

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAKLA BİRLEŞTİRİLMİŞ ALÜMİNYUM ALAŞIMI
SACLARIN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi A. Ozan İrizalp

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon ve İmalat

MANİSA 2013

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAKLA BİRLEŞTİRİLMİŞ ALÜMİNYUM ALAŞIMI SAÇLARIN
MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi A. Ozan İrizalp

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Kasım 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Aralık 2013

**Tez Danışmanı
Diğer Jüri Üyeleri**

**: Yrd.Doç.Dr. Hülya DURMUŞ
: Doç.Dr. Bekir Sadık ÜNLÜ
Yrd.Doç.Dr. Selda KAYRAL**

MANİSA 2013

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK VE TARİHSEL GELİŞİMİ.....	2
2.1. Kaynaklı Birleştirmenin Tarihçesi	2
2.2. Kaynak Yönteminin Esasları	2
2.3. Kaynak Yönteminin Üstünlükleri ve Kısıtları	4
2.4. Bindirme Kaynağı.....	4
2.5. Kaynak Yöntemleri	5
2.5.1. Elektrik Ark Kaynağı.....	5
2.5.2. Tungsten Insert Gaz (TIG) Kaynağı.....	5
2.5.3. MIG-MAG Kaynağı.....	6
2.5.4. Ultrasonik Kaynak.....	7
2.5.5. Lazer Kaynağı.....	8
2.5.6. Sürtünme Karıştırma Kaynağı.....	9
2.5.7. CMT (Soğuk Metal Transferi) Kaynağı.....	10
2.5.7.1. CMT Kaynağının Tanımı ve Özellikleri.....	10
2.5.7.2. CMT Kaynağının Prensibleri.....	11
2.5.7.3. CMT Kaynak Yönteminin Diğer Kaynak Yöntemlerine Göre Avantajları.....	13
3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	16
3.1. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri.....	16
3.1.1. Atom Yapısı Ve Kristal Kafesi.....	16

3.1.2. Yoğunluk.....	16
3.1.3. Isıl İletkenlik.....	17
3.1.4. Isıl Genleşme.....	17
3.1.5. Yüzey Gerilimi ve Vizkozite.....	17
3.1.6. Elektriksel İletkenlik.....	17
3.2. Alüminyum Mekanik Özellikleri.....	18
3.2.1. Elastisite Modülü.....	18
3.2.2. Brinell Sertliği.....	18
3.2.3. Çekme Dayanımı.....	18
3.3. Alüminyumun Kullanım Alanları.....	18
3.3.1. Ulaşım Sektörü.....	19
3.3.2. İnşaat Sektörü.....	19
3.3.3. Ambalaj.....	19
3.3.4. Elektrik-Elektronik Uygulamaları.....	20
4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ CMT KAYNAĞI.....	21
4.1. Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Karşılaşılan Zorluklar.....	21
4.2. Alüminyum Alaşımlarının CMT Kaynağı.....	22
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23
5.1. Numune Hazırlama.....	24
5.2. Gözle Muayene.....	24
5.3. Eğme Testi.....	24
5.4. Mikrosertlik Testi.....	24
5.5. Metalografik İnceleme.....	25
5.6. Çekme Makaslama Testi.....	25
6. SONUÇLAR.....	27

6.1. 1050 Alüminyum Sac Levha-1050 Alüminyum Sac Levha ve 1050 Alüminyum Sac Levha-1314 Galvanizli Sac Levha CMT Kaynağı İle Birleştirilmesi.....	27
6.1.1. Metalografik İnceleme.....	27
6.1.2. Sertlik Ölçümleri.....	33
6.1.3. Çekme Makaslama Testi Sonuçları.....	36
6.1.4. Eğme Testi Sonuçları.....	38
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
8. REFERANSLAR.....	44

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Kaynak metali ve ITAB'da mikroyapı	3
Şekil 2.2. Kaynak dikişinin ortasından itibaren sıcaklık dağılımı.....	3
Şekil 2.3. Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak bölgesi (URL6).....	5
Şekil 2.4. TIG kaynağının şematik görüntüsü (Atamert, 1988).....	6
Şekil 2.5 MIG kaynak yönteminde ark bölgesi (Anık, 1991).....	7
Şekil 2.6. Lazer Kaynağının Şematik Resmi (Waltz, 2003).....	8
Şekil 2.7. Lazer Kaynağı ile derin nüfuziyet etkisi (Schubert et al., 2001).....	8
Şekil 2.8. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi (Çam, 2003).....	10
Şekil 2.9. CMT çevriminin gerçek zamanlı hızlı fotoğraflanmış görüntüsü (Hasselberg, 2009)..	11
Şekil 2.10. Kısa devre metal transferinin akım-voltaj değerine bağlı olarak şematik gösterimi (Hasselberg, 2009).....	12
Şekil 2.11 CMT işleminde telin geri çekilme hareketiyle metal transferi (Hasselberg, 2009).....	12
Şekil 2.12. MIG kısa devre ark yöntemi (a) ve CMT yöntemi (b) ile oluşan çapak miktarının kıyaslanması (URL7).....	14
Şekil 5.1. CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 Alüminyum-1314 Galvanizli Çelik Saclar.....	23
Şekil 5.2. Sertlik Cihazı.....	25
Şekil 5.3. Uygulanan mikrosertlik ölçümünün şematiği.....	25
Şekil 5.4. Çekme Cihazı.....	26
Şekil 6.1. A kaynaklı numunenin CMT yöntemiyle birleştirilmiş ait mikroyapı görüntüleri. (a) ve (b) kaynak bölgesi, (c) ve (d) ITAB, (e) ve (f) geçiş bölgesi.....	28
Şekil 6.2 A numunesinin sac makroyapı görüntüleri.....	29
Şekil 6.3. B parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelerde kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.....	30
Şekil 6.4. B parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelere ait makroyapı görüntüleri.....	31
Şekil 6.5. C parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelere ait mikroyapı görüntüleri. (a), (b) ve (c) kaynak bölgesi, (d) ITAB, (e) ve (f) geçiş bölgesi.....	32

Şekil 6.6. C parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelere ait makroyapı görüntüleri.....	33
Şekil 6.7. Kaynak kesitinin ve kaynak dikişinin stereo mikroskop görüntüsü.....	34
Şekil 6.8. A numunesinin mikrosertlik değerleri.....	34
Şekil 6.9. B numunesinin mikrosertlik değerleri.....	35
Şekil 6.10. C numunesinin mikrosertlik değerleri.....	35
Şekil 6.11. CMT kaynaklı parçanın sertlik değişimi.....	36
Şekil 6.12. A parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemede kuvvet-birim şekil değiştirme grafikleri.....	37
Şekil 6.13. B parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemede kuvvet-birim şekil değiştirme grafikleri.....	37
Şekil 6.14. C parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemede kuvvet-birim şekil değiştirme grafikleri	38
Şekil 6.15. A numunesinin eğme testi sonucu gerilme-strok grafiği.....	39
Şekil 6.16. B numunesinin eğme testi sonucu gerilme-strok grafiği.....	39
Şekil 6.17. C numunesinin eğme testi sonucu gerilme-strok grafiği.....	40
Şekil 6.18. (a) Eğme testi numunesi. (b) Eğme testi sonucu numune görüntüsü.....	40
Şekil 6.19. Al 1050- Kaynak Metali Mikroyapı görüntüsü.....	41
Şekil 6.20. Kaynak Metali-Al 1050 mikroyapı görüntüsü.....	41
Şekil 6.21. 1314 Galvanizli Sac- Kaynak Metali görüntüsü.....	41
Şekil 6.22. 1314 Galvanizli çelik-1050 alüminyum kaynak metali arasındaki intermetalik bölge.....	42
Şekil 6.23. Kaynak metalinin içyapısında oluşan gözenekler.....	43
Şekil 6.24. Alüminyum ve galvanizli sac arasındaki birleşme aralığı.....	43

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Alüminyumun bazı özellikleri (Can, 2006).....	16
Çizelge 3.2. Artan saflık derecesiyle alüminyumun yoğunluğundaki değişim (Karadağ, 2011)..	17
Çizelge 3.3. Alüminyumun artan sıcaklıkla ısı iletkenliğindeki değişim (Çam, 2003).....	17
Çizelge 5.1. Alüminyum 1050 nin bileşimi ve mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 5.2. 1314 Galvanizli sacın kimyasal bileşimi.....	24
Çizelge 6.1. Kaynak parametrelerinin değişimi.....	27
Çizelge 6.2. CMT kaynağı ile birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelerin mekanik özellikleri.....	28

TEŞEKKÜR

Daniőmanım Yrd.Doç.Dr. Hülya DURMUŞ'a tez boyunca yapmış olduğu katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Tezin laboratuvar çalıőmaları boyunca yardımcı olan Arő. Gör. İlyas TÜRKMEN' e ve Arő. Gör. Nilay YÜKSEL' e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Sarf malzemelerin temini için CANOZAN PANO San. Ltd. őti' ne ve kaynakların gerçekleştirilmesi için olanak sağlayan FRONUIS İstanbul őirketine teşekkür ederim.

Her konuda yardımcı olan sevgili eőim Simge İRİZALP'e ve aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

ÖZET

Kaynak teknolojileri pek çok sektör için vazgeçilmez ve çoğu durumda alternatifi olmayan bir imalat yöntemidir. Metallerin birleştirme teknikleri insanlık tarihinde çok eski dönemlere dayanmakla birlikte gelişimi günümüzde de devam etmektedir.

Soğuk Metal Transferi (Cold Metal Transfer-CMT) prosesi, kontrollü darbeli kaynak akımı ve gerilimine dayanmaktadır. Temelde bilinen MIG / MAG işleminin bir türevidir.

Bu çalışmada farklı CMT kaynağı parametrelerinde, 1050 alüminyum sac-1050 alüminyum sac ve 1050 alüminyum sac-1314 galvanizli çelik sac olmak üzere iki farklı malzeme çifti bir araya getirilmiştir. Elde edilen numuneler mekanik ve metalografik açıdan incelenmiş ve sonuçları irdelenmiştir.

CMT kaynağı ile geleneksel kaynak yöntemlerinde yaşanan alüminyumun saclarının birleştirilmelerindeki zorluklar meydana gelmemekte, kaynak dikişlerinin cürufsuz ve son yüzey hazırlığı gerektirmediği göze çarpmaktadır.

ABSTRACT

Welding Technologies are indispensable in most industry and have no alternative among manufacturing methods. In conjunction with the assemble techniques of metals depend on too old period, the developments continue today also.

Cold Metal Transfer (CMT) process depends on the controlled pulsed welding current and voltage. Essentially, it is known that a derivation of MIG/MAG process.

In this study, the materials are welded in the different CMT welding parameters and two material couples as 1050 aluminum sheet-1050 aluminum sheet and 1050 aluminum sheet-1314 galvanized steel sheet. These specimens are investigated in mechanic and metallographic properties and the results are examined.

The complications in the welding of aluminum sheet metals in conventional welding methods do not happen in CMT process. And therefore, non-cindery and final surface condition on the material draws the attention.

1. GİRİŞ

Dünyada en fazla kullanılan mevcut metaller sıralamasında alüminyum ikinci sırayı alır. Alüminyum metalinden muhtelif alaşımlama ve farklı ısı işlem şartı ile çok farklı amaçlar için dört yüze yakın sayıda alüminyum alaşımı geliştirilmiştir (Karadağ, 2011).

Kaynak teknolojileri pek çok sektör için vazgeçilmez ve çoğu durumda alternatifi olmayan bir imalat yöntemidir. Metallerin birleştirme teknikleri insanlık tarihinde çok eski dönemlere dayanmakla birlikte gelişimi günümüzde de devam etmektedir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, ergitme kaynak yöntemlerinden olan gaz ergitme kaynağı ve örtülü elektrot ile ark kaynağı yöntemleri kullanıldığında sınırlı olarak kaynak edilebilirken, gaz altı kaynak yöntemlerinin ortaya çıkması daha kaliteli kaynak bağlantıları oluşturulmasına imkan tanımıştır (Karadağ, 2011). İnce alüminyum levha alaşımlarının ark kaynağı benzersiz zorluklar oluşturmaktadır. Çeliğe kıyasla nispeten yüksek ısı genleşme ve ısı iletkenlik katsayıları sebebiyle, kaynağa ısı girdisinin kontrolü önemli bir ön koşuldur (Pickin et al., 2011). Alüminyum kaynağında karşılaşılan zorluklar 2000'li yıllarda Fronius firması tarafından geliştirilen Soğuk Metal Transferi (Cold Metal Transfer-CMT) kaynak yöntemiyle büyük oranda aşılabilmektedir.

CMT kaynağı, kontrollü darbeli kaynak akımı ve gerilimine dayanmaktadır. Temelde bilinen MIG / MAG işlemin bir türevidir (Talaev et al., 2012).

CMT kaynağı, elektrik ark dalgalarını kısmen dolgu teli besleme hızından ayıran nispeten yeni bir teknolojidir. İşlem hem periyodik arklanma hem de tel besleme hızını kontrol ederek, malzeme transferi için dolgu teli kısa devresine dayanmasına rağmen hem ana malzemeyi hem de dolgu telinden bir damlayı ergitebilmek için yeterli miktarda enerji açığa çıkarabilir. Sonuç olarak malzeme transferi kısa devre noktasında düşük ark enerjisiyle meydana gelir ve böylelikle kaynağa ısı girdisi azaltılmış olur (Pickin et al., 2011).

2. KAYNAK VE TARİHSEL GELİŞİMİ

2.1. Kaynaklı Birleştirmenin Tarihçesi

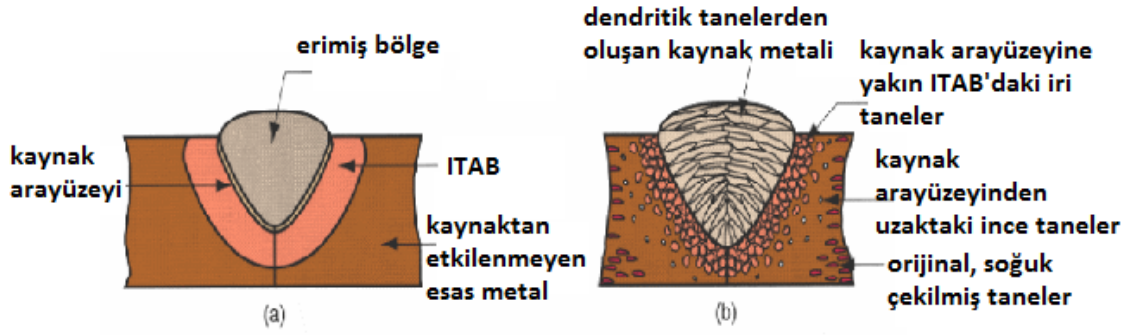
Kaynak, malzemeleri birbiri ile birleştirmek için kullanılan bir imalat yöntemidir. 19. yüzyılın sonuna dek, sadece demircilerin kullandığı ısıtma ve dövme yolu ile metallerin birleştirildiği kaynak yöntemi biliniyordu. Elektrik ark kaynağı ve oksijen-gaz kaynağı yüzyılın sonunda gelişen ilk yöntemlerdir. Bu yöntemleri direnç kaynağı izlemiştir. Kaynak teknolojisi 20. yüzyılın erken dönemleri esnasında (I. Dünya Savaşı ve II. Dünya Savaşı sonlarında) artan talebi karşılayabilmek için hızla gelişerek güvenilir ve ucuz yöntemler arasına katılmıştır (URL1).

Savaşların ardından, manuel yöntemler (manuel metal ark kaynağı), yarı-otomatik ve otomatik yöntemleri (gaz altı metal ark kaynağı vb.), içeren çeşitli modern kaynak teknikleri gelişmiştir. Gelişmeler, yüzyılın ikinci yarısında da lazer ışın kaynağı ve elektron ışın kaynağının bulunması ile devam etmiştir. Robot kaynağı, endüstride yaygın bir yer edinmiştir, yeni kaynak yöntemleri ve kaynak kalite ve özelliklerinin geliştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi için araştırma ve geliştirme çabaları devam etmektedir (URL1).

2.2. Kaynak Yönteminin Esasları

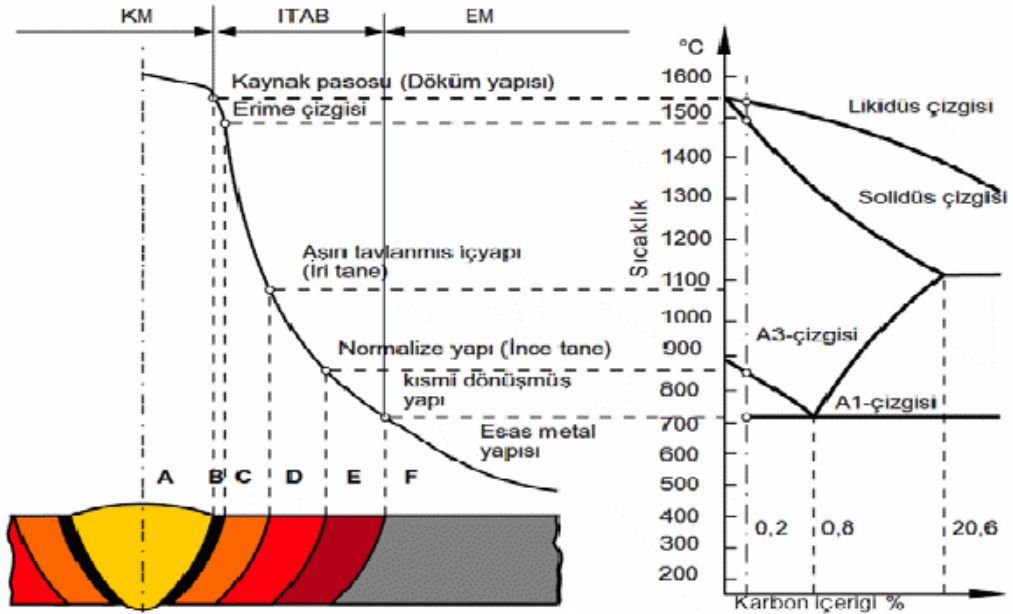
Metal malzemelerin kaynağı, bu malzemelerin ısı veya basınç veya her ikisinin de yardımıyla, ilave malzeme kullanarak veya kullanmadan birleştirilmesi olarak tanımlanır. İşlem, birleştirme bölgesindeki malzeme çoğunlukla sıvı veya plastik şekil değiştirebilir durumda iken gerçekleştirilir. Ortaya çıkan bağlantı çözülemez (Aran ve Güleç, 1993).

Teknolojik olarak kaynak, basınç ve ısı kaynağı olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Basınç kaynağında malzemelerin birleştirme yüzeylerine ısı ile birlikte basınç uygulanır. Gereken ısı, ocak, elektrik direnci veya sürtünme ile sağlanmaktadır. Isıtma kaynağında ise, birleştirme bölgelerinin ve ilave metalin ısı etkisi ile ısıtılması suretiyle malzemeler birleştirilmektedir. Isıtma kaynağı ile birleştirilen malzemelerin kaynak bölgesi, kaynak metal ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB)den oluşur (Şekil 2.1). Kaynak ısısının etkisiyle ısıtılan ana metalin ve ilave metalin katılmasıyla oluşan kaynak metal, malzemelerin birbirleriyle birleşmesini sağlar. ITAB, kaynak metalinin hemen yanında bulunan ve kaynak ısısından etkilenerek birtakım metalurjik reaksiyonların gerçekleştiği ana metal bölgesidir (Çimenoglu, 1997). Bir kaynak dikişinin kesiti, metalografik olarak incelendiğinde ısıtılmış olan bölgeyi sınırlayan ısıtma çizgisi oldukça belirgin bir şekilde görülmektedir (Kaluç ve Taban, 2005).



Şekil 2.1. Kaynak metal ve ITAB'da mikroyapı (URL2)

Şekil 2.2'ye göre Bölge A, ITAB'ın merkezi olup, eriyen kaynak metalidir. Bölge B-C, hemen kaynak dikişinin yanı olup iri taneli bölgedir. Sıcaklık ergime noktası yakınına ulaştığı bölge olması nedeniyle hızlı ostenitik tane büyümesi meydana gelir. Geniş tane boyutu sertleşme eğilimini artırır, ve bu bölge soğuma ile birlikte martenzite dönüşebilir. Bölge D, ostenit hale gelmiştir ancak burada sıcaklık önemli ölçüde tane büyümesi yapabilmesi için oldukça düşüktür. Bölge E de, bazı tanecikler ostenite dönüşebilirse de diğerleri dönüşemez. Ostenit tanecikleri oldukça incedir. Bölge F'de ostenite dönüşemeyen tanecikler vardır. Ancak ferrit tanecikleri kaynak ısı etkisiyle temperlenebilir (URL2).



Şekil 2.2. Kaynak dikişinin ortasından itibaren sıcaklık dağılımı (URL2).

2.3. Kaynak Yönteminin Üstünlükleri ve Kısıtları

Kaynak bağlantıları pek çok yönlü kullanılmaktadır. Kaynaklı parçalar ucuz olmakla beraber, perçin bağlantılarına nazaran daha hafiftir. Saçlar alın altına tutturulabildiğinden cıvata ve perçin bağlantılarında olduğu gibi deliklere ihtiyaç kalmamaktadır. Böylece parçaların deliklerle zayıflatılmaması, korozyon nedenlerinin azaltılması ve bağlanan parçaların daha kolay temizlenebilmesi sağlanmış olur. Dökümde imalatı mümkün olmayan veya zor olan konstrüksiyonlar kaynakla kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir. Makine imalatında gittikçe artan bir şekilde kaynak konstrüksiyonu kullanılmaktadır.

Kaynağın bazı dezavantajları da vardır. Bağlama işlemi esnasında dikişe yakın yerde parçaların yapısındaki değişikliklerden ve kaynak dikişlerindeki iç gerilmelerden dolayı parçaların mukavemeti azalır. Her malzeme kaynağa uygun değildir. Bazı durumlarda birbirine kaynak edilecek parçalar deforme olmaması için dikişler belirli bir sıraya göre yapılır. Temiz çapaksız dolu bir kesite sahip olan kaynak iyi kaynaktır (Rende, 1996).

2.4 Bindirme Kaynağı

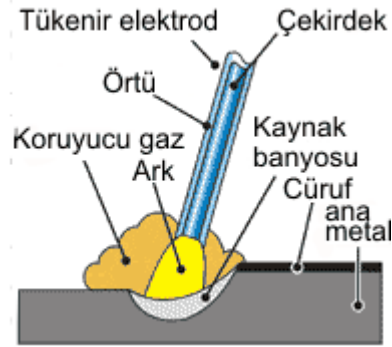
Dayanıklılığın ön plana çıktığı ve küt-ek kaynağına göre daha fazla dayanım istenen parçalara uygulanır. Küt-ek kaynağında olduğu gibi boşluk gerekmez. Bindirme kaynağı, kaynak edilecek parçaların üst üste bindirilerek yapılan birleştirme şeklidir.

Bindirme kaynağı dikişin çekileceği bölge yönünden, üst üste konulan parçalar köşe oluşturduğu için köşe kaynağına benzer. Çalışma açısı olarak elektrot 45°, hareket açısı olarak ise 60° açı ile tutulur. Elektrot açıları kaynak arkının kontrolü ve dikişin tekniğine uygun oluşması için önemlidir. Bu açılar tecrübeli bir kaynakçı tarafından gözle ayarlanır ve ark oluşumundan açının doğru olup olmadığı anlaşılır. Özellikle bindirme kaynağı gibi köşelerin kaynatılmasında çalışma açısı önemlidir (URL3)

2.5. Kaynak Yöntemleri

2.5.1. Elektrik Ark Kaynağı

Elektrik ark kaynağında kaynak için gerekli ısı, elektrik arki tarafından sağlanmaktadır. Kaynak ağızını doldurmak için gerekli ek kaynak metalinin katılma biçimi ve kaynak bölgesinin havanın olumsuz etkilerinden korunma biçimine göre çok çeşitli ark kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Günümüzde en yaygın kullanılan eritme kaynağı yöntemleri elektrik ark kaynağı yöntemleridir. Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ve eriyen elektrod arasında yanar ve bu şekilde eriyen elektrod aynı zamanda kaynak metali haline geçer. Elektrod Örtüsü de aynı anda yanarak erir. Bu esnada açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan cürufta kaynak dikişini örtterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar (Şekil 2.3) (Anık et al., 1991).



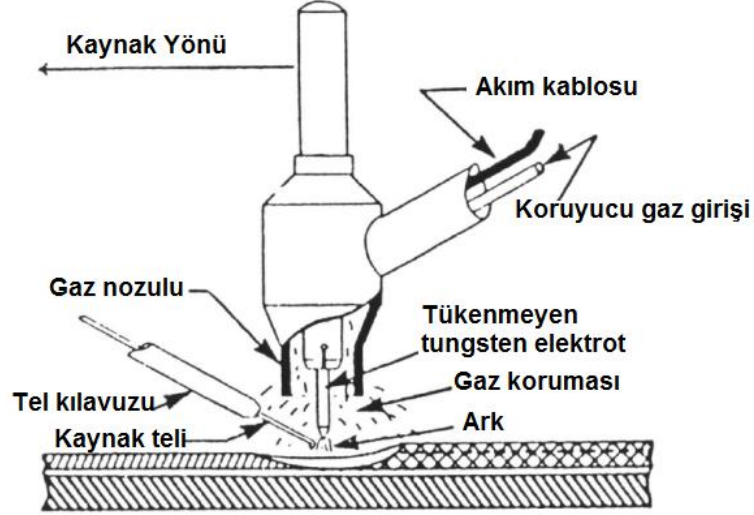
Şekil 2.3. Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak bölgesi (URL6)

Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, ark kaynak yöntemleri içinde en basit, en popüler ve en universal özeliğe sahip olan yöntemdir. Bu yöntem uygulamada, demir esaslı veya demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında 1,2 mm'den daha kalın parçalara, her kaynak pozisyonunda uygulanabilmektedir. Örtülü elektrod kullanılarak el ile yapılan elektrik ark kaynağında teknik donanım kadar kaynakçının bilgisi ve el becerisi de büyük bir önem taşımaktadır (Anık et al., 1991).

2.5.2. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı

Tungsten Inert Gas kelimeselerinin ilk harflerinden oluşmuş TIG kelimesi ile adlandırılan bu yöntemde, kaynak için gerekli ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında

oluşturulan ark tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de elektrodu çevreleyen bir lüleden gönderilen, bir asal gaz (Helyum veya Argon) tarafından korunmaktadır (Şekil 2.4) (Atamert, 1988).

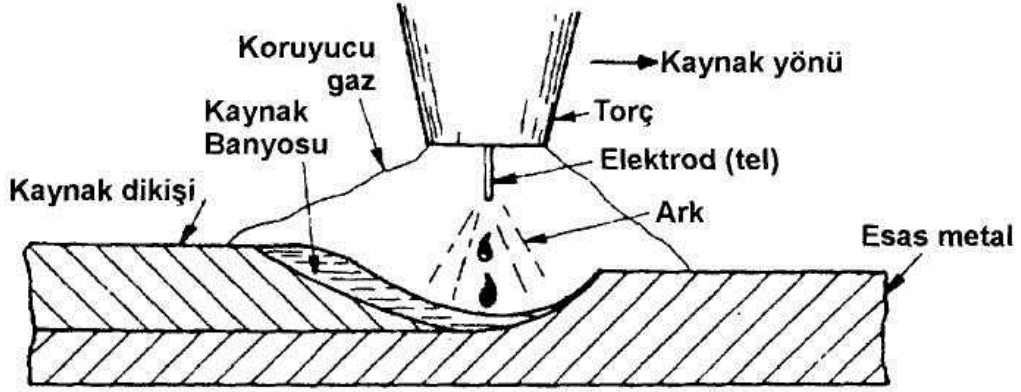


Şekil 2.4. TIG kaynağının şematik görüntüsü (Atamert, 1988).

Kaynak için ek kaynak metali, oksijen - asetilen yönteminde olduğu gibi, tel halinde kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulur. Koruyucu gaz olarak bir soy gaz kullanılması sonucunda, kaynak esnasında sıvı metal havanın olumsuz etkilerinden çok iyi bir derecede korunur. Bu bakımdan, bu yöntem özellikle havanın oksijeninden şiddetle etkilenen hafif metal alaşımları ve paslanmaz çelikler için çok yaygın olarak kullanılmaktadır. TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, demir esaslı alaşımların kaynağında ve endüstride karşılaşılan demir dışı metal ve alaşımların çok büyük bir kısmının kaynatılmasında başarı ile kullanılabilir ve bütün kaynak pozisyonlarında sağlıklı sonuçlar alınabilmektedir. Bu yöntem ince levhaların kaynağında çok başarılı sonuçlar vermesinin yanı sıra kalın parçalara da kolayca uygulanabilmektedir (Anık, 1991) .

2.5.3 MIG-MAG Kaynağı

Yapılan araştırmalar sonucu, ilk defa ABD'de alüminyum ve alaşımlarının sonra da sırası ile yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının, karbonlu çeliklerin kaynağında uygulanmış olan MIG (Metal Inert Gas) kaynak yönteminde de ark, helyum veya argon gibi asal bir gaz atmosferi altında yana. Bu yöntemin TIG yönteminden farkı, arkın iş parçası ve kaynak metali gereksinimini karşılayan bir elektrod arasında oluşturulmasıdır (Şekil 2.5) (Anık, 1991).



Şekil 2.5 MIG kaynak yönteminde ark bölgesi (Anık, 1991) .

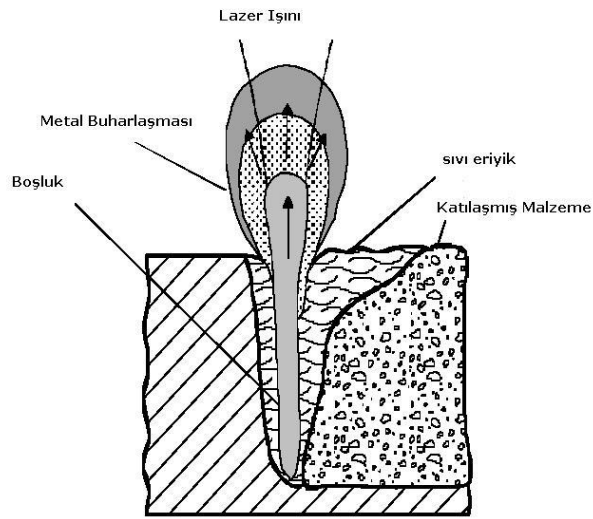
Uygulama kolaylığı nedeni ile bütün demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında çok popüler ve aranan bir yöntem haline gelen MIG yönteminin sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler için uygulama alanı bulamamasına asal gazın pahalılığı neden olmuştur. CO₂ gibi aktif bir koruyucu gazaltında yapılan bu kaynak yöntemine Metal Active Gas kelimelerinin baş harflerinden yararlanılarak MAG adı verilmiştir. Endüstrileşmiş ülkelerde günümüzün en popüler yarı otomatik kaynak yöntemlerinden birisi olan MIG - MAG yöntemi son yıllarda ülkemizde de hızla yayılmaktadır (Anık, 1991) .

2.5.4 Ultrasonik Kaynak

Ultrasonik kaynak yöntemi yüksek frekans elektrik enerjisinin yüksek frekans mekanik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu mekanik enerji saniyede 15,000 darbe üreten bir dikey harekettir. Bu dikey titreşim hareketi basınç altında bir termoplastik materyale iletildiğinde iki termoplastik ya da iki metal ve termoplastik parçanın arayüzeyinde ve / veya ek yerinde sürtünme enerjisi oluşturur. Bu dönüşüm işlemi içinde horn olan bir ultrasonik kaynaktan gerçekleşir. Ultrasonik kaynak makinalarının modeline göre, Kaynak makinalarının frekansları 15.000 Hz 20.000 Hz yada 40.000 Hz arasında değişir ve buna paralel olarak saniyedeki dikey titreşimlerin sayısı da 15.000, 20.000 yada 40.000 olarak değişir (URL6).

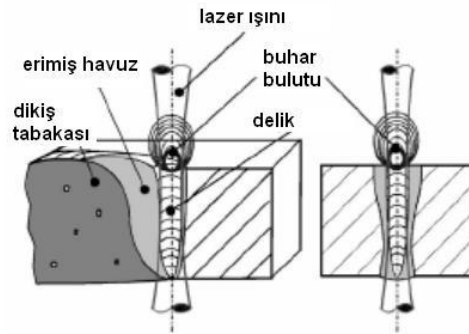
2.5.5 Lazer Kaynağı

Lazer, “Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation” (uyarılmış ışın neşriyle ışık kuvvetlendirilmesi) tanımının baş harflerinden oluşmaktadır. Lazer, tek renkli, oldukça düz, yoğun ve aynı fazlı paralel dalgalar halinde genliği yüksek bir ışık demeti şeklinde tanımlanır. Başka bir ifade ile yapay radyasyon tetiklemesiyle gerçekleştirilen ışık kuvvetlendirilmesi şeklinde de ifade edilebilir (Kuhn, 1997). Lazer kaynağının şematik resmi Şekil 2.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Lazer Kaynağının Şematik Resmi (Waltz, 2003).

Kaynak sırasında lazer ışını malzeme içinde dikine dar bir buhar kanalı oluşturur. Bu kanalın hareket yönü tarafında devamlı olarak sıvı metal oluşur ve bu sıvı türbülans akımla kanalın arka tarafına toplanır. Böylece dar fakat derinlemesine bir kaynak dikişi elde edilir (Şekil 2.7). Kaynaklanan parçalarda ısıl büzülme, çarpılma çok azdır (Schubert et al., 2001).



Şekil 2.7. Lazer Kaynağı ile derin nüfuziyet etkisi (Schubert et al., 2001).

Ticari kaynak tetkikleriyle karşılaştırıldığında lazer ışın kaynağı düşük distorsiyon, ışının yüksek enerji yoğunluğu, lazer ışın aralığının esnekliği, yüksek kaynak hızı gibi özellikleriyle alüminyum alaşımları için uygundur. Özellikle, kaynak erime bölgesi ve ITAB' in boyutunun küçük olmasından dolayı yaşanan alüminyum alaşımları için lazer ışın kaynağının avantajları vardır. Pek çok çalışmada kaynak işlemi lazer kaynak şartları değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Alaşım elementlerinin kaybı sertleşme etkilerini düşürdüğü gibi çekme dayanımı ve sünekliği de azaltmaktadır (Liu et al., 2004).

Alüminyum alaşımlarının lazer kaynağında kaynak bölgesinden bazı elementler buharlaşabilmektedir. Özellikle 5XXX, 6XXX, 7XXX serisi alaşımlarda gerçekleşmektedir. 5XXX, 6XXX serilerinde Mg, 7XXX serisinde de Zn yok olmaktadır. 5XXX-6XXX serisi alaşımlarda ITAB' da düşük mukavemet ve katılama çatlakları oluşur (Duley, 1999). Alüminyumun yüksek termal iletkenliği ve yüksek yansıtıcılığı iş parçasına lazer enerjisinin transferini zorlaştırmaktadır (Michaelis et al., 1990). Alüminyum alaşımlarının lazer kaynağında bazı zorluklarla karşılaşılır. Lazer işleminin kalitesi ve malzemelere uygulanabilirliği nedeniyle düşük ağırlıklı konstrüksiyonların üretimi için ilgi çekicidir (Dausinger, 2000). Lazer kaynağının dezavantajı çok ince levhalarla kısıtlanmasıdır (Gualini, 1978).

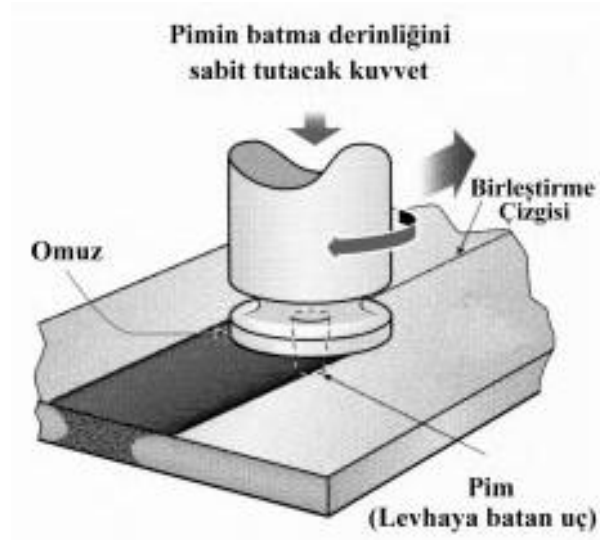
Lazer kaynağı; elektronik, havacılık, otomotiv endüstrisinde geniş çapta kullanılmaktadır (Xie, 2002). Günümüzde alüminyum ve çelikler için geniş çapta lazer kaynağı kullanılmaktadır. Yüksek yansıtıma sahip alüminyum iş parçası yüzeyinde yüksek güçlü lazer radyasyonu ister. Endüstride alüminyumun kaynağı için CO₂ lazerleri kullanılmaktadır (Wirth, 2004).

2.5.6. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı ile alüminyum alaşımı levhalar alın altına, bindirme ve köşe birleştirme türlerinde; özellikle yatay oluk pozisyonunda kaynak edilebilmekte ve ergitme esaslı yöntemlere göre önemli üstünlükler göstermektedir (Taban ve Kaluç, 2005).

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemi, alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen omuzlu bir pimin (baticı uç) daldırılması ve kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir (Şekil 2.8) (Wirth, 2004).

Baticı uç iki ana işleve sahiptir; iş parçasının ısıtılması ve bağlantının oluşabilmesi için malzemenin hareketi. Isıtma, iş parçası ve uç arasındaki sürtünme ve iş parçasının plastik deformasyonu ile yapılır. Bölgesel ısıtma, pim etrafındaki malzemeyi yumuşatır ve ucun dönme-ötelenme kombinasyonu malzemenin, pimin önünden arkasına doğru hareketine kılavuzluk eder (Mishra ve Ma, 2005). Bu işlemin sonucu olarak meydana gelen katı hal kaynak yönteminde birleştirme, sürtünme ile açığa çıkan ısının çamur kıvamına getirdiği malzemenin plastik akışı sayesinde gerçekleşmektedir (Wirth, 2004; Çam, 2003; Mishra ve Ma, 2005).



Şekil 2.8. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi (Çam, 2003).

Bu yöntemin dezavantajı; alüminyum alaşımlarının birleştirmelerinde kaynak takım geometrisi veya kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi kaynak süreksizliklerini oluşturmaktadır. Oluşan kaynak süreksizlikleri sürtünme karıştırma kaynak yöntemine özgü süreksizliklerdir (Yükler et al., 2012).

2.5.7. CMT (SOĞUK METAL TRANSFERİ) KAYNAĞI

CMT kaynağı Fronius tarafından bulunmuş MIG kaynağının iyileştirilmesiyle oluşturulmuş bir kaynak yöntemidir (Cao et al., 2014).

2.5.7.1. CMT Kaynağının Tanımı ve Özellikleri

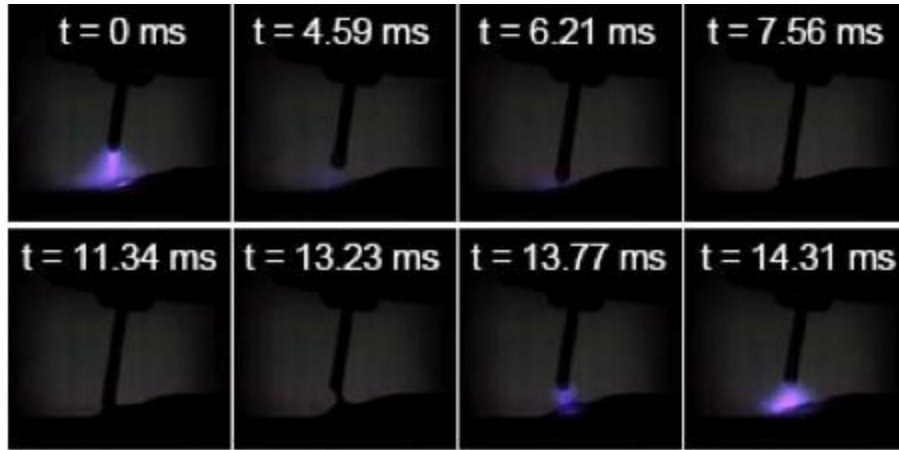
CMT (Cold Metal Transfer), 2000'li yılların başında ortaya çıkmış modern bir kaynak tekniğidir. TIG ve MIG/MAG kaynaklarının yetersiz kaldığı veya birleştirilerek kullanılması istenen durumlarda onların açıklarını kapatarak daha iyi bir kaynak performansı sağlayan modern bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (URL6).

CMT, soğuk metal transferi anlamına gelmektedir. Kaynak açısından "soğuk" kavramı elbette görecelidir. Ancak, bu yeni proseste birleştirilecek iş parçaları ve daha da önemlisi kaynak bölgeleri geleneksel gaz altı kaynağına oranla "daha soğuk" olacaktır. Bu yöntem; düşük ısı girdisi, düşük distorsiyon ve yüksek hassaslık gibi avantajları da beraberinde getirmektedir. Ancak bu, MIG teknolojisinde otomatik ve robot destekli uygulamalar için ayırt edici özelliklerinden yalnızca biridir. Kullanıcılar için sağlanan diğer önemli imkânlar arasında; yüksek kaliteli kaynak dikişleri, çapaksız olması, 0,3 mm'den itibaren ince plakaları kaynatabilmesi ve

galvanize sacları kaynatma, ayrıca çeliği alüminyumla birleştirme imkânı da vermektedir. Burada, "yüksek kalite" örneğin; daha yüksek düzgünlük ve üretkenlik seviyesi, bunlara bağlı olarak daha düşük defolu ürün oranı anlamına gelmektedir. Bu teknoloji, kaynağın yanı sıra lehim prosesinde kullanım için de uygundur (URL6).

2.5.7.2 CMT Kaynağının Prensipleri

CMT-MIG kaynağı, iş parçasına artık ısının azaltılmış olarak verildiği ve neredeyse çapaksız bir kaynak dikişinin elde edildiği tam dijital, mikro-işlemci kontrollü bir inverter kaynak yöntemidir. Geliştirilmiş kaynak kalitesi, kısa devreyi algılayan ve sonra beslenen teli çekerek bir seferde tek bir ergiyik damlanın ayrılıp yığılmasına yardımcı olan bir dijital proses kontrolü yardımıyla elde edilir. Şekil 2.9, yüksek hızlı fotoğraf kullanarak CMT-MIG tel çekilme sürecinin devrini gösterir. Burada dikkat edilmesi gereken arklanma periyodunun kısa süresidir.



Şekil 2.9. CMT çevriminin gerçek zamanlı hızlı fotoğraflanmış görüntüsü (Hasselberg, 2009).

MIG sürecinde, kullanılabilir üç tip metal aktarım mekanizması vardır: (1) kısa devre transferi (2) damla transferi, ve (3) sprey transferi. Metal transferinin türü bir dizi faktörle tespit edilir. Bunlardan en etkili olanları (1) kaynak akımının türü ve büyüklüğü, (2) elektrot çapı, (3) elektrot bileşimi, (4) serbest tel boyu ve (5) koruyucu gaz. CMT en basit şekliyle, bir kısa devre MIG kaynağı olarak kabul edilebilir. Kısa devre MIG yöntemi, MIG ile bağlantılı olarak en düşük kaynak akım aralıkları ve elektrot çaplarını içerir. Bu tür bir metal transferi, küçük ve hızlı katılan bir kaynak banyosu meydana getirir (Hasselberg, 2009).

Ark işlemleri sırasında, elektrottan iş parçasına metal transferi sadece elektrot kaynak banyosuyla temas halinde iken kısa bir sürede gerçekleşir, bu sebeple "kısa devre transferi" olarak adlandırılır. Metalin ark aralığı boyunca taşındığı bilinmelidir (Hasselberg, 2009).

CMT prosesi, kısa ark veya daha çok bu arkın sistematik devamsızlığına dayanmaktadır. Ortaya çıkan sonuç "sıcak-soğuk-sıcak-soğuk" olarak değişen bir düzendir. Bu "sıcak-soğuk" prosesi ark basıncını büyük oranda azaltır. Elektrot, normal kısa arkta kaynak banyosuna daldırılırken hasar görür ve yüksek akımda aniden erir. Bunun aksine, CMT prosesinde geniş bir proses penceresi vardır ve yüksek stabilite elde edilir. Bu, kaynak torcunun yönünün aniden değiştirildiği durumlarda önemlidir (URL7).

CMT prosesini diğer benzer kısa ark proseslerinden farklı kılan üç önemli kriter vardır: Tel hareketleri proses regülasyonu ile birleştirilir, ısı girdisi düşürülür ve metal transferi sıçrama olmadan gerçekleşir. Asıl yenilik ise, kaynak hareketlerinin kaynak prosesi ve prosesin tüm regülasyonu ile birleştirilmiş olmasıdır. Kısa devre meydana geldiğinde, dijital proses regülasyonu hem güç kaynağını keser, hem de tellerin geri çekilmesini kontrol eder. Bu ileri-geri hareket, saniyede en fazla yetmiş kezlik bir frekans ile gerçekleşir (≈ 70 Hz). Telin geri çekilme hareketi, kısa devre sırasında damlacık transferine yardımcı olur (URL7).

Elektrik enerjisinin ısıya dönüşmesi belirleyici bir özellik olup, bazen ark kaynağının önemli bir yan etkisidir. Neredeyse akımsız damlacık transferi ile CMT prosesi oluşan ısı miktarını büyük oranda düşürür. Ayrıca, kısa devrenin kontrollü devamsızlığı düşük kısa devre akımını da beraberinde getirir. Güç kaynağındaki kesinti sebebiyle; ark, ark süresi boyunca yalnızca birleştirilecek malzemelere ısı gönderir (URL7).

2.5.7.3. CMT Kaynak Yönteminin Diğer Kaynak Yöntemlerine Göre Avantajları

- Dijital proses regülasyonu

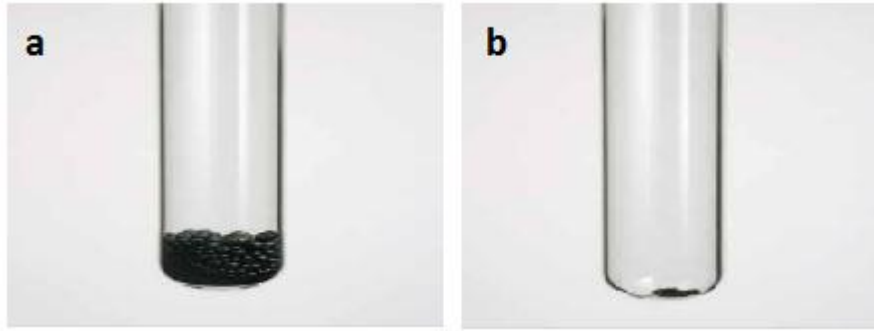
Tel hareketi doğrudan işlem regülasyonuna bağlanmıştır. Dijital işlem regülasyonu olası bir kısa devreyi algılamakta ve geri çekme yoluyla damlacık transferini desteklemektedir. Tüm işlem dijital olarak yönetiliyor olması, geleneksel kısa ark kaynağı ile arasındaki birinci önemli farktır (URL7).

- Düşük Isı Girdisi

Malzeme geçişinin neredeyse yok denecek kadar az bir akımla gerçekleşiyor olmasıdır. Tel tamamen otomatik olarak ileri doğru hareket eder ve kısa devre oluştuğunda tekrar geri çekilir. Arkın kendisi bu sayede yanma evresinde çok kısa bir süre için ısı uygular ve bunun ardından ısı uygulaması hemen düşürülür (URL7).

- Daha Az Çapak

Telin geriye doğru hareketi, kısa devre sırasında damlacık transferini destekler. Kısa devre kontrol edilir ve kısa devre akımı düşük tutulur. Sonuç olarak, çapaksız malzeme transferi elde edilir (Şekil 2.12). Titiz damlacık transferi, her kısa devreden sonra hemen hemen aynı miktarda ilave metal eritilmesini garantiler. Tüm bu farklar, şimdiye kadar ancak zahmetli bir şekilde gerçekleştirilebilen uygulamaları: Sıçramasız kaynak ve lehim dikişlerini, çelik ile alüminyum kaynak bağlantılarını, 0,3 mm'den itibaren olan levhaların kaynatılabilmesini (hatta alın kaynağı geometrisi ile kaynak banyosu altlığı olmadan v.s) mümkün kılmaktadır (URL7).



Şekil 2.12. MIG kısa devre ark yöntemi (a) ve CMT yöntemi (b) ile oluşan çapak miktarının kıyaslanması (URL7).

- Kararlı Ark

CMT teknolojisi, sadece düşük bir ısı girdisi ile çalışan bir kaynak ve lehim çözümü sunmakla kalmamakta, karşı konulamayacak bir avantajı da beraberinde getirmektedir: Hiçbir şekilde istikrarını bozmayan stabil bir ark oluşur. Geleneksel metal gazaltı kaynağında işlem parçasının yüzeyi ve kaynak hızı, ark stabilitesini hassas bir şekilde etkileyebilir. CMT ile ark uzunluğu mekanik olarak algılanmakta ve ayarlanmaktadır. Yani işlem parçasının yüzey özellikleri ne olursa olsun veya ne kadar hızlı kaynak yapılmak istenirse istensin ark stabil kalır. Böylece, bu kaynak prosesi her yerde ve her pozisyonda uygulanabilmektedir. Çünkü yeni bir sistem ancak doğru kullanıldığı takdirde mantıklıdır (URL7).

- Entegre Tel Hareketi

Bu yenilikçi prosesin hayata geçirilebilmesi için yeni sistem bileşenlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Tel beslemede de, yeni teknolojik yollara başvurulmuştur. İki tel sürücü tesis edilmiştir. Burada öndeki sürücü teli saniyede 70 defaya kadar ileri-geri oynatırken, arkadaki sürücü ise teli itmektir. Her iki sürücü de, dijital olarak ayarlanmaktadır. Öndeki sürücü yüksek

düzyeyde dinamik AC servo motora sahiptir. Bu sürücü doğru bir tel sevkini ve sabit presleme basıncını sağlamaktadır (URL7).

Burada torç hortum paketinin sürücü ünitesinden ayrılabilmesi son derece yeni bir gelişmedir. Bu sayede robot kullanımında TCP'nin (tool center point) tekrar ayarlanması gerekmeden hızlı bir değişim mümkün kılınmıştır. Ayrıca, iki sürücü arasında bunları birbirinden ayıran ve tel için ek depolama kapasiteleri sağlayan tel tamponu bulunmaktadır. Bu tampon sayesinde, telin güç kullanılmadan hareket etmesi sağlanmıştır. Tel tamponunda spiral değişimi de son derece kolaydır: Açılır, spiral çıkartılır, yenisi yerleştirilir, kapatılır ve kullanıma hazırdır (URL7).

3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum tabiiatta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyumun yoğunluğu (2.71 g/cm^3) çeliğin yoğunluğunun (7.83 g/cm^3) üçte biri kadardır. Bu kadar hafif olmakla beraber, bazı alüminyum alaşımlarının akma sınırı değerleri 500 MPa değerini geçmektedir ki bu değer pek çok yapı çeliğinin akma sınırlarının üzerindedir. Alüminyum alaşımları bu özelliğinden dolayı hafiflik istenen uçaklar ve taşıt araçlarında önemli olmaktadır. Çeliklere göre hafif olmasının yanında korozyona dayanıklılığı da iyidir. Alüminyumun önemli fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir (Can, 2006).

Çizelge 3.1. Alüminyumun bazı özellikleri (Can, 2006).

Yoğunluk	2.71 g/cm^3
Ergime Sıcaklığı	$660 \text{ }^\circ\text{C}$
Isıl Genleşme Katsayısı ($20\dots 100 \text{ }^\circ\text{C}$)	$23.6 \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$
Elektrik İletkenliği	$38.1 \text{ m}/\Omega\text{-mm}^2$
Elastisite Modülü	69000 N/mm^2
Isıl İletkenlik Katsayısı	247 W/m-K
Akma Sınırı (Alaşım ve ısıl işlem durumuna göre)	$90\dots 500 \text{ N/mm}^2$

3.1. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri

3.1.1. Atom yapısı ve kristal kafesi

Alüminyum yüzey merkezli kübik kristal kafeslerinden oluşmuştur. Sıcaklıktaki değişimle ve safsızlıkla kafes parametreleri değişebilir. Alüminyum ne kadar saf ise, kristalleri de o derece büyür (Karadağ, 2011).YMK kristal yapısından dolayı alüminyum sünekliğini çok düşük sıcaklıklarda bile koruyabilir (Callister, 1994).

3.1.2. Yoğunluk

Ticari yapıdaki alüminyumun yoğunluğu 2.7 g/cm^3 tür. Eşit hacimler kıyaslandığında alüminyum, demir, bakır ve çinkonun ağırlığının yaklaşık olarak üçte biri kadardır (Karadağ, 2011). Hem sıvı, hem de katı alüminyumun yoğunluğu, artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer (Çizelge 3.2) (Karadağ, 2011).

Çizelge 3.2. Artan saflık derecesiyle alüminyumun yoğunluğundaki değişim (Karadağ, 2011).

Al%	99.25	99.40	99.75
Yoğunluk (g/cm ³)	2.727	2.706	2.703

3.1.3. Isıl iletkenlik

Alüminyumun saflık derecesi büyüdükçe, ısıl iletkenliği de buna paralel olarak büyür. Fakat alüminyumun sıcaklığının artışıyla ısıl iletkenliği arasında kesin bir şey söylemek zordur. Çünkü belli bir sıcaklığa kadar ısıl iletkenlik katsayısı artış gösterirken, diğer sıcaklıklarda iniş çıkışlar göstermektedir (Çizelge 3.3) (Karadağ, 2011).

Çizelge 3.3. Alüminyumun artan sıcaklıkla ısıl iletkenliğindeki değişim (Çam, 2003).

Sıcaklık (°C)	-270	-263	-173	0	200	600	727	1227
Isıl İletkenlik (W/m ^{°K})	12100	23500	302	236	238	214	93	107

3.1.4. Isıl genleşme

Saf alüminyumun ısıl genleşme katsayıları, artan sıcaklıkla birlikte yükselme gösterirler. Isıl genleşme katsayıları izotropik, yani yönden bağımsız verilmiş katsayılardır (Karadağ, 2011).

3.1.5. Yüzey gerilimi ve viskozite

930-950 °C aralığında, yani elektroliz sıcaklığında alüminyum yeterince akışkan haldedir. Bu sebeple metalin karışması ve difüzyonu için yeterli şartlar sağlanmıştır. Metalin sıcaklığı arttıkça viskozitesi azalmaktadır. Buna karşılık metalin saflığı arttıkça, viskozitesi de buna paralel olarak artmaktadır. Yüzey gerilimi ifadesi artan sıcaklıkla düşüş gösterme eğilimindedir (Karadağ, 2011).

3.1.6. Elektriksel iletkenlik

Saf alüminyumun oda sıcaklığındaki iletkenliği, aynı sıcaklıktaki bakırın iletkenliğinin %64.94'üne eşittir. -270 °C civarında alüminyum süper iletken haline gelir (Karadağ, 2011).

3.2. Alüminyumun Mekanik Özellikleri

Alüminyumun mekanik özellikleri büyük ölçüde saflık derecesine bağlıdır (Çam, 2003). Alüminyum alaşımlarının mekanik dayanımı, soğuk şekil değişimi ve alaşımlandırmayla artırılabilir. Ancak her iki uygulama sonunda da malzemenin korozyona direnci azalır. Alüminyumun kimyasal bileşimine eklenebilen ana alaşım elementleri bakır, çinko, magnezyum, mangan ve silisyumdur (Callister, 1994).

3.2.1. Elastisite modülü

%99.25 alüminyum içeren bir metalin elastisite modülü 7100 kg/mm^2 iken çok saf alüminyumun elastisite modülü ancak 6700 kg/mm^2 'dir (Karadağ, 2011). Diğer metallerle karşılaştırmak gerekirse, alüminyumun elastisite modülü çeliğin $1/3$ 'ü kadardır (Karadağ, 2011).

3.2.2. Brinell sertliği

Alüminyumun saflığı arttıkça, alaşımın sertliği düşer (Karadağ, 2011).

3.2.3. Çekme dayanımı

Yapılan deneyler, alüminyumun çekme mukavemetinin artan saflık derecesiyle azaldığını göstermiştir. Kopma anındaki kesit yüzeyi büzülmesi ise yüksek saflıktaki alüminyumda (%99.9) en fazladır. Alüminyumun saflık yüzdesi arttıkça, malzeme daha sünek hale gelmektedir (Karadağ, 2011).

3.3. Alüminyum Kullanım Alanları

Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımları; artırılmış mukavemet özellikleri, hafiflikleri, iyi ısı ve elektrik iletkenlikleri, korozyona karşı dirençleri nedeniyle gıda, kimya, otomotiv ve gemi inşa endüstrileri, taşıt, makine ve cihaz yapımı ile mimari alanda, inşaat, havacılık ve uzay endüstrilerinde geniş kullanım alanına sahiptirler ve birçok özellikleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir (Taban ve Kaluç, 2005).

3.3.1. Ulaşım Sektörü

Hafiflik, dayanım ve şekillendirilebilir özelliği olan alüminyum, ulaşım sektöründe de önem kazanmış bir malzemedir. Yüksek dayanım özelliği ile araçların motor kısımlarında, pistonlarda ve otomobil gövde ve jantlarında kullanımı hızla artmaktadır. Günümüzde tüketilen her ton alüminyumun yaklaşık 250 kilogramı taşıt araçlarının üretiminde kullanılır. Tipik bir otomobilde yaklaşık 80 kg alüminyum kullanılmaktadır (Karadağ, 2011).

Ulaşım sektöründe otomotivden sonra, ancak daha yüksek oranlarda alüminyum kullanımı uçak sanayindedir. Bir uçağın ağırlıkça %70'i metalden oluşmaktadır. Uçak yapımında alüminyum ve alaşımlarının tercih edilme nedenlerinden en önemlisi alüminyum alaşımlarının özgül dayanımlarının diğer uygulanabilir metal alaşımlarına göre yüksek olmasıdır (Karadağ, 2011).

3.3.2. İnşaat Sektörü

İnşaat sektörü, yılda Avrupa'da 1.2 milyon ton, ABD'de 1.05 milyon ton, Japonya'da 915.000 ton alüminyum kullanmaktadır. Alüminyum, binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı iskeletinde, inşaat iskelelerinde ve sera yapımında büyük miktarda kullanılır (URL4)

Alüminyumun sağlamlığı yanında sahip olduğu dekoratif görünüm, eloksal (anodik oksidasyon) kaplama ile bir bakıma ölümsüzleşir. Gerek natürel veya renkli eloksal kaplama, gerek ise lake kaplama (elektrostatik toz veya sıvı boyama) ile alüminyum; mimar ve mühendislere inşaat sektöründe zengin seçenekler sunar. İnşaat sektöründe; alüminyum ekstrüzyon, yassı-ürünler ve döküm ürünleri kapı/pencere doğramaları, cephe/çatı kaplamaları ve aksesuarların yapımında kullanılır (URL4)

3.3.3. Ambalaj

Alüminyum, konteyner üretiminden ilaç kutularına kadar çok çeşitli ambalaj uygulamalarında kullanılmaktadır. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo şeklinde üretilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi birçok elastik ve rijit malzemeye göre onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar (Karadağ, 2011).

3.3.4. Elektrik-Elektronik Uygulamaları

Alüminyum, elektrik mühendisliğinde en çok kullanılan iletken malzemedir. Alüminyum, 66 kV'a kadar olan güç kablolarında 16 mm² kesit alanı üzerindeki kablolar halinde yaygın olarak kullanılmaktadır (URL5)

ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced – Çelikle Güçlendirilmiş Alüminyum İletken) havai hat iletkenler, güç dağıtım sistemleri için tüm dünyada kullanılmaktadır. Bimetalik korozyon riskinin ortadan kalkmış olması belirli bir kesit alanı için yüksek iletkenliği nedeniyle ACSR kullanımı giderek artmaktadır. Kontak tellerini desteklemek için ACAR (aluminium conductor alloy reinforced – alaşımla güçlendirilmiş alüminyum iletken) katener iletkenleri de daha düşük ağırlıkları ve bakırla karşılaştırıldığında daha düşük çalınma riski yüzünden, demiryolları için havai elektrifikasyon sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır (Walz Christian, 2003)

Endüksiyon motorları için kafes rotorlarda genellikle alüminyum çubuklar kullanılmaktadır. Motorları soğutma için kullanılan fanlar gibi gövde parçaları da alüminyumdan yapılmaktadır (URL5).

En küçük tiplerinden büyük güç kondansatörlerine kadar bütün kondansatör çeşitlerinde alüminyum kullanılmaktadır (URL5).

Alüminyumun yüksek ısı iletkenliği ve katı veya içi boş şekiller halinde çekilmesindeki veya dökülmesindeki kolaylık, malzemeyi soğutma plakaları için ideal bir malzeme haline getirmektedir. Yarıiletken elemanlar ve transformatör gövdeleri bu alandaki geniş kullanımı göstermektedir. Düşük ağırlığı, bu malzemeyi doğrudan soğutulması gereken ekipmanın üzerine monte edilmesini kolaylaştırır (URL5).

4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ CMT KAYNAĞI

4.1. Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Karşılaşılan Zorluklar

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağının çelikten farklı olmasını sağlayan bir dizi özellik vardır. Bunlar;

- a. Yüzeyde bulunan alüminyum oksit tabakası,
 - b. Yüksek ısı iletkenlik,
 - c. Yüksek ısı genleşme katsayısı,
 - d. Ergime sıcaklığına yaklaştıkça renk değişimi göstermemesi olarak sıralanabilir (Çam, 2003).
- Bu özellikler, alüminyum kaynağı açısından dikkat edilmesi gereken ve kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. Alüminyum ve alaşımlarının geliştirilmeye başlandığı yıllarda, bu alaşımların uçak endüstrisinde kullanılması ve kaynakla birleştirilmesi gereksinimi, günümüzde gaz altı kaynak yöntemleri olarak bilinen TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin bulunmasını ve geliştirilmesini sağlamıştır.

Aslında alüminyum ve alaşımları, ergitme kaynak yöntemlerinden olan gaz ergitme kaynağı ve örtülü elektrot ile ark kaynağı yöntemleri kullanıldığında sınırlı olarak kaynak edilebilirken, gaz altı kaynak yöntemlerinin ortaya çıkması daha kaliteli bağlantıları oluşturmasına imkan tanımıştır (Çam, 2003).

Alüminyum ve alaşımları doğal olarak yüzeye sıkı tutunan ve 2060 °C sıcaklıkta eriyen bir oksit tabakası ile kaplıdır. Ana malzemenin eritilmesi sırasında film halinde kalıntılar oluşturarak, dayanımı düşüren bu tabakanın giderilmesinde iki yol izlenebilir (Aran ve Güleç, 1993):

- a. Gaz kaynağında alüminyum oksit, dekapan madde (flux) yardımıyla çözülerek erime sıcaklığı alüminyumunkinden düşük olan ve sıvı metal üzerinde yüzen cürufa dönüştürülür. Yüksek kimyasal aktiviteleri ve buna bağlı olarak yarattıkları korozyon tehlikesi nedeniyle, kaynak işleminin bitiminde dekapan artıklarının özenle temizlenmesi zorunludur (Aran ve Güleç, 1993).
- b. Argon veya Helyum altındaki koruyucu gaz kaynağında (TIG, MIG), oksit tabakası genellikle ısı ıyonlaşmaya dayalı bir mekanizmayla giderilir. Söz konusu temizleme olayının etkinliği için iş parçası (-) kutba bağlanmalı veya alternatif akım kullanılmalıdır. Böylece Ar⁺ iyonlarının kaynak banyosuna çarpmasıyla oksit tabakası parçalanır (Aran ve Güleç, 1993).
- c. Alüminyum alaşımlarının kaynak dikişlerinde rastlanabilecek çatlaklar hemen hemen sadece sıcak yırtılma sonucu, yani soğuma sırasında katılama aralığı geçilirken meydana gelir.
- d. Kaynak işleminde ısı girdisinin fazlalığı soğuma süresinin uzamasına ve böylece çatlama eğiliminin artmasına yol açar (Aran ve Güleç, 1993).

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında ve kaynak sonrasında pek çok problemle karşılaşılır (Kaluç ve Taban, 2005). Bunlar;

- a. Gaz gözenekleri,
- b. Oksit kalıntıları ve oksit tabakası,
- c. Sıcak çatlak veya sıcak yırtılma,
- d. Kaynak metali ve ITAB'da mukavemet düşmesi,
- e. Ergime eksikliği,
- f. Korozyon direncinde azalma,
- g. Elektrik direncinde azalma.

Gözenek, kaynak metalinde çözünen gaz nedeniyle oluşur ve katılaşma sırasında kaynak metalinde hapsolarak kalan gaz boşlukları oldukça önemli bir problemdir. Bunların bulunması kesitin azalmasına, mekanik değerlerinin düşmesine ve zorlanmalar sırasında çentik etkisi oluşturup bağlantının kırılmasına neden olur. Kaynaktan önce oksit tabakasının temizlenmesi, gözenek oluşumunu azaltmaktadır (Kaluç ve Taban, 2005).

4.2. Alüminyum Alaşımlarının CMT Kaynağı

Literatürde alüminyum alaşımlarının CMT kaynağının kolaylıkla yapılabildiği ve başarılı sonuçlara ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Wirth (2004), 3 mm kalınlığındaki AA 6111 alüminyum alaşımlarını CMT ile başarılı bir şekilde birleştirmişlerdir. CMT kaynak işlemi sayesinde alüminyum parçaların kolay bir şekilde kaynağı sağlanmıştır (Pickin ve Young, 2006).

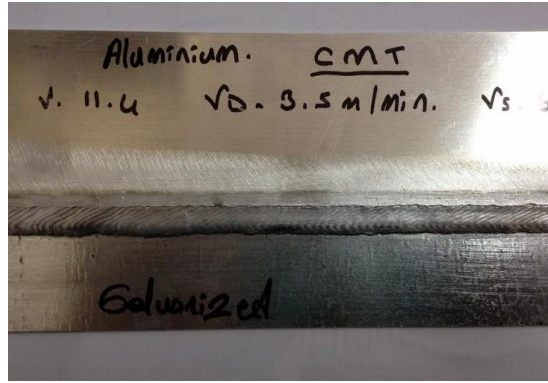
Pickin ve Young (2006), 6 mm kalınlığında CMT kaynaklı 5083-H111 ve 6082-T651 Al alaşımlarının mikroyapı özelliklerini ve mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmada, aynı ve farklı malzemeler kullanılarak CMT kaynağı yapılmış ve çekme, sertlik, yorulma testlerine tabi tutulup ve mikroyapıları incelenmiştir. CMT ile birleştirilmiş numunelerin çekme testi sonuçları sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin çekme test sonuçlarına yakın çıkmıştır (Güngör et al., 2014).

Cao ve arkadaşları (2013), Mg AZ31B'i Al A6061 T-6'ya birleştirmek için 1,6 mm çapında Al4047 tel kullanarak CMT kaynağı yapmışlardır. CMT işleminin en önemli özelliğinin, işlemin genel denetiminin olması ve tel hareketinin birleşme süreciyle bütünleşmesi olduğunu söylemişlerdir. Telin geri çekme hareketi kısa devre sırasında damlacık ayırmaya yardımcı olur, böylece metal elektro-manyetik kuvvetin yardımı olmaksızın kaynak havuzuna aktarılmaktadır. Sonuç olarak, ısı girişi düzgün bir şekilde kontrol edilebilir ve metaller arası bileşikler en aza indirgenmektedir. CMT kaynaklı Mg AZ31B-Al A6061-T6 bağlantılarının mukavemetini arttırmak için, özellikle zengin Mg içeriğine sahip intermetalikler(γ -Al₁₂Mg₁₇)'in oluşumunu azaltmak gerektiği sonucuna varmışlardır (Cao et al., 2013).

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada, iki 1050 Alüminyum saclar ve 1050 Alüminyum – 1314 galvanizli çelik saclar CMT kaynağı ile birleştirilmiştir (Çizelge 5.1 ve 5.2). Deneysel çalışmalar için sac malzemeler 250x100x1,5 mm ebatlarında kesilerek hazırlanmıştır. A numunesi 4.8 m/dk hızla 107A' de, B numunesi 5m/dk hızla 112A' de ve C numunesi 5.8m/dk hızla 121A' de argon gazı kullanılarak kaynatılmıştır (Çizelge 6.1).

1050 Alüminyum sacların başka malzemeler ile kaynağının incelenmesi amacıyla CMT kaynağı kullanılmıştır. 1050 alüminyum ve 1314 galvanizli çelik saclar CMT kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Deneysel çalışmalar için farklı sac malzemeler 150x100x1,5 mm ebatlarında kesilerek hazırlanmıştır. Kaynak işleminde CMT yöntemi kullanılmıştır (Şekil 10.16). Kaynak tel besleme hızı 3,5 m/dk'dır.



Şekil 5.1. CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 Alüminyum-1314 Galvanizli Çelik Saclar

Çizelge 5.1. Alüminyum 1050' nin bileşimi ve mekanik özellikleri (% ağı.)

		Cu	Fe	Si	Zn	Mg	Mn	Ni	Ti	Cr	Kaynak Edilebilme	Eloksal Olabilme
1050A	Al99,5	0,05	0,40	0,25	0,05	-	0,05	-	0,05	-	Mükemmel	Mükemmel
Akma Mukavemeti (MPa) min-max		Çekme Mukavemeti (MPa) min-max				Uzama (%50)		Sertlik(Brinell)				
20 -35		65 - 80				38		20 - 21				

Çizelge 5.2. 1314 Galvanizli sacın kimyasal bileşimi (% ağı.)

	C	Si	Mn	P	S	Ti	Fe
1314	0,01	0,04	0,3	0,02	0,015	0,2	Kalan

5.1. Numune Hazırlama

Kaynakla bindirme şeklinde CMT ile birleştirilmiş sacların test numuneleri hassas kesme cihazı kullanılarak hazırlanmıştır. Öncelikle kaynaklı numunelerin başlangıç ve bitiş kısmından 20 mm kesilerek atılmıştır. Kalan kısımdan 3'er adet çekme, 3'er adet eğme, 2'şer adet sertlik ve 1 adet mikroyapı numuneleri kesilmiştir.

5.2. Gözle Muayene

Farklı malzeme, kaynak teli besleme hızı ve akım kullanılarak yapılan birleştirmeler, kaynak dikişinin yüzey kusurlarının tespiti için gözle ve stereo mikroskopta muayeneye tabi tutulmuşlardır. Yapılan muayene sonucunda, kaynak yüzeyinde çatlak, yetersiz nüfuziyet ve çökme gibi kaynak hatalarının bulunmadığı tespit edilmiştir.

5.3. Eğme Testi

İki destek üzerine serbest olarak yerleştirilen daire veya dikdörtgen kesitli bir deney parçasının ortasına bir kuvvet uygulandığında meydana gelen şekil değişimine eğme denir. Standartlarda eğme deneyinin yapılışının sebebinin; kaynaklı birleştirmenin yüzeyindeki veya yakınındaki sünekliliğini ve/veya birleştirme yüzeyinde veya yüzeye yakın kusurların mevcut olup olmadığını değerlendirmek için yapıldığı belirtilmektedir.

Eğme deney numuneleri TS 282 (EN 910)'da belirtilen şartlara göre hazırlanmıştır. Her bir kaynaklı deney parçasından 3'er adet eğme deneyi numunesi hazırlanmıştır.

Testler oda sıcaklığında, 5 mm/dk eğme hızında ve numuneler 180° eğilene kadar gerçekleştirilmiştir.

5.4. Mikrosertlik Testi

Mikrosertlik değerleri, CMT kaynaklı numunenin kesitinden belli aralıklarla yapılan ölçümler ile tespit edilmiştir. Ölçümler EMCO test sertlik cihazında (Şekil 5.2), Vickers ucu kullanılarak 1 kg yük 10 s uygulanarak yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, ana metal-ITAB-kaynak metali bölgelerini içine alacak bir hat boyunca alınmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.2. Sertlik Cihazı.



Şekil 5.3. Uygulanan mikrosertlik ölçümünün şematığı.

5.5. Metalografik İnceleme

Kaynak bölgelerinin mikro yapılarını incelemek amacıyla, numuneler 1,5x20x30 mm boyutlarına getirilerek enine kesitleri alınmıştır. Kaynaklı numunelerin Nikon Eclipse 200LV marka metal mikroskobu ve makro yapı incelemesi için Nikon marka stereo mikroskopta incelemeleri yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için, her bir numuneye, ön hazırlık aşamasında, 400, 600, 800 ve 1200 numara zımpara ile zımparalanmış ve elmas pasta ile parlatma işlemi yapılmıştır. 1050 alüminyum malzeme için dağlama sıvısı olarak Keller reaktifi kullanılmıştır.

CMT ile birleştirilmiş 1314 Galvanizli Çelik – 1050 Alüminyum sacın metalografik incelemesinde dağlama sıvısı Keller ve Nital kullanılmıştır.

5.6. Çekme Makaslama Testi

Deneylerde kullanılan çekme cihazı Shimadzu marka olup 10 ton yükleme kapasitesine sahiptir. Numunelerin çekme makaslama testleri oda sıcaklığında ve 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Çekme Cihazı.

6. SONUÇLAR

6.1. 1050 Alüminyum Sac Levha-1050 Alüminyum Sac Levha ve 1050 Alüminyum Sac Levha-1314 Galvanizli Çelik Sac Levha CMT Kaynağı İle Birleştirilmesi

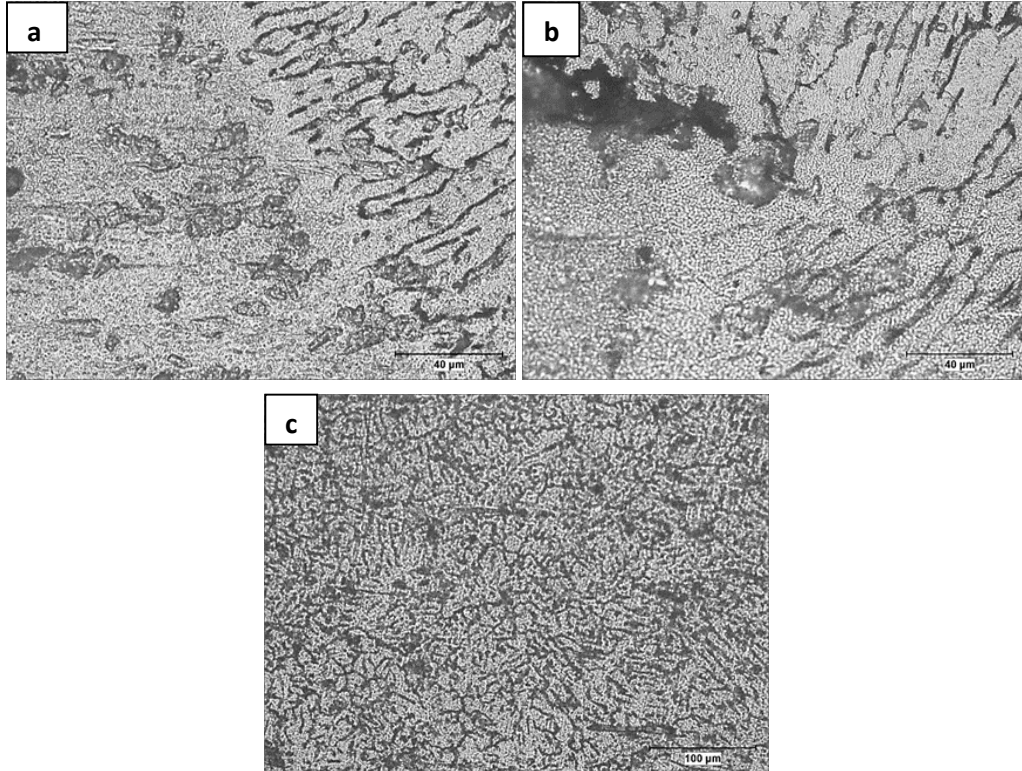
6.1.1. Metalografik İnceleme

1050 Alüminyum sacların birleştirmesinde farklı parametrelere göre A,B,C olarak yapılmıştır. Parametreler Çizelge 6.1' de verilmiştir. Kaynak hızı 1.5 m/dk olarak sabit tutulmuştur.

Çizelge 6.1. Kaynak parametrelerinin değişimi

KOD	Tel Besleme Hızı (m/dk)	Akım (A)
A	4.8	107
B	5	112
C	5.8	121

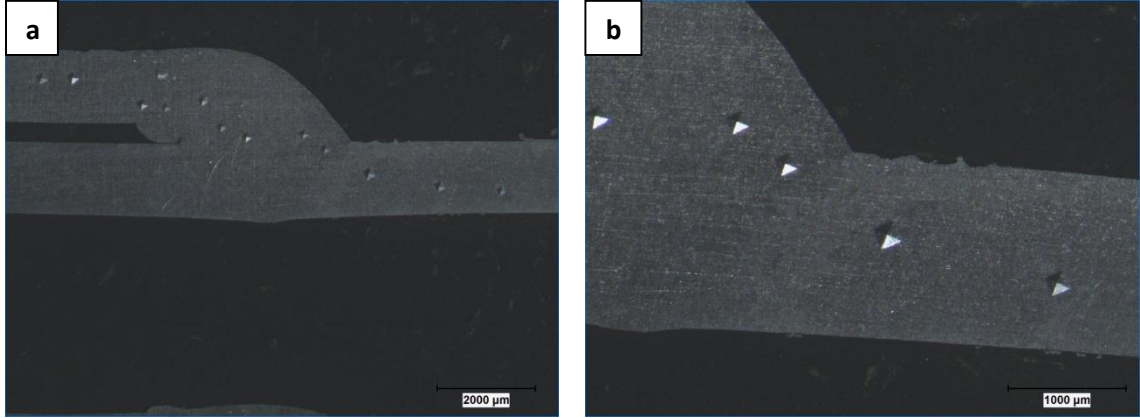
Optik mikroskop kullanılarak her A,B,C kodlarıyla kısaltılmış numuneler için elde edilen mikroyapı görüntüleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.1. A kaynaklı numunenin CMT yöntemiyle birleştirilmiş mikroyapı görüntüleri. (a) Kaynak metali, (b) ITAB, (c) Geçiş Bölgesi.

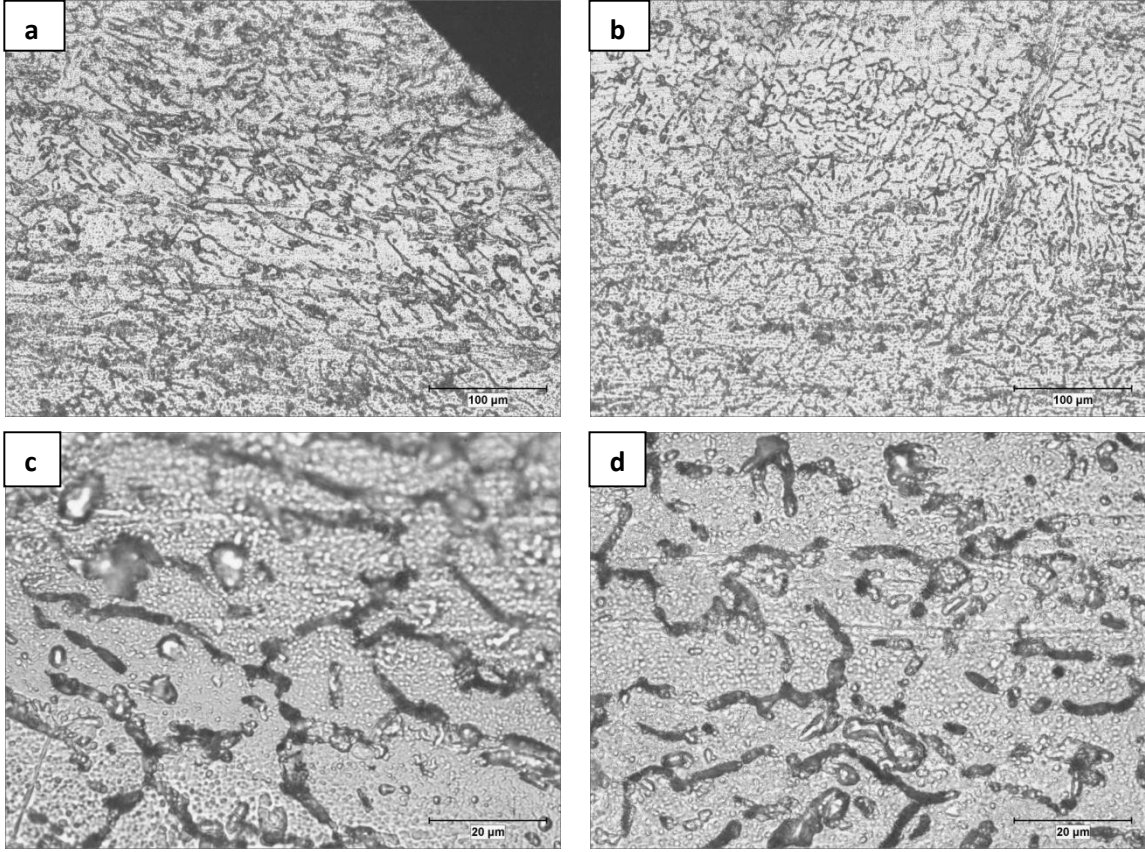
A parametrelerinde elde edilen kaynak metalinde herhangi bir gözenek oluşumunun meydana gelmediği görülmüştür (Şekil 6.1.1a ve b). Kaynak bölgesi tipik dendritik yapılardan oluşmuş, soğumanın ilk olarak başladığı ana metallere yakın bölgelerde kaynak metalinde tanelerin yönlenmiş olarak büyüdüğü gözlenmiştir (Şekil 6.1e). Bu bölgeler tipik dendritik yapılardır.

ITAB bölgesi incelendiğinde yine gözenek oluşumuna rastlanmamıştır (Şekil 6.1 b). Ergimiş olan bölgeyi sınırlayan ergime hattı oldukça belirgin bir şekilde görülmektedir. Kaynak bölgesinden ana metale geçiş bölgesinde belli bir noktaya kadar birleşme sağlanmıştır. Bindirme kaynağında 20mm' lik kesitte birleşme olmuş, diğer kısımlar birleşmemiştir (Şekil 6.1 c).



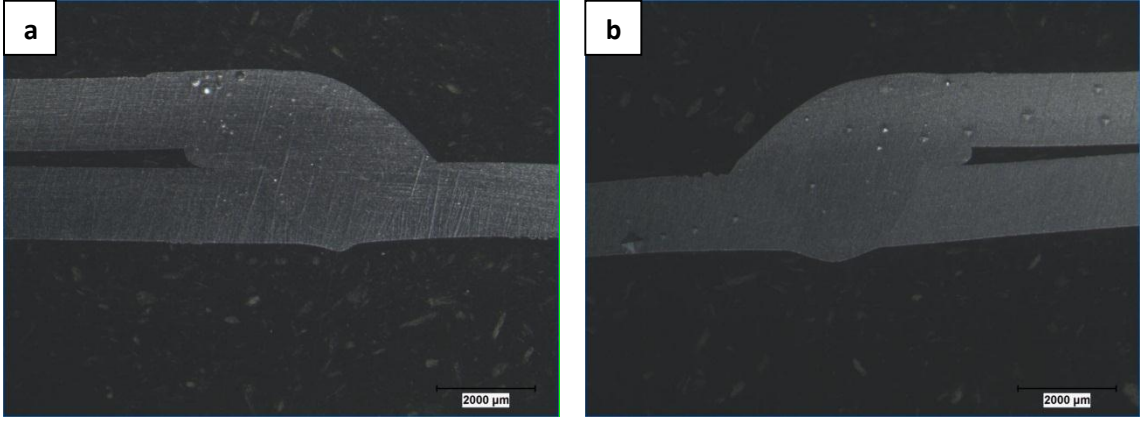
Şekil 6.2 A numunesinin makroyapı görüntüleri.

Şekil 6.2 incelendiğinde kaynakla birleştirilmiş parçaların makro görüntüleri görülmektedir. İlk etapta sertlik izleri göze çarpmaktadır. Şekil 6.2.' de kaynak bölgesindeki sertlik izinin ana metale göre daha küçük olduğu görülebilmektedir. Aynı yükte elde edilen sertlik izlerinin küçülmesiyle malzemenin daha sert olduğu bilinmektedir. Sertlikteki değişimler Bölüm 6.1.2' de detaylı olarak irdelenmiştir. CMT kaynak yönteminin güçlü yönü olan düşük ısı girdisinin alüminyum sac metal malzemede herhangi bir distorsiyon oluşturmadığını ve düzgün bir kaynak dikişine sahip olduğu makro görüntüler yardımıyla söylenebilir.



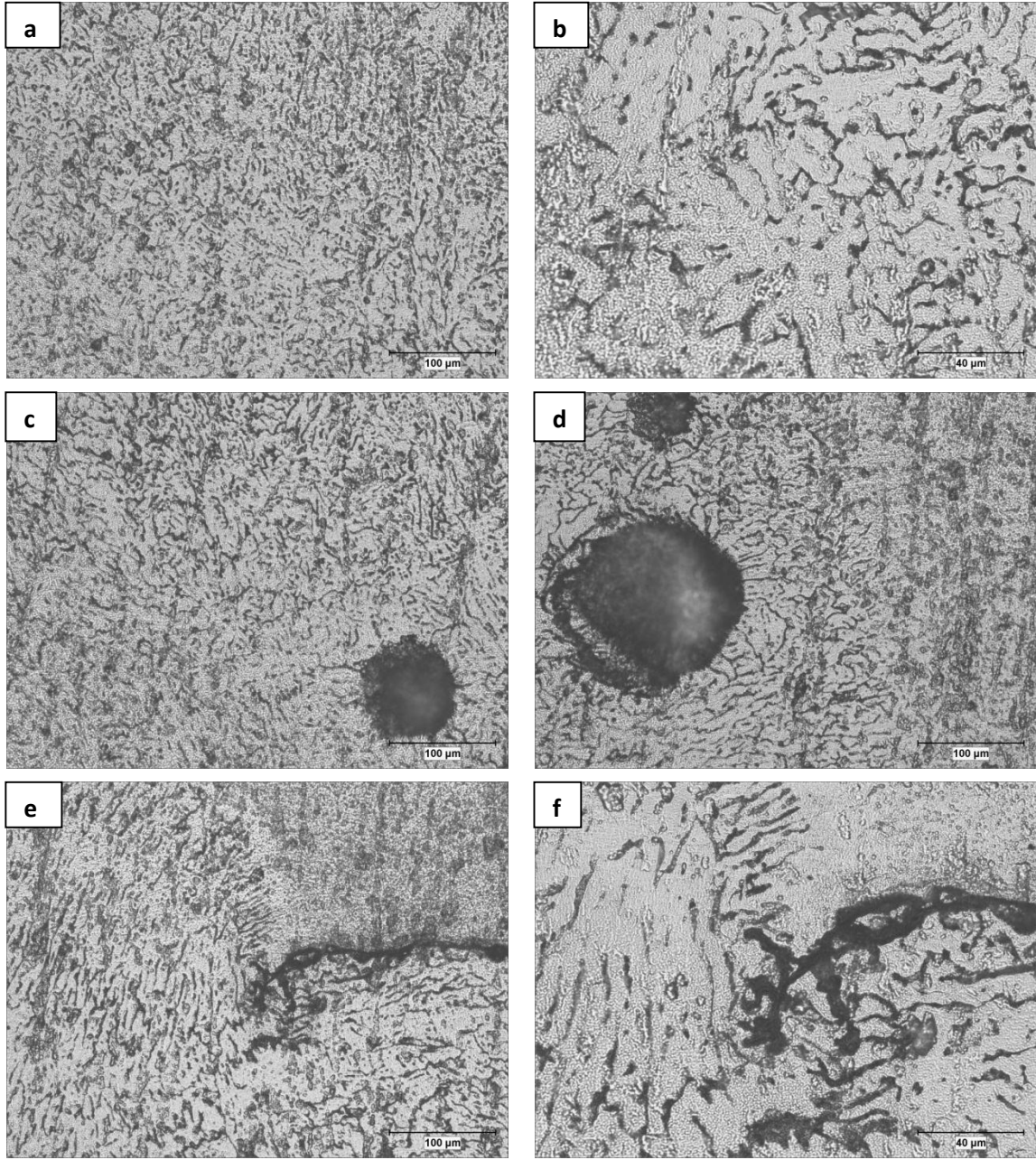
Şekil 6.3. B parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelerde kaynak bölgesine ait mikroyapı görüntüleri.

B parametresinde elde edilen kaynak dikişi bölgesinde herhangi bir gözenek oluşumunun meydana gelmediği farklı büyütme ölçeklerine ait mikroyapılarda görülmüştür. Kaynak bölgesinin ana metale yakın kısımlarından ısınma ve soğumadan kaynaklanmış tipik dendritik yapılardan oluştuğu kaynak metalinin ise eş eksenli tanelerden oluştuğu görülmüştür (Şekil 6.3).



Şekil 6.4. B parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelere ait makroyapı görüntüleri.

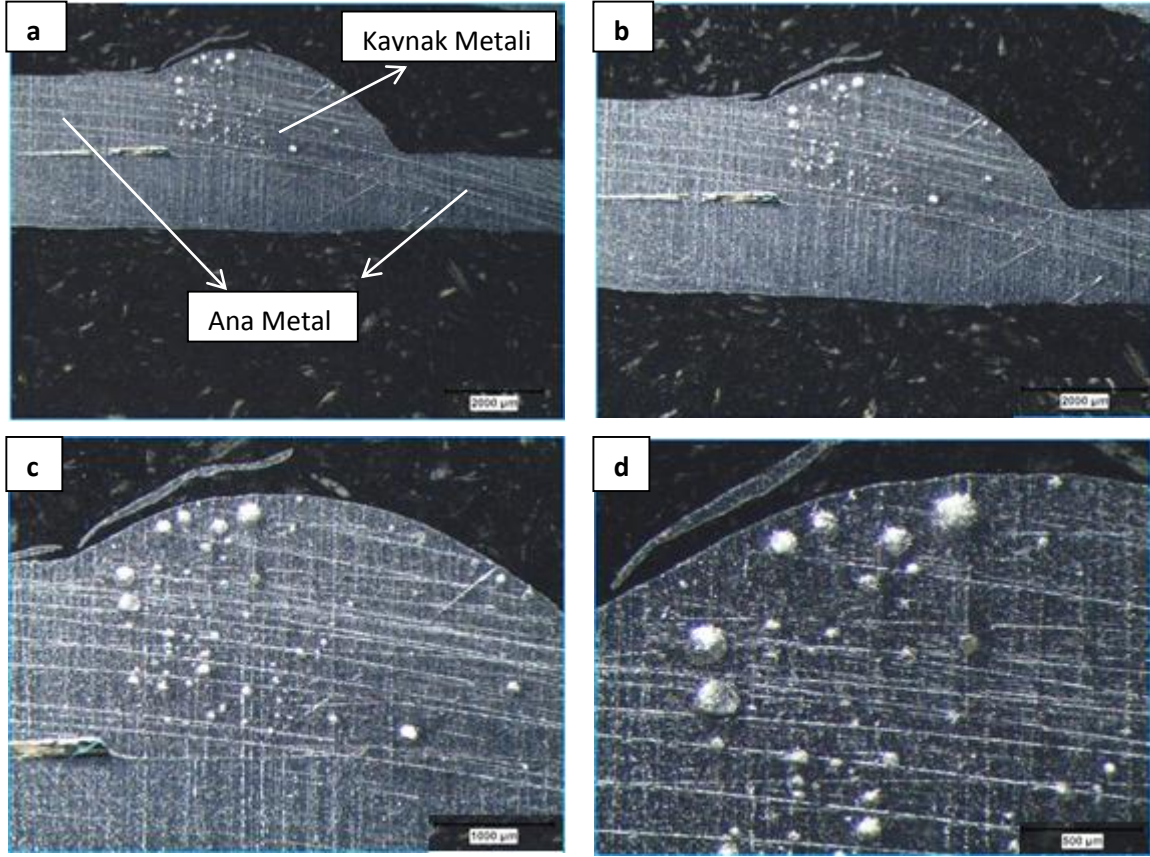
Şekil 6.4 incelendiğinde kaynakla birleştirilmiş parçaların makro görüntüleri görülmektedir. Yine bu parametrelerde de herhangi bir distorsiyon oluşturmadığını ve düzgün bir kaynak dikişine sahip olduğu söylenebilir. Ancak kaynak bölgesinin üst kısmında gaz kabarcıklarına benzer makro gözeneklere rastlanmıştır (Şekil 6.4a). Gaz kabarcıklarının katılma ile kaynak metalinin üst kısmında dışarı çıkamadan sıkışıp kaldığı düşünülmüştür.



Şekil 6.5. C parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelere ait mikroyapı görüntüleri (a), (b) ve (c) Kaynak bölgesi, (d) ITAB, (e) ve (f) Geçiş Bölgesi.

C parametresinde elde edilen kaynak dikişi bölgesinde oldukça büyük ve B numunesine göre daha fazla gözenek oluşumunun meydana geldiği görülmüştür (Şekil 6.5.c). Kaynak bölgesinin tipik dendritik yapılardan oluştuğu gözlemlenmiştir, ancak diğer parametrelerdeki mikroyapılarla kıyaslandığında daha ince dendritlerin meydana geldiği görülebilmektedir. Bu

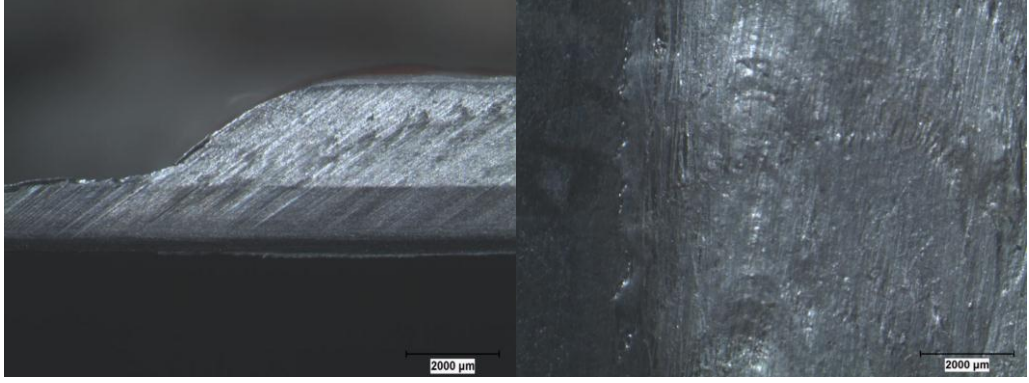
durum soğuma hızının arttığını işaret etmektedir. Kaynak metalinin üst kısmında yine iri gözenek oluşumuna rastlanmıştır.(Şekil 6.5 d). ITAB bölgesi incelendiğinde ergimiş olan bölgeyi sınırlayan ergime hattı oldukça belirgin bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6.6. C parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelere ait makroyapı görüntüleri.

Şekil 6.6 incelendiğinde kaynakla birleştirilmiş parçaların makro görüntüleri görülmektedir. Bu parametrede bir miktar distorsiyon söz konusu olduğu ve kaynak dikişinin geometrisinde bozulmalar meydana geldiği söylenebilir. Kaynak bölgesinde oldukça yoğun bir gözenek oluşumu söz konusudur. Tel besleme hızının artmasıyla kaynak dikişinin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir.

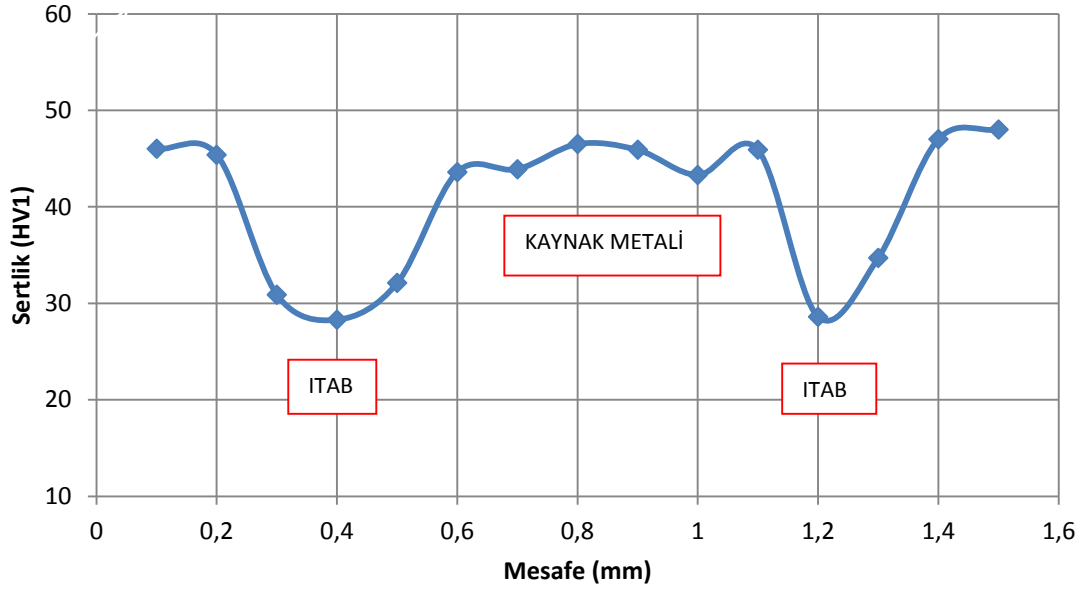
Farklı sac malzemeleri kullanılarak yapılan birleştirmedeki numune, yüzey kusurlarının tespiti için gözle muayeneye tabi tutulmuştur. Yapılan muayene sonucunda, kaynak yüzeyinde çatlak, yetersiz nüfuziyet ve çökme gibi kaynak hatalarının bulunmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6.7). Gözle muayene sonucunda 1050 alüminyum ve galvanizli çeliğin CMT kaynak yöntemiyle başarılı bir şekilde birleştirilebildiği görülmüştür.



Şekil 6.7. Kaynak kesitinin ve kaynak dikişinin stereo mikroskop görüntüsü.

6.1.2. Sertlik Ölçümleri

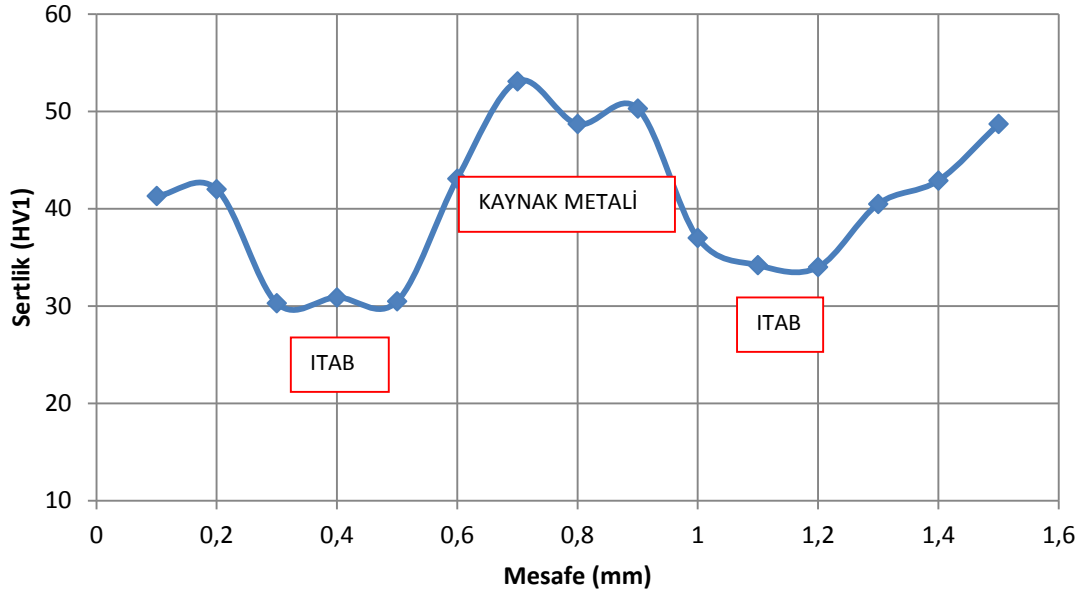
CMT kaynaklı numunelerin sertliklerine ait grafikler aşağıda yer almaktadır. Ölçümler anametal-geçiş bölgesi, ITAB ve kaynak bölgesindeki sertlik değişimlerini ifade etmektedir. Sertlik ölçümü için şematik resim Şekil 5.3' de verilmiştir.



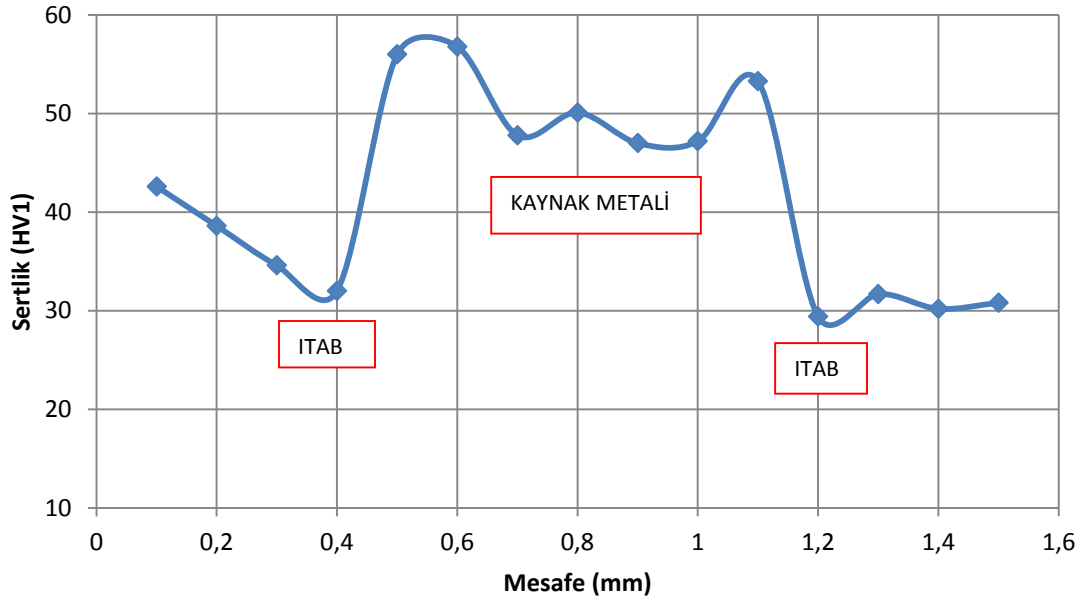
Şekil 6.8. A numunesinin mikrosertlik değerleri

Şekil 6.8 incelendiğinde kaynak metalini ile ana metalin sertliklerinin hemen hemen birbirine yakın olduğu ve ITAB bölgesinde sertlikte düşüş meydana geldiği gözlemlenmektedir. Haddemele ile üretilen sac levha malzemedeki ısı tesiri altından kalan bölge yeniden kristalleşme ve tane irileşmesinin gerçekleşmesiyle sertliğin azalmış olabileceği düşünülmektedir. Şekil 6.9 ve 6.10 incelendiğinde benzer eğilime rastlanmaktadır. Ancak ITAB bölgesinin B numunesinde

çok daha geniş olduğu göze çarpmaktadır. ITAB bölgesinin genişlemesiyle oluşan daha düşük sertliğe sahip bölgenin mekanik özelliklere olan etkileri çekme testi sonuçlarının irdelendiği bir sonraki bölümde ele alınmıştır. Tel besleme hızı ve akım arttıkça sertliklerin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 6.9. B numunesinin mikrosertlik değerleri.

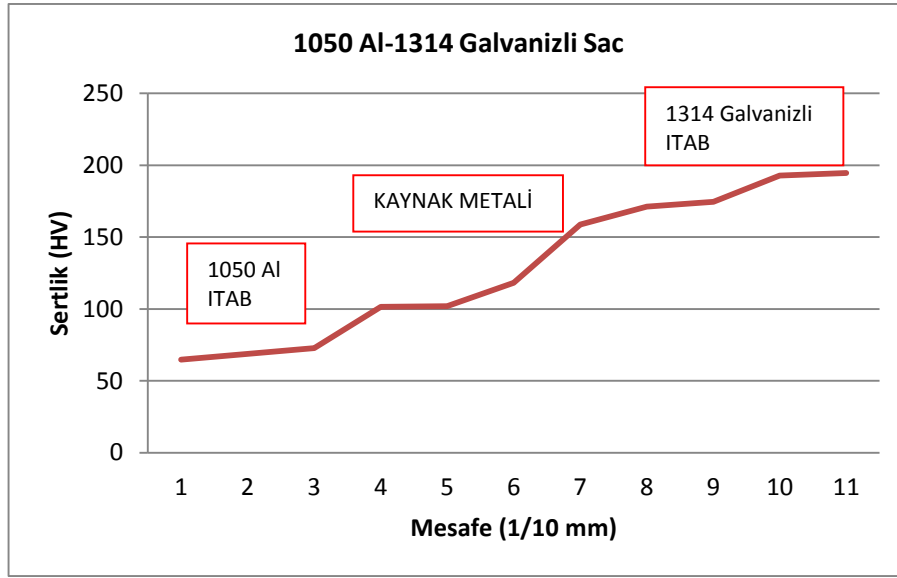


Şekil 6.10. C numunesinin mikrosertlik değerleri.

Sertlik grafikleri incelendiğinde kaynak metalinde B ve C parametrelerinde kısmi bir düşüş gözlemlenmektedir. Bu düşüş C parametresinde daha dikkat çekici hale gelmiştir. Buna göre, B

ve C parametrelerinde oluşan makro-gözenekli yapının sertlikte kısmen bir düşüş yaratabileceği düşünülmüştür (Şekil 6.9. ve 6.10).

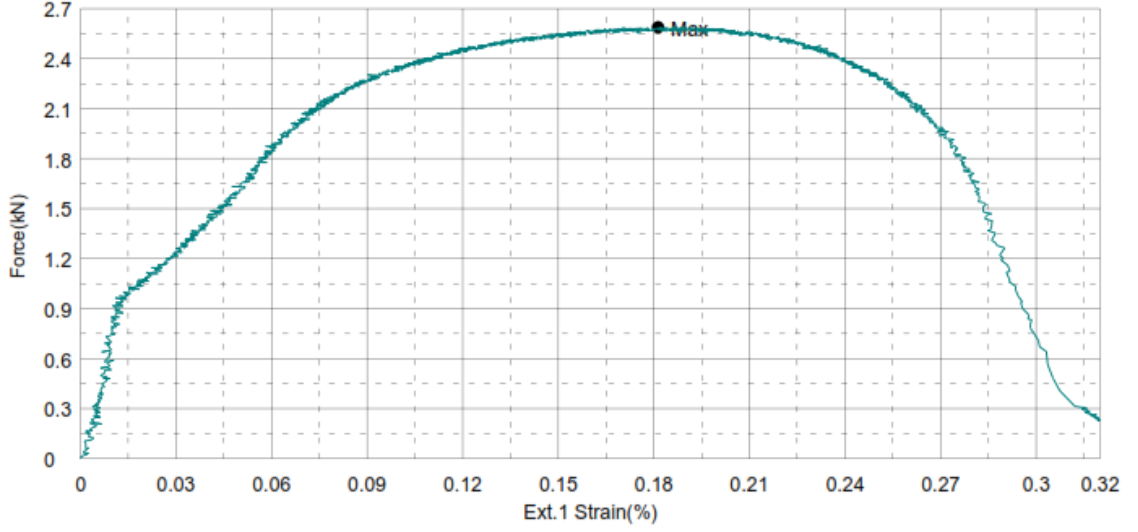
Mikrosertlik değerleri, CMT kaynaklı numunenin kesitinden belli aralıklarla yapılan ölçümler ile tespit edilmiştir. Ölçümler FUTURE TECH FM700 DIJİTAL Mikrosertlik Cihazı Vickers ucu kullanılarak EMCOTest cihazında 1kg yük 10s uygulanarak yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri Şekil 6.11' de gösterildiği gibi Ana Metal – ITAB - Kaynak Metali bölgelerini kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir.



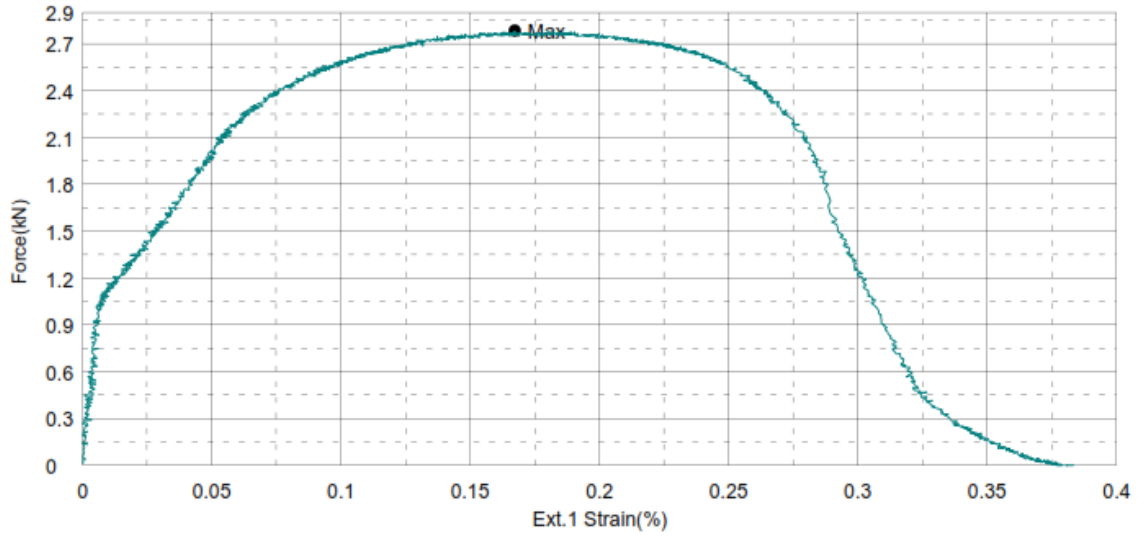
Şekil 6.11. CMT kaynaklı parçanın sertlik değişimi

Sertlik alüminyum tarafında düşük çıkarken galvanizli saca doğru ITAB bölgesinden başlayarak artmıştır.

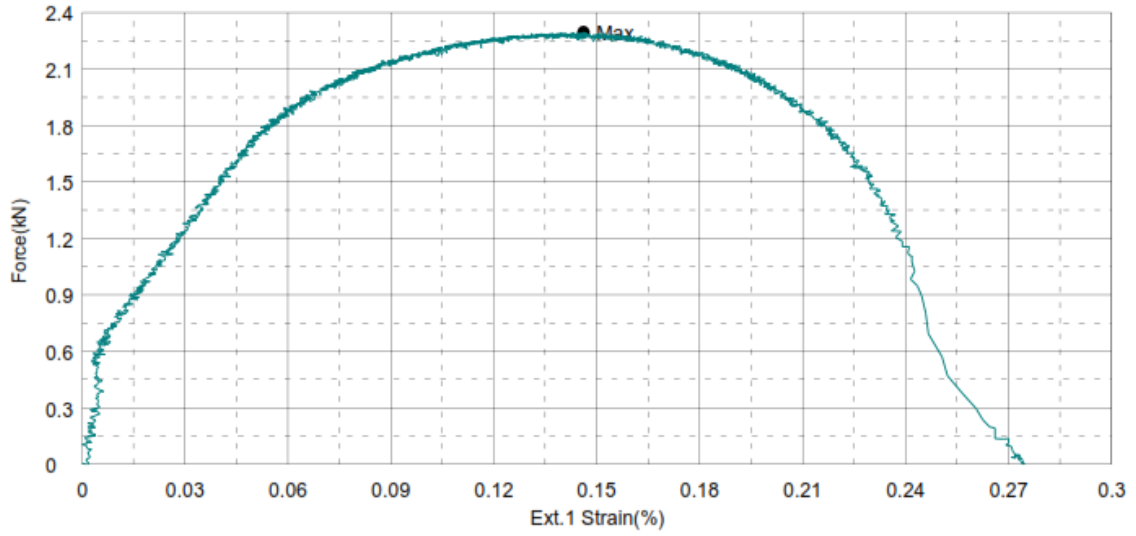
6.1.3. Çekme Makaslama Testi Sonuçları



Şekil 6.12. A parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemede kuvvet-birim şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 6.13. B parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemede kuvvet-birim şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 6.14. C parametrelerinde CMT yöntemiyle birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemede kuvvet-birim şekil değiştirme grafikleri

Çizelge 6.2. CMT kaynağı ile birleştirilmiş 1050 alüminyum sac malzemelerin ait mekanik özellikleri

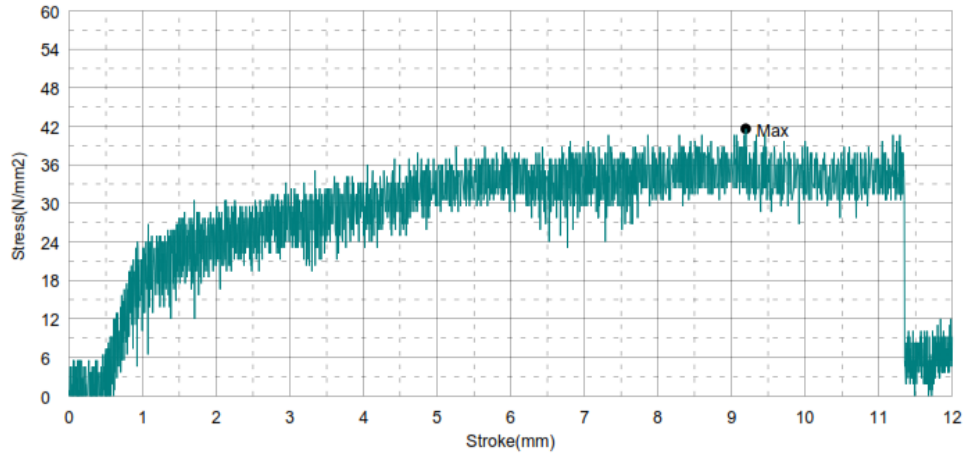
KOD	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Eğme dayanımı (MPa)
A	13	35	5,6	42
B	12	32	4,8	42
C	11	30	4,6	36

Çizelge 6.2 incelendiğinde en yüksek mukavemet A kodlu numunede elde edilirken, en düşük mukavemet C kodlu numunede elde edilmiştir (Şekil 6.14). Artan mukavemete bağlı olarak uzama miktarı azalmıştır. En fazla uzama A parametresinde elde edilmiştir. Sertlik sonuçları incelendiğinde numunelerin yakın sertlik değerleri aldığı fakat ITAB-kaynak metali arasındaki sertlik farklı en çok C kodlu numunedir. Bu da ana metal ile kaynak metali arasında uyumsuzluğa sebep olmaktadır. Çekme sonuçlarında da en düşük mekanik özellikleri bu parametrede elde edilmiştir (Şekil 6.13). Hasar tüm numunelerin ITAB'ında meydana gelmiştir. Tek besleme hızı arttıkça, yeterli ergimenin sağlanabilmesi için akım da artırılmıştır. Fakat

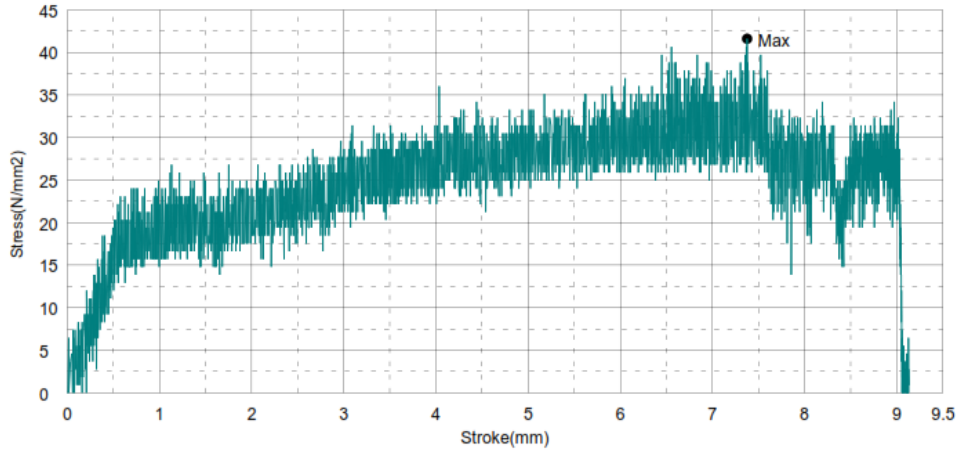
artan akım miktarı ısı tesiri altındaki bölgeyi olumsuz yönde etkilediğinden, bu numunelerde kaynak bölgesindeki sertlik daha yüksek olmasına rağmen dayanımları daha düşüktür.

6.1.4. Eğme Testi Sonuçları

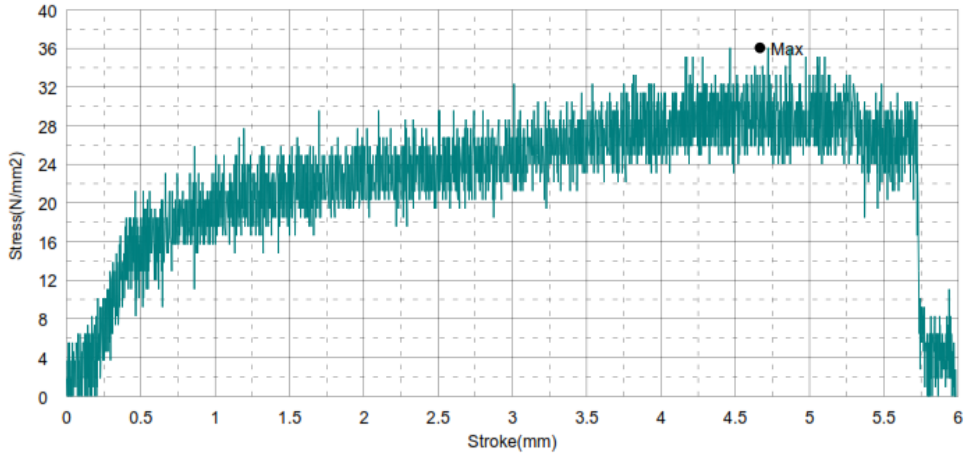
Eğme testi sonuçları Şekil 6.15, 6.16, 6.17 ve Çizelge 6.2' de verilmiştir. A,B,C kodlu numunelere ait sonuçlar incelendiğinde eğme dayanımları arasında çok ciddi bir farklılık oluşmadığı, bunun yanında en yüksek eğme dayanımı değerine A ve B parametrelerindeki malzemede ulaşılmıştır.



Şekil 6.15. A numunesinin eğme testi sonucu gerilme-strok grafiği



Şekil 6.16. B numunesinin eğme testi sonucu gerilme-strok grafiği



Şekil 6.17. C numunesinin eğme testi sonucu gerilme-strok grafiği

Eğme testi kaynak çizgisi üzerinden hem de ters yüzeyden gerçekleştirilmiştir. Eğme testi sonucunda bindirme yapılan kısmın açıldığı ve testin sona erdiği görülmüştür. Test ITAB bölgesindeki çatlakla son bulmuştur.

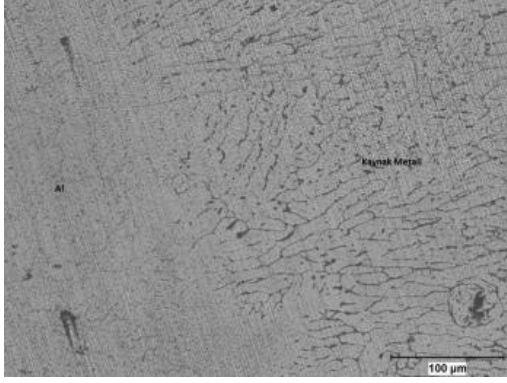
1050 Al- 1314 Galvanizli sacın CMT ile birleştirilmesinden sonra Eğme deney numuneleri TS 282 (EN 910)'da belirtilen şartlara göre hazırlanmıştır. 3 adet eğme deneyi numunesi hazırlanmıştır. Test oda sıcaklığında, 1 mm/dk eğme hızında gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda kaynaklı numunede ortalama 140 N/mm² eğme gerilmesi bulunmuştur.



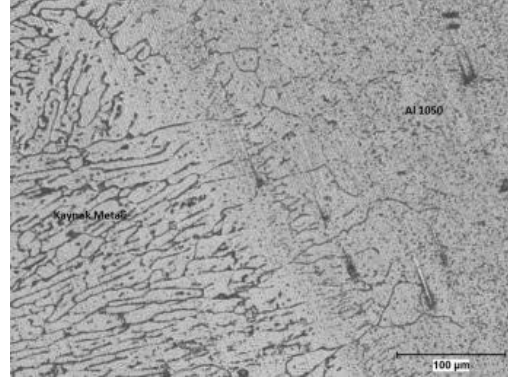
Şekil 6.18. (a) Eğme testi numunesi. (b) Eğme testi sonucu numune görüntüsü.

Mikroyapı sonucunda ITAB, kaynak bölgesi ve ana metallerin farklı mikro yapıları tespit edilmiştir (Şekil 6.19, 6.20, 6.21).

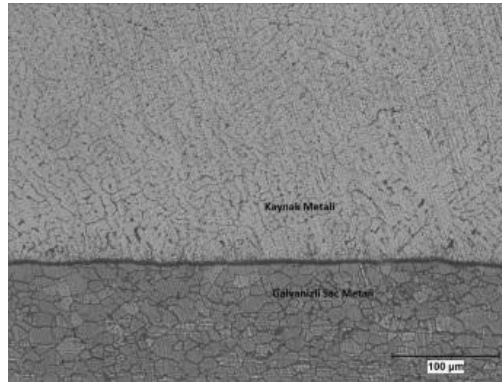
Kaynak bölgesinde katılaşmanın alüminyum ve çelik ana malzemelerine yakın bölgelerde farklılık sergilediği görülmüştür. Alüminyum ana malzemesine temas eden kaynak metalinde taneler dendritik yapı sergilerken aynı etki galvanizli çelikte temas bölgesinde gözlenmemiştir. Kaynak metalinde tanelerin belirli (tercihli) doğrultularda büyümesi (dendritik yapı), nispeten daha yüksek ısı iletkenliğine sahip alüminyum ana malzemesine yakın bölgelerde daha belirgin olarak görülmüştür. 1314 Galvanizli çeliğe yakın bölgede meydana gelen mikroyapının eş eksenli tanelerden oluşması kaynak metalinin sertliğini de arttırmıştır.



Şekil 6.19. Al 1050- Kaynak Metali Mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.20. Kaynak Metali-Al 1050 mikroyapı görüntüsü.

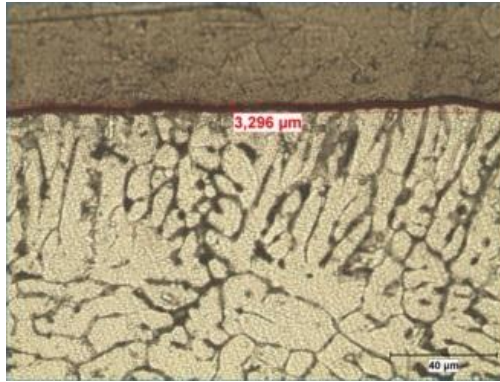


Şekil 6.21. 1314 Galvanizli Sac- Kaynak Metali görüntüsü.

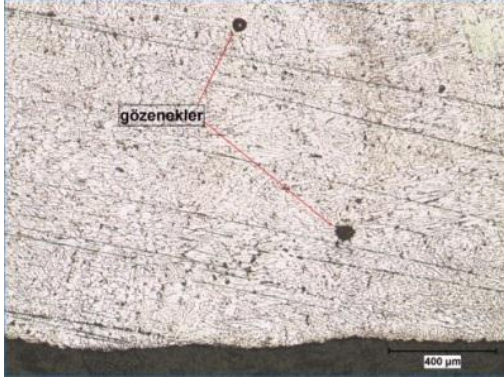
Genellikle, alüminyum ve çeliğin kaynağı esnasında kaynak bölgesinde mekanik özellikleri etkileyen kırılğan intermetalik bileşiklerden meydana gelen bir katman oluşmaktadır (Yang et al., 2013). İyi mekanik özelliklerde bir kaynaklı bağlantı elde edebilmek için intermetalik bileşik tabakasının kalınlığının 10 µm kritik değerini aşmadığı kontrol edilmelidir (Cao et

al., 2013). Bu çalışmada da 1314 galvanizli çelik-kaynak metali arayüzeyinde 3,296 μm kalınlığında kırılğan intermetaliklerin oluştuğu görülmüştür (Şekil 6.22).

Mikroyapı incelemelerinde kaynak metalinde az miktarda gözenek oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 6.23). Galvanizli çeliğe ait çinko kaplamada, çinkonun düşük kaynama noktası (906 °C) sebebiyle kaynakta kararsızlığa sebep olduğu bilinmektedir (Yang et al., 2013). Bu nedenle galvanizli çeliğin bindirme kaynağında kaynak parametreleri yanında "birleşme aralığı" miktarı da kaynak kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada galvanizli sac ile alüminyum arasındaki birleşme aralığı 93,79 μm olarak belirlenmiştir (Şekil 6.24). Önceden ayarlanan birleşme boşluğu sayesinde çinko buharı kaynak bölgesinden uzaklaşabilir ve böylelikle kaynak işlemi daha kararlı hale gelir (Yang et al., 2013). Bu durumda kaynak metalindeki gözeneklerin azalması da beklenmektedir. Chen et al. (2013) birleşme aralığının çok az olması ya da hiç olmaması durumunda cüruf ya da gözenek gibi kaynak hatalarının oluşabileceğini galvanizli çeliğin lazer kaynağı uygulamasında gözlemlemişlerdir. Dolayısıyla bu çalışmada az miktarda gözenek oluşumu, çinko buharının uzaklaşması için gereken birleşme aralığının yeterince büyük olmamasından dolayı çinko buharının tamamının giderilememesi sebebiyle meydana gelmiş olabilir. Bununla birlikte gözenek miktarının çok düşük seviyede olması, kaynak kalitesini önemli ölçüde etkilememiştir ve çekme deneyi uygulanan numunede hasarın kaynak metalinde gerçekleşmediği görülmüştür.



Şekil 6.22. 1314 Galvanizli çelik-1050 alüminyum kaynak metali arasındaki intermetalik bölge.



Şekil 6.23. Kaynak metalinin içyapısında oluşan gözenekler.



Şekil 6.24. 1050 Alüminyum ve 1314 galvanizli sac arasındaki birleşme aralığı.

Çekme testi sonucunda kaynaklı Al 1050' nin çekme dayanımından daha düşük çekme dayanımı tespit edilmiştir. Kopmanın alüminyum ana malzemesine ITAB' dan olduğu görülmüştür. Mikroyapıdaki değişimlerin buna ısı tesiri altındaki bölgede meydana gelen tane irileşmesinin sebep olduğu düşünülmüştür.

Metal transfer prosesinde ark-ateşleme zamanı esnasında oluşan kaynak telindeki sıvı damlacık boyutu kaynak telinin çapına oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan sıvı köprünün ayrılmasının oldukça stabil olduğu çünkü, damlacığın geri-çekilme kuvveti elektromanyetik kuvvetin yardımı olmaksızın kaynak havuzu içine transfer olabilmektedir (Zhang et al., 2009). Sequeira Almeida ve Williams (2010) CMT yöntemi ile Ti-6Al-4V alaşımını birleştirmişlerdir. Böylece yüksek kalitede, homojen ve tutarlı kaynak dikişi elde etmişlerdir. CMT yönteminin üstün özelliği olarak ark periyodunda hiçbir serbest damlacığın transfer olmadığını ortaya koymuşlardır. Dahası, ergiyik havuzuna metal transferinin düşük akım seviyelerinde yüzey gerilme mekanizması yoluyla gerçekleştirdiğini ifade etmişlerdir (Sequeira Almeida ve Williams, 2010).

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. CMT kaynağında kaynak metalinin tane boyutunun, ana metale göre daha ince boyutta oluşu tespit edilmiştir.
2. CMT kaynağında tel besleme hızı çekme makaslama gerilmesi değerleri üzerinde etkili olmuştur. Tel besleme hızı arttıkça mekanik özelliklerde bir azalma görülmüştür.
3. ITAB sertlik değeri, esas metal ve kaynak metalinden düşüktür. Üç farklı kaynak parametresinde de kaynak bölgesinin sertlik değeri ile ana metalin sertlik değeri yaklaşık olarak birbirine yakın çıkmıştır. Haddelenmiş ürün olduğu için ITAB da yeniden kristalleşme ve tane irileştirmesinden dolayı sertlik düşmüştür.
4. Eğme testi sonucunda tüm numunelerin eğme dayanımında çok ciddi bir farklılık oluşmadığı tespit edilmiştir.
5. CMT prosesi ile düşük akım girdisiyle daha yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilmektedir, bunun yanında tel besleme hızı da önem arz etmektedir. A kodlu numunede en düşük akıma sahip ve mekanik özellikleri en yüksek numunedir. B ve C numunelerinde kaynak metalinde tel besleme hızının artmasıyla telde yetersiz erime, eriyen kısımların hızlı katılaşması, koruyucu gazın kaynak metalinde hapsolup dışarı çıkamaması neden olmuştur. Kaynak metalindeki bu gözeneklerden dolayı mekanik özelliklerde çok az da olsa azalma meydana gelmiştir.
6. 1050 Al sacların birbirleriyle CMT ile birleştirilebilirliğinin yanında galvanizli saclar ile birleştirilebilirliği de incelenmiştir. Galvanizli çelikteki çinkodan dolayı birleşme ara yüzeyi oluşarak bir bağlantı elde edilmiştir. CMT ile farklı metallerin kaynağında da başarılı sonuçlar alınabildiği tespit edilmiştir.
7. Zhang et al. (2009) alüminyum ve galvanizli çelik sac malzemeleri CMT kaynağı ile bindirme kaynağı şeklinde birleştirmişlerdir. CMT kaynağının düşük ısı girdisi ile sonuçlandığını ve sıçratma oluşmadığını vurgulamışlardır. CMT kaynağında benzer şekilde çatlak içermeden bindirme kaynağı gerçekleştirilebildiğini raporlamışlardır. Bu tez çalışmasında da 1050 Alüminyum-1314 Galvanizli sac kaynaklı numunede çatlak görülmemiştir.
8. Galvanizli sac ve alüminyum esaslı kaynak metali ara yüzeyinde oluşan intermetalik bileşik tabakasının kalınlığı Cao et al. (2013) çalışmasında belirtilen 10 µm kritik değerden daha düşük 3,296 µm olduğu gözlenmiştir. Bundan dolayı mekanik özellikleri kötü etkisi söz konusu değildir.
9. Görseiliğin ön planda olduğu, diğer kaynak yöntemlerinin uygulanamadığı saclarda CMT kaynağının uygun parametreler ile iyi sonuç vereceği sonucuna varılmıştır.
10. Öneri olarak farklı metallerle ve parametrelerle CMT uygulamaları yapılmalıdır. Ayrıca soğuk şekil değiştirilmiş saclarda ITAB' daki sertlik azalması da inceleme konusu olmalıdır.

8. REFERANSLAR

Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı , Gedik Eğitim Vakfı, İSTANBUL, 1991

Aran, A., Güleç, Ş., Malzeme Bilgisi Cilt I (Çeviri: Bargel, H.J., Schulze, G.), İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, 1993

Aran, A., Güleç, Ş., Malzeme Bilgisi Cilt II, İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, 1993

Atamert, S., Stability, Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel-Based Hardfacing Alloys, PhD Thesis, 1988

Callister, W.D., Materials Science and Engineering: An Introduction, 6th Edition, Addition-Wesley Publication, 1994.

Can, A.Ç., Tasarımcı Mühendisler için Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2006

Cao R., Feng Z., Chen J.H., Microstructures and properties of titanium–copper lap welded joints by cold metal transfer technology, Materials and Design 53:(2014), 192–201

Cao R., Wen B.F., Chen Pei-Chung Wang J.H., Cold Metal Transfer joining of magnesium AZ31B-to-aluminum A6061-T6, Materials Science and Engineering: A, Volume 560, 10 January 2013, Pages 256–266

Çam, G., Sürtünme Karıştırma Kaynağı: Al-Alaşımları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi, Mühendis ve Makine, 46, 541, 30-38.

Çam, G., Sürtünme Karıştırma Kaynağındaki Gelişmeler, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 2003.

Çimenöğlü, H., Hasar Analizi Seminer Notları Bölüm 19, Kaynak Hataları, İstanbul, 1997.

Dausinger F., Laser Welding of Aluminum Alloys: From Fundamental Investigation to Industrial Application, Proc. SPIE Vol.3888, P. 367-379, High Power Lasers In Manufacturing , 2000.

Duley, W., Lazer Welding, John Wiley&Sons, Inc, 1999

G. Chen, L. Mei, M. Zhang, Y. Zhang, Z. Wang, Research on key influence factors of laser overlap welding of automobile body galvanized steel, *Optics & Laser Technology*, 45, (2013), 726–733

Gualini, S., Welding with a 2 kw Power CO₂ Laser, *Alta Frequenza*, vol. 47, p.225-229, 1978.

Gungor, B., Kaluc E., Taban E., Sık A., Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys, *Materials & Design*, Volume 54, February 2014, Pages 207–211.

Hasselberg, T.P., A Feasibility Study of “Cold Metal Transfer” – Gas Metal Arc Welding (CMT-GMAW) Nickel Base Superalloy Inconel 718™ Master thesis, Rensselaer Polytechnic Institute Hartford, Connecticut April 2009

Kaluç, E., Taban, E., Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti, *Metal Dünyası*, 143: 154-162, 2005

Karadağ A., Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Dikiş Geometrisine ve Mekanik Özelliklere Etkisi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2011.

König, R., Otmanbölük, N., CO₂ ve Nd-YAG Lazerleri ile Metal Kesme ve Kaynak İşlemleri, 2. Uluslar arası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu, 3-5 Haziran 1998, İstanbul

Kuhn, K. J., *Laser Engineering*, Prentice Hall; 1st edition December 4, 1997

Liu C., Northwood D.O., Bhole S.D., Tensile Fracture Behavior in CO₂ Laser Beam Welds of 7075-T6 Aluminum Alloy, *Materials & Design*, 25,573-577, 2004.

Mishra,R.S., Ma, Z.Y. , Friction Stir Welding and Processing, *Material Science and Engineering R*, 50: 1-78, (2005).

Michaelis A., Schaefer J. H., Uhlenbusch J., Vioel W., *Proceeding of SPIE- Volume 1276 CO₂ Lasers And Applications II*, Hans Opower, 231-242, 1990.

Pickin C.G., Young K., Evaluation of cold metal transfer (CMT) process for welding aluminium alloy, *Sci Technol Weld Joining*, 11 (5) (2006), pp. 583–585

Pickin, C.G., Williams, S.W., Lunt, M., Characterisation of the cold metal transfer (CMT) process and its application for low dilution cladding, *Journal of Materials Processing Technology*, 211 (3): 496-502, 2011.

Rende, H., *Makina Elemanları Cilt 1*, Seç Yayın Dağıtım, 1996.

S. Yang, J. Zhang, J. Lian, Y. Lei, Welding of aluminum alloy to zinc coated steel by cold metal transfer, *Materials and Design*, 49, (2013), 602–612

Schubert, E., Klassen, M., Zerner, I., Walz, C. and Sepold, G., Light-weight structures produced by laser beam joining for future applications in automobile and aerospace industry, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 115, Issue 1, 22 August 2001, Pages 2-8.

Sequeira Almeida P.M., Williams S.: 'Innovative process model of Ti-6Al-4V additive layer manufacturing using cold metal transfer (CMT) ', Proceedings of the Twenty-First Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, University of Texas at Austin, Austin, TX, USA, August 9-11, 2010.

Taban, E., Kaluç, E., "EN AW-5083-H321 Alüminyum Alaşımının TIG, ve Sürtünen Eleman İle Birleştirme (FSW) Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikro-yapısal Özelliklerinin", *Mühendis ve Makine*, 541, 40-51 (2005).

Talalaev, R., Veinthal, R., Laansoo, A., Sarkans, M., Cold metal transfer (CMT) welding of thin sheet metal products, *Estonian Journal of Engineering*, 18 (3): 243–250, 2012

URL1 [http://tr.wikipedia.org/wiki/Kaynak_\(imalat\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Kaynak_(imalat))

URL2 <http://okul.selyam.net/docs/index-80045.html?page=4>

URL3 http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/yatayda_kut_ekvebindirme_kaynagi.pdf

URL4 <http://www.aluminyumsanayi.com/aluwebsayfam1.html#ai>

URL5 <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrik-dersleri-aluminyum-ve-alamslar/4297#ad-image-0>

URL6 <http://www.neleryokki.com/egitim/kaynak/>

URL7 <http://www.fronius.com/>

Waltz, C., Aftt/Sme Technical Forum, Joining of Aluminum August 6, Dearborn, Mi, 2003

Wirth P., Introduction to Industrial Laser Materials Processing, Hamburg, Rofin, 2004.

Xie J., Dual Beam Laser Welding, Welding Research, October 2002.

Yükler A. İ., Bilici M. K., Fidaner O., Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynak Hataları, 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 29-30 Kasım 2012- Balıkesir, 342-354.

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 A 499 (2009) 111–113.