadır. Plazma sprey kaplamaların yapısının yüzeye paralel

tabakalar olduğu görülmektedir. Yüzeğe dik bağlama kuvvetinin artırılması için altlık yüzeyi pürüzlendirilmektedir. Böylelikle kaplama işleminin sonucu yüzeğe tamamen paralel tabakaların yerine dalgalı tabakalar oluşturulmaktadır (Yeşildal ve Günay, 2007).

Bu yöntemin etkin bir yüzey mühendislik tekniği olduğu, malzeme yüzeylerine termal şok ve aşınma direnciyle yüksek sertlik kazandırması sebebiyle başta havacılık endüstrisinde olarak bir çok alanda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Proses, iyonize olmuş bir gaz içerisinde ergimiş olan toz malzemenin kaplanacak yüzeye hızlı bir şekilde püskürtülerek uygulanmaktadır. Alternatif yöntemlerde görüldüğü gibi çeşitli kimyasal hesaplama ve formülasyonlara gerek olmadan tamamen girdi-çıkıtı ilişkisiyle kontrol edilebilen bir proses olduğu görülmektedir (Somak ve diğ., 2012).

1.3.4. Kataforez kaplama

Kataforez kaplama (KTL) prosesi, malzemelerin bir boya banyosuna daldırılıp, bu banyodan elektrik akımı geçirilerek yüzeyde mikron mertebesinde bir kaplamanın meydana getirildiği ve elektrokimya prensiplerine göre çalışan bir kaplama yöntemidir. Kataforez boya sisteminin diğere boya sistemlerine göre üstünlüklerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- a) Bütün yüzey üzerinde boya kalınlığının eşit olma durumu
- b) Malzemelerin iç kısımları, köşe ve kenarlarının kaplanabilme durumu
- c) Sistemin su bazlı olmasının çevre kirliliğini asgariye indirme durumu
- d) Korozyon direncinin en yüksek seviyelerde olması olarak sıralanabilir (Övündür, 2014).

Kaplanacak olan parçaların, bir ön yüzey hazırlanmasından sonra KTL banyosuna daldırılarak; fırında kurutma işleminden geçirilip bitmiş ürün haline getirilmektedir. Yüzeyde oluşan ince boya tabakasının; kaplanacak olan malzemeye göre değişmesi söz konusudur. Genel olarak 12 – 18 mikron arasında değiştiği görülmektedir. Kaplama esnasında elde edilen homojenle ince tabakanın sayesinde, ölçüsel hassasiyetin yüksek olduğu görülen tasarımlarda, parça boyutsal anlamda tolerans dışına çıkmadan kaplanabilmektedir.

1.3.5. Elektrostatik toz boya

Elektrostatik boyama, farklı elektrik ile yüklenmiş olan cisimlerin birbirlerini çekme prensibine dayanmaktadır. Alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımı, elektrostatik toz boya tekniğiyle geliştirilebilmektedir. Böylece hem görseelliğin ön planda olduğu kozmetik uygulamalarda, hem de korozyon direncinin gerekli olduğu nemli ortamlarda, elektrostatik toz boya uygulaması kullanılabilir (Övündür, 2014).

Yöntemin oldukça çevre dostu olduğu ve yüksek kalınlıkta, homojen bir kaplama yapılmasına imkan vermesi söz konusudur. Elektrostatik toz boya tekniğinin en büyük avantajının, yüzeye yapılacak olan kaplamanın neredeyse sonsuz denebilecek bir renk seçeneği ile müşterinin isteklerine sunulabilme durumudur (Övündür, 2014).

Toz boya teknolojinin diğer avantajlarını aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür (Övündür, 2014);

- a) Enerji tasarrufunun yüksekliği
- b) Yüksek üretim verimliliği
- c) Çevre dostu olması
- d) İşçi ve iş sağlığı açısından güvenli
- e) Tesis yatırım maliyeti düşük
- f) Metalik olmayan yüzeylerin de boyanabilmesi
- g) şekilde sıralanabilir.

Bunların yanında en büyük dezavantajı da ince film elde etmenin zorluğudur. Toz boyalı yüzeylerde oluşan kaplamanın kalınlığının minimum 40-50 mikron civarlarında olduğu ve 300µm'ye kadar çıkabildiği görülmektedir (Fedrizzi ve diğ., 2007).

2. ÇELİK

Çelik, Demir (Fe) ve Karbon (C) alaşımıdır. Temel yapısında C'den başka farklı miktarlarda alaşım elementleri ile empürite elementler bulunmaktadır. Çeliğe çeşitli özellikler kazandıran kapsadığı elementlerin kimyasal bileşimleri ve çeliğin içyapısıdır. Farklı ölçülerde alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemlerle içyapının da kontrol edilip; kullanım amaçlarına göre değişik özelliklerde çelik elde edilmektedir. Mangan (Mn), Kükürt (S), Fosfor (P) ve Silisyum (Si) üretim esnasında hammaddeden kaynaklı elementlerdir. Çelik bünyesinde belli oranlarda bulunmaktadır. Diğer elementlerse (Cr, Ni vb.) istenen oranlarda çelik bünyesine ilave edilmektedir. Çelik, demir cevherinden ve/veya hurdadan geri dönüşümle iki şekilde üretilebilmektedir. Sıvı çeliğin üretilmesinin ardından dökümle ingot olarak ve/veya devamlı döküm yöntemiyle kütük ve/veya blum olarak şekillendirilmektedir (URL-1).

Çeliğin, alternatif ürünlere nazaran hafif olması, yüksek mukavemeti, elastiki yapısı ile süneklik özelliklerinin bulunması her zemin sınıf ve deprem bölgeleri için en doğru konstrüksiyon yapı malzemesi olarak görülmektedir. Çelik yapı elemanlarının montaj ve imalat sürelerinin diğer alternatif yapılara nazaran çok daha kısadır. Bu durum da inşaat, proje ve maliyetlendirme masraflarının minimuma inmesini sağlamaktadır. Çelik konstrüksiyon yapıda, temel inşatlarda ve güçlendirilmesi istenen bölgelerin ön hazırlık çalışmalarında alternatif yapılara oranla büyük oranda ekonomik zaman ve kazançtan avantaj sağlamaktadır. Çelik konstrüksiyon yapıların, endüstriyel yapılarda geniş açıklıkları kolonsuz ve zaman zaman taşıyıcısız geçme şansı vardır. Bu durum hem maliyeti azaltmakta, hem de yapının daha estetik olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır. Çelik yapı elemanlarının montaj ve imalatı hava şartlarından etkilenmemektedir.

Kullanılacak olan iş gücüne bağlantılı bir şekilde insan gücünün uygun bir şekilde kullanılabileceği her noktanın kesintisiz çalışma ve montaj imkanı sağladığı görülmektedir. Mimaride sınırsız çözüm imkanları, projelerde çok fazla estetik ve

geleceğe dönük kalıcı sorunsuz kullanım sağladığını da belirtmek gerekir. Yapılacak olan değişikliklerde ve küçültme ya da büyütme operasyonlarında sorunsuz ve hızlı bir geçiş imkanı sağlamaktadır. İstenildiği zaman çelik taşıyıcı sistemin tamamının zayıtsız bir şekilde sökülerek dünyada istenen noktaya ekonomik olarak nakledilmektedir. Sökülebilir olması kiralık arsaların üzerine geçici depolama çalışmalarına imkan sağlandığı görülmektedir. İstenildiği zaman yapıyı oluşturan tüm elemanlar ve taşıyıcı sistem civatalı olarak üretilebilmektedir. Bu demonte özelliğinin çelik konstrüksiyon yapıyı sökmek, taşımak, değiştirmek, küçültmek veya büyütme gibi işlemlerinde minimum zayıt ile malzeme kaybının önüne geçilmesini sağlamaktadır. Çelik konstrüksiyon yapının uygulanması ve takibinin devamlı şantiyede yapıldığından yüksek markajdaki hataların önüne geçilebilmektedir. Bilgisayar ortamındaki testlerle dayanım ve güvenilirlik en yüksek seviyede tutulmaktadır (İğın, 2016).

2.1. Çeliğin Gelişimi

Yapı inşa etme eylemlerinin ortaya ilk çıktığı günden bugüne dek geçen süre içinde birçok teknik ve malzeme geliştirilmiştir (Tuncer, 1999). Bu tekniklerden biri de çelik yapı sistemleridir. Yapım sistemlerinin tercih edilmesi ve kullanılmasında birçok faktörün rolü vardır . Malzeme, ekonomi ve eğitim bu kriterlerin başında gelir. Yapının taşıyıcı sistemlerinin seçimi çok özel bir durum oluşmadığı müddetçe mimarın tercihleri ile belirlenmektedir. Bu aşamada yalnızca uygulamaya bağlı kriterler ile sınırlı olmayıp tasarımsal girdileri bünyesinde barındıran bir üretme ve seçme aşamasıdır (Arda, 2001).

19.yüzyılda Henry Bessemer'in Besemer prosesi ismi verilen ilk ucuz endüstriyel prosesin bulunmasından sonra ucuz ve verimli çelik üretimine başlanmıştır. Çeliğin dayanımı ve sünekliliğinin yüksek olması sebebiyle 19.yüz yılın sonlarından itibaren Amerika'da, 20.yüz yılın başlarından itibaren de Britanya'da inşaat sektöründe kullanılmaya başlanmıştır (Güneş, 2016).

2.2. Çeliğin Malzeme Özellikleri

Mekanik olarak işlenen, preslenerek, haddeden geçirilip şekil alabilen demir alaşımlara çelik adı verilmektedir (Hasol, 1995). Bu başlıkta çeliğin sahip olduğu özellikler verilmiştir:

2.2.1. Fiziksel özellikleri

Çelik kapsamında demirin dışında % 0,16- % 0,20 kadar karbon bulunmaktadır. Karbon miktarı artırılıp, bünyesine su verilme ve başka madenler ile birleştirilerek çelik sert bir hale getirilmektedir. Çelik demirden fazla daha sert ve daha hafiftir bu nedenle daha iyi işlenebilmektedir. Çelik, alaşımında bunun dışında azot, fosfor, silisyum, bakır ve manganez gibi elementler içermektedir. Bu elementlerin çeliğin içerisinde belli miktarları aşmaması gerekmektedir. Çelik alaşımına nikel, krom, vanadyum ve molibden gibi maddelerde katılıp; yüksek kaliteli çelikler elde edilebilmektedir. Çeliklerin elde edilme şekillerine göre “Siemens-Martin”, “Bessemer”, “Thomas” ve “Elektro” çeliği olarak adlandırılmaktadır. Tablo 2.1’de çeliğin fiziksel özellikleri kısaca verilmiştir (Deren, 2012).

Tablo 2.1. Çeliğin fiziksel özellikleri (Deren, 2012).

Fiziksel Özellikler
Birim hacim ağırlığı: 7,85 gr/cm ³
Erime sıcaklığı: 1400°C
Isı iletkenlik katsayısı: 35 W/m°C
Isı genişleme katsayısı: 15,1x 10 ⁻⁶ cm/cm°C
Elektrik iletkenliği: 14 Mho/m/mm ²

2.2.2. Kimyasal özellikleri

Çelik alaşımının içindeki en önemli elemanın karbon olduğu görülmektedir. Karbon çeliğin sert olması mukavemetini arttırmaktadır ve oranının fazla olmasıyla kırılabilirliğini arttırmaktadır. Bu sebeple yapı çeliğindeki karbon % 0,2-1 oranındadır. Yapı çelik üretiminde kullanılan diğer alaşım eleman ve etkileri Tablo 2.2’de gösterilmektedir (Şahin, 2011).

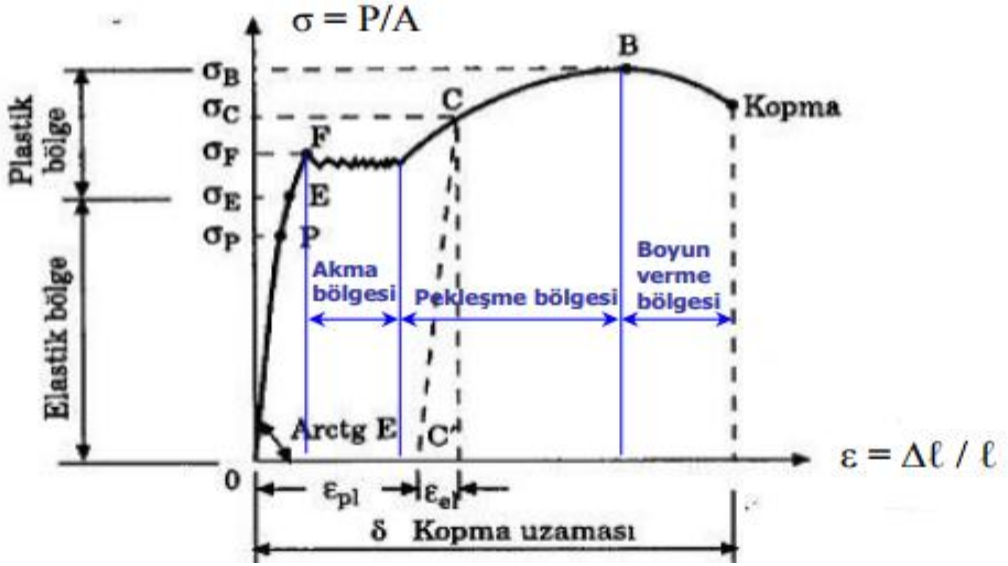
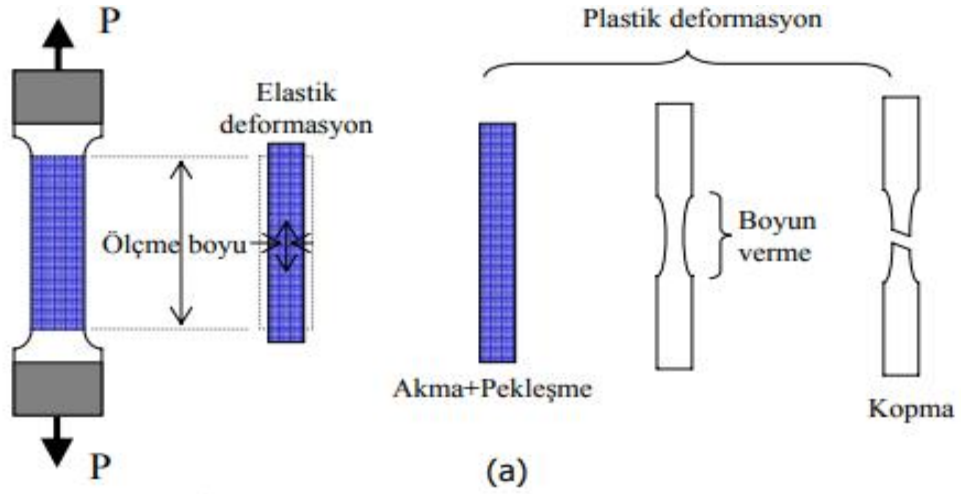
Tablo 2.2. Çeliğinin üretiminde kullanılan alaşım elemanları ve etkiler (Şahin, 2011).

Alaşım Elemanı / Etkileri	Mukavemeti artırma	Paslanmaya karşı dayanımı artırma	Sürtünme ye karşı dayanımı artırma	Sünekliği artırma	Taşıma gücünü artırma	Habbecikler i önleme
Cr (Krom)	+	+	+			
Cu (Bakır)		+		+		
Mn (Manganez)			+	+	+	
Si (Silisyum)		+			+	+
Mo (Molibden)	+	+				

Ham demirin içersinde yer alan karbon, fosfor ve silisyum, saf demirin preslenmesine, dövülmesine ve haddelenmesine olanak tanımayarak, şekil verilmesini engellemektedir. Oysa çelik bu işlemlerden geçirilip; şekil verilebilen bir malzemedir. Bu bakımdan işlenebilirliğin elde edilebilmesi için karbon başta olmak üzere söz konusu maddelere ait miktarların belli ölçülerde azaltılması gerekmektedir. Çelik alaşımı içindeki elemanların miktarları çelik cinsi ve sertlik durumlarına göre değişebilir. Bu miktarların standartlarla belirlendiğini söylemek mümkündür (Karaduman,1999).

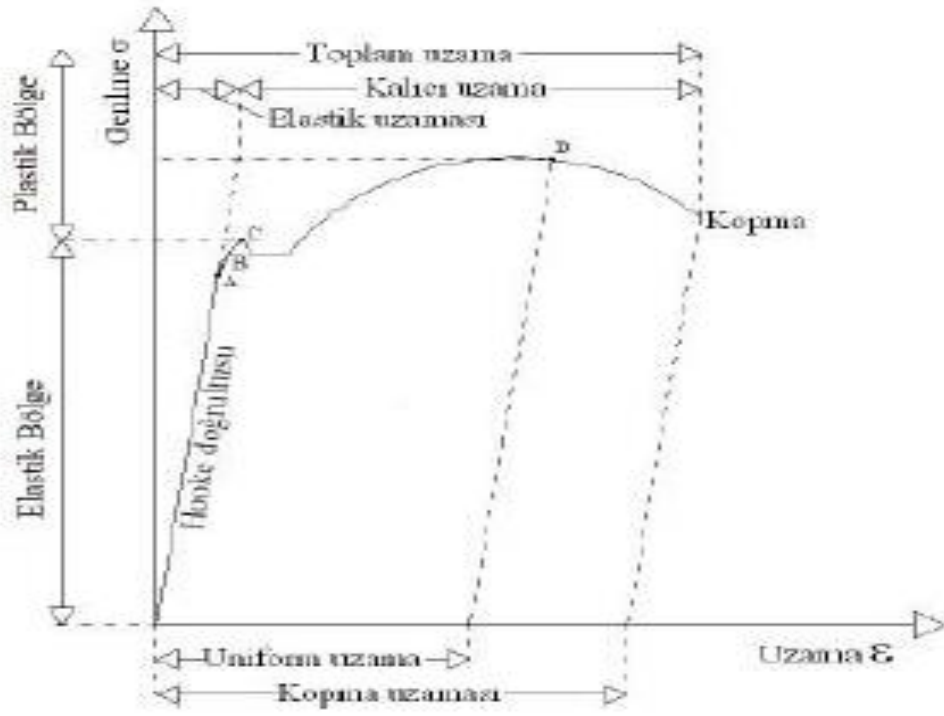
2.2.3. Mekanik özellikleri

Çeliğin mekanik özelliklerini çekme deneyleri sonucunda belirlenmektedir. Şekil 2.1’de çekme deneyinde elde edilen “gerilme-uzama (σ - ϵ) diyagramı” görülmektedir. Deneyde kullanılan çelik malzemelere sıfırdan başlayarak artarak uygulandığı görülen “ σ ” gerilmesi, “ σ_P ” orantılı sınır gerilmesine kadar malzeme “lineer-elastik” bir karakter göstermektedir. Kısacası Hooke kanunu geçerlidir. Malzeme σ gerilmesi, σ_E elastik sınır gerilmesine kadar yine elastik kalır ancak Hooke kanuna uymamaktadır. σ_E ’yi aştıktan sonra elastiklik özelliği kaybolmakta. σ gerilme, σ_F akma gerilmesine geldiği zaman malzemelerde büyük plastik değişimler olmaktadır. Bunun ardından malzeme kendisini toparlamakta ve gerilme “ σ_B ” kopma sınır gerilmesine gelinde kopma olayı meydana gelmektedir (Deren, 2012).



Şekil 2.1. Gerilme-Uzama (σ - ϵ) diyagramı (URL-2)

Çelik homojen ve izotrop bir malzeme olup, kimyasal ve fiziksel özellikleri her doğrultuda ve her noktasında aynı olduğunu belirtmek gerekir. Yapı çeliğinden bir numuneye çekme deneyi uygulanıp, elde edilen diyagrama bakıldığında belirli bir noktaya kadar gerilme ve uzamanın orantılı olduğu görülmektedir. Çeliğin bu özelliğine “Hooke Kanunu” adı verilmektedir. Numuneye uygulanan çekme işlemine devam edildiğinde Şekil 2.2’de görülen uzama – gerilme diyagramı elde edilir. (Karaduman, 1999).



Şekil 2.2. Çeliğin uzama-gerilme diyagramı (Deren, 2012)

Çeliğin uzama – gerilme eğrisine bakıldığında, gerilme değerinin A noktasına çıkıncaya dek numune lineer elastik özellik gösterdiği görülmektedir. Numuneye çekme uygulanmaya devam edildiği zaman, malzemenin elastik olma özelliği, B noktasından sonra yok olduğu görülmektedir. C noktasında malzemenin artık elastik olmaması söz konusudur. Bu noktanın ardından numunede akma ve plastik yer değiştirme başlamaktadır. Numune üzerinde çekme işlemi sürdürüldüğünde, değer D noktasına ulaşmasıyla beraber kopma sınırı geçilmiş olur ve malzeme kopmaya başlar.

Çelik, alternatif malzemeler olmasına karşın otomotiv endüstrisi en önemli malzeme sınıfını teşkil eder. Bunun temel nedeni, ister otomobil gövdesi için ister tekerlek ve şaseler gibi yapısal parçalar için, bir malzeme olarak özelliklerinin sınırsız değişkenliğinin olmasıdır. Bunun yanında otomotiv endüstrisinde bir malzeme olarak çelik, önemli oranlarda mükemmel bir performans ve fiyat oranı ve geri dönüşüm avantajları sunar. Otomotiv endüstrisi için yeni çelik ürünleri sunulduğu zaman çelik endüstrisinin elde etmeye çalıştığı hedef ve amaçlar özellikle bir malzeme olarak çeliğin, araç emniyetini arttırıp, prosesi basitleştirmekte ve maliyet düşürmektedir. Bunu da mümkün olduğunca en önemli hedef araç ağırlığını azaltmayla beraber diğer

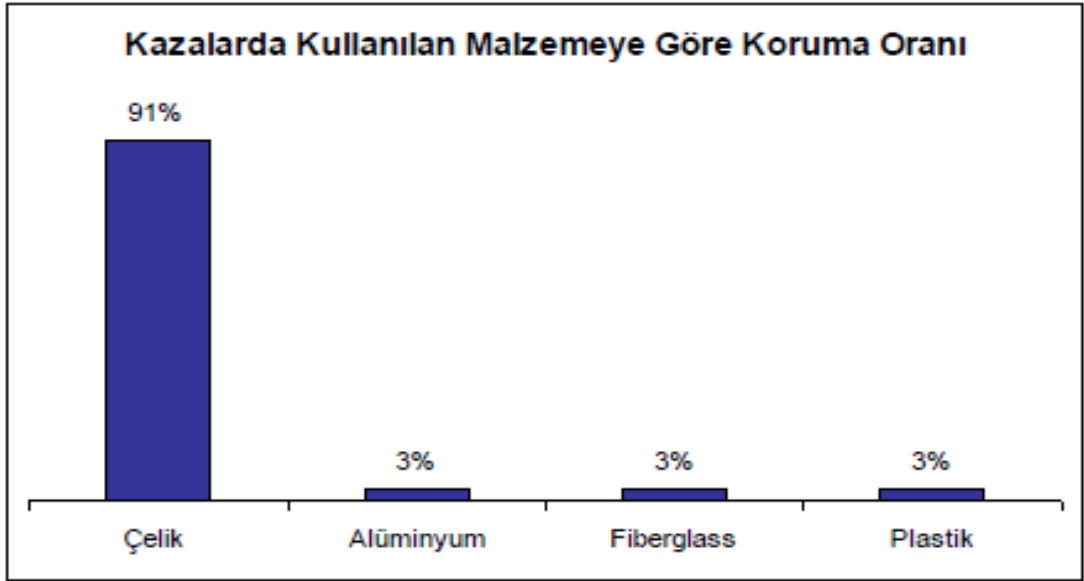
malzemelere göre rekabet edebilirliğini arttırmayla ilgili bir durumdur. Çelik malzemelerde, normal çelikten yüksek ve orta mukavemetli çeliğe doğru bir eğilim bulunmaktadır. Ancak yüksek mukavemetli çelik parçaların kullanımının artmasındaki en büyük engel, gerekli parçanın şekillendirilmesinin zor olmasıdır.

Bu çalışmanın temel konusu olan otomotiv endüstrisinde çelik kullanımı aşağıdaki başlıkta ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.3. Otomotiv Endüstrisi ve Çelik

Otomotiv endüstrisinde çelik kullanımının üretilen otomotiv sayısı ile yakından ilgilidir. Malzeme seçimlerinde en önemli parametreleri hammadde ile süreç maliyeti, sağlamlık ve kalite, devamlı malzeme temin edilebilme, korozyon ve mukavemet gibi fonksiyonel özellikler, üretim yöntemleri, atıklar ve geri dönüşebilirlik olarak sıralamak mümkündür. Çeliğin bu koşulların hemen hepsine cevap verebildiği görülmektedir.

Taşıtlarda önemli bir faktör olan güvenliğin geliştirilme isteği çelik gibi yüksek mukavemetli malzemelerin yoğun kullanımına yol açmaktadır. Kullanılan malzeme çeşidine göre kazalardan korunma oranlarını Şekil 2.3'de görmek mümkündür. Yapılan kazalarda çelik yapılarla tasarımı yapılmış olan araçlarda can kayıplarının %90 oranında azaltılması mümkündür. Alüminyum ve diğer fiberglas, plastik malzemelerinkine %3 civarındadır. Bu önemli avantaj çeliğin kullanımını daha fazla cazip kılmıştır (Aytan, 2015).



Şekil 2.3. Kazalarda kullanılan malzemelere göre koruma oranı (Aytan, 2015).

Genel olarak, otomobil gövdesinin metal sac parçalardan oluşturulduğu görülmektedir. Toplam araç kütlesinin yaklaşık olarak %25'ini meydana getirir. Bu parçalar yeni nesil çeliklerle üretilmektedir. Bu çelikler birim ağırlık için daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir ve sac metal endüstrisi alanındaki kullanımlarında çok hızlı bir artış vardır (Kleiner ve diğ., 2006).

Otomotiv üreticileri ile diğer endüstriyel uygulamaların bir çoğunda katı çevre ile güvenlik normlarını yerine getirme durumundadırlar. Bu kritere ulaşmadaki tek yol düşük kalınlıklarda yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının artırılmasıdır. Otomotiv sektöründe görülen bu ihtiyaçlar aşağıdaki çeliklerin gelişmesine sebep olmuştur (Aytan, 2015);

Çift fazlı çeliklerin (DP çelikleri),

Dönüşüm kaynaklı plastite (TRIP),

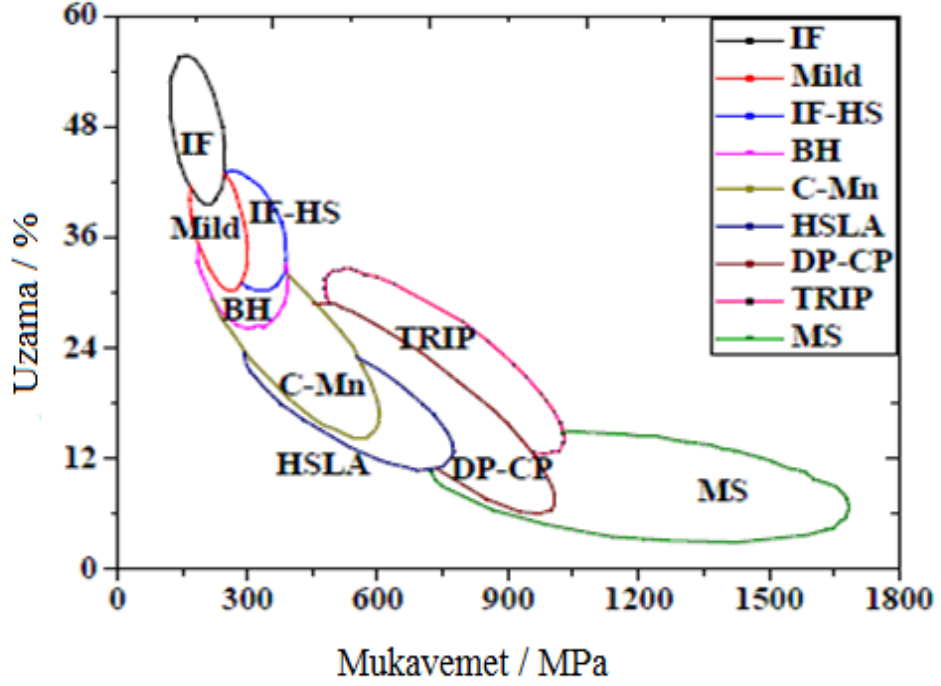
Arayersiz çelik (IF),

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (HSLA),

Martenzit çelikleri (MS),

Fırın sertleştirmeli çelikler (BH) gibi

Bu çeliklerin Şekil 2.4'deki gibi farklı gerilim uzama özellikleri vardır:

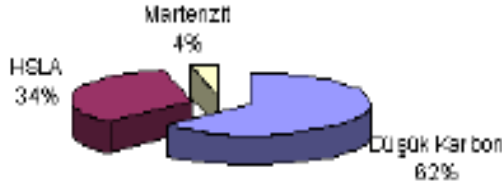


Şekil 2.4. Bir binek otomobilin farklı bölgelerinde kullanılan yaygın farklı çeliklerin mukavemet-uzama kombinasyonu şematik gösterimi

Bu parçaların otomotivin bazı bölümlerinde kullanıldığı görülmektedir. Materyal seçimleri malzemelerin içeriğine bağlı olarak değişebilmektedir. Mukavemet seviyesi, şekil verilebilme özelliği ve ücret gibi değişkenlerin bu malzemelerden hangisinin kullanılacağı kararında önemli rol oynar (Keeler, 2006).

Arabanın gövde panelleri kısmı tüm şekil verme işlemleri tamamlandıktan sonra boya pişirme işleminden geçer. Bu proses kalite ve istenilen boya miktarı ihtiyacına bağlı olarak birkaç kez tekrarlanır. Bu proses arabaya sadece elastik güzel görünüm katmaz, aynı zamanda malzemenin mukavemeti üzerinde olumlu etki yapar. Boya pişirme işlemi sırasında mukavemetteki bu artış fırın sertleştirme etkisi olarak adlandırılır. Mukavemetteki bu artış otomotiv üreticilerine arabanın güvenliğini artırmayı ve çeliğin kalınlığını düşürerek çevresel kirliliği de önlemiş olur. Fırın sertleştirmesinin önemli olmasının bir diğer nedeni de çeliği kolay ve ucuz şekilde şekil vererek parçaları geliştirmesidir (Aytan, 2015).

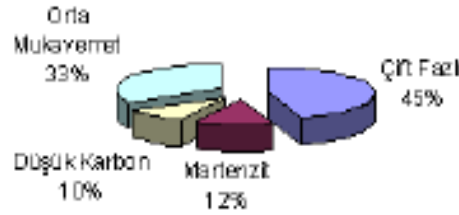
Geçmişte Kullanılan Çelik Oranları



Yakın Gelecekte Kullanılan Çelik Oranları



Gelecekte Kullanılacak Çelik Oranları



Şekil 2.5. Taşıtlarda çeliklerin kullanım oranları (Varol, 2013).

Burada biraz çift fazlı çelikler hakkında bilgi vermekte yarar var. Otomotiv endüstrisi sac mamüllerin üretiminde çift fazlı çelikler öncüdür. Ticari anlamda üretilen çift fazlı çeliklerin çoğunluğu bu sektörde kullanılır. Genel olarak ince saclar kullanılıp; ağırlıkta azalma sağlamaları ve eşdeğer çekme mukavemetine sahip olan diğer kalite saclarla göre daha iyi biçimlenebilme özelliğine sahiptir. Tampon takviyeleri, krikto destekleri, tekerlekler, alternatör fanları, dış ve iç kapı panelleri çift fazlı çeliklerden üretilen otomotiv parçalarına örnek olarak verilebilir (Arıkan ve Başman, 2017).

2.3.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelikler

Otomotiv endüstrisindeki sacların yaygın olarak metalürjik dizaynları ve mukavemetlerine göre sınıflandıkları görülmektedir. Mukavemete göre yapılan sınıflandırma aşağıdaki gibidir (Takahashi, 2003);

“Yüksek Mukavemet Çelikleri (HSS)”: Çekme dayanımları 270 - 700 MPa olan çeliklerdir.

“Ultra-Yüksek Mukavemet Çelikleri (UHSS)” : Çekme dayanımları 700 MPa’ın üstünde olan çeliklerdir.

“Low Strength Steel (LSS)” : Düşük mukavemet çelikleri olup genellikle alaşımsız ve orta karbonlu çeliklerdir.

“High Strength Steel (HSS)” : Konvansiyonel yüksek mukavemet çelikleri, genellikle karbon-mangan, fırında sertleştirilebilen izotropik, yüksek mukavemetli IF ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerdir.

“Advanced High Strength Steel (AHSS)” : Gelişmiş yüksek mukavemet çelikleridir.

Çeşitleri aşağıda sıralanmıştır;

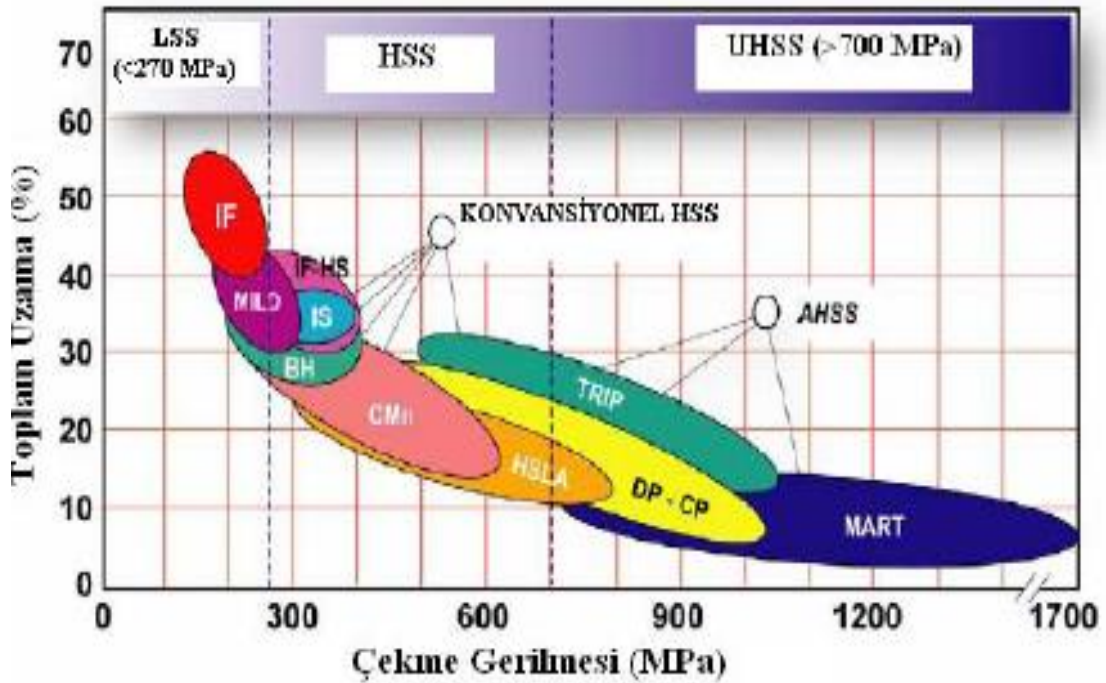
Mikro alaşımlanmış YP ve MC çelik saclar

Dual Faz DP ve DL Çelik Saclar

Trip Çelik saclar

Martensitik M Çelik Saclar

Mangan Boron çelikleri



Şekil 2.6. AHSS saclar, düşük mukavemetli saclar ve konvansiyonel yüksek mukavemetli saclar (HSS) arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi (Keeler, 2006)

AHSS saclar ile diğer saclar arasındaki mukavemet ve % uzama oranları Şekil 2.6’da gösterilmiştir. AHSS’in HSS ve UHSS çekme dayanım alanlarını kapladığı görülür AHSS ailesi benzer çekme dayanımlarındaki konvansiyonel HSS’ den daha büyük toplam uzamaya sahiptir (Keeler, 2006).



3. ALÜMİNYUM-ÇELİK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

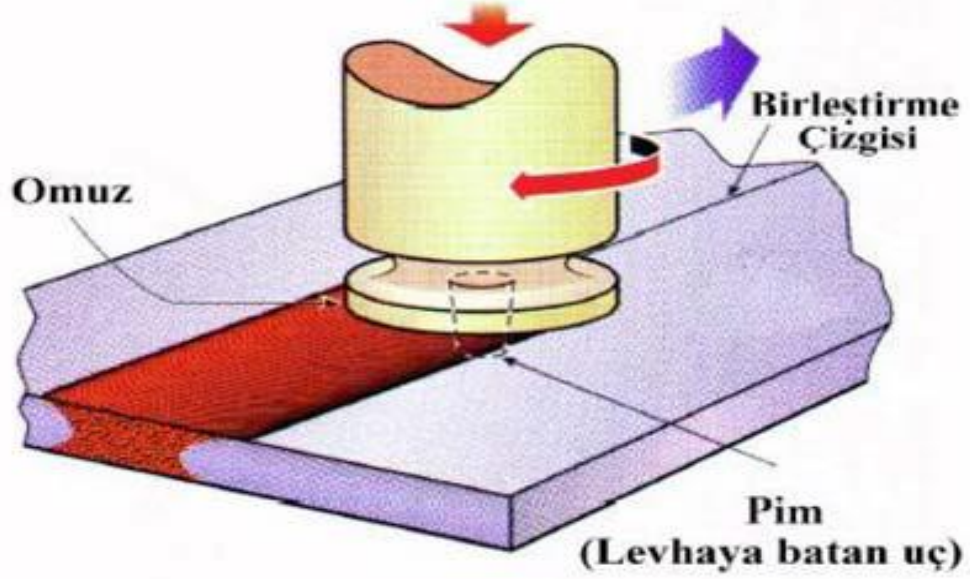
3.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Kaynağı zor olduğu görülen alüminyum alaşımlarında bir çözüm olarak sunulan sürtünme karıştırma kaynağı tekniğinin, herhangi bir çatlak, boşluk veya deformasyon oluşmaksızın kaynaklamayı basitleştirmektedir (Davis ve Thomas, 1996). Uygulanan bu teknikle klasik sürtünme kaynağının türevi olarak katı hal kaynağının avantajlarını sağlamaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağının, iç yapıyı önemli derecede değiştiremediğinden, ergitme kaynağı zor olduğu görülen al-alaşımların alın birleştirilmesi konusunda başarıyla kullanılmıştır. Al-alaşımı levhaların alın ve bindirme kaynaklarında sıvı hal kaynak metotlarından daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir (Sato ve diğ., 2001).

Bu kaynak yöntemi kapsamında kaynaklı malzemelerde ergimenin söz konusu olmadığını belirtmek gerekir. Aynı biçimde pirinç levhaların bindirmek ve alın kaynağının da bu yöntemle başarılı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca bu yöntemde, Mg-alaşımları ile yumuşak çelikler gibi malzemelerin kaynağı çerçevesinde kullanılabilme potansiyeli vardır. Son dönemlerde geliştirilen sürtünme karıştırma kaynağının nokta kaynağı uygulamasının bu yöntemin yeni bir versiyonu olduğu, elektrik ve perçin direnç nokta kaynağına alternatif oluşturduğu görülmektedir (Güçlüer, 2007).

Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanma biçimini Şekil 3.1'de görmek mümkündür. Birleştirilecek olan parçalar, alın altına aralarında boşluk kalmayacak şekilde sabitlenmektedir. Yöntemin uygulama aşamasında iki farklı şekilde olabilmektedir. Parçaların hareketi olabileceği gibi, takımların dönmesi ve ilerleme hareketi mümkündür (Şık ve diğ., 2003).

Pimin batma derinliğini sabit tutacak kuvvet

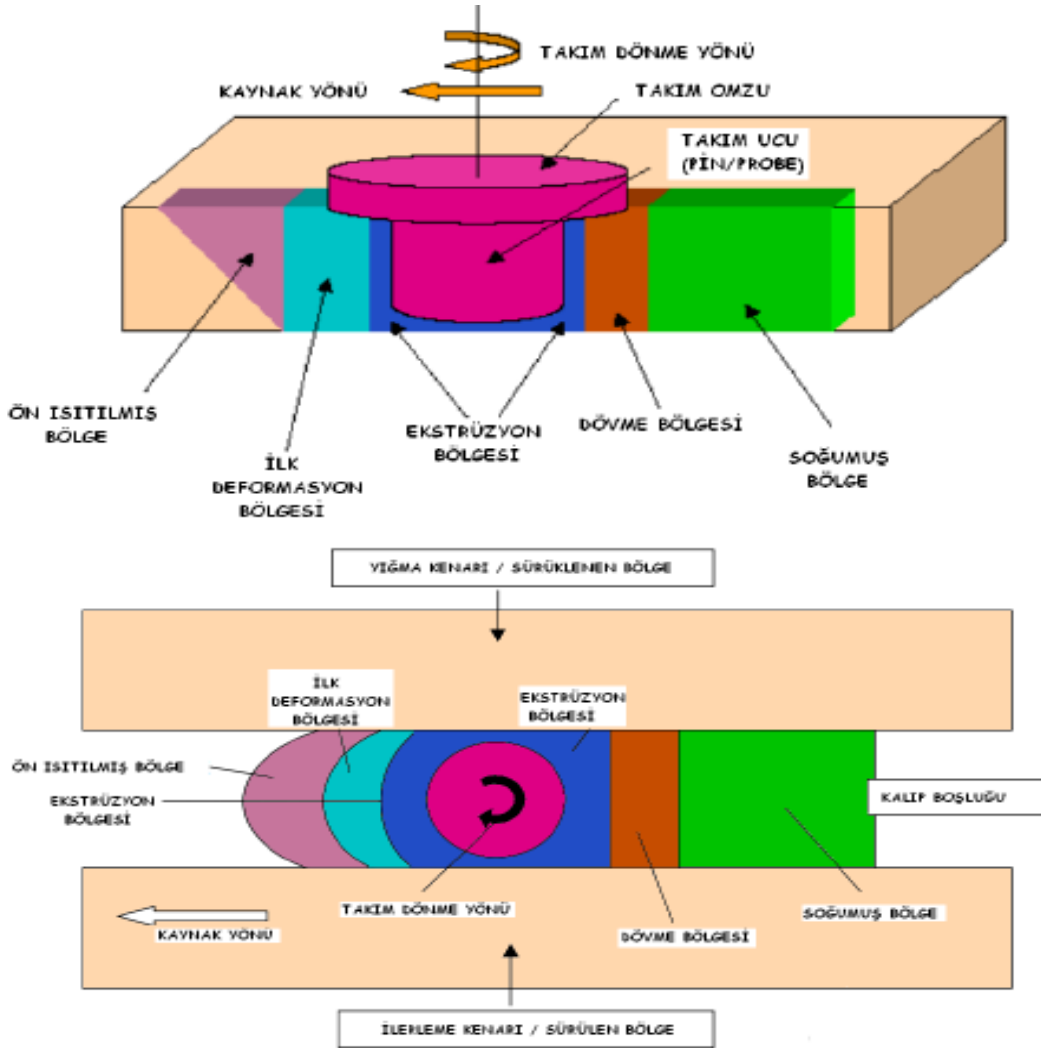


Şekil 3.1. Sürtünme karıştırma kaynağını şematik gösterim (Yıldırım, 2010)

İşlem, kaynak yapılacak olan malzemeden daha sert bir sürtünme aparatının dönen ucuyla kaynak yapılacak olan parçaların birleşme bölgelerinde ısı meydana getirilme prensibine dayanmaktadır (Kurt ve diğ., 2004). Burada hem uç, hem sürtünme aparatından kaynaklı bu sürtünme ısısının, sürtünme aparatın altında ve ucun çevresine plastik bir bölgenin oluşması sağlanır. Ancak ulaşılan sıcaklıkta, malzemenin ergime noktasına ulaşması konusunda yeterli görünmemektedir (Hattingh, 2006).

Sürtünme karıştırma kaynağı kapsamında, kendi etrafında dönen kaynak takımının pin ya da prop şeklinde ifade edilen uç kısmı, birleştirilecek olan metal levhaları birbirlerine temas ettirerek oluşturulmuş olan kaynak hattı üzerinden malzemelere doğru daldırılmasıyla ilk sürtünme kısaca ısınma meydana gelmektedir (Sato ve diğ., 2001). Ardından ısıdan etkilenip yumuşamış parçalara takımın omuz kısmı temas etmektedir. Kaynak için gereken ısı takım omuzuyla birleştirilecek olan levhaların üst yüzeyinin arasında sürtünmeden dolayı oluşmaktadır (Shigematsu ve diğ., 2003).

Bölgesel ısınmayla yumuşadığı görülen pim etrafındaki malzemeler takımın dönme hareketiyle çevrilip, pimin önünden arkasına doğru hareket etmektedir, böylelikle Takımın hareketiyle takımdan kaynaklı oluşan boşluğu doldurmaktadır. Burada, takımın birinci hareketinin ekstrüzyon, ikinci hareketiyse dövme (Bkz. Şekil 3.2). şeklinde ifade edilebilmektedir (Arda, 2003).



Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağının oluşum süreci (Arbegast 2003)

Sonuç olarak bütün bu süreç gerçekleştirildiği zaman ergime olmadan kaynaklı birleştirme gerçekleşmektedir. Ancak önceki çalışmalarda, alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağında, kaynak bölgelerinden alınan değerlerin genellikle 0,6 0, 95 Tm aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple SKK sıcak şekillendirme işlemi şeklinde de sınıflandırılmaktadır. Sıcak şekillendirme işleminde genel olarak yeniden kristalleşme meydana gelmektedir (Attallah ve diğ., 2007).

SKK boyunca sürtünmeden oluşan ısıyla plastik deformasyonun birleşimleri, alüminyum alaşımlarda daima iyi yeniden kristalleşmiş içyapı ile sonuçlanır. Yapılan çalışmalar, oluşan bu yeni iç yapının özellikle SKK'yla birleştirildiği görülen ısı işlem yapılmayan Al-alaşımlarında mekanik özelliklere sebep olduğunu gösterir (Sato ve diğ., 2001).

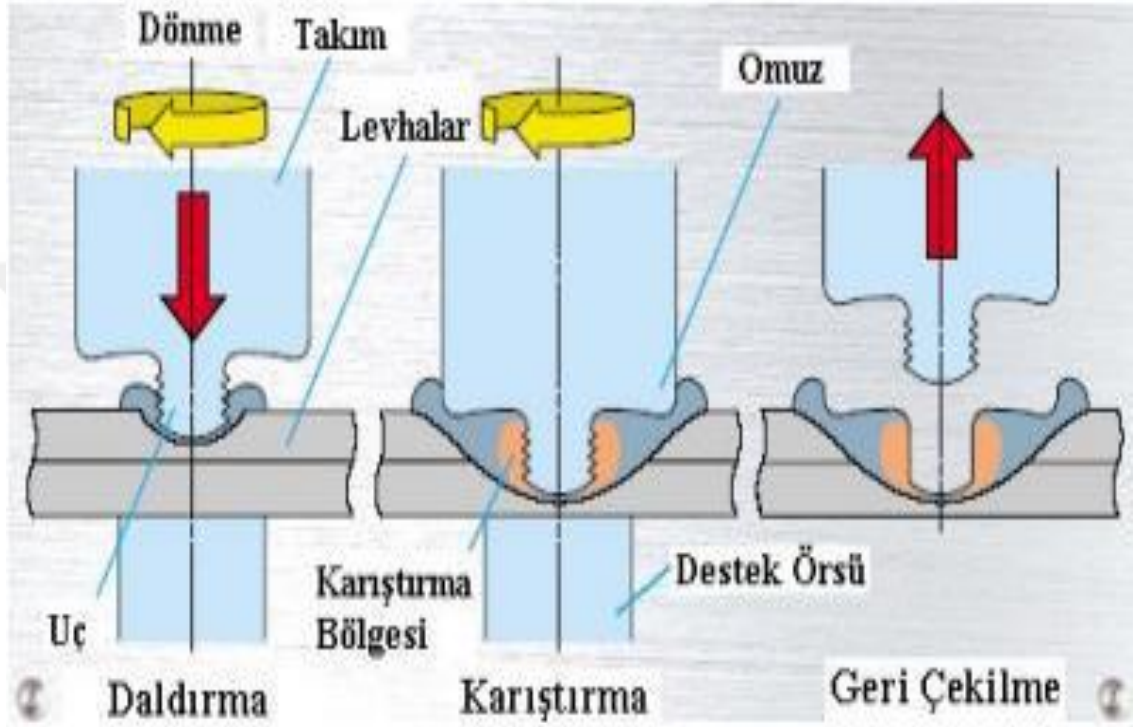
3.2. Sürtünme Nokta Karıştırma Kaynağı (FSSW)

Son dönemlerde alüminyum ve benzer alaşımların kaynaklarında elektrik direnç nokta kaynağı yöntemine alternatif ve FSW yönteminden hareketle geliştirilen sürtünme nokta karıştırma kaynağı (FSSW) yöntemi 1993'de Mazda ve Kawasaki Heavy Industries (KHI) tarafından geliştirilmektedir. Alternatif sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yönteminin ilk defa 2003'de Mazda RX-8 seri üretim otomobilinde yekpare alüminyum arka kapı birleştirmelerinde kullanılmıştır (Ünel, 2016).

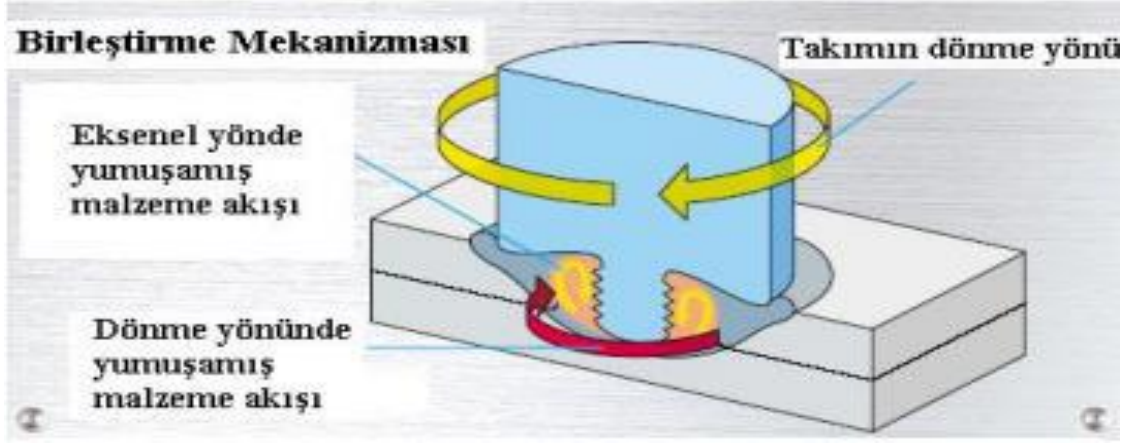
Sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) yönteminden türetildiği görülen sürtünme karıştırma nokta kaynağının son dönemlerde otomobil sektörünün yanında diğer endüstri kollarında da oldukça önemli yeni bir kaynak yöntemi haline gelmiştir. Yöntem birleştirme mekanizmasının her iki yöntemde aynı olduğu ancak aralarında uygulama farklılıklarının bulunduğu görülmektedir. Katı hal kaynak yöntemi olması çarpılmaları minimuma indirmekte ve daha iyi özellikte bağlantılar sağlamaktadır. Yöntemin basit ve çevre dostu oluşu, uygulama esnasında duman ve ışın oluşmama durumu, koruyucu gaz, tel, toz veya elektroda gereksinim duyulmayışı, yatırım maliyetinin düşüklüğü ve önemli oranda enerji tasarrufu sağlaması bunların yanında otomasyona yatkınlığından kaynaklı Amerikan otomotiv endüstrisi konusunda büyük ilgi konusuna dönüşmüştür. Bu konuyu daha fazla geliştirmek için Ford'un yoğun çalışmalar yaptığı bilinmektedir. Bunların yanı sıra FSSW yönteminde kaynak sonrası anahtar deliği olması gibi ve anahtar deliğinde oluşan korozyonla beraber ark kaynağı kadar esnek olmaması ve ince sacların birleştirilmesi kısıtlı olması olumsuz özellikleri olarak sıralanabilir (Mert ve Mert, 2013).

Yöntem uygulandığı zaman ortaya çıkan kaynağın görünmesi, otomotivde sıklıkla kullanılan direnç nokta kaynağına (RSW) benzer. Direnç nokta kaynağı uygulamalarında alüminyum ve alüminyum alaşımları ile ileri yüksek dayanımlı

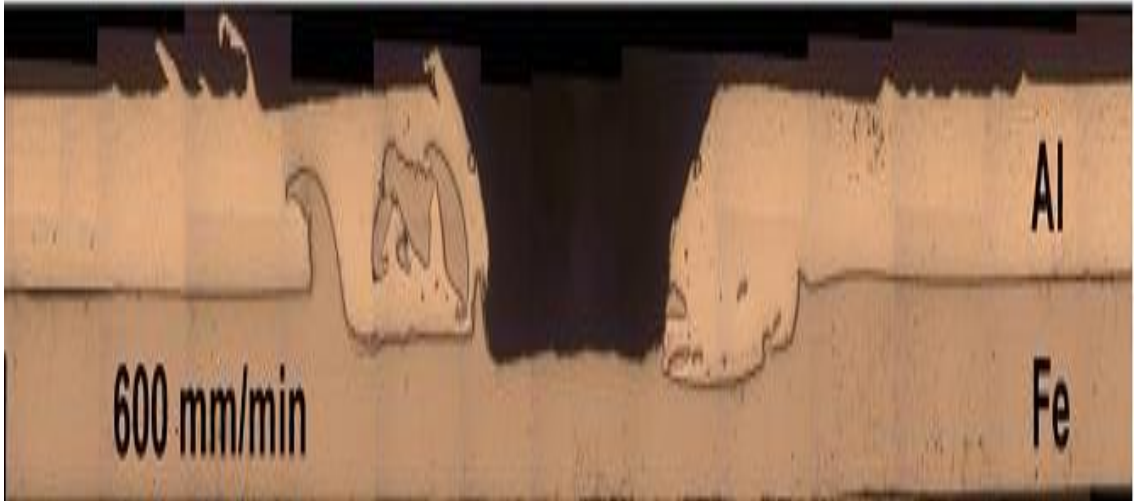
Çeliklerin (AHSS) kaynağında sorun oluşabilir. Bu yeni yöntemle farklı metallerin kaynağı sorunsuz olarak gerçekleştirilebilmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan kaynak takımına benzer bir takım ile dalma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç kademeli son derece basit bir uygulaması vardır (Bkz. Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5).



Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yönteminin prensibi (Mert ve Mert, 2013).



Şekil 3.4. FSSW yöntemi ile birleştirilmiş alüminyum ile çelik levha kesit görüntüsü (Chen ve diğ., 2012)



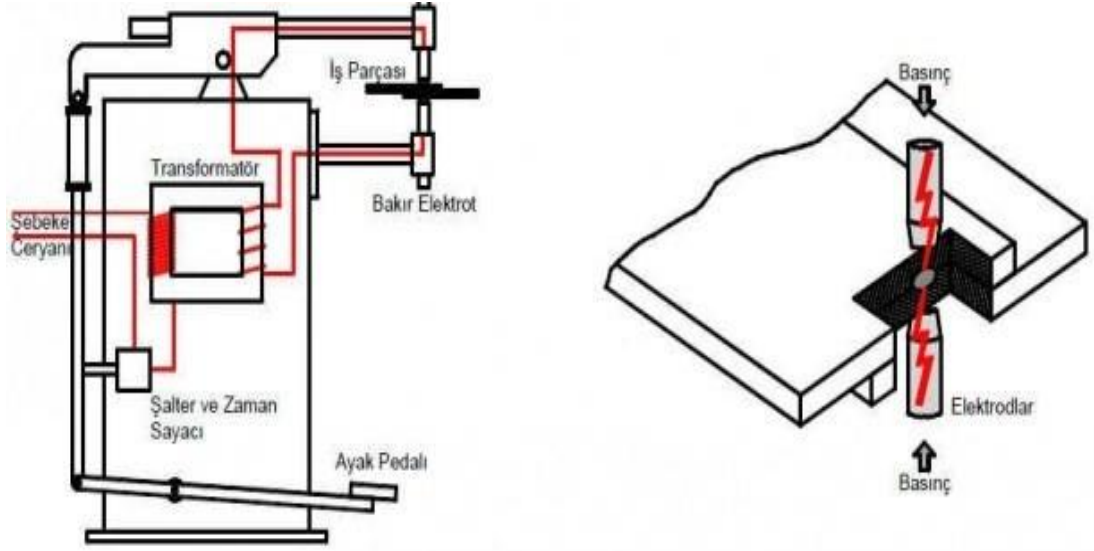
Şekil 3.5. Robotik FSSW uygulanan Mazda RX-8 arka kapısı ve dış panel görüntüsü (Lohwasser ve Chen, 2010)

3.3. Elektrik Nokta Direnç Kaynağı

Elektrik direnç nokta kaynağı, elektrotların arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşın, iş parçalarının gösterdiği dirençle meydana gelen ısı ve yapılan kaynak yöntemini ifade etmektedir. Kaynak edilecek olan parçaların temas yüzeyleri, kısa bir süre tatbik edilen düşük gerilim ve yüksek akım ile ısıtılarak erimiş haldeki kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Elektrik akımı kesilince, erimiş metal hızla soğur ve katılaşır. Bu sırada elektrotlar, kaynak edilen parçaları sıkı bir şekilde tutmaya devam ederler daha sonra geri çekilerek parçayı serbest bırakırlar (Aslanlar, 2016).

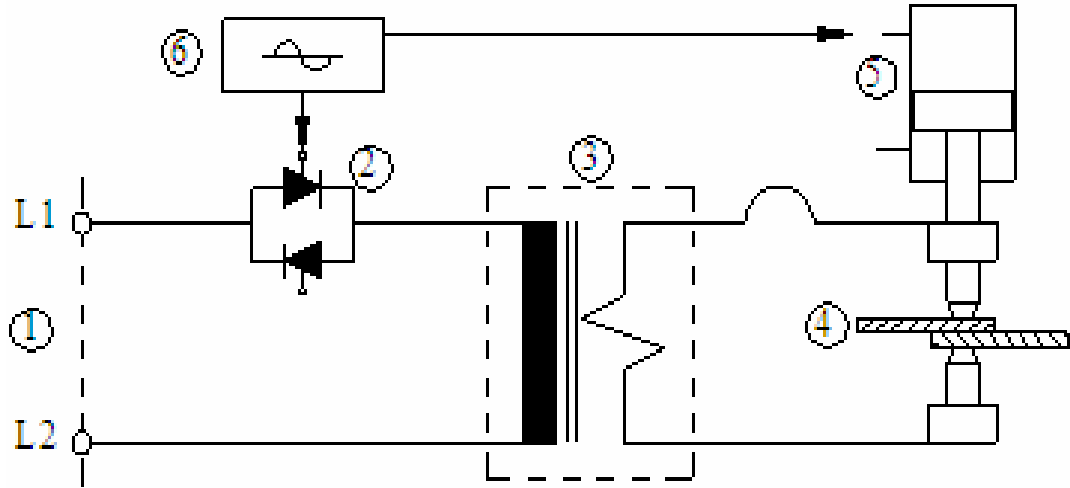
Kaynak işlemi genellikle 1 sn ‘ den daha kısa bir sürede tamamlanır. Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile belirlenir. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi kaynak çekirdeği iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin oval şekilde olduğu görülür. Üstten görünüşü ise elektrot yüzeyinin şeklinde ve yaklaşık aynı boyuttadır.

Kaynak noktaları, parçaların elektrot kuvveti ile çarpılması sonucu kaynak noktasından metalin kıvılcım halinde fırlamasını önlemek için kenarlarından yeteri kadar uzakta olmalıdır. Diğer yandan, paralel akım devrelerinin meydana gelmesini önlemek veya makul bir seviyede tutabilmek için, birbirini takip eden kaynak noktaları ve hatları arasındaki mesafe yeteri kadar büyük olmalıdır. Şekil 3.6 ve 3.7 sistemin prensip şemalarını göstermektedir.



Şekil 3.6. Nokta kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi

Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinesinden sağlanır. Gerekli basınç veya elektrot kuvveti, hidrolik, pnömomatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilir.



Şekil 3.7. Elektrik direnç nokta kaynağı makinesinin şematik görünüşü (Aslanlar, 2016)

- (1) Şebeke bağlantısı
- (2) Akım ayarlayıcı
- (3) Transformatör
- (4) Sekonder devre akım iletimi ve elektrotlar

(5) Kuvvet iletim sistemi

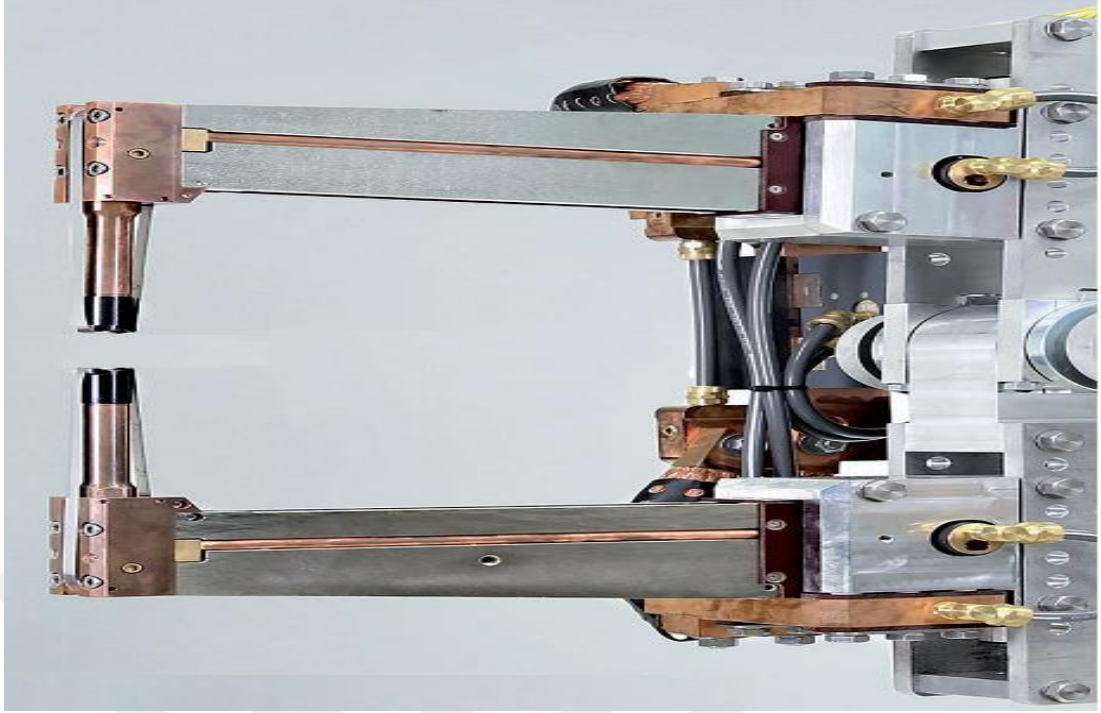
(6) Prozess - Kontrol Cihazı

Nokta direnç kaynağının temel prensibi kısaca; kaynak yapılacak noktadan geçen yüksek elektrik akımı ile eriyen kaynak noktaları birbirlerine kuvvetlice kaynarlar. Burada temel prensip kaynak yapılacak noktadan yeterli sürede yeterli akımı geçirmektir. Çok fazla akım kaynak yapılacak noktada erimeye yol açabilir. Az elektrik akımı ise o noktanın yeterince erimemesini ve dolayısıyla kaynağın gerçekleşmemesine neden olabilir.

3.4. Deltaspot Kaynağı

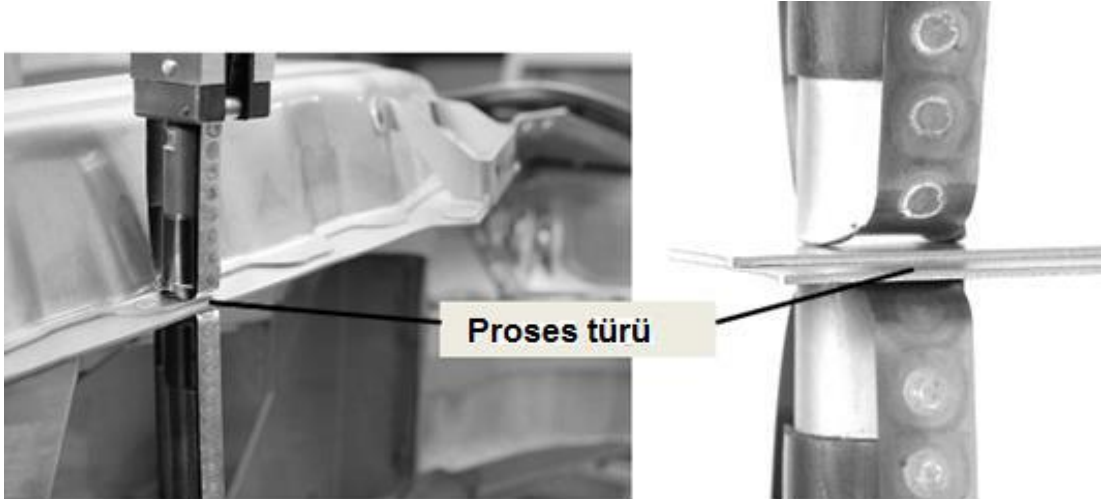
Elektrik direnç kaynağı uzun dönemler endüstride kullanılan ve demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlardan üretilen ince saçların özellikle mutfak, taşıt, ev eşyaları ile mimari dekorasyonda yaygın olarak kullanılmasının temelindeki üstün özellikleri olan kaynak yöntemidir. Öyle ki direnç nokta kaynak yöntemi üstün özellikleriyle düşük maliyetli uzun dönemlerden beri özellikle çelik saçların birleştirilmesi için oldukça yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Bununla birlikte alüminyum saçların verimli olarak birleştirilmesine ihtiyaç artmıştır. Bu tarz uygulamalarda, üreticiler genel olarak daha pahalı olan perçin ve/veya cıvatalı birleştirmeleri tercih etmek durumunda kalırlar. Böyle durumlarda Deltaspot direnç kaynak yönteminin bu zorlukların üstesinden gelen alternatif bir uygulama olduğu görülmektedir (Taban ve Gould, 2011).

Deltaspot yönteminin karakteristiği elektrot ve birleştirilecek olan saçların arasından geçen hareketli proses bandı olan robot kaynak kollardır. Yeni geliştirilen bu kaynak yöntemiyle sadece çelik-çelik ya da alüminyum-alüminyum bağlantılardan ziyade aynı zamanda alüminyum-çelik kaynaklı bağlantıların da oluşturulabildiği görülmektedir (Kascak ve diğ., 2012).



Şekil 3.8. Deltaspot kaynak yönteminde kullanılan kaynak tabancası (Ünel, 2016)

Proses bandının devamlı hareket halinde olması, sabit kaliteli kesintisiz bir prosesi mümkün hale getirmektedir. Böylelikle uzun elektrot ömür, tam kalite kontrolü ile yüksek hassasiyet sağlamaktadır. Bununla birlikte proses bantları, elektrot ve birleştirilen malzemeleri korumasının yanında, sıçrama oluşumu önlenmektedir (Şekil 3.9).

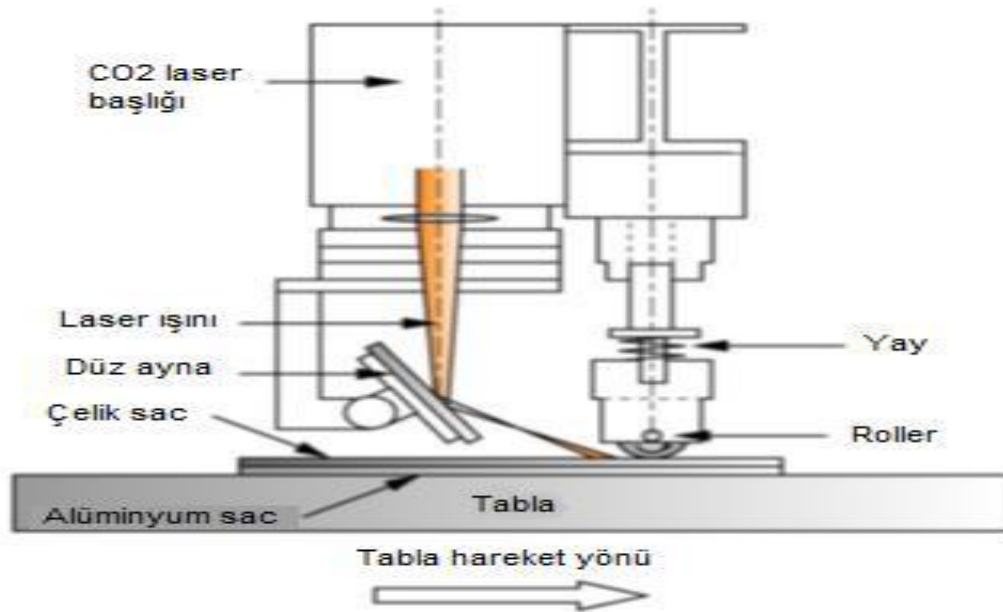


Şekil 3.9. Deltaspot kaynağı proses bandı (Kascak ve diğ., 2012)

Deltaspot yönteminde proses bandının kullanılmasıyla kaynak esnasında ısı dengesinin kontrolü sağlanmaktadır. Bu durum da daha kaynak akımının düşüklüğüne, ısı girdisinin kontrollü olmasını sağlamaktadır. Kaynak noktalarının şekli ve konumunu da kontrol etme olanağı tanır. Böylelikle enerji tasarrufu sağlanabilir.

3.5. Laser Roll Kaynağı

Alüminyum ve çeliğin birleştirilmesinde yaşanan güçlük, 2002’de Japon, M. Kutsuna, M. Rathod ve A. Tsuboi tarafından hibrit kaynak yöntemi olduğu kabul edilen Laser Roll Kaynağının geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem 2.4 kW CO₂ laserle birleştirilecek çelik-alüminyum bindirme konfigürasyonunda tablaya sabitlenmesinin ardından, alüminyumun laserle ısıtılırken paslanmaz çelik (AISI 304) bir roller tarafından alüminyum üzerine baskı yapılmasıyla gerçekleştirilir. Laser ısıtma kısa süre içinde alüminyum alaşımının ergiyerek difüzyon olmasını sağlamaktadır. Bu etkileşim alüminyumla çelik arasında bir ara tabaka oluşumunuyla sonuçlanmaktadır. Sıcaklık 1200°C’nin altında olduğu zaman demir bakımından zengin (Fe-Rich) intermetalik bileşiklerin (FeAl ve Fe₃Al) oluşumuna teşvik edilmektedir. Roll baskı kuvveti 150 ile 202 MPa aralığında değişebilmektedir (Ozaki ve Kutsuna, 2012).

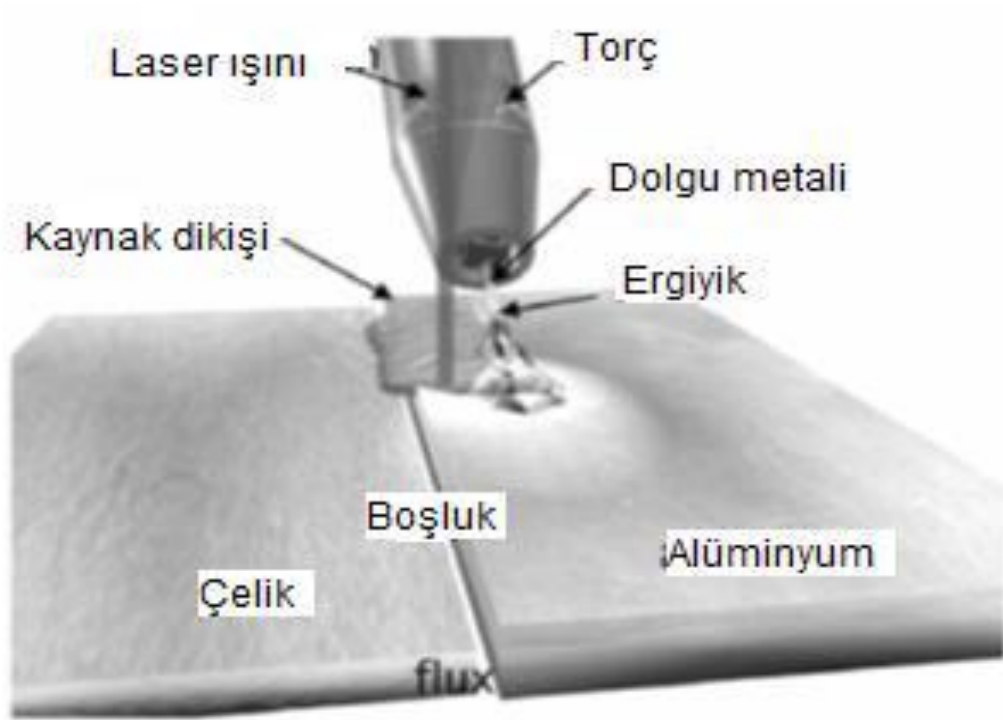


Şekil 3.10. Laser Roll kaynak prosesinin şematik gösterimi (Ozaki ve Kutsuna, 2012)

3.6. Laser-MIG Hibrit Kaynağı

Laser ışını ile elektrik ark kombinasyonunun, laser kaynağına göre daha avantajlı kaynak birleştirmeleri oluşturduğu uzun yıllardır bilinir. Bu procest kapsamında hem laser hem ark aynı kaynak havuzunda görev alır ve bu durum da daha yüksek hız, hatta daha çok nüfuziyet ve lasere göre daha yüksek tolerans sağlar. Laser-MIG hibrit kaynağının laser kaynağında göre daha düşük enerji ihtiyacı olan, yüksek, ucuz tamamlanma oranlarına sahip bir yöntemdir. Hibrit Laser-MIG kaynağının bu iki yöntemin ayrı uygulamalarında güçlükleri de ortadan kaldırdığı görülmektedir. Laser kaynağında göre avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

1. Düşük yatırım maliyeti, % 30-40 daha düşük enerji ihtiyacı,
2. Yüksek kaynak hızı,
3. Kaynağın öncesinde ağız hazırlama ihtiyacının ortadan kaldırılması,
4. Kaynak dikiş kalınlığının kontrol edilebilmesi,
5. Dolgu metaliyle beraber metalürjik değişkenlerin kontrol edilmesi,
6. Düşük malzeme sertleşmesi,
7. Geliştirilmiş prosesler,
8. %50'ye varan enerji tasarrufuyla yüksek elektrik verimliliği (Thomy ve diğ. 2013).



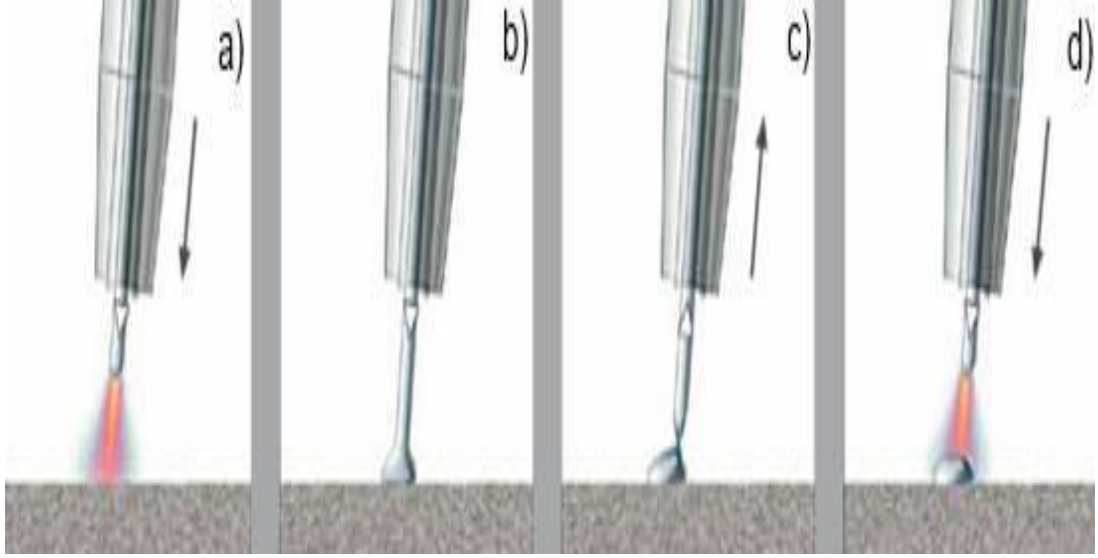
Şekil 3.11. Hibrit Laser-MIG kaynak prosesi (Ünel, 2016)

3.7. Cold Metal Transfer (Soğuk Metal Transferi) Yöntemi

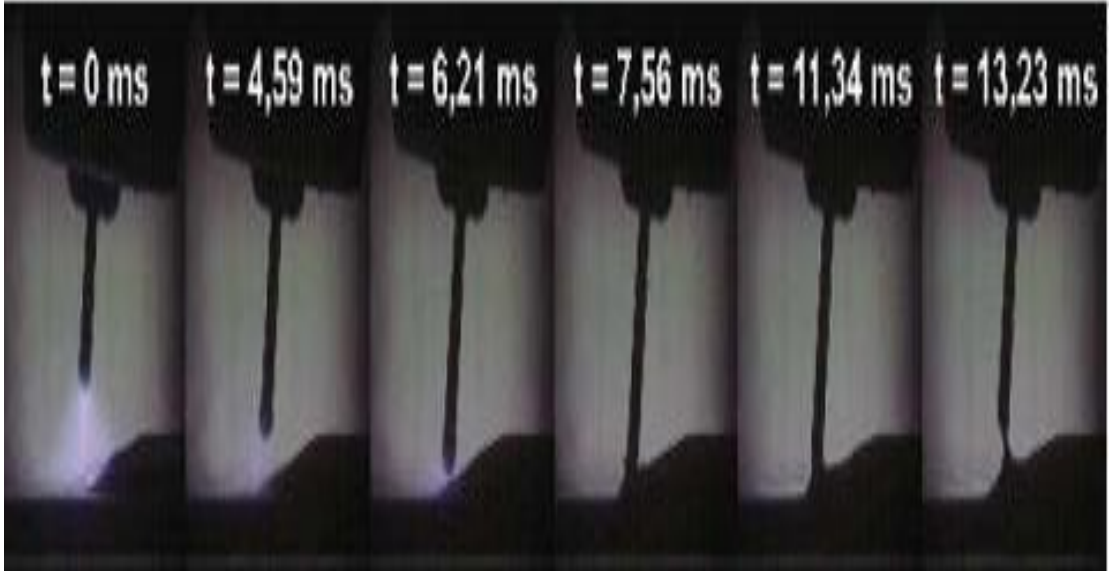
Soğuk kaynak prosesi (CMT) 2004’de Fronius’un geliştirdiği ve kaynak ekipmanıyla uygulaması anlamını taşıyan kaynak teknolojisine yenilikler getiren uygulamaya verilen isimdir. Geleneksel “MIG/MAG” kaynağına göre soğuk olduğu görülen prosesle düşük ısı girdisiyle diğer yöntemlerle kaynak edilmesi güç olduğu görülen demir dışı metallerin kaynağı mümkündür. CMT prosesi günümüze kadar bilinmeyen ve tamamıyla yeni bir yöntem olmamakla beraber gaz tungsten ark kaynağı (GMAW)’nın limitlerini genişleten yeni bir uygulama alanı oluşturmuştur. Alüminyumun çeliğe ark kaynağıyla birleştirilmesini ilk kez tekrar edilebilen bir tutum gelişmiştir. Bazı metallerin kaynağında uygulamalarda devamlı bir ısı girdisinin karşısında kaynak banyosunda çukurlaşma, yetersiz vee sıçrantı kaynak bağlantıları gibi hatalardan kaçmak için düşük sıcaklıklar gerekir. Bunun karşısında CMT yönteminin düşük ısı girdisi sağlamasıyla bu tarz sorunlardan kaçmak mümkün görünmektedir. “MIG/MAG” yöntemiyle karşılaştırıldığında yöntemin halen soğuk bir yöntem olduğunu söylemek mümkündür (Rosado ve diğ., 2008).

CMT yönteminin ısı girdisinin daha düşük olduğu görülen gazaltı kaynak yöntemi şeklinde tanımlandığı görülmektedir. CMT kaynağıyla enerji girdisinin %30 oranında azaltıldığını söylemek mümkündür. Bu durum da kaynakta düşük çarpılma ile yüksek hassasiyete yol açmaktadır. Geleneksel yöntemlerde tel, kısa devre oluşturuncaya dek ileri tarafa hareket ettirilmektedir, Bu sırada kaynak akımı yükselmekte ve ark oluşması için kısa devrenin tekrar açık devre olması sağlanmaktadır. CMT yöntemindeyse ergiyen elektrot damlası elektrottan ayrılma prensibi tamamen yeni bir teknoloji olarak görülmektedir. Bu yöntem kapsamında 70 hertz'lik bir osilasyonla tel beslemesi yapılmakta ve bu şekilde tel iş parçasına doğru itilmektedir. Ardından geri çekilirken bir dizi sıcak-soğuk-sıcak-soğuk çevrim oluşmaktadır. Bu hareketle birlikte geleneksel yöntemlerde daha yüksek akımın çekilişi ve devamlı tel besleme sonucunu oluşturan yüksek ısı girdi ve sıçrıntı "CMT" yönteminde elimine edilmektedir (Rosado ve diğ., 2008).

CMT yöntemi geleneksel MIG/MAG kaynağına göre daha kararlı ark sağlamak ve eksiksiz proses regülasyonu sunmaktadır. Sıcak ve soğukun devamlı değişmesi prensibiyle uygulandığı görülen bu teknikte ark yanma fazında dolgu malzemeleri kaynak banyosuna hareket ettirilmektedir (Bkz. Şekil 3.12 a), sıcak yöntem). Dolgu malzemelerinin kaynak banyosuna daldırılmasıyla ark sönmekte ve kaynak akımı azalmaktadır (Şekil 3.12 b), soğuk yöntem). Tellerin saniyenin doksanda biri süresinde geriye doğru hareket etmesi, kısa devre sırasında damlacık transferine yardımcı olmaktadır (Şekil 3.12 c), soğuk yöntem). Telin hareket yönü tersine çevirilmekte ve yönteme yeniden başlanmaktadır (Şekil 3.12 d), sıcak yöntem). Şekil 3.13'deyse yöntemin akışı milisaniye zaman diliminde görülmektedir.



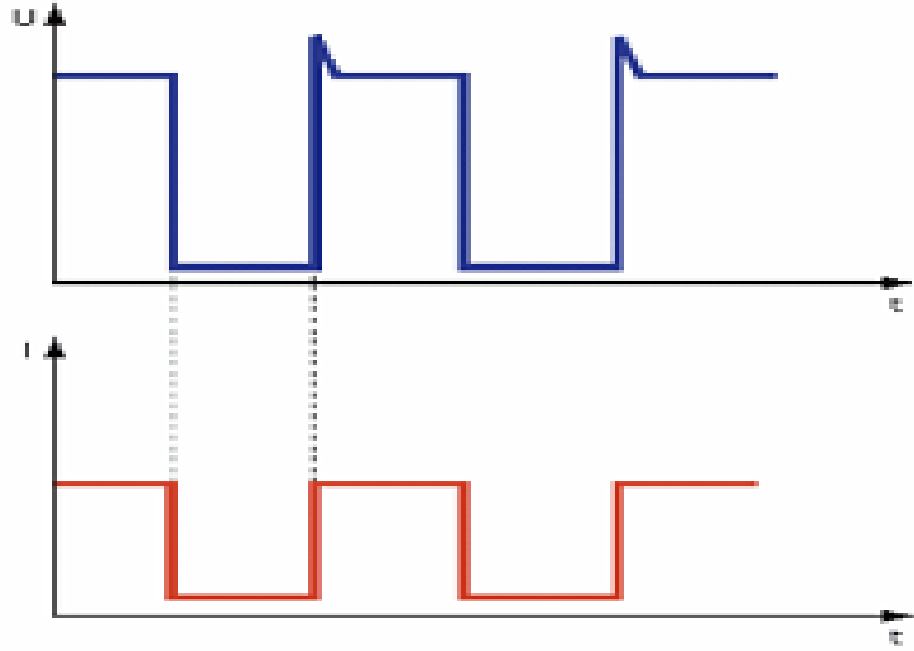
Şekil 3.12. CMT yönteminin aşamaları (a-d) (Ünel, 2016)



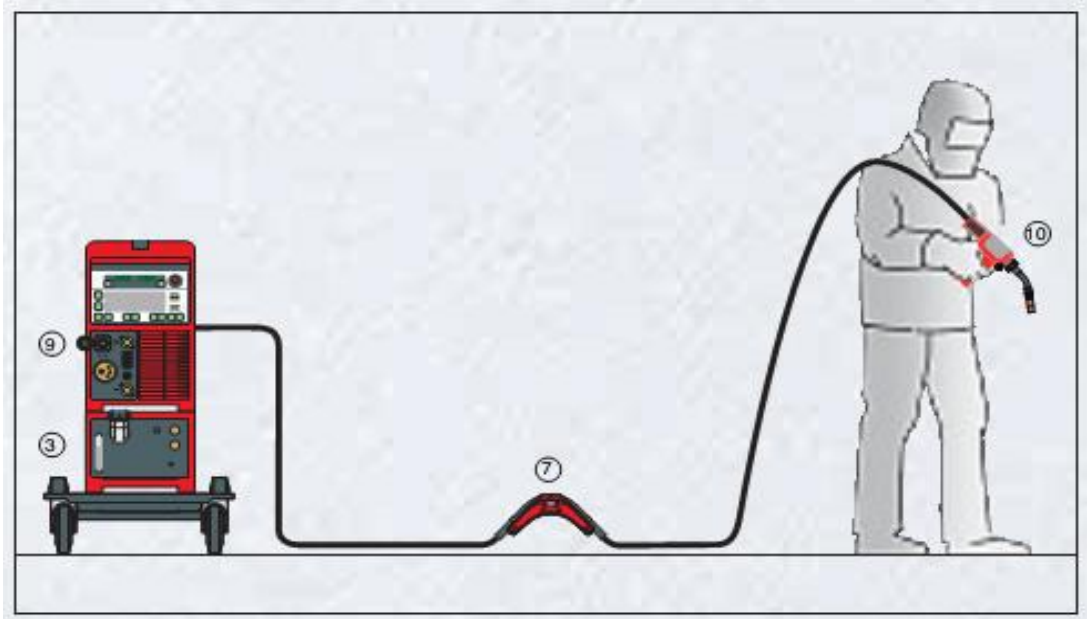
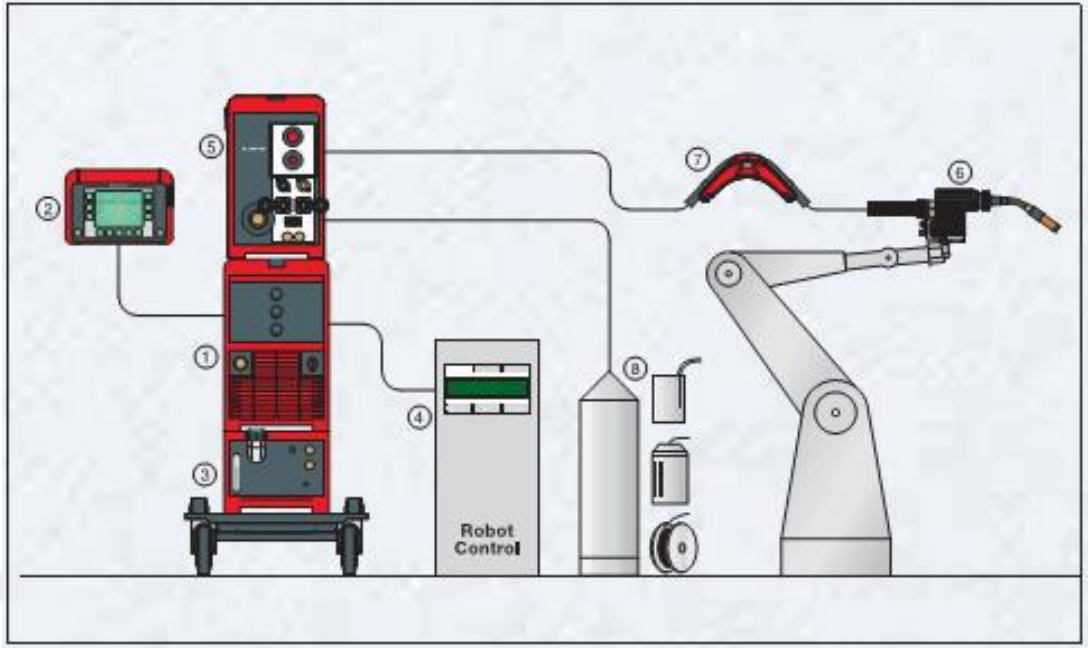
Şekil 3.13. CMT yönteminin milisaniye zaman diliminde akışı (Rosado ve diğ., 2008)

Geleneksel MIG/MAG yöntemiyle CMT yöntemini birbirlerinden ayıran üç temel özellik bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, entegre tel hareketleridir kısacası tel beslemesinin doğrudan kaynak yönteminin içinde olduğu görülmektedir. Dijital proses regülasyonu bir kısa devre algılamakta ve teli saniyede 90 defaya kadar geri çekip damlacık transferine yardımcı olmaktadır. Geleneksel yöntemlerde tel besleme hızı sabittir veya önceden belirlenmiş olan zaman cetveline göre değişebilmektedir. CMT yöntemindeyse tel besleme hızı ve yönü kısa devrenin oluşması ve açık duruma gelmesiyle kontrol edilmektedir. Tel hareketleri için daha önceden

ayarlanmış olan bir zaman çizelgesi yoktur. Bu yöntem çerçevesinde tel hareketiyle kaynak banyosunun arasında doğrudan bir etkileşim olduğu görülür. Bu nedenle tel hareketinin tam anlamıyla kısa devrenin oluşumuna bağlı olduğundan telin ortalama osilasyon frekansı üzerinde durulur. Bu değerin yaklaşık olarak 70 Hertz civarında olduğu kabul edilmektedir. Şekil 3.14 ve 3.15’de robotik ve manuel uygulamalarda CMT sistem konfigürasyonu gösterilmiştir (Ünel, 2016).



Şekil 3.14. CMT yönteminde akım ve gerilimin zamanla ilişkisi (Ünel, 2016)



Şekil 3.15. Robotik ve manuel uygulamada CMT sistem konfigürasyonu (Ünel, 2016)

1. TPS 3200/4000/5000 CMT güç kaynağı,
2. RCU 5000'i uzaktan kumanda ünitesi,
3. FK 4000 soğutma ünitesi,
4. Robot arayüzü,
5. VR 7000 CMT Tel besleyici,
6. Robot,
7. Tel tamponu,

8. Tel desteği,

9. TransPuls sinerjik 2700 CMT güç kaynağı,

10. Su soğutmalı CMT uygulaması için geliştirilmiş torç

Ark boylarının algılanma durumu ve ayarlanması mekanik anlamda gerçekteği için ark, iş parçasının yüzey kalitesinden ya da hangi hızda kaynak yapmak istendiğinden bağımsız bir şekilde daima kararlı kalmaktadır. Böylelikle CMT her yerde ve her konumda uygulanmaktadır. Telin geriye doğru hareketinin kısa devre sırasında damlacık transferine yardımcı olmaktadır. Kısa devre kontrol edilebilir ve akım düşük seviyede tutulmaktadır. Bunun sonucundaysa çapaksız metal geçişi gerçekteşmektedir (Rosado ve diğ., 2008).

3.8. Konuyla İlgili Daha Önceden Yapılmış Çalışmalar

Yıldırım (2010), yaptığı çalışmada uzay sanayi ve otomotiv sanayinde yeni bir kaynak metodu olan “Sürtünme Karıştırma Kaynağı” yönteminin 3000 serisi Alüminyum alaşımlarında yorulma davranışı incelenmiştir. Bu amaçla tek eksenli yorulma test cihazı mevcut sistemler baz alınarak tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Kaynağın uygulama yönteminde teknolojik eksikliklerden kaynaklanan sapmalar göz önüne alındığında sonuçlar bu kaynak metodunun 3000 serisi alüminyum alaşımlarında başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir.

Mert ve Mert (2015), sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin otomotiv sektöründeki yerini incelenmişlerdir. Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminde meydana gelen kaynağın görünüşü, otomobil gövdelerinin montajı için yaygın olarak kullanılan DNK yöntemine benzemektedir. Sürtünme karıştırma nokta kaynak uygulaması sırasında malzemede ergime olmayışı, çarpılmaları minimuma çektiğinden ve daha iyi özellikte bağlantılar sağladığından, yöntemin basit ve çevre dostu olmasından, uygulanması sırasında duman ve ışın oluşmamasından, koruyucu gaz, toz, tel veya elektroda gereksinim duyulmamasından, yatırım maliyetlerinin düşük ve önemli derecede enerji tasarrufu sağlamasından, ayrıca otomasyona da yatkınlığından dolayı dünya çapındaki otomotiv firmalarının dikkatini üzerine çektiği görülmektedir.

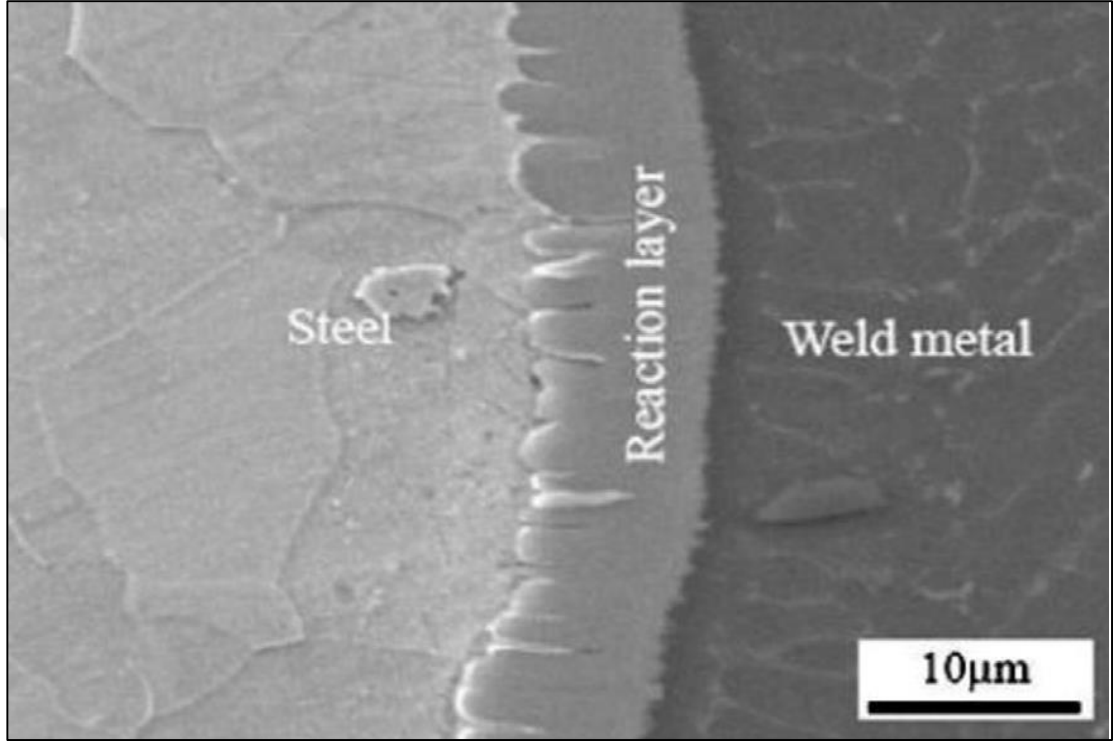
Ünel (2016) “CMT-MIG Kaynaklı Alüminyum ve Çelik Bağlantılarının Özellikleri Ve Optimizasyonu” başlıklı tez çalışmasının sonucunda CMT yöntemi ile

birleştirilmiş çelik-alüminyum alaşımına ait çekme test sonuçları temel alınarak yapılan analizle optimum kaynak parametreleri 3-4 m/dak tel besleme hızı, 0-1 mm elektrot besleme mesafesi, 8-10 mm/s kaynak hızı değerleri olarak elde edilmiştir. Mukavemet, intermetalik tabaka kalınlığı ve yorulma testi sonuçları arasındaki ilişki incelendiğinde bu iki metalin belirtilen proses parametreleri ile uygun şekilde birleştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çavuşoğlu Ve Özden (2014) yaptıkları çalışmada, otomobil karoserinde yaygın olarak kullanılan 1.2 mm kalınlığında düşük karbonlu çelik (DC04) ile 2 mm kalınlığında alüminyum alaşımı (6061-T6) sac levhaların lazer bindirme kaynak bağlantılarını araştırılmışlardır. Ayrıca lazer bindirme kaynak bağlantılarının mekanik ve metalürjik özellikleri incelenmişlerdir. Bu çalışmada gerçekleştirilen mekanik ve metalografik deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir: Çelik-alüminyum (alüminyum üzeri çelik) lazer bindirme kaynaklı bağlantılarında, lazer kaynak parametrelerine bağlı olarak ısı girdisinin artması dolayısıyla nüfuziyet derinliklerinin arttığı görülmüştür. Çelik-alüminyum malzemelerin lazer bindirme kaynağında (alüminyumun altta olduğu bağlantı tipinde) alüminyumda elde edilen nüfuziyet değerinin artması kaynak dayanımını düşürmektedir. Bu sonuç çekme-makaslama deneyleri yapılan kaynaklı parçaların nüfuziyet incelemelerinde doğrulanmıştır.

Malyer (2010), Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen 5000 Serisi Alüminyum Alaşımlarında Kaynak Parametrelerini incelediği tez çalışmasında, “AA5083-H113” alüminyum alaşımı levhalar kullanmıştır. Kaynak kalitesi, iç yapı incelemesi, mikro sertlik ölçümleri ve çekme deneyi yapılarak belirlenmiştir. Kaynak hızı ve takım devrine bağlı olarak, kaynak bölgesinin iç yapısı incelenmiş ve bu değişimin kaynak performansını ve alüminyum alaşımlarının korozyon sonrası mekanik özelliklere nasıl etkide bulunduğu araştırılmıştır. Araştırma sonucunda kaynaklı numunelerde herhangi bir çarpılma ya da gözle görülür herhangi bir kusura rastlanmamıştır. Ayrıca kaynak merkezinden ölçülen sertlik değerleri, kaynak parametrelerine göre değişiklik gösterse de en yüksek sertlik değerinin esas malzemenin sertlik değerinden yüksek olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni kaynak esnasında meydana gelen dinamik yeniden kristalleşmedir.

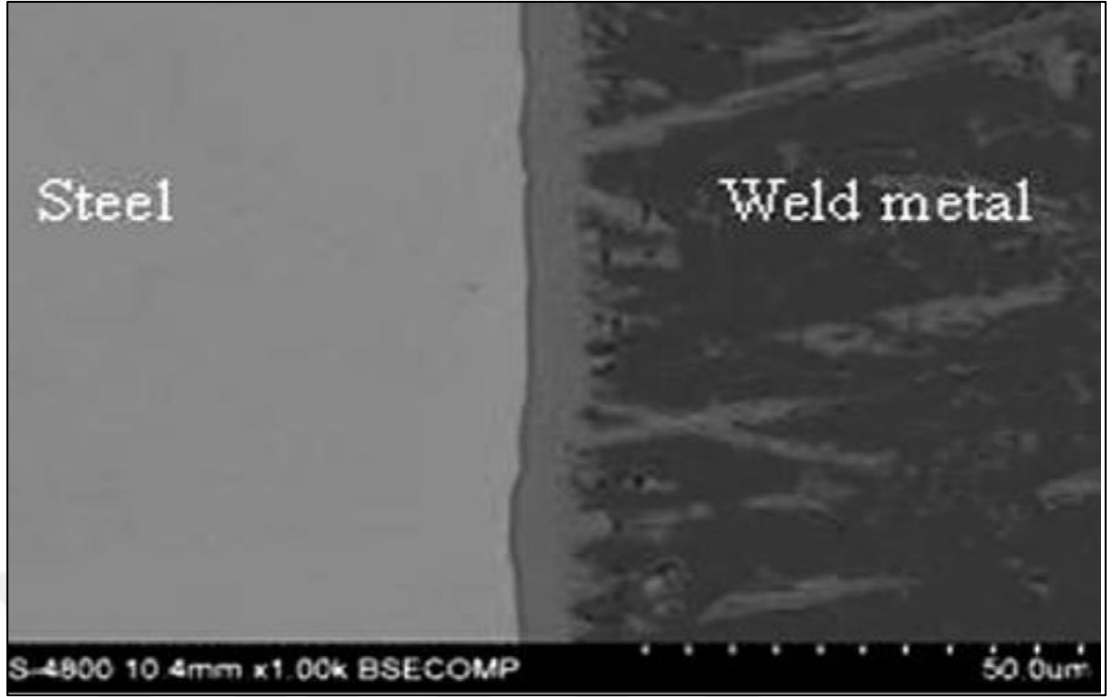
Zhang ve diğ. (2008), çinko kaplı çelik (Q235) ile 6061 alaşımı alüminyumunu kaynak etmişler ve oluşan intermetalik tabaka yapısını incelemişlerdir. İntermetalik tabakanın ağırlıklı olarak $FeAl_3$ fazında olduğunu tespit etmişlerdir ayrıca CMT kaynak yönteminin farklı metaller arasındaki intermetalik tabaka kalınlığını azaltarak bindirme kaynak dayanımını artırdığını tespit etmişlerdir. Şekil 3.16'da gösterildiği gibi dış şekilli intermetalik tabaka ağırlıklı olarak oluşmuştur.



Şekil 3.16. Dış şekilli intermetalik tabaka

Benzer şekilde Cao ve diğ. (2013) Q235 çelik ve Al6061-T6 farklı metal kaynaklarını CMT yöntemi ile gerçekleştirmiş ve kaynak dayanımının Al6061-T6 ve Al6061-T6 aynı metal kaynak dayanımı ile aynı dayanıma sahip olduğunu tespit etmişlerdir ayrıca farklı metallerin CMT ile kaynak edilmesinde kaynak dayanımının büyük oranda intermetalik tabaka kalınlığına ve alüminyuma ait ısı etkili bölgedeki yumuşamaya bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

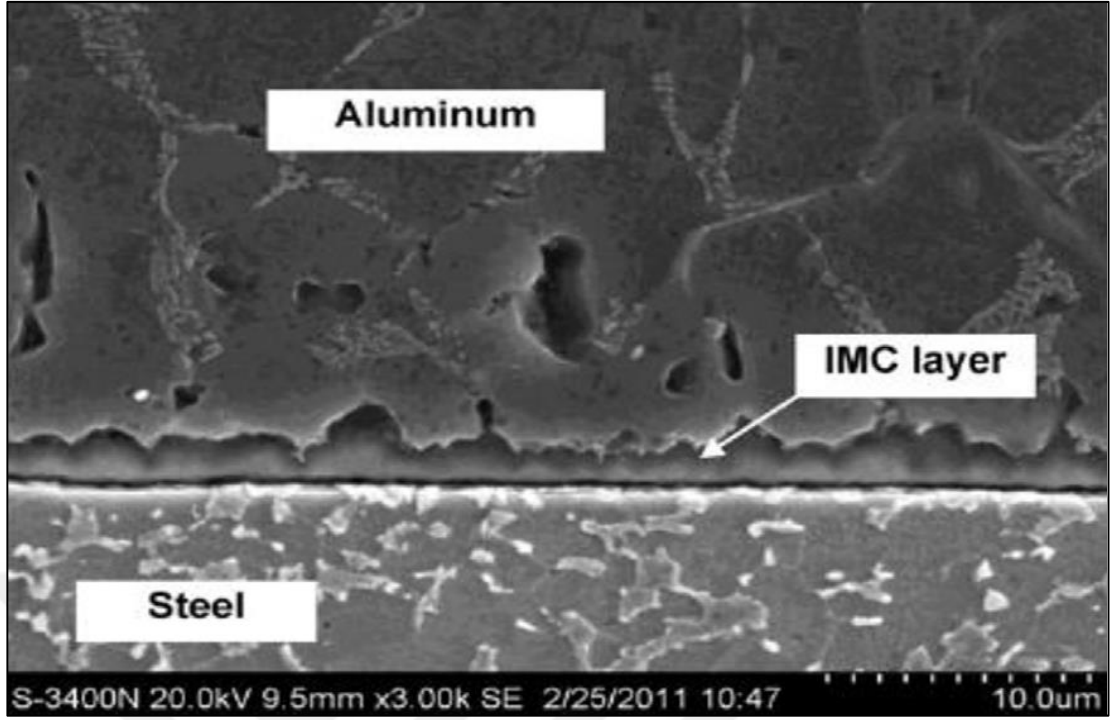
Zhang ve diğ. (2009), Sıcak daldırma galvanizli çelik ve alüminyum 1060 alaşımını CMT yöntemi ile kaynak etmişler ve incelemeleri sonucunda intermetalik tabakanın genel olarak Fe_2Al_5 ve $FeAl_3$ fazlarından oluştuğunu tespit etmişlerdir. Şekil 3.17 bu birleştirmeye ait metaller arası geçiş bölgesinin SEM görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 3.17. Çelik - kaynak metali geçişine ait SEM görüntüsü

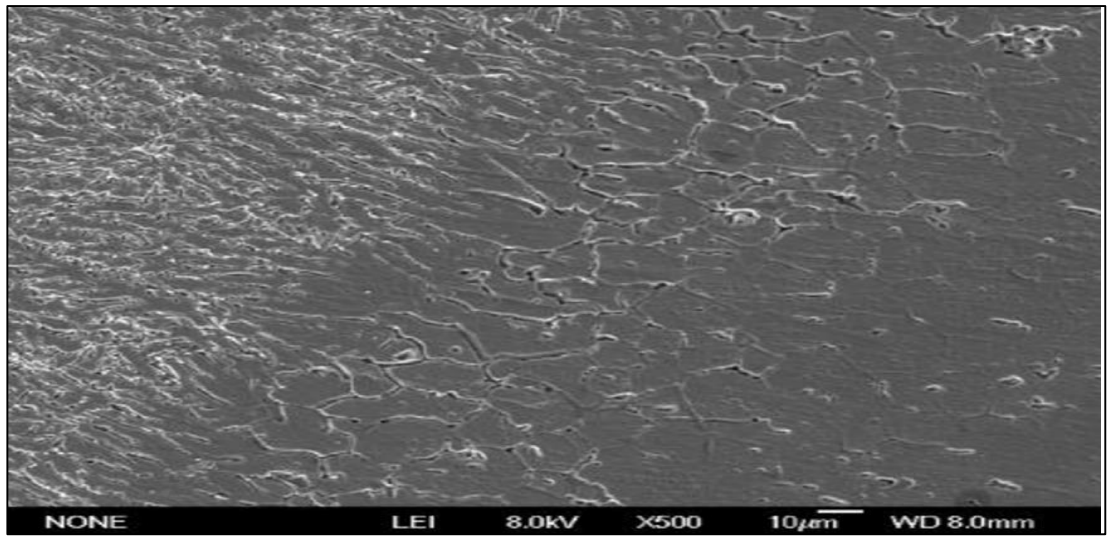
Bu çalışma sonucunda intermetalik tabaka kalınlığının 5 mikronun altında tutulmasının sağlam ve güvenilir bir bağlantı elde etmeyi garanti altına aldığı tespit edilmiştir. Bu durumda bağlantının dayanımı 83 Mpa ya ulaşmıştır.

Jian Lin ve diğ. (2013), Alüminyum AA6061 ile düşük karbonlu çeliğin CMT ile kaynak edilmesini incelemiş ve çeliğin yüzeyinde bulunan çinko kaplamanın kaynağın kayma dayanımına büyük bir etkisi olduğunu tespit etmiştir. Şekil 3.18 bu bağlantıya ait intermetalik tabaka SEM görüntüsünü göstermektedir.



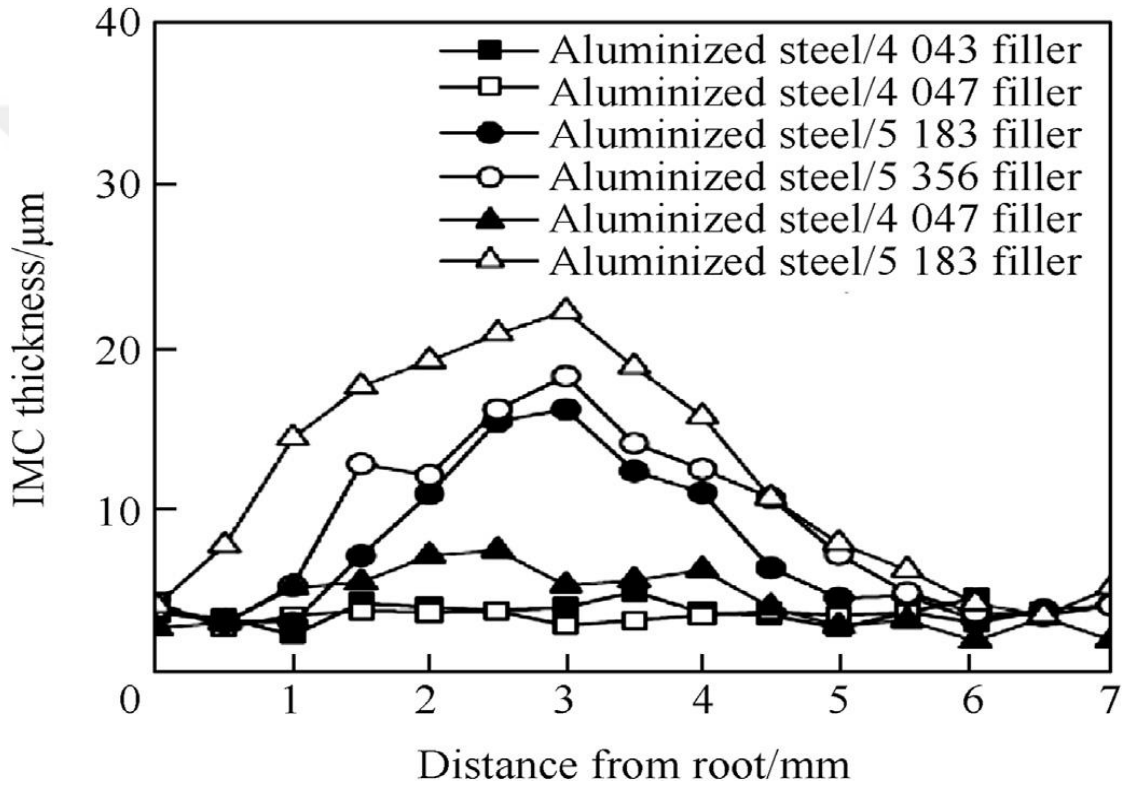
Şekil 3.18. Çelik – Alüminyum kaynağına ait intermetalik tabaka SEM görüntüsü

Cao ve diğ. (2014), Alüminyum AA6061-T6 ile galvanizli çeliği CMT spot plug yöntemi ile kaynak etmişler ve tel besleme hızının düzgün kontrol edildiği takdirde sağlam bir birleşmenin olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada intermetalik tabaka kalınlığının 5-8 mikron arasında ve ağırlıklı olarak FeAl₃ fazından oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ergime bölgesine ait görüntü şekil 3.19'daki gibidir.



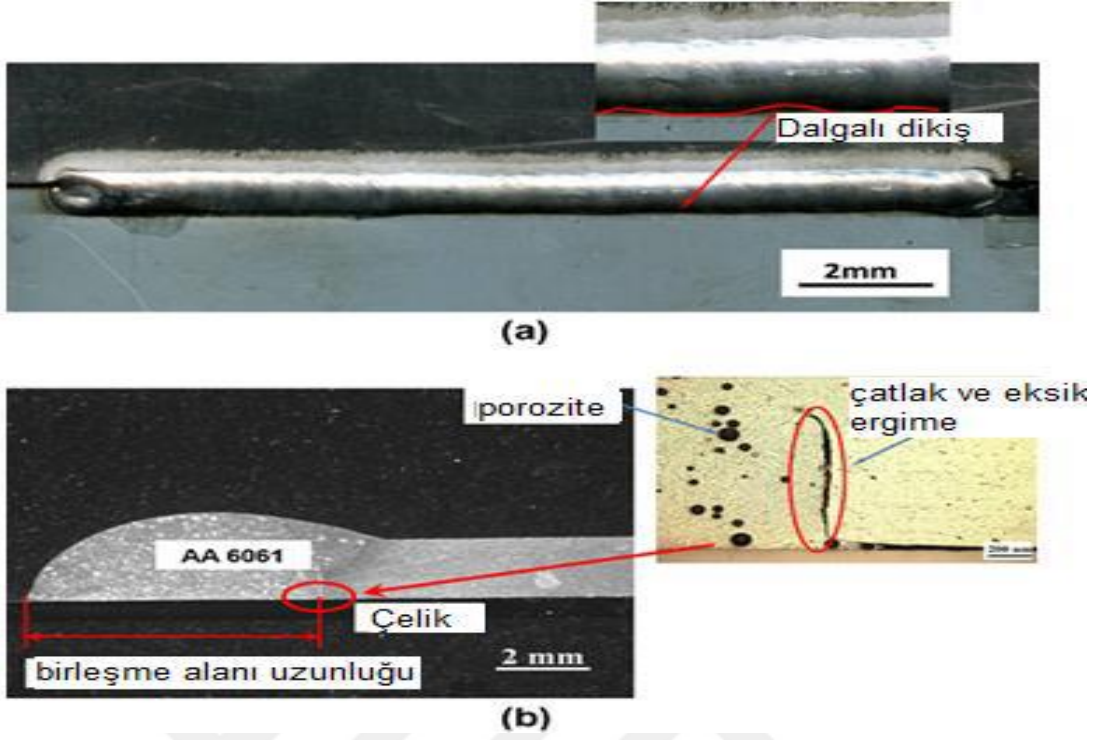
Şekil 3.19. Çelik – Alüminyum spot plug kaynağına ait erime bölgesi

Jian Lin, Minjung Kang ve Cheolhee Kim (2015), Sıcak daldırma galvanizli çelik sac ve alüminyum 5052 alaşım CMT bindirme kaynağında kaynak telinde kullanılan silisyum oranının kaynak kabiliyetine ve intermetalik tabaka kalınlığına etkisini incelemiştir. Deneyler sonucunda Al4043 ve Al4047 tel kullanıldığında Fe₂Al₅ fazının oluşumunun engellendiği ve düzgün bir intermetalik tabaka oluştuğu görülmüştür. Çekme testi sonucunda numunelerin alüminyuma ait IEB den hasar aldıkları görülmüştür. Şekil 3.20 kullanılan kaynak tellerine göre intermetalik tabaka kalınlığının dağılımını göstermektedir.



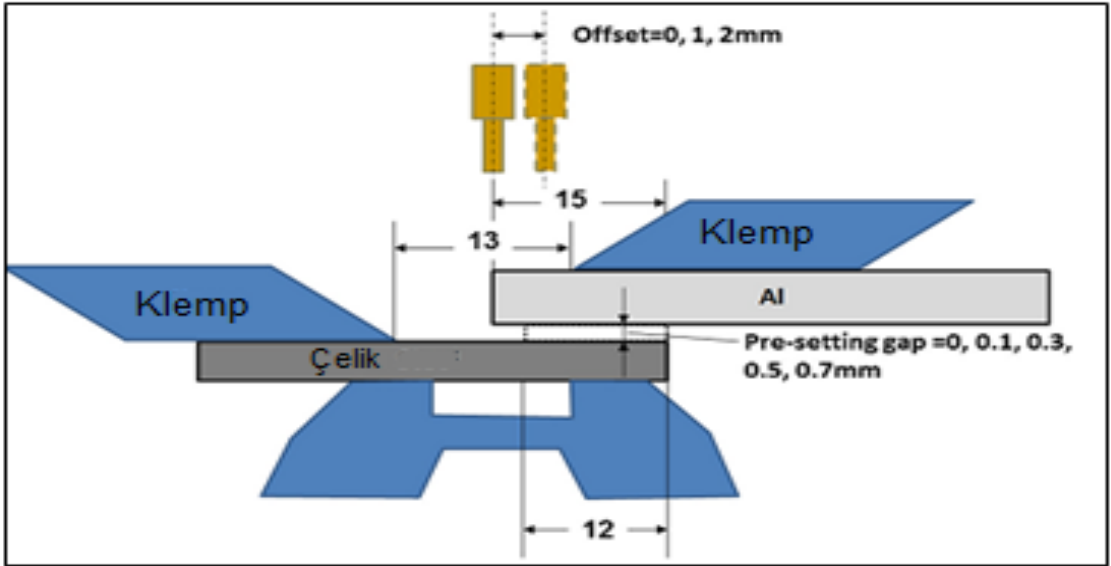
Şekil 3.20. Çelik – Alüminyum bindirme kaynağına ait intermetalik tabaka kalınlığı dağılımı

Yang ve diğ. (2013), yaptıkları araştırmada 2 mm 6061-T6 alüminyum alaşımını ile 1,2 mm galvanizli karbon çeliğini CMT yöntemi ile birleştirmiştir. Çalışmada 1,2 mm AlSi5 dolgu metali kullanarak 16L/dak debi ile %100 argon koruyucu gazı altında birleştirildiği ve kaynakların 60° torç açısı kullanılarak gerçekleştirildiği bilgisi verilmiştir. Farklı bindirme mesafelerinin de göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen birleştirmeler sonrası elde edilen mikro ve makroyapılar aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. CMT kaynağının makro ve mikroyapıları a) üst görünüş ve b) kesit görünüş

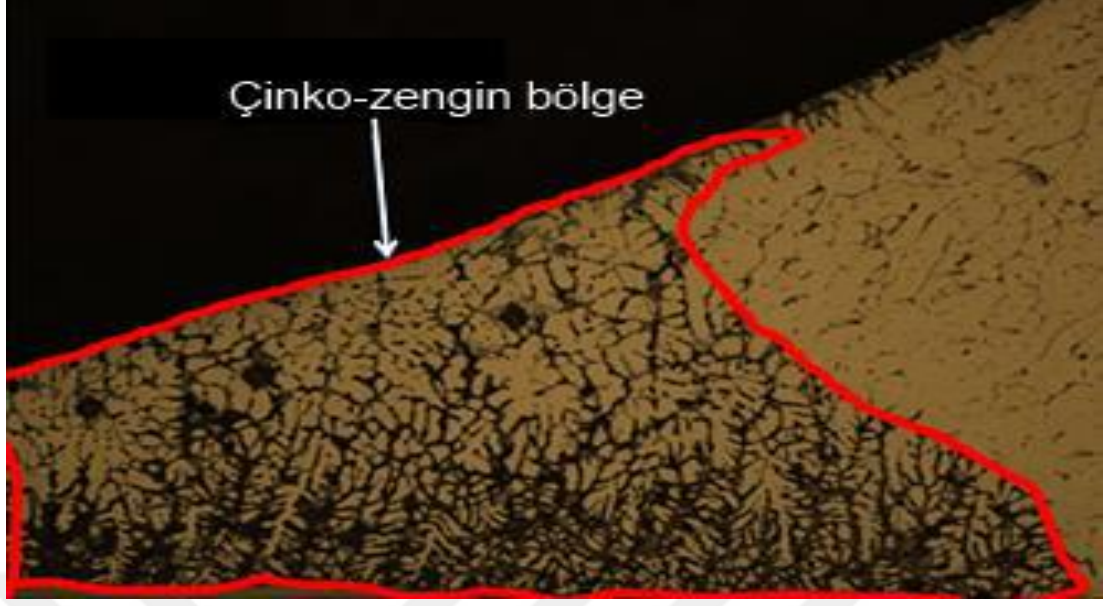
Kaynak işleminde torç bindirme mesafesi alüminyumun üzerinde 0,1 ve 2 mm olarak ayarlanmış ve metaller arası boşluk seviyeleri 0-0,1-0,3-0,5 ve 0,7 mm olarak değiştirilerek birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.22. Kaynak konfigürasyonu

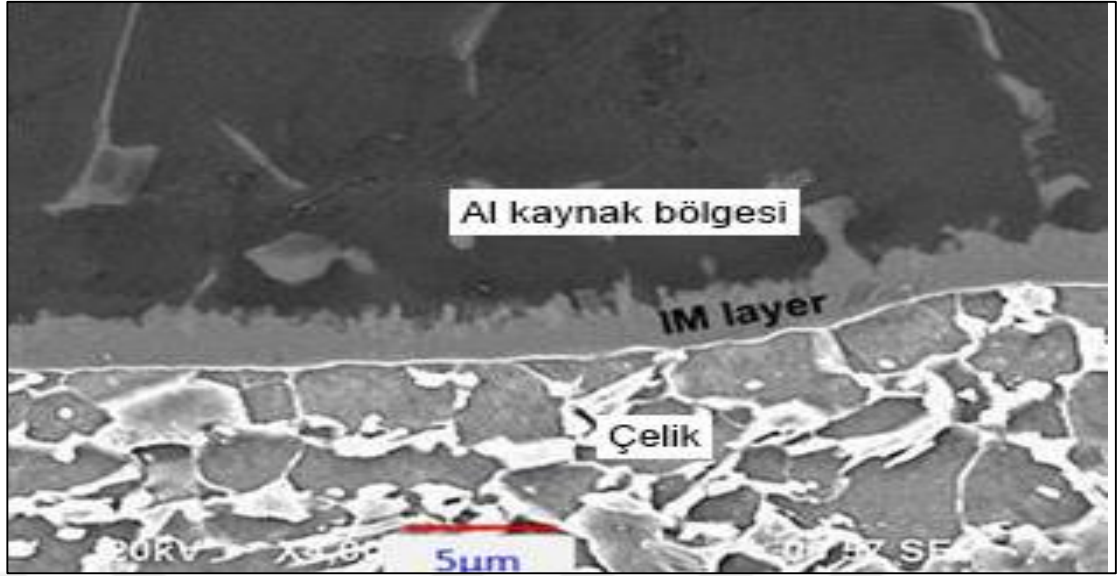
Şekil 3.22’de CMT yöntemi kullanıldığı için düzgün bir kaynak dikişi elde edildiği, kaynak sonrası çarpılma gözlenmediği gibi birleştirilen metallerin arka yüzeyinde çinko tabakasının varlığını sürdürdüğü bilgisi verilmiştir. Kaynak dikişinde gözlenen dalgalı yapının ise çinko buharı ile ergiyik dolgu metali damlacıklarının kararlı olmayan etkileşimi sonucu oluşmuş olabileceği öne sürülmüştür. Çinkonun oldukça düşük olan kaynama noktası sonucunda (906°C) kaynak işlemi sırasında kısa devre oluşmadan ilk olarak çelik üzerindeki çinko tabakasının buharlaşması sonrasında dolgu metalinden ayrılan damlacık çelik üzerine yüzey gerilimi etkisi ile yayılır. Çinko buharı oldukça kararsızdır ve ortamdan hızlıca uzaklaşmadığından arka ve dolgu metalinden gelen damlacığa karşı koyar, bu nedenle ark stabil olmaktan çıkar ve kararsızlaşır. Bu koşullarda ergiyik damlacığın ıslatma davranışı farklıdır bu durum dalgalı kaynak dikişine sebep olur. Buna ek olarak kaynaklarda genellikle porozite ve çatlaklar ile karşılaşıldığı bilgisi verilmiştir. Şekil 3.21’de kırmızı halka ile çevrilen bölgede iki metalin birleşme noktasındaki yetersiz ergime gösterilmiştir. Kaynak bölgesinde oluşan poroziteler ise alüminyum oksit içinde bulunan katı ve sıvı alüminyum da farklı çözünürlük gösteren hidrojenden kaynaklanabileceği bunun hidrojenin sıvı alüminyum içerisindeki çözünürlüğünün katı alüminyuma göre daha fazla olmasından dolayı gerçekleşebileceği bilgisi verilmiştir (Yang ve diğ., 2013).

Porozite oluşumunun bir diğer sebebinin ise kaynak havuzu içerisinde sıkışabilecek koruyucu gaz veya çinko buharı olabileceği raporlanmıştır. Metallerin birleştiği noktada oluşan yetersiz ergime metaller arasında boşluk bırakılmadan üst üste bindirme sonucu çelik üzerinden buharlaşan çinkonun alüminyum ile birleştirildiği yüzeyden kaçış yeri bulamaması ile açıklanabilir. Çinko buharının bazı durumlarda serbest yüzeyden dahi tamamen uzaklaşmadığı ve kaynak dikişinin çelik tarafında olan birleşme noktasında çinkoca zengin bölgeler oluşturduğu gözlenmiştir (Şekil 3.23).



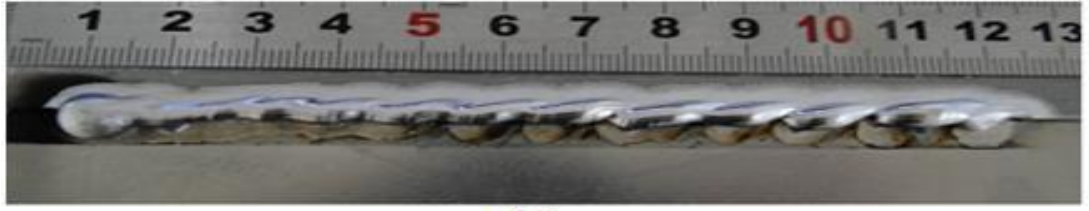
Şekil 3.23. Kaynak metalindeki çinko-zengin bölge

Alüminyum ile galvanizli çeliğin kaynağında genellikle iki farklı sert ve kırılgan çinkoca zengin bölge bulunur. Birincisi kaynak dikişinin galvanizli çelik üzerinde kalan kısmında diğeri ise kaynak dikişinin kök kısmındadır. Şekil 3.24’de görüldüğü gibi intermetalik faz tabakası alüminyum içerisine doğru girintili çıkıntılı bir yapıda oluşmuştur. Arayüzeyde oluşan intermetalik tabaka kalınlığının ortalama 5 μm olarak görünmektedir. CMT yöntemi ile oldukça ince intermetalik tabaka kalınlıklarının elde edilmesi ergiyik dolgu metalinin silisyum içeriği ile sadece alüminyumun intermetalik tabakaya doğru difüzyonunun engellemekle kalmaması aynı zamanda dolgu metalindeki silisyumun intermetalik tabakayı çözmesinden kaynaklandığı bilgisi verilmiştir. 10 μm nin altında elde edilen intermetalik tabaka kalınlıkları ile yüksek kaynak dikiş mukavemeti sağlanabildiği yapılan çalışma sonucu raporlanmıştır.

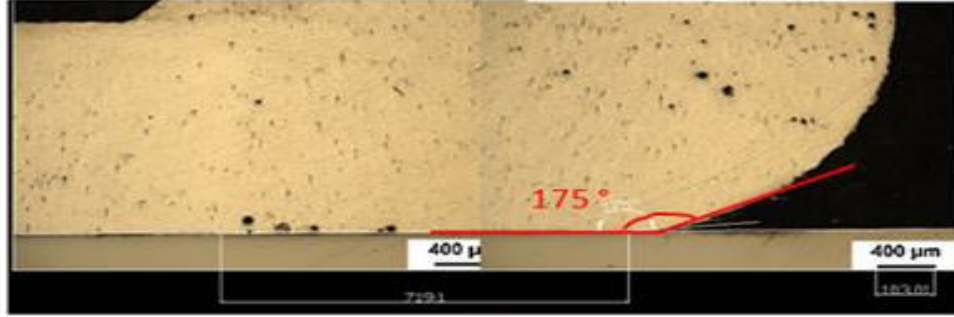


Şekil 3.24. İntermetalik tabakanın SEM görüntüsü

Alüminyumun çeliğe CMT kaynağı sırasında kaynak bölgesinde kalan çinko buharının ve dolgu metalindeki silisyum içeriğinin dolgu metalinin ıslatma kapasitesini artırdığı bilinmektedir (Medgyesi ve diğ., 2011). Şekil 3.25’de galvaniz tabakası kaldırılmış çelik üzerine CMT yöntemi ile kaynak edilmiş alüminyum 6061-T6 görülmektedir. Resimde de görüldüğü gibi zayıf bir kaynak görülmektedir ve 175° gibi geniş bir ıslatma açısı gözlenmiştir. Bu durum da çinkonun ortamda bulunmaması ile kötü bir kaynak dikişi oluştuğu ve düşük ıslatabilirlik nedeniyle dolgu metali ve çelik arasında zayıf bir bağ oluştuğu söylenebilir (Yang ve diğ., 2013).



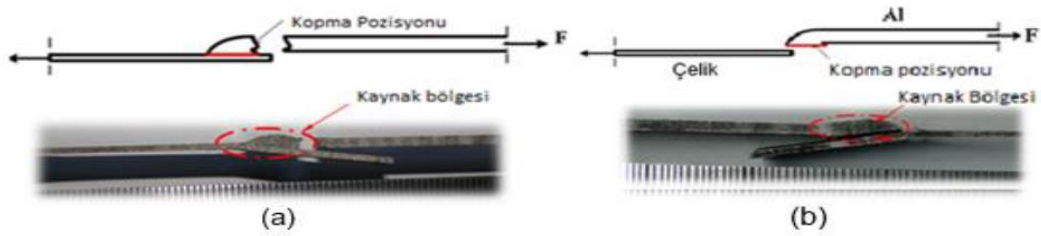
(a)



(b)

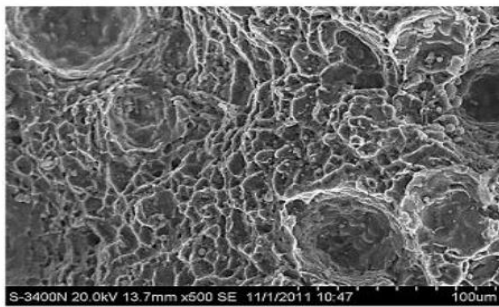
Şekil 3.25. CMT kaynak edilmiş alüminyum ile galvanizsiz karbon çeliği makro ve kesit görüntüsü a) üst görünüş ve b) kesit görüntüsü

CMT ile kaynak edilmiş metallerin hata türlerine bakıldığında ise iki farklı tür ile karşılaşıldığı, bunlardan ilkinin alüminyumun ısıdan etkilenmiş bölgesine yakın bölgeden kırılma olduğu ve diğerinin ise alüminyum ile metal arayüzeyinden kırılmanın gerçekleştiği bilgisi verilmiştir (Şekil 3.26).

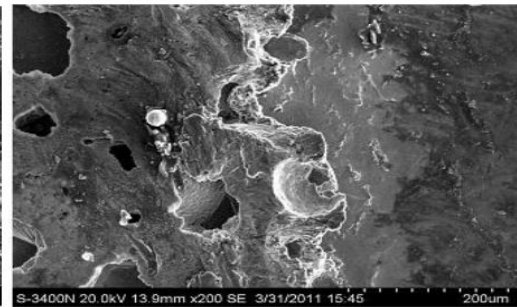


(a)

(b)



(a)

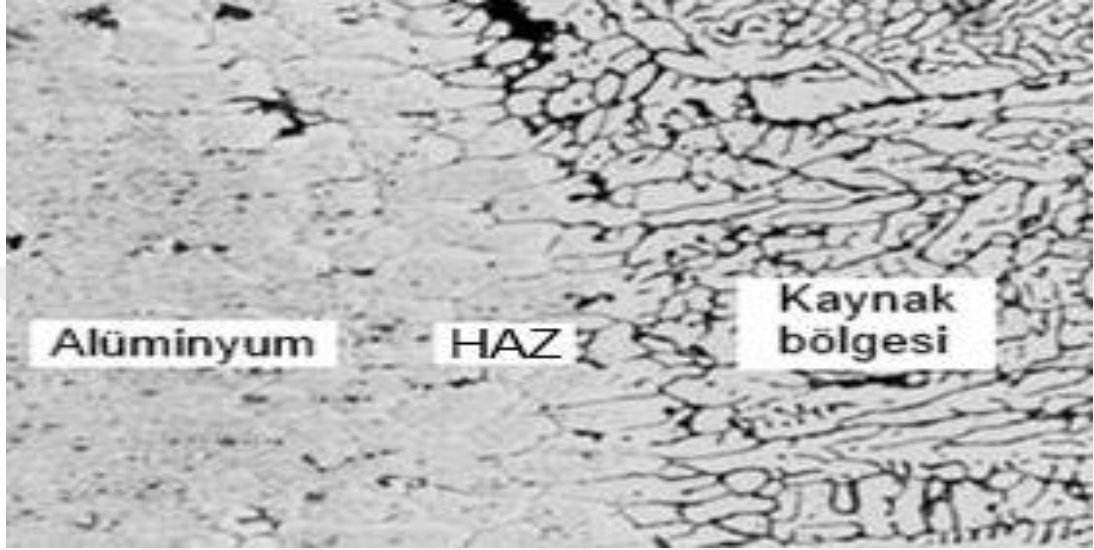


(b)

Şekil 3.26. Hata türleri ve kırılma yüzeyleri a) alüminyum IEB bölgesinden kırılma ve b) alüminyum çelik arayüzeyinden kırılma

Şekil 3.26'da görülen ısıdan etkilenmiş bölgeden kırılma, CMT yönteminde karşılaşılabilen eksik ergime veya kaynak kök bölgesinde oluşan poroziteden dolayı

çekme kuvveti uygulandığında kaynak dikişinin kökünden başlayarak ısıdan etkilenmiş bölgesine doğru gerçekleşen bir kırılma türüdür. Isıdan etkilenmiş bölgede CMT prosesi sırasında oluşan ısıl çevrimden ötürü kabalaşan taneler ve farklı çökeltilerin çözünerek yok olması bu bölgeyi daha zayıf kılmaktadır. Şekil 3.27’de ısıdan etkilenmiş bölgedeki tane kabalaşması net bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Isıdan etkilenmiş bölge şematik görünüm

İkinci hata türünün oluşmasını teşvik eden durum alüminyum ile çelik arayüzeyinde oluşan kesme gerilmesidir. İntermetalik tabakanın mukavemeti arttıkça bu hata türünün oluşması bir o kadar azalacaktır (Yang ve diğ., 2013).

Yang ve diğ. (2013) bu çalışmanın sonucunda;

- Proses sırasında oluşan çinko buharının CMT kaynak dikişine olan etkisinin avantaj ve dezavantajlar oluşturduğunu,
- Metaller arasında boşluk bırakarak kaynak işlemi gerçekleştirildiğinde çinko buharından gelen dezavantajların ortadan kaldırılabilceği,
- Mekanik test sonrası iki tür hata oluşumu gözleendiği ve bunların alüminyumun ısıdan etkilenmiş bölgesindeki yumuşamadan kaynaklanan kopma ve alüminyum çelik arayüzeyinde çinko buharının getirdiği dezavantajlar sonucu oluşan eksik ergime ve porozite gibi hatalardan kaynaklanan kopma olduğu sonuçlarına ulaşımlardır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Çalışmanın Amacı ve Planlanması

Alüminyum ve alaşımları ile galvanizli çeliğin CMT yöntemi ile kaynağında literatürde 1060, 1200, 5183, 6061-T6, 6082 alaşımları düşük karbonlu galvanize ve galvanizsiz çelikler ile farklı yöntem parametreleri ve dolgu metalleri ile çalışılmıştır. Bununla birlikte alüminyum-alüminyum, alüminyum-magnezyum, magnezyum-çelik gibi metal çiftleri de CMT yöntemi ile birleştirilerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Günümüzde otomotiv gövdesinde bu alaşımların yapı malzemesi olarak çeliğin yerini alması ile araç gövdeleri hafifletilmeye çalışılmaktadır. Galvanizli BH 20/34 +Z çelik saclar, özellikle otomotiv endüstrisinde, yüksek korozyon direnci sağlamaları ve fırınlama sonrası artan mekanik özellikleri nedeni ile kapı ve kaput dış sacı olarak geniş oranda kullanılmaktadırlar.

5005-H24 alüminyum alaşımı ise yine benzer şekilde yüksek korozyon direnci sağlaması sebebi ile dış panel olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelere ait birleşimler hakkında literatür çalışmalarının sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Kimyasal birleşimleri ve ısıl özellikleri farklı olan bu iki metalin, CMT kaynağı yöntemi ile birleştirilerek ve istatistiksel olarak Taguchi analizi yardımı ile en mukavemetli ve kaliteli kaynak bağlantılarının elde edilmesi için gerekli proses parametrelerinin elde edilmesi, metalürjik analizler ile desteklenerek literatürde bulunan açığın doldurulması amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Laboratuvar koşullarında uygulanan CMT kaynağının ardından elde edilen alüminyum-çelik bağlantılarının, mekanik özelliklerinin ve bağlantı performanslarının incelenmesi için çekme deneyine tabi tutulması ve çalışma koşullarında maruz kalabilecekleri tekrarlı yüklerin etkisinin incelenmesi için yorulma deneyine tabi tutulması planlanmıştır. Sonrasında kopan yüzeylerden, kırılma yüzeyi incelenmesi, iki metalin farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı kaynağı sırasında arayüzeyde oluşan ve bağlantı performansını doğrudan

etkileyen intermetalik faz'ın incelenmesi ön planda tutulmuştur. Son olarak kaynak bölgesinde Vickers sertlik taraması yapılması planlanmıştır.

4.2. Genel

Son yıllarda gelişen teknoloji ve artan rekabet nedeni ile araç gövdelerinde düşük fiyat, iyi korozyon direnci ve yüksek mekanik özelliklerini birleştiren galvanizli çelik sacların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Galvanizli BH 20/34 çelik saclar, özellikle otomotiv endüstrisinde, yüksek korozyon direnci sağlamaları ve fırınlama sonrası artan mekanik özellikleri nedeni ile kapı ve kaput dış sacı olarak geniş oranda kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada 0,65 mm kalınlığa sahip BH 20/34+Z çelik sac ile 2 mm kalınlığında 5005-H24 alüminyum alaşımı levha CMT (Cold Metal Transfer) yöntemi kullanılarak silisyum esaslı bir tel olan AlSi5 (ER 4043) teli ile birleştirilmiştir. BH 20/34 çeliği ile 5005-H24 alüminyum alaşımı bindirme kaynak yöntemine uygun olarak konumlandırılmış ve 2 metalin birleşme yüzeyleri arasına değişen miktarda boşluk verilerek kaynak işlemi yine değişen tel besleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kaynak edilen numuneler, otomotiv üretimindeki boya fırınlarında olduğu gibi, 180 °C sıcaklığa değişen sürelerde maruz bırakılmışlardır.

CMT yöntemi ile kaynatılmış malzemelerin mukavemet özellikleri, çekme testi ile analiz edilmiştir. Bu çalışmada Minitab Programı kullanılarak Taguchi Deney Tasarımı oluşturulmuştur. Mekanik özelliklerin etkisine bağlı olarak ideal kaynak parametreleri belirlenmiştir.

4.3. Deney Malzemesi ve Mekanik Özellikleri

DeneySEL çalışmalar kapsamında kullanılan çelik saclar, otomotiv endüstrisinde kullanılan çift taraflı galvaniz kaplamalı 0,65 mm kalınlığındaki EN BH 20/34 serisi sac ve 2 mm kalınlığında 5005-H24 alüminyum alaşımıdır. Çelik saca ait galvaniz tabasının kalınlığı bir yüzeyde 12,5 µm seviyesindedir. Otomobil gövde ve panel parçaları olarak kullanılan 180 °C fırınlamada sertleşme ve mukavemet artışı kabiliyetine sahip olan EN BH 20/34 çeliğine ait mekanik ve ölçüsel özellikler Tablo 4.1'de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.1. Alüminyum ve çelik saca ait mekanik ve ölçüsel özellikler

Malzeme (EN)	Ölçüler (mm)	Mekanik Özellikler		
		Akma	Kopma	Uzama
BH 20/34 +Z (Çelik)	0.65 X 200 X 290	240 Mpa	345 Mpa	32%
5005 H24 (Alüminyum)	2 X 200 X 290	157	171	6%

4.4. Deney Faktörleri ve Seviyeleri

Bu çalışmada kontrol edilebilen faktörler olarak seçilen; Parçalar arası boşluk, tel besleme hızı ve kaynak sonrası fırınlama süresine ait değerler Tablo 4.2’de verilmiştir. Deney tasarımında Taguchi Yöntemi’nden faydalanılmış ve 3 faktörlü 4 seviyeli deney tasarımında L16 Ortogonal dizin seçilmiştir.

Tablo 4.2. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Parçalar Arası Boşluk	mm	0	0,1	0,2	0,3
Tel Besleme Hızı	metre/dakika	3	4	5	5,5
Kaynak Sonrası Fırınlama Süresi	dakika	0	20	40	60

4.4.1. Sabit parametreler

Deney süresince sabit tutulan parametreler şu şekildedir;

Elektrod: ER 4043 (AlSi5) Çap: 1.2 mm, (Kimyasal bileşim için Tablo 4.3'e bakınız)

Koruyucu Gaz: % 100 Argon 12 L/dakika

Torç açısı: 60° ve 75°, Kaynak Hızı: 8~10 mm/s

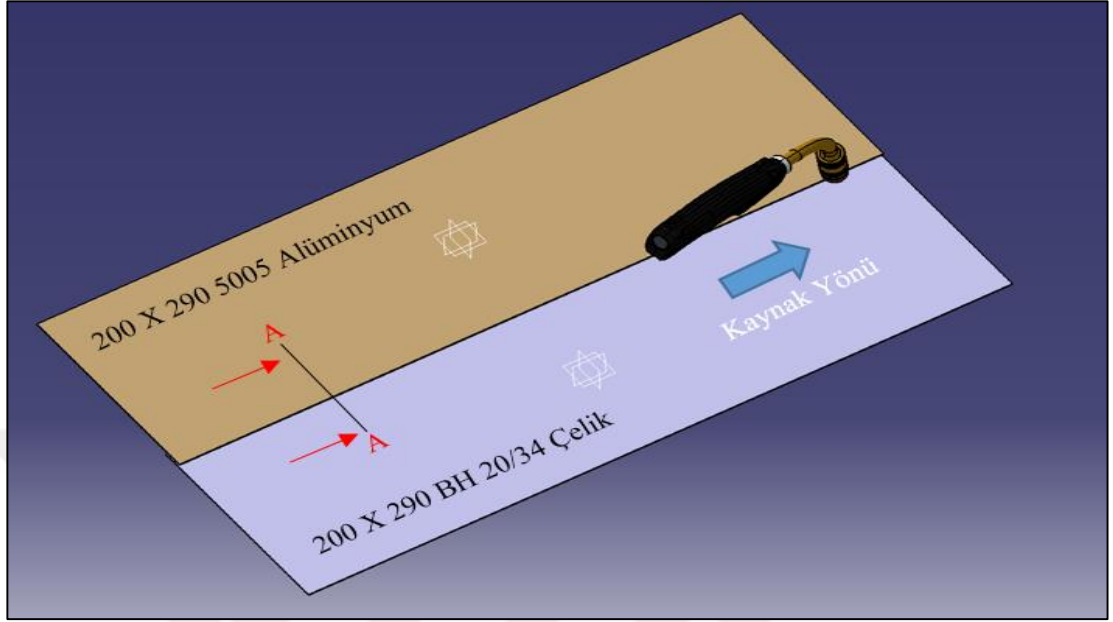
Tablo 4.3. Elektrod kimyasal bileşimi.

Malzeme	Al	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ti
ER 4043	92,9	5,6	0,05	0,3	0,8	0,05	0,1	0,02

4.5. Deney Parçalarının Boyutları ve Deney Düzeneği

Şekil 4.1 ve 4.2’de görüldüğü üzere 200 X 290 ölçülerinde 5005-H24 alüminyum alaşımı levha yine aynı ölçülerde çelik levhanın üzerine bindirilerek aşağıda belirtilen sabit parametreler değiştirilmeksizin Tablo 4.4’de belirtilen L16 Taguchi

deney tasarımına göre kontrol parametreleri değiştirilerek kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir.

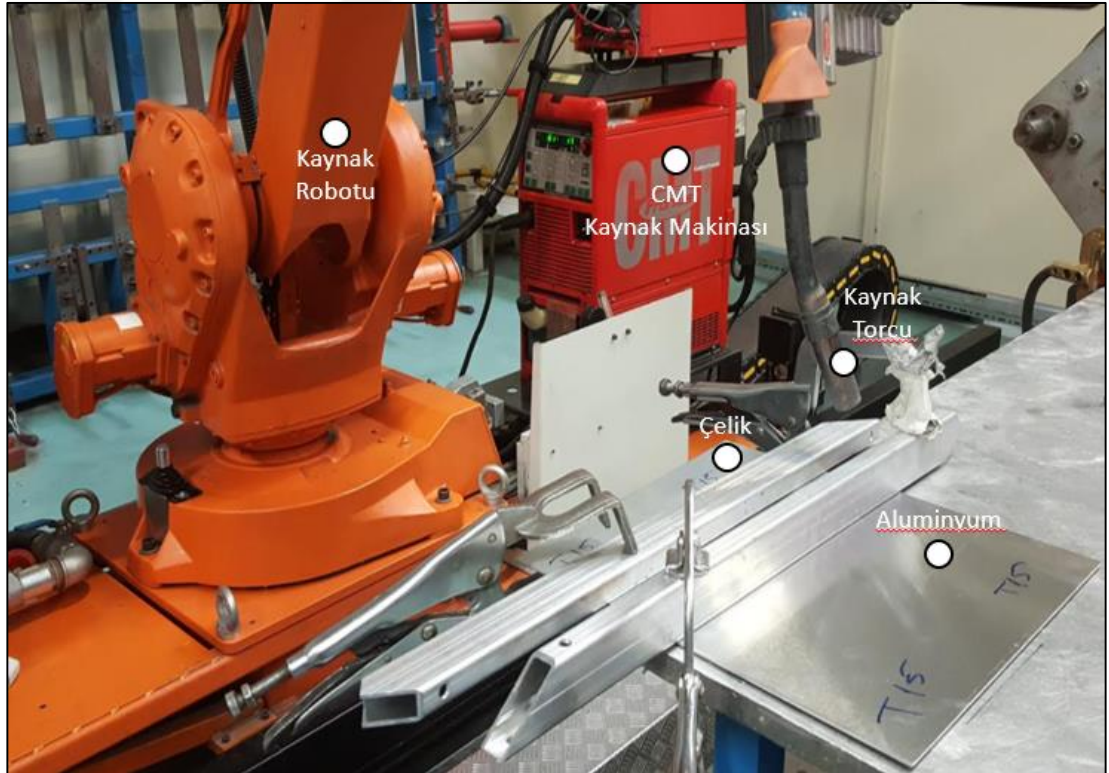


Şekil 4.1. Deney düzeneği

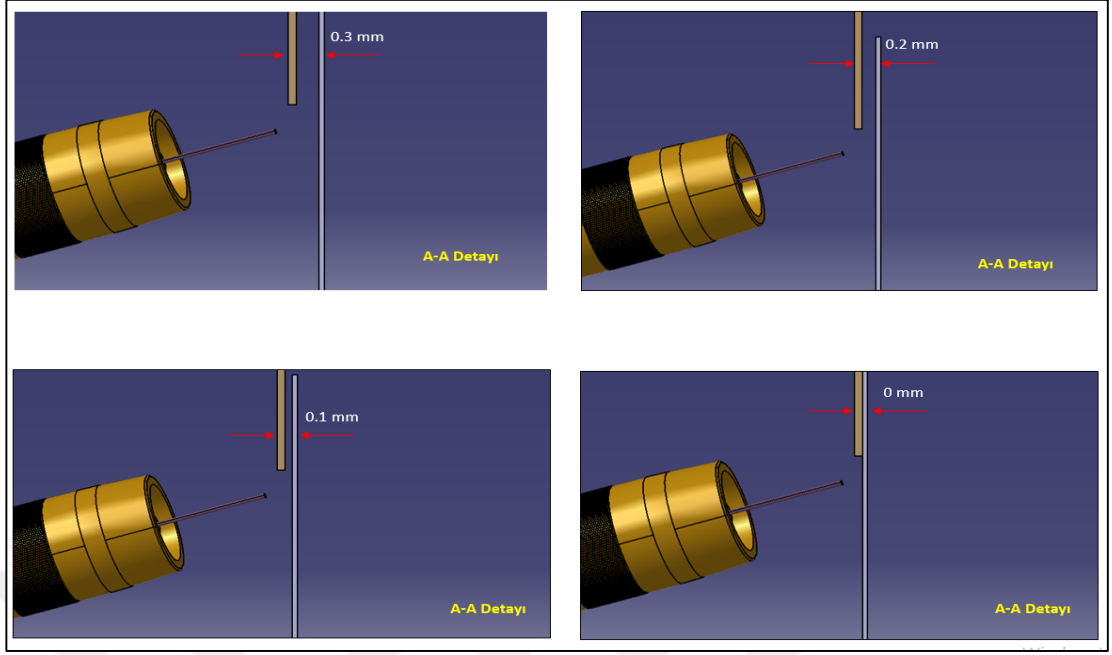
Kontrol parametrelerinden tel besleme hızı Şekil 2’de görülen Robotic CMT kaynak makinası üzerinden ayarlanmıştır. Diğer kontrol parametresi olan parçalar arası boşluk ise Şekil 3’de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.

Tablo 4.4. L16 Taguchi deney tasarımı

Deney No	Parçalar Arası Boşluk (mm)	Tel Besleme Hızı (metre /dakika)	Kaynak Sonrası Fırınlama Süresi (dakika)
T1	0	3	0
T2	0	4	20
T3	0	5	40
T4	0	5,5	60
T5	0,1	3	20
T6	0,1	4	0
T7	0,1	5	60
T8	0,1	5,5	40
T9	0,2	3	40
T10	0,2	4	60
T11	0,2	5	0
T12	0,2	5,5	20
T13	0,3	3	60
T14	0,3	4	40
T15	0,3	5	20
T16	0,3	5,5	0



Şekil 4.2. Robotic CMT uygulaması

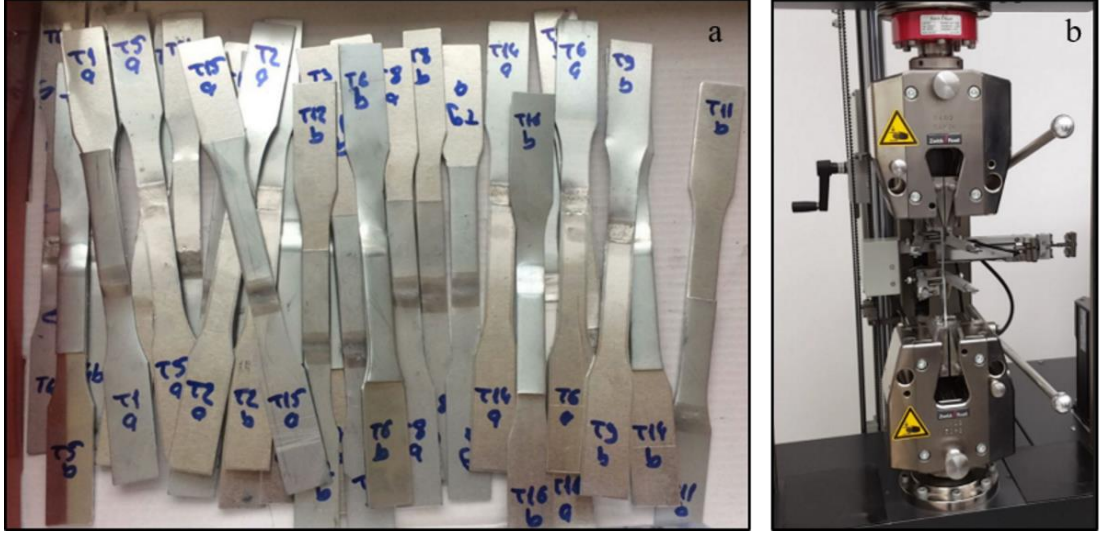


Şekil 4.3. Kaynatılacak parçalar arası boşluk

Son kontrol parametresi olan kaynak sonrası 180 °C’de fırınlama işlemi ise otomotiv üretiminde boyahane fırınlarında gerçekleşen ve kaynaklı malzemenin maruz kaldığı fırınlama prosesinin mukavemet üzerine etkisini gözlemlemek amaçlı denenmiş olan parametredir. Bu test kaynaklı numunelerin Şekil 4.4’de gösterildiği gibi Nabertherm marka termik fırında 0, 20, 40 ve 60 dakika boyunca 180 derece sıcaklığa maruz bırakılması şeklinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Nabertherm marka termik fırın



Şekil 4.5. Çekme testi a) test numuneleri b) Zwick/Roell marka çekme test ekipmanı

Tablo 4.5. Çekme test sonuçları

Deney No	Parçalar Arası Boşluk (mm)	Tel Besleme Hızı (metre /dakika)	Kaynak Sonrası Fırınlama Süresi (dakika)	Çekme Test Sonucu (N)
T1	0	3	0	1651
T2	0	4	20	718
T3	0	5	40	1931
T4	0	5,5	60	2904
T5	0,1	3	20	3043
T6	0,1	4	0	2962
T7	0,1	5	60	1580
T8	0,1	5,5	40	1943
T9	0,2	3	40	3060
T10	0,2	4	60	1355
T11	0,2	5	0	3233
T12	0,2	5,5	20	2873
T13	0,3	3	60	3150
T14	0,3	4	40	3068
T15	0,3	5	20	1457
T16	0,3	5,5	0	3015

4.6. Kaynak Parametre Optimizasyonu

Taguchi L16 deney tasarımına göre kaynak edilen numunelerden toplamda 32 adet çekme numunesi TS EN 755-1 / TS EN 755-2 standardına göre Şekil 5'deki gibi hazırlanmıştır. Yine Şekil 5'de gösterilen Zwick/Roell marka çekme test ekipmanında yine aynı standarda göre test edilmiştir ve Tablo 4.5'deki sonuçlara ulaşılmıştır. Deney sonuçları Minitab yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir ve parametreler arası etkileşim dikkate alınmamıştır. Parametre optimizasyonu için çekme kuvveti değeri esas alınmıştır. Kaynak parametrelerinin sonuca etki sırası

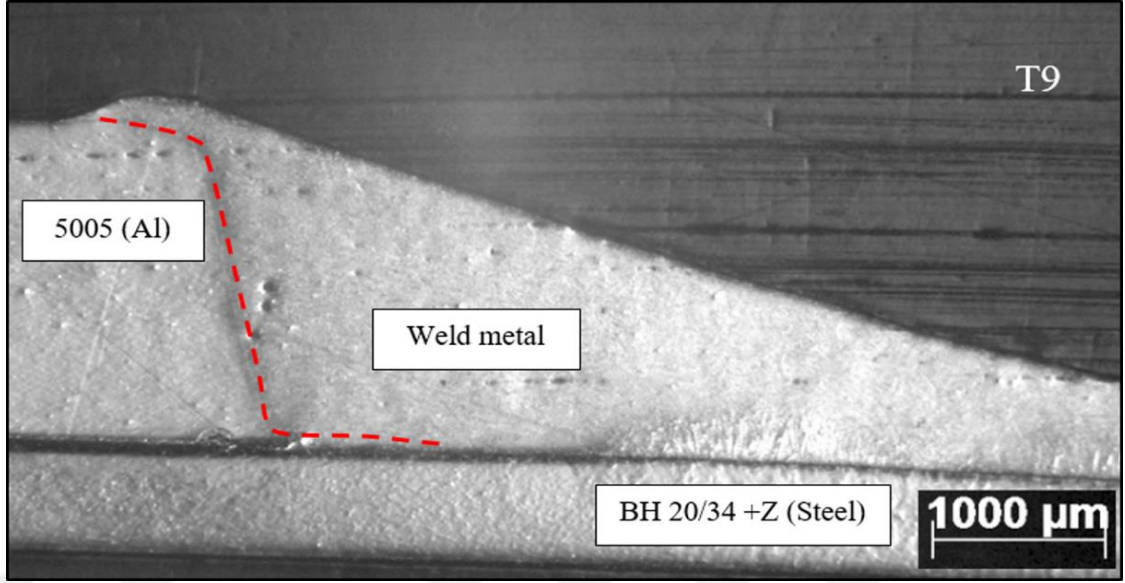
Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Delta değeri, farklı parametrelerdeki maksimum ve minimum pik yükü olarak hesaplanmıştır. Her bir parametrenin delta değeri, elde edilen çıktıya olan etkisini göstermektedir. Parametrelerin sırası, çıktı tepkisi üzerindeki etkileri bakımından göreceli önemlerini ifade eder. Sonuca en büyük etki yapan parametrenin, “parçalar arası boşluk” olduğu, “tel sürme hızının” sonuca etki bakımından 2. sırada yer aldığı ve “kaynak sonrası fırınlama süresinin” ise sonuca en düşük etkiyi yaptığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.6. Kaynak parametrelerinin sonuca etki bakımından sıralaması

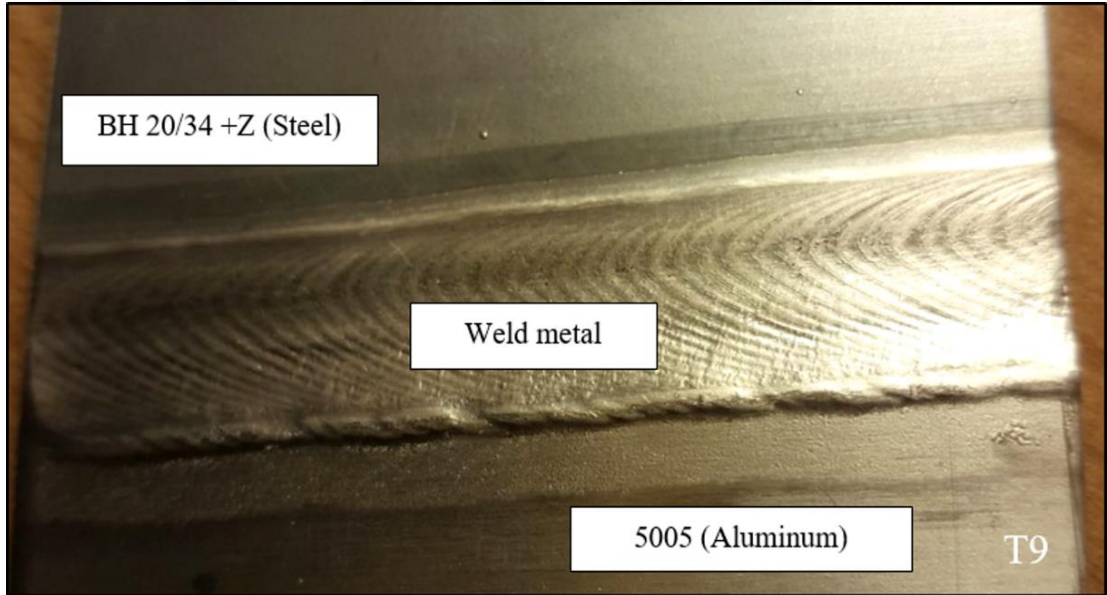
No	Parçalar Arası Boşluk (mm)	Tel Besleme Hızı (metre /dakika)	Kaynak Sonrası Fırınlama Süresi (dakika)
Delta	872	700	693
Sıralama	1	2	3

4.7. CMT Kaynaklarının Makro ve Mikro İncelenmesi

Şekil 4.6, T9 CMT kaynak numunesinin makro ve mikro görüntüsünü göstermektedir. Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, düzgün ve düz bir kaynak dikişi elde edilmiştir. Kısa devre fazı sırasında telin geri çekilmesi, sıçrama oluşumunun önlenmesine ve aynı zamanda daha iyi kaynak dikişi estetiğini sağladığı için önemli rol oynamıştır. (Zhang ve diğ., 2009). CMT kaynak işleminden çok küçük bir ısı girdisi nedeniyle, kaynakta bozulma gözlenmemiştir (Selvi ve diğ., 2018). ve çelik levhanın arka tarafındaki çinko kaplamanın da sağlam kaldığı görülmüştür. ZEISS Axio Scope Mat optik mikroskop, kaynak bölgesinin tipik özelliklerini incelemek için kullanılmıştır. Şekil 4.7'de gösterildiği gibi, SEM ve optik mikroskop analizi için T14, T9, T5 ve T3 örnekleri bakalite alınarak hazırlanmıştır.



a)



b)

Şekil 4.6. T9 CMT kaynağına ait makro görüntüler a) kesit görüntüsü b) üstten görünüm

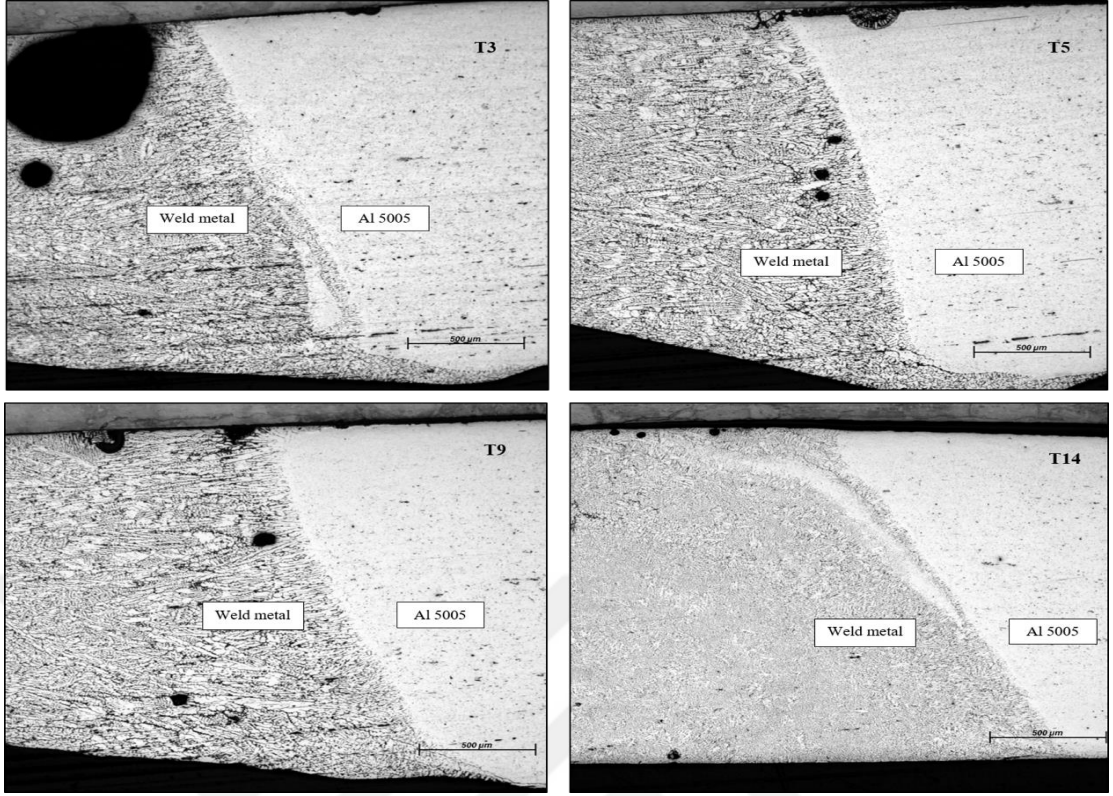
Çinko kaplama çok düşük bir kaynama noktasına sahiptir (906 °C). CMT kaynak işlemi sırasında arkta gelen ısı, ilk olarak çinko kaplamanın buharlaşarak çeliğin üst yüzeyine üzerine doğru hareket etmesine sebep olur. Çinko buharının bir kısmı kaynak ark ve soğuma sona erdiğinde kaynak banyosu içerisinde kalır. Bu koşullar altında kaynak dikişinde gözenekler (porozite) gözlenmiştir (Ünel ve Taban, 2016; Shanglu ve diğ., 2013). Çinko buharının kaynak kökünden poroziteye sebep olmadan çıkabilmesi için kaynak tasarımının yeterli kaçış boşluğuna sahip olması gerekir. Bu

yüzden kaynak sırasında çelik ile alüminyum arasındaki parçalar arası boşluk arttıkça gözeneklilik azalır (Shanglu ve diğ., 2013).

Şekil 4.8'de gösterildiği gibi, farklı Parçalar Arası Boşluk değerlerine sahip 4 farklı numune daha ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Çinko buharının kaçabileceği farklı genişliklerde boşluk değerine sahip bu numunelere ait Tablo 4.5'deki sonuçlar değerlendirildiğinde, porozite azaltma etkisine bağlı olarak, Parçalar Arası Boşluk değerinin alüminyum ve çelik kaynaklarında maksimum çekme yüküne etki eden en önemli kaynak parametresi olduğu görülmüştür. Şekil 4.8'de görülen optik mikroskop inceleme sonuçlarından da anlaşılacağı üzere, en yüksek Parçalar Arası Boşluk değerine sahip olan T14 numaralı deney numunesine ait parçalarda daha önce belirtildiği gibi kaynak kökünden kaçmak için yeterli miktarda gaz kaçış boşluğu olması nedeniyle en küçük gözenekliliğe (porozite) sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.7. SEM ve optik mikroskop analizleri için hazırlanmış olan T14, T9, T5 ve T3 numuneleri



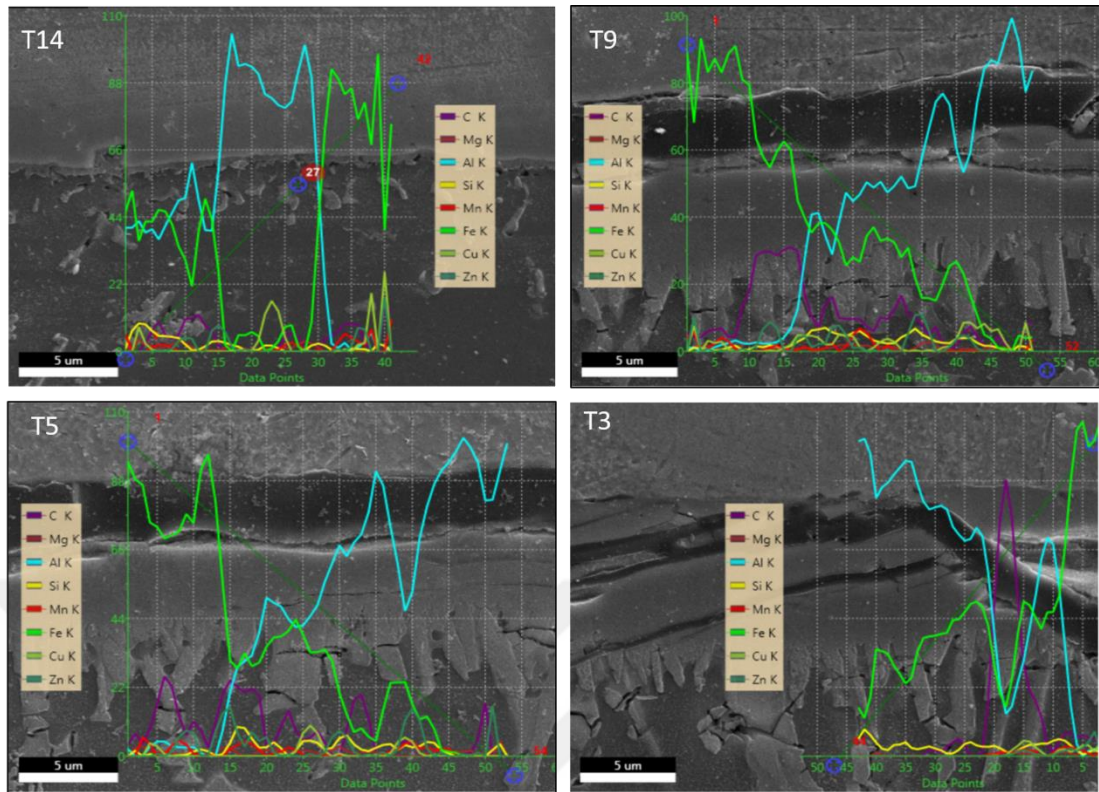
Şekil 4.8. Optik mikroskop görüntüleri

4.8. SEM ve EDS Sonuçları

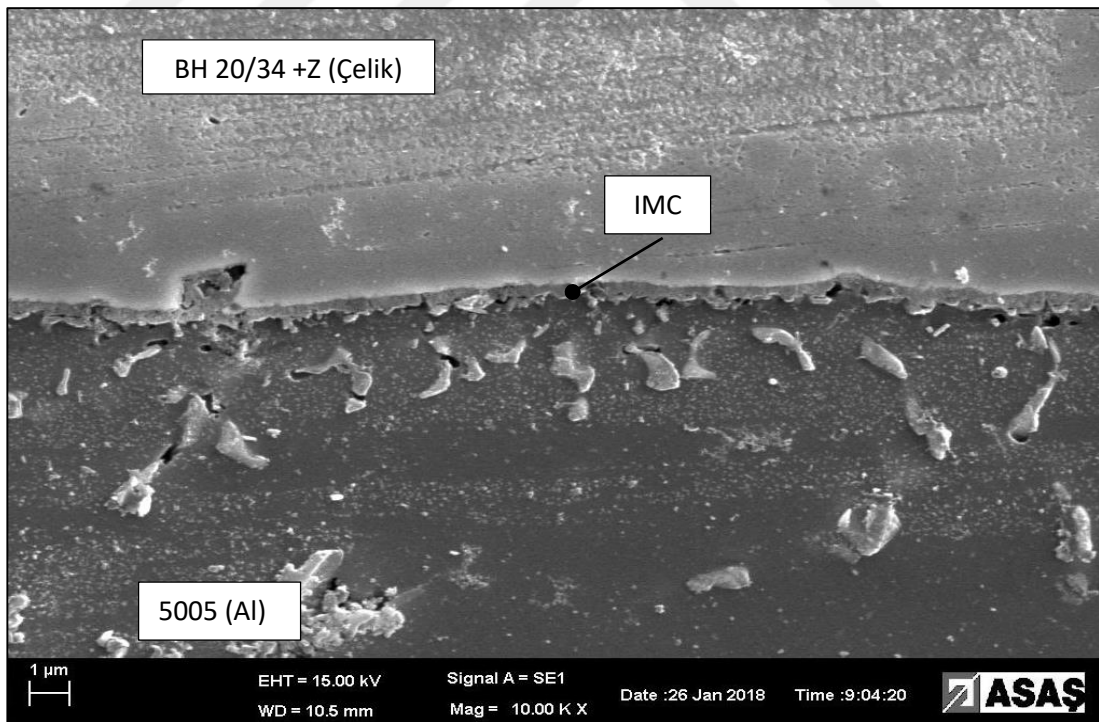
FexAly-fazlarının arayüzeyde oluşumu, çelik ve alaşım arasında metalürjik bir bağ elde etmek için gereklidir. Bununla birlikte, Al-zengin intermetalik fazların (IMC) oluşumu düşük mukavemet ve kırılgen kaynak ile sonuçlanacaktır (Chen ve diğ., 2014). Kreimeyer ve Sepold tarafından, alüminyum ve çelik arasındaki intermetalik bileşik tabakanın kalınlığının 10 µm 'den az olması durumunda ancak çelik ve alüminyum gibi benzer olmayan malzemelerin birleştirilmesinin mümkün olabileceği belirtilmiştir. Çelik üzerindeki çinko kaplama, çelik ve alüminyumun gibi benzer olmayan malzemelerin birleştirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Eğer kaynak sırasında alüminyum parça çinko kaplama ile ergir ve çelik yüzey üzerine yayılır ve kalın intermetalik tabaka oluşumundan kaçınmak için, çelik parça da çok az miktarda ergirse, ancak bu koşullar altında kaynak ve lehimleme işlemi çelik ve alüminyumun birleştirilmesi için gerçekleştirilebilir (Jian ve diğ., 2013; Yongchao ve diğ., 2014).

Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS), Şekil 4.9'da gösterildiği gibi, farklı kaynak parametreleri ile elde edilen kaynaklı birleştirmelerin intermetalik tabakalarını daha derinlemesine analiz etmek için, kaynak bölgesini ve esas metalleri taramak üzere uygulanmıştır. Isı girişinin azaltılmasının yanı sıra kaynak işleminde kaynak teli üzerinden kaynak dikişine ilave edilebilen alaşım elementleri de IMC tabakasının kalınlığını ve mikrosertliği çok büyük oranda etkiler (Yongchao ve diğ., 2014).

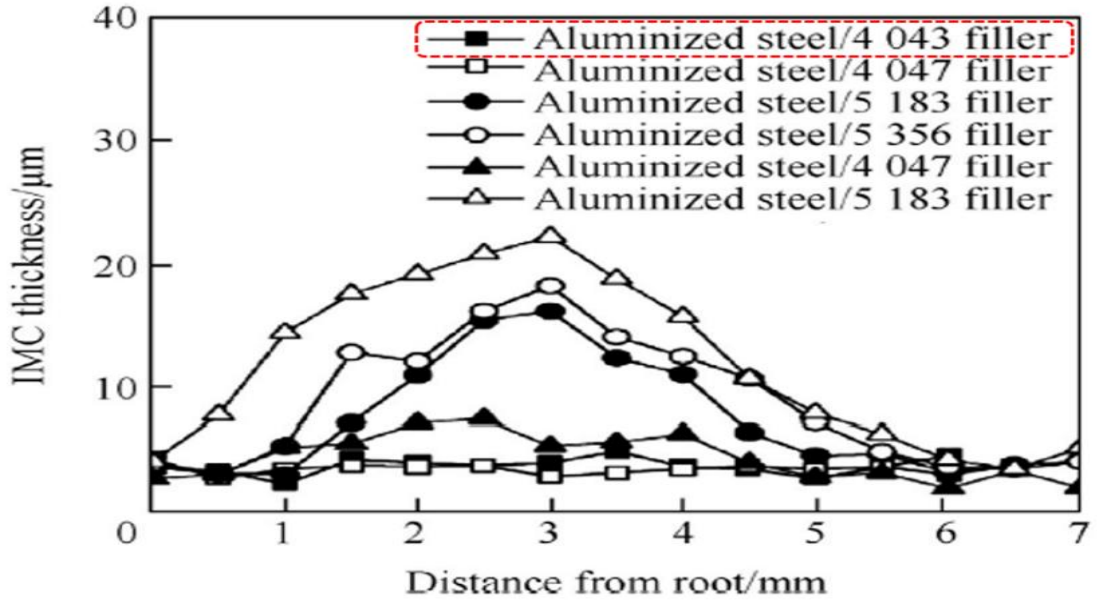
Silisyumun kaynak banyosuna dahil olması Fe'nin çelik esas metalinden kaynağa difüzyonunu baskılayarak, intermetalik tabaka kalınlığını azaltır ve bağlantının dayanımını artırır. İntermetalik tabakanın kalınlığı Al-12% Si dolgu teli ile 2 µm kalınlığa kadar kontrol edilebilir. Bununla birlikte, Cu elementinin kaynak banyosuna dahil olmasının, intermetalik tabakanın kalınlığını arttırdığı belirtilmiştir (Honggang ve diğ., 2012). Minjung Kang ve Cheolhee Kim, dolgu metalinin Si bileşiminin öncelikli olarak IMC tabakasının kalınlığını etkilediği sonucuna varmışlardır. AlSi (Al 4043 ve Al 4047) dolgu teli kullanılarak, testere ağzı biçimli Fe₂Al₅ bileşiğinin çelik esas malzemesine doğru büyümesinin kısıtlandığı ve IMC tabakası ile çelik arasında neredeyse düz bir ara yüzeyin oluştuğunu bildirilmişlerdir (Minjung ve Cheolhee, 2015). Şekil 4.9 alüminyum ve çelik kaynaklı birleşmelerinde farklı kaynak tellerinin intermetalik tabaka kalınlığına etkisini göstermektedir.



a)



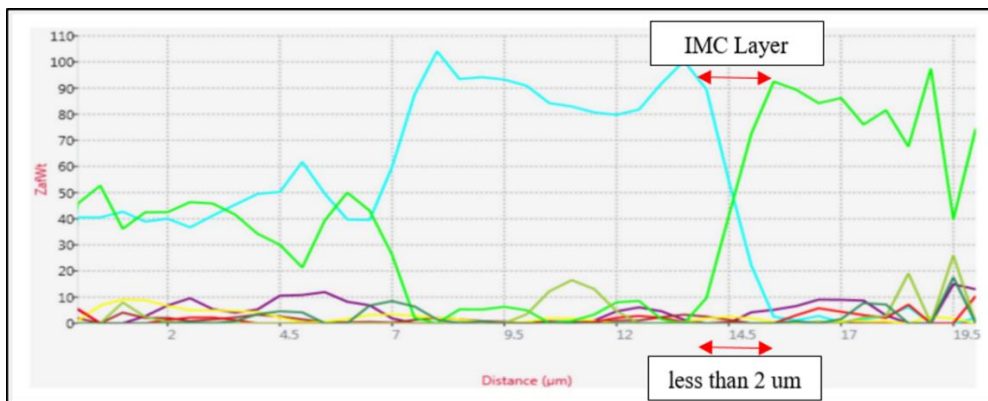
b)



c)

Şekil 4.9. Kaynağa ait IMC tabaka detayı a) T14, T9, T5 ve T3 kaynak numunelerine ait SEM & EDS görüntüleri b) T14 numaralı numuneye ait SEM görüntüsü c) Kaynak teli seçimine göre intermetalik tabaka kalınlığı değişimi (Jian Lin ve diğ., 2015)

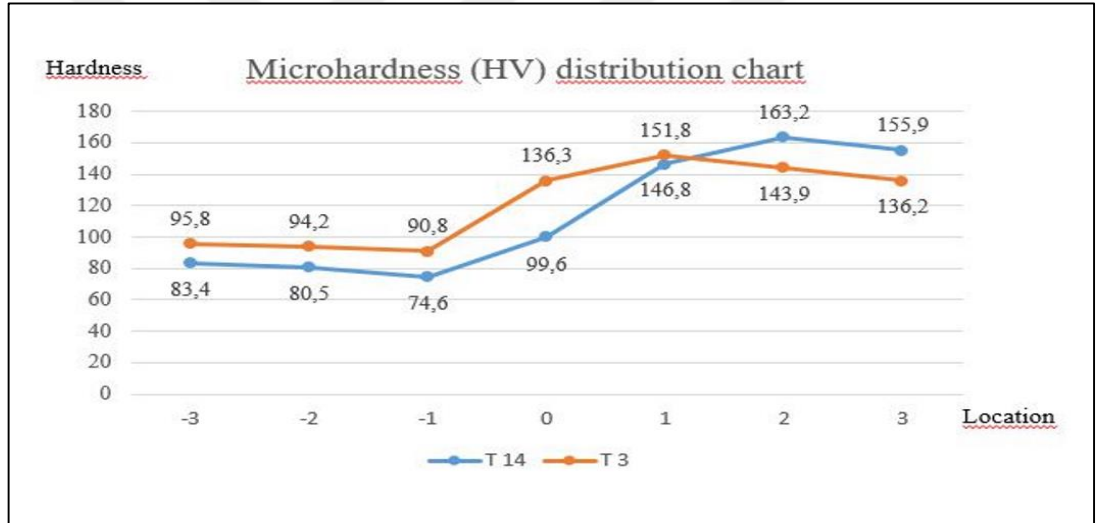
Şekil 4.10'da gösterilen çizgisel EDS sonuçlarına göre, T14 numaralı kaynak bağlantısına ait numunenin 2 µm'den daha az intermetalik tabaka kalınlığına ve daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bu durum literatürde de bahsedildiği üzere artan kırılğan intermetalik tabaka kalınlığının çekme dayanımını negatif yönde etkilediği gerçeğini de desteklemektedir (Jian ve diğ., 2013). ER4043 kaynak telinin kaynak sırasında kullanılmış olmasının da, Şekil 4.9'da görüldüğü üzere ince intermetalik tabaka kalınlığını desteklediği anlaşılmaktadır (Minjung ve Cheolhee, 2015).



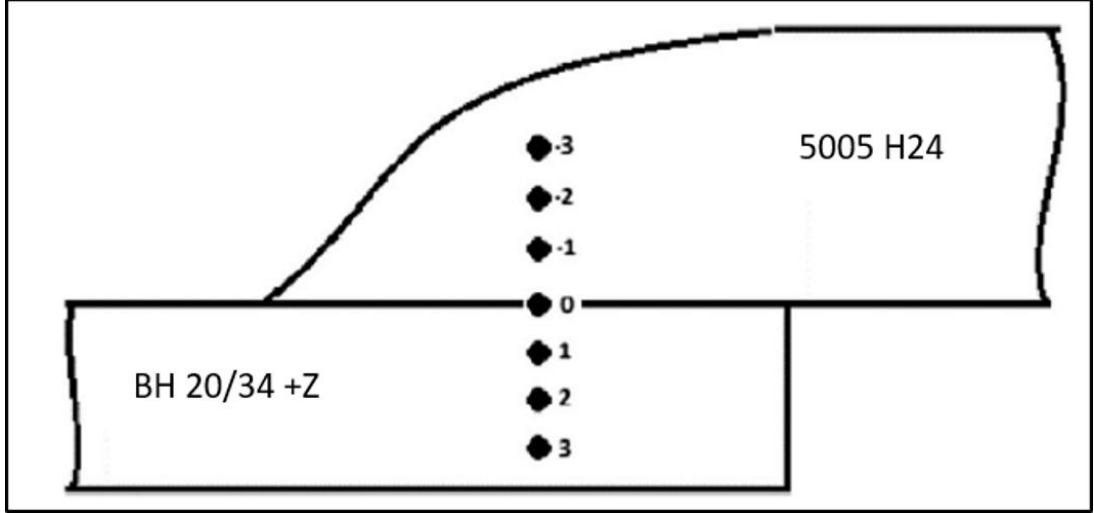
Şekil 4.10. T14 numaralı numuneye ait intermetalik tabaka kalınlığı

4.9. Mikrosertlik Test Sonuçları

Mikrosertlik analizi ISO 6507 standardı kullanılarak 0,5 kg yük altında 2 farklı numune için gerçekleştirilmiş olup sonuçlar HV (Vickers) birimi cinsinden hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Kaynak metali üzerinden toplamda 7 adet ölçüm alınarak geçiş bölgelerindeki sertlik dağılım eğrisi oluşturulmuştur. Kaynak metalinde ölçüm alınan bölgeler ise yine Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Sertlik dağılımı incelendiğinde iki esas metal arayüzeyinde oluşan intermetalik faz geçiş bölgesinde sertliğin alüminyum esas metale göre artarak 140 HV değerine kadar ulaştığı gözlenmiştir. İntermetalik tabaka kalınlığı daha yüksek olan T3 numunesinde 0 bölgesinde sertlik değerinin de arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak artan tabaka kalınlığı göz önüne alınabilir.



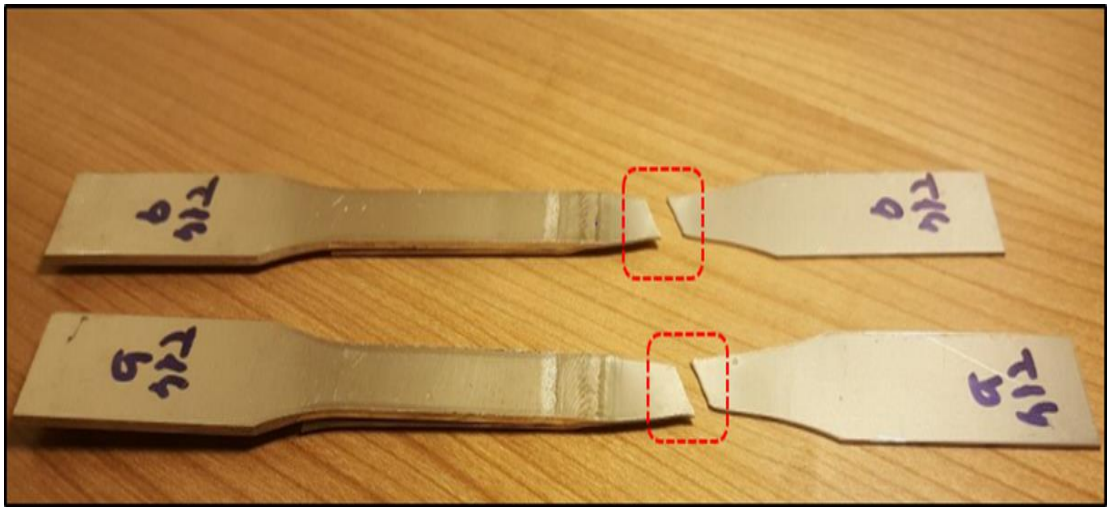
Şekil 4.11. Kaynak metali ve esas metal arası mikrosertlik dağılım grafiği



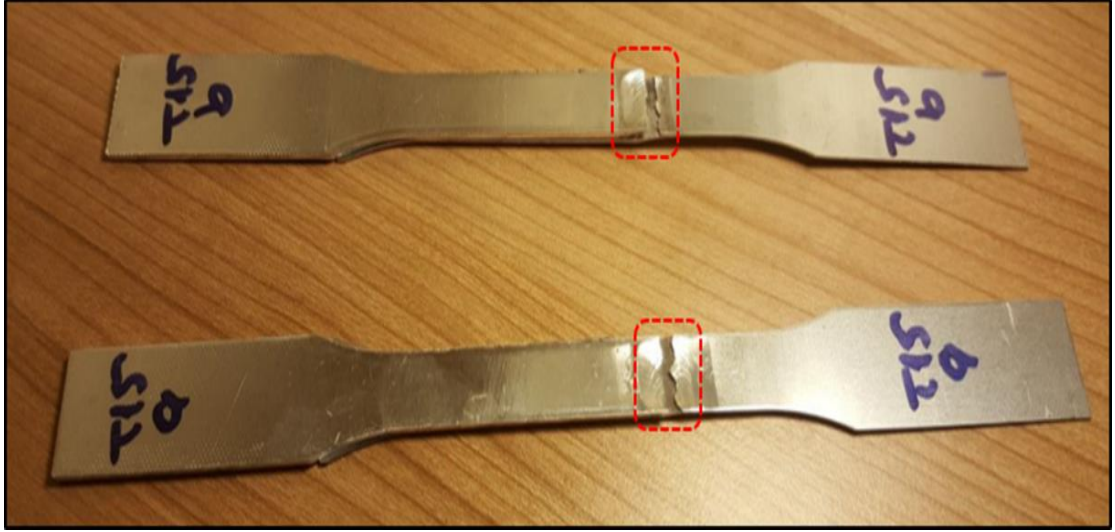
Şekil 4.12. Mikrosertlik ölçümü alınan bölge şematik gösterimi

4.10. Çekme Testi Sonuçları ve Hasar Türleri

Tüm numunelere ait çekme test sonuçları maximum çekme dayanımlarına göre Tablo 4.5'deki gibi gerçekleşmiştir. Farklı kaynak parametreleri için CMT kaynaklı bağlantılarının hasar tipleri ilk olarak kırılma özelliklerine dayanarak kaynağın hasar bölgesinin görsel olarak incelenmesiyle belirlenmiştir. Çekme - makaslama yükleri altında, CMT kaynaklı numunelerinde 0,65 mm BH 20/34 + Z galvanizli çelik ve 2,0 mm EN-5005-H24 alüminyum alaşımında iki ayrı hasar türü gözlemlenmiştir. Tip 1, Şekil 4. 13'de gösterildiği gibi, ısıdan etkilenmiş bölgede (IEB). Tip 2, Şekil 4.14'de gösterildiği gibi kaynak dikişinden hasar görme.



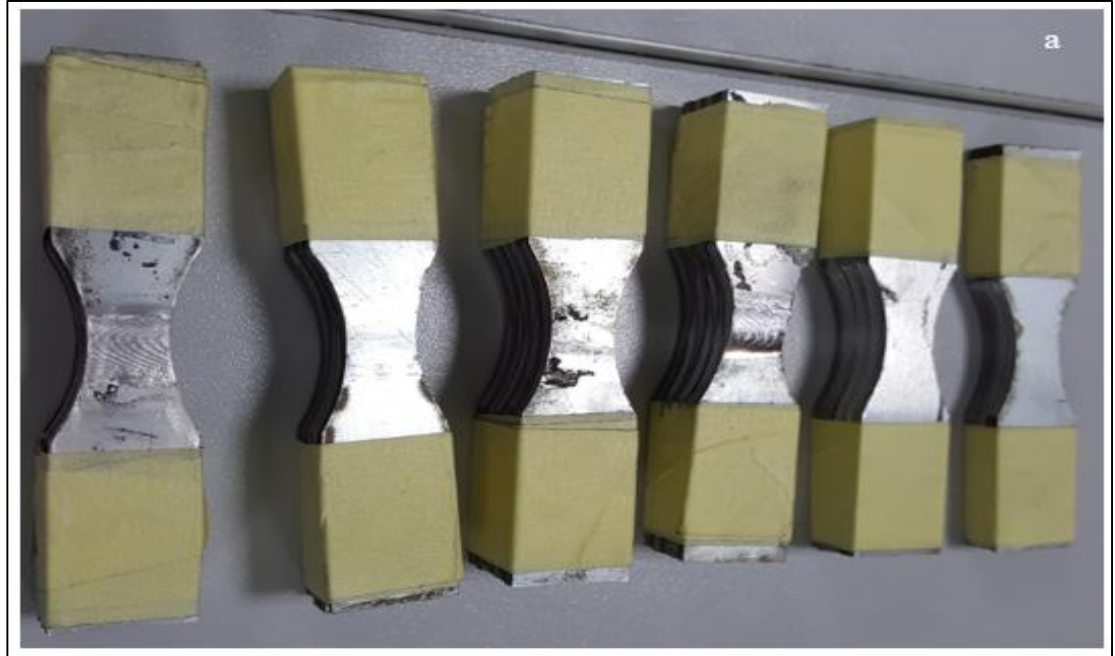
Şekil 4.13. Çelik tarafına yakın ısıdan etkilenen bölgeden kırılma (Tip 1)



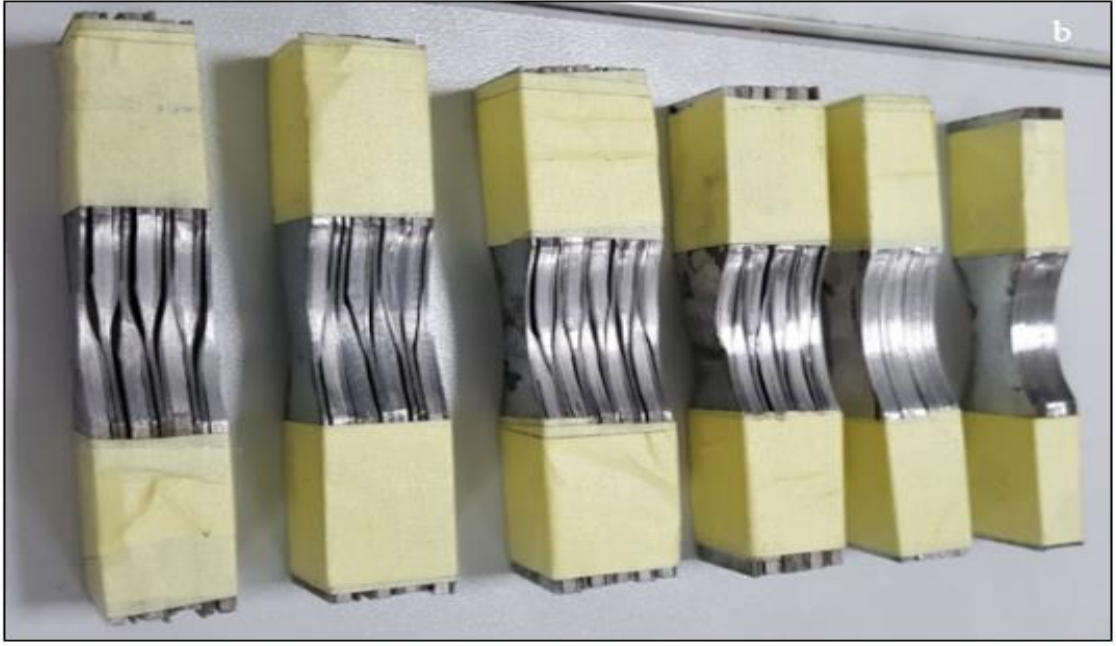
Şekil 4.14. Kaynak dikişinden kırılma (Tip 2)

4.11. Yorulma Deneyleri

Yorulma deneyleri eğmeli yorulma cihazında malzemelerin akma mukavemetine göre saptanan yorulma değerleri uygulanarak alüminyum ve çelik esas malzemelere, T2, T10 ve T13 numaralı kaynaklı numunelere uygulanmıştır.



a)

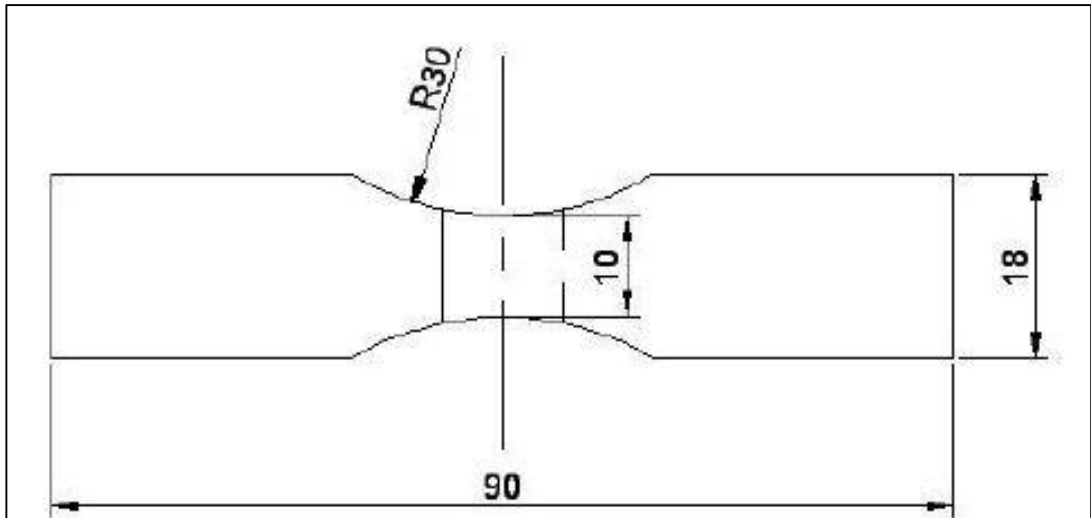


b)

Şekil 4.15. Yorulma deney numuneleri görüntüleri a) yorulma numuneleri üstten görünüş b) yorulma numuneleri yandan görünüş

4.11.1. Yorulma numunelerinin hazırlanması

Kaynaklı saclardan, belirlenen plana göre kaynak yöntemi ve test makinesi karakterine uyacak şekilde, esas metaller DIN 50142'ye uygun olarak hidrolik makas ile kesilerek çıkarılmıştır. Sonrasında tel erzyon ile Şekil 4.16'daki ölçülere işlenerek 2 esas malzeme ve 3 adet kaynaklı malzemelerin herbirinden 6 şar adet olmak üzere toplamda 30 adet numune hazırlanarak teste tabi tutulmuştur.



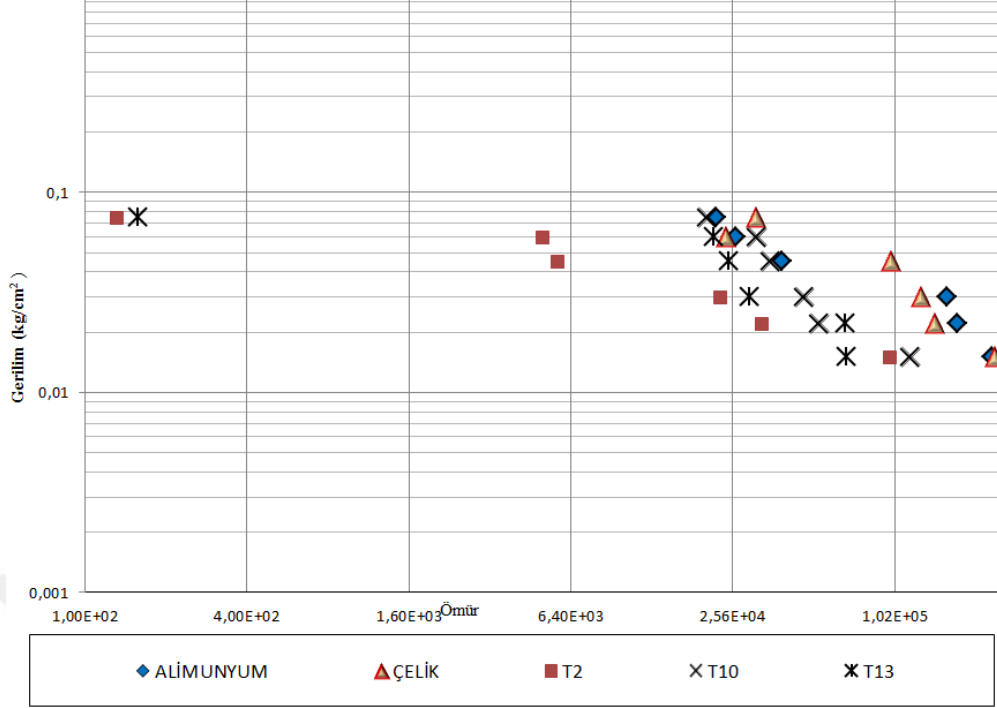
Şekil 4.16. Yorulma deney numune ölçüleri

4.11.2. Yorulma deneyi sonuçları

Eğmeli yorulma test sonuçları Tablo 4.7’de gösterilmiştir. Buna göre esas malzemeler olan alüminyum ve çeliğin ortalama yorulma ömürleri sırasıyla 109491 ve 110561 çevrim olarak birbirlerine yakın şekilde gerçekleşmiştir. T2, T10 ve T13 numaralı kaynaklı numunelere ait ortalama yorulma ömürleri ise sırasıyla 27282, 50754 ve 35140 olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlara ait yorulma grafiği Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Kaynaklı numunelere ait yorulma testi sonuçları genel anlamda esas malzemelerden ortalama olarak %65 oranında daha düşük çıkmıştır. En yüksek yorulma performansı T10 numaralı numuneye aittir ve ortalama 50754 çevrim sonucu kopma gözlenmiştir. T2 numaralı numune ise nispeten düşük (27282) yorulma dayanımına sahiptir. Eğmeli yorulma Test sonuçlarına göre artan parçalar arası boşluk ile kaynaktaki porozitenin azalmasının yorulma dayanımına olumlu etki yaptığı görülmüştür.

Tablo 4.7. Eğmeli yorulma test sonuçları

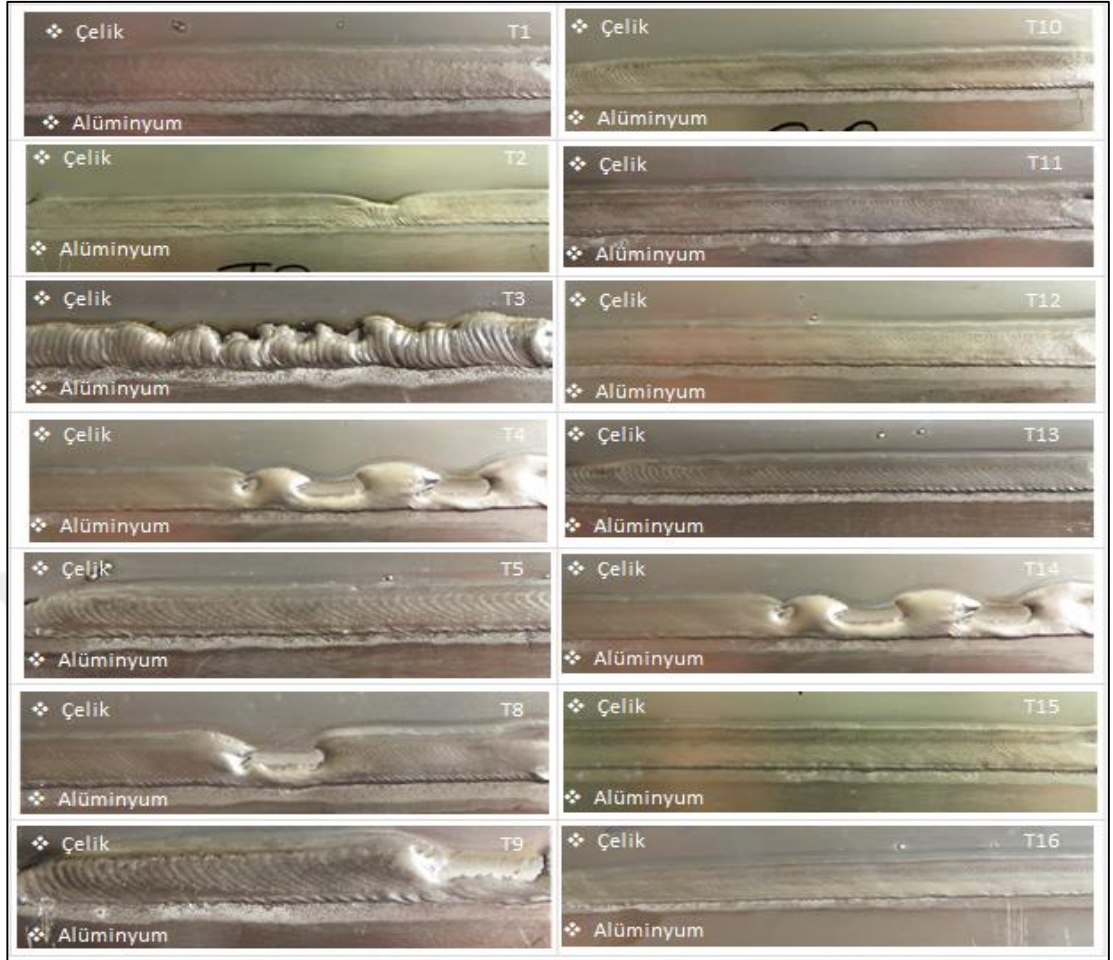
Alüminyum		Çelik		T2		T10		T13	
Gerilim (kg/cm ²)	Ömür	Gerilim (kg/cm ²)	Ömür	Gerilim (kg/cm ²)	Ömür	Gerilim (kg/cm ²)	Ömür	Gerilim (kg/cm ²)	Ömür
0,075	22124	0,075	31002	0,075	131	0,075	20470	0,075	157
0,06	26164	0,06	24089	0,06	5009	0,06	31346	0,06	21743
0,045	38995	0,045	98894	0,045	5653	0,045	35252	0,045	24638
0,03	159625	0,03	126953	0,03	22877	0,03	47098	0,03	29630
0,022	174153	0,022	143068	0,022	32702	0,022	53250	0,022	66844
0,015	235888	0,015	239363	0,015	97323	0,015	117109	0,015	67828



Şekil 4.17. Eğmeli yorulma test grafiği

4.12. Görsel İnceleme Sonuçları

Deneyleerde kullanılacak olan numunelerin, kaliteli kaynak bölgelerinden seçilmesini amaçlayan ve tüm kaynaklı saclar üzerinde kaynak sonrası görsel incelemeler gerçekleştirilmiştir. Değişken olarak kullanılan parametrelere bağılı olarak her bir deneyde elde edilen kaynak dikişi kalitesi, görüntüsü farklılık göstermiştir. Sürekli, düzgün ve sıçrantsız kaynak dikişlerinin yanı sıra, süreksiz dalgalı yüksek kaynak akımından kaynaklanan hataların oluştuğu kaynak dikişine sahip parçalar da elde edilmiştir. Şekil 4.18’de tüm örnek gruplarına ait kaynak dikişi görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 4.18. CMT kaynaklı numunelere ait kaynak dikişi görüntüleri

Kaynak dikişinde gözlenen dalgalı yapının ise çinko buharı ile ergiyik dolgu metal damlacıklarının kararlı olmayan etkileşimi sonucu oluşmuş olabileceği öne sürülmüştür. Çinkonun oldukça düşük olan kaynama noktası sonucunda (906°C) kaynak işlemi sırasında kısa devre oluşmadan ilk olarak çelik üzerindeki çinko tabakasının buharlaşması sonrasında dolgu metalinden ayrılan damlacık çelik üzerine yüzey gerilimi etkisi ile yayılır. Çinko buharı oldukça kararsızdır ve ortamdan hızlıca uzaklaşmadığından arka ve dolgu metalinden gelen damlacığa karşı koyar, bu nedenle ark stabil olmaktan çıkar ve kararsızlaşır. Bu koşullarda ergiyik damlacığın ıslatma davranışı farklıdır bu durum dalgalı kaynak dikişine sebep olur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

1. CMT MIG kaynak yöntemi kullanılarak 0,65 mm EN- BH 20/34 + Z galvanizli çelik ve 2.0 mm EN-5005-H24 alüminyum levhanın kaynaklı birleşimi gerçekleştirilmiştir.
2. ER 4043 (AlSi5) kaynak teli ve saf argon koruyucu gaz altında , 3–5,5 m / dak arası tel besleme hızı, 0 - 0,3 mm parçalar arası boşluk ve kaynak sonrası 0-60 dakika arası fırınlama süresi değişken parametreler olarak belirlenmiş ve sonuçlar Taguchi Yöntemi'ne göre analiz edilmiştir. Analize göre optimum kaynak parametreleri 3 m / dak tel besleme hızı, 0,3 mm parçalar arası boşluk ve fırınlama yapılmaması olarak belirlenmiştir.
3. Taguchi analizi ile elde edilen test sonuçlarının istatistiksel analizi sonucu; parçalararası boluğun % 38,5'lik oranla ile en etkili süreç parametresi olduğu ve bunu takiben tel sürme hızı (% 31) ve kaynak sonrası sonrası fırınlama süresinin (% 30,5) geldiğini göstermiştir.
4. CMT yöntemi ile birleştirilen çelik-alüminyum bağlantısının kaynak metalinin 3 bölgeden oluştuğu ve bunların; kaynak metali, çinkoca zengin bölge ve iki metal arayüzeyinde oluşan intermetalik fazlar olduğu gözlenmiştir. Kaynak metalinin Al, dolgu metalinden gelen Mg, Mn, Si ve çelik yüzeyindeki çinko kaplamadan gelen Zn elementlerini ihtiva ettiği görülmüştür.
5. CMT kaynaklı 0,65 mm BH 20/34 + Z galvanizli çelik ve 2.0 mm EN-5005-H24 alüminyum alaşımının dayanımı, IMC tabakasının kalınlığına bağlıdır. T14 numunesi 2 mikronun altında IMC tabaka kalınlığına sahip iken T3 numunesinin 10 mikronun üzerinde ve daha girintili bir IMC kalınlığına sahip olduğu ve çekme dayanımının da daha düşük olduğu görülmüştür.

6. CMT kaynaklı numuneler iki tipte kırılmıştır. Bunlardan biri, çelik tarafında ısıdan etkilenmiş bölgeden (Tip1) kırılma, diğeri ise alüminyum alaşım ve çinko kaplı çeliğin ara yüzeyinden kırılma (Tip2) şeklindedir.

7. Alüminyum ile galvanizli çeliğin birleştirilmesinde, galvanizin olumsuz etkileri olduğu gibi (eksik ergime, porozite oluşumu) ergiyen alüminyumun galvaniz üzerine ıslatma açısını etkilediği, böylece elde edilen kaynak dikişine direkt etkisinin olduğu da göz önüne alınabilir.

8. Aynı alüminyum ve çelik esas malzemeler galvaniz ve galvanil kaplı 2 farklı Zn kaplama tipi ile kaynak edilmeye çalışılmış fakat Fe-Zn alaşımly galvanil tabakaya sahip çelik ile alüminyumun kaynak işlemleri gerçekleştirilememiştir. Bu durum çelik üzerindeki Zn kaplamanın kaynaklı birleştirme için ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

9. Mikrosertlik incelemesi sonucu arayüzeyde oluşan intermetalik faz tabakasının beklendiği gibi alüminyum ana metalin sertlik değerlerinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durumun ikincil fazların sertlik değerlerinin alüminyum metalinden yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Benzer şekilde İntermetalik tabaka kalınlığı daha yüksek olan T3 numunesinde T14 e göre 0 bölgesinde sertlik değerinin 36 HV daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak artan intermetalik tabaka kalınlığı olduğu göz önüne alınabilir.

10. Genel olarak düzgün bir kaynak dikişinin oluşmasına karşın kaynak dikişinde zaman zaman süreksizliklere rastlanmıştır bunun sebebinin çinko buharı olabileceği gibi ince çelik sacdaki ısı kaynaklı çarpılmaların yol açtığı yüzeylerin düzgün örtüşmemesi durumunun olabileceği de göz önüne alınmalıdır.

Sonuç olarak 0,65 mm kalınlığa sahip BH 20/34 +Z çelik sac ile 2 mm kalınlığında 5005-H24 alüminyum alaşımı levha CMT (Cold Metal Transfer) yöntemi kullanılarak silisyum esaslı bir tel olan AlSi5 (ER 4043) teli ile birleştirilmiştir. CMT yöntemi ile teknolojik olarak dayanıklı ve yorulma dayanımı yüksek bağlantının oluşturulması mümkündür.

KAYNAKLAR

Arbegast W. J., Modeling Friction Stir Joining as a Metalworking Process, *Hot Deformation of Aluminum Alloys*, San Diego, 2-6 Mart 2003

Arda T. S., Neden Çelik Malzeme, Türk Yapısal Çelik Derneği, <http://www.tucsa.org.tr>, (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2016).

Arikan M. M., Başman G., Otomotiv Endüstrisi İçin Yeni Çelik Ürünler ve Özellikleri, Makine Mühendisleri Odası <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/C06.pdf>, (Ziyaret tarihi: 11 Ağustos 2017).

Aslanlar S., Elektrik Direnç Nokta Kaynağı, Sakarya Üniversitesi, <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/71097/42987/1.ednkay.pdf>, (Ziyaret tarihi: 01 Mart 2016).

Attallah M. M., Davis M., Microstructure Microhardness Relationship in Friction Stir Welded AA5251, *Journal of Materials Science*, 2007, **42**, 7299-7306.

Aytan G., Farklı Kalitedeki Galvanizli Çeliklerde Fırın Sertleştirme Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 421030.

Cao R., Huang Q., Chen J.H., Wang P.J., Cold Metal Transfer Spot Plug Welding of AA6061-T6 to Galvanized Steel for Automotive Applications, *Journal of Alloys and Compounds*, 2014, **585**, 622–632.

Chen J., Li, Shalchi B. Amirkhiz, Liang, J. ve Zhang R., Formation of Nanometer Scale Intermetallic Phase at Interface of Aluminum to Steel Spot Joint by Welding–Brazing Process, *Materials Letters*, 2014, **137**, 120–123.

Chen Y. C., Gholinia A., Prangnell P. B., Interface Structure and Bonding in Abrasion Circle Friction Stir Spot Welding: A Novel Approach for Rapid Welding Aluminium Alloy to Steel Automotive Sheet, *Materials Chemistry and Physics*, 2012, **134**, 459-463.

Cobden R., Banbury A., Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys, *TALAT (Training in Aluminium Application Technologies)*, Lecture-1501, 1-60, 1994.

Çavuşoğlu N., Özden H., Lazer Bindirme Kaynaklı Çelik-Aluminyum Bağlantılarının Mekanik ve Metalurjik Özellikleri, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2014, **11**, 31-45.

Darıdereli Y., Alüminyum Alaşımlarının Mikroyapı, Mekanik Özellikler ve Aşınma Direncine Yaşlanmanın Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 254973.

Daşcılar B., Farklı Ekstrüzyon Hızlarında Ekstrüze Edilmiş AA6063 Alaşımlarının Yüzey ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 2006, 182555.

Davis C. J. ve Thomas W. M., Friction Stir Process Welds Aluminum Alloys, *Welding Journal*, 1996, **75**, 41–45.

Dennis W.H., Çeviri: Doç. Dr. Tulgar E., *Demirden Gayri Metaller Metalurjisi*, 1. Baskı, İTÜ Kimya – Metalurji Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1971.

Deren H., *Çelik Yapılar*, 4. Baskı, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2012.

Fedrizzi L., Stenico, M., Deflorian, F., Maschio, S., Bonora, P., Effect of Powder Painting Procedures on the Filiform Corrosion of Aluminium Profiles, *Progress in Organic Coatings*, 2007, **59**, 230-238.

Güçlüer S., Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle Alın Kaynağı Yapılmış Al 5086-H32 Levhaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 2007, 202774.

Güngör B., AW 5083-H111 ve AW 6082-T651 Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma (FSW) ve Robotik CMT-MIG Kaynak Yöntemleri ile Kaynağında Mekanik ve Metalürjik Özelliklerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 342552.

Güneş, S., Hafif Çelik Yapıların Farklı Yönetmeliklere Göre İncelenmesi, Mevcut Kontrol Şartları ve Oluşturulabilecek Hafif Çelik Yapı Yönetmeliğinde Vurgulanması Önerilen Konular, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 446623.

Hasol D., *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, 12. Baskı, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul, 1995.

Hattingh D. G., Welding and Not, *The South African Mechanical Engineer*, 2006, **56**, 16-17.

Haydar H., Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Kullanılan Tane Küçültücüler, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 302599.

Honggang D., Wenjin H., Yuping D., Xudong W., Chuang D., Dissimilar Metal Joining of Aluminum Alloy to Galvanized Steel with Al–Si, Al–Cu, Al–Si–Cu and Zn–Al filler wires, *Journal of Materials Processing Technology*, 2012, **212**, 458–464.

Hui-cheng, Y., Bai-zhen, C., Xichang, S., Xiliang, S., Bin, L., Investigation of the Trivalent-Chrome Coating on 6063 Aluminum Alloy, *Materials Letters*, 2008, **62**, 2828–2831.

İğın M., Farklı Çelik Taşıyıcı Sistem Konfigurasyonlarının Çelik Yapı Boyutlandırmasına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 424507.

Jian L., Ninshu M., Yongping L., Hidekazu M., Shear Strength of CMT Brazed Lap Joints between Aluminum and Zinc-Coated Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 2013, **213**, 1303–1310.

Karaduman M., *Çelik Yapılar*, 7. Baskı, Nobel Yayınları, Ankara, 1999.

Kascak L., Vinas J., Spisak E., Deltaspot as an Innovative Method of Resistance Spot Welding, *Mechanika*, 2012, **84**, 43-53.

Keeler S., Kimchi M., Advanced High Strength Steel Application Guidelines, *World Auto Steel*, Version 5, 1-60, 2014.

Kleiner M., Chatti S., Klaus, A., Metal Forming Techniques for Lightweight Construction, *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, **177**, 2-7.

Kurt A., Boz, M. ve Özdemir M., Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 2004, **19**, 191-197.

Lohwasser D., Chen Z., *Friction Stir Welding from Basics to Applications*, 1th ed., Woodhead Publishing, Berkeley, 2010.

Malyer E., Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen 5000 Serisi Alüminyum Alaşımlarında Kaynak Parametrelerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2010, 340034.

Mathers G., *The Welding of Aluminium and It's Alloys*, 1th ed., Woodhead Publishing, Cambridge, 2002.

Medgyesi T., Popescu M., Opris C., Difficulties Encountered in Performing Dissimilar Joints on Sheets, *Proceedings of the 22 nd International DAAAM Symposium*, Vienna, Austria, 23-26 November 2011.

Mert Ş., Mert, S., Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin Otomotiv Sektöründeki Yeri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2015, **3**, 432-438.

Mert Ş., Mert S., Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2013, **2**, 26-35.

Minjung, K., Cheolhee. K., Joining Al 5052 Alloy to Aluminized Steel Sheet Using Cold Metal Transfer Process, *Material Design*, 2015, **81**, 95-103.

Oğuz B., *Demirdışı Metaller Kaynağı*, 1. Baskı, Oerlikon Yayınları, İstanbul, 1990

Okumuş E., Sürekli Levha Döküm Tekniği ile Üretilmiş 1XXX-3XXX ve 5XXX Alaşımli Levhaların Mikro Yapı Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 142901.

Ozaki H., Kutsuna M., Dissimilar Metal Joining of Zinc Coated Steel and Aluminum Alloy by Laser Roll Welding, *Intech*, 2012, **2**, 33-54.

Övündür M., Alüminyum Alaşımına Uygulanan Mikroark Oksidasyon ve Anodik Oksidasyon İşlemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 353712.

Özdinçer A., Alüminyum Alaşımının Gaz Altı Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımlarının Nüfuziyet ile Diğer Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 182638.

Rosado T., Almeida P., Pires I., Miranda R., Quintino L., Innovations in Arc Welding, *Congresso De Engenharia De Moçambique*, Maputo, 2-4 September 2008.

Sato Y. S., H. Kokawa K. Ikeda, Mç Enomoto. S. Jogan, T., Hashimoto, Microstructure in the Friction Stir Weld of an Aluminium Alloy, *Metallurgical and Materials Transactions*, 2001, **32**, 941-948.

Selvi S., A., Vishvaksenan, ve Rajasekar E., Cold Metal Transfer (CMT) Technology an Overview, *Defence Technology*, 2018, **14**, 28-44.

Serfiçeli Y. S., *Malzeme Bilgisi*, 2. Baskı, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 2000.

Shanglu Y., Jing Z. A, Jin Lian B, Yongpin L., Welding Of Aluminum Alloy to Zinc Coated Steel by Cold Metal Transfer, *Materials And Design*, 2013, **49**, 602–612.

Shigematsu I., Kwon Y, Suzuki K., Imai T., Sato N., Joining of 5083 and 6061 Aluminium Alloys by Friction Stir Welding, *Journal of Materials Science Letters*, 2003, **22**, 353-356.

Smith W.F., Çeviri: Kınikoğlu, N.G., *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, 3. Baskı, Literatür Yayınları, İstanbul, 2001.

Somak D., Pratihari, K., Bandyopadhyay, P., Modeling of Input–Output Relationships for a Plasma Spray Coating Process Using Soft Computing Tools, *Applied Soft Computing*, 2012, **12**, 3356–3368.

Şahin Yadigar E., Konut Mimarisinde Çelik Sistem ile Betonarme Sistemin Çeşitli Parametrelerde Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2011, 275571.

Şaldır R., Alüminyum ve Alaşımının Kaynak Kabiliyeti, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 126547.

Şişmanoğlu T., Anodik Oksidasyon Yöntemiyle 2024, 6082 ve 7075 Kalite Alüminyum Alaşımlarının Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251622.

Taban E., 5XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının TIG, MIG ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2004, 154963.

Taban E., Gould J. E., Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Yeni Nesil Direnç Kaynak Yöntem ve Uygulamaları, *ALUS'05 Alüminyum Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 13-14 Ekim 2011.

Takahashi M., Development of High Strength Steels for Automobiles, *Nippon Steel Technical Report*, 88, 2-6, 2003.

Thomy C., Vollertsen F., Laser-MIG Hybrid Welding of Aluminum to Steel-Effect of Process Parameters on Joint Properties, *Welding in the World*, 2013, **56**, 124-132.

Tohumcu S., Plazma Elektrolitik Oksidasyon Yöntemiyle Alüminyum Alaşımlarının Kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2005, 506111420.

Totten G. E., Mackenzie S., *Handbook of Aluminum Volume 1: Physical Metallurgy and Processes*, 1st ed., Marcel Dekker Inc., New York, 2003.

Tuncer, S.S., Demir ve Çeliğin Tarihi Gelişimi, *İnşaat & Malzeme*, İstanbul, 1999, **145**, 62-38.

URL-1: <http://www.metalurjiakdag.com.tr/dosya/seminer-notlari-2013.pdf>, (Ziyaret tarihi: 20. Eylül 2017).

URL-2: <http://insapedia.com/2018/03/16/peklesme-nedir/>, (Ziyaret tarihi: 10. Mart 2018).

Ünal A., 1050A, 3003, 3105, 5005 Alüminyum Alaşımlarının Çift Merdaneli Döküm Yöntemiyle Levha Şeklinde İmalatı ve Mikroyapılarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2005, 166820.

Ünel E., CMT-MIG Kaynaklı Alüminyum ve Çelik Bağlantılarının Özellikleri ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 423778.

Ünel E., Taban E., Properties and Optimization of Dissimilar Aluminum Steel CMT Welds, *Weld World*, DOI: 10.1007/s40194-016-0386-9.

Varol F., MIG Lehimleme Yöntemi ile Dual Fazlı Çelik Sacların Birleştirilebilirliğinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013, 337024.

Yang S., Zhang J., Lian J., Lei Y., Welding of Aluminum Alloy to Zinc Coated Steel by Cold Metal Transfer, *Materials and Design*, 2013, **49**, 602-612.

Yeşildal R., Günay Y., Plazma Sprey Yöntemi ile Kaplama ve Sprey Karakteristiklerinin İncelenmesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2007, **1**, 59-76.

Yıldırım Murat T., Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen 3000 Serisi Alüminyum Alaşımların Yorulma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2010, 259688.

Yongchao S., Xueming H., Yixiong W., Influence of Alloy Elements on Microstructure and Mechanical Property of Aluminum–Steel Lap Joint Made by Gas Metal Arc Welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 2014, **214**, 750-755.

Zhang H. T., Feng J. C., He P., Zhang B.B., Chen J. M., Wang L., The Arc Characteristics and Metal Transfer Behaviour of Cold Metal Transfer and Its Use in Joining Aluminium to Zinc-Coated Steel, *Materials Science and Engineering*, 2009, **499**, 111-113.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Nüman H., Taguchi Yöntemi ile Nokta Kaynağında Çekirdek Çapı ve Çökme Miktarının Optimizasyonu, *TMMOB IX. Endüstri Mühendisliği Kurultayı*, Eskişehir, Türkiye, 6-7 Aralık 2013.

Nüman H., Taban E., Dissimilar Robotic Cold Metal Transfer (CMT) Welding of Alüminum Alloy to Galvanized Steel, *Materials Testing*, (Yayına kabul edildi).



ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Giresun'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Giresun'da lise öğrenimini Ordu Fen Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2003 yılında Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde ikinci anadal programına kabul edildi ve 2006 yılında lisans eğitimlerini tamamladı. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2008 yılında otomobil gövdesi kaynak proses mühendisi olarak başladığı kariyerine, 2013 yılından bu yana otomotiv kalıp ve mühendislik yöneticisi olarak devam etmektedir.

