

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL MATRİSLİ KOMPOZİT İLE
ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA ÇİFTİNİN
SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Serdal DUMAN
(141102220070038)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ BÖLÜMÜ

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Yahya BOZKURT

İSTANBUL 2011

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı sürekli olarak değerli görüş ve katkılarıyla yönlendiren ve beni teşvik eden Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Yahya BOZKURT'a teşekkürü bir borç bilirim.

FEN-C-YLP-280110-0012 nolu proje desteği ile maddi destek veren Üniversitemizin Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında bana her türlü desteği sağlayan Sayın Emniyet Amirim Mesut ALADAĞ'a, ayrıca bu çalışmam esnasında bana destek olan eşim Ülfet DUMAN'a ve tüm eğitim öğretim sürem boyunca bana maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bugüne gelmemde büyük emekleri olan aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

Nisan, 2011

Serdal DUMAN

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
YENİLİK BEYANI.....	vii
KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER.....	ix
TABLOLAR.....	xiii
BÖLÜM I. GİRİŞ ve AMAÇ	1
I.1.GİRİŞ	1
BÖLÜM II. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER	3
II.1. MMK MALZEMELERİN MEKANİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	3
II.2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KAYNAK KABİLİYETİ	5
II.2.1. Ergitme Kaynak Teknikleri	5
II.2.2. TIG Kaynağı (Tungsten Inert Gas).....	6
II.2.3. MIG Kaynağı (Metal Inert Gas)	6
II.2.4. Direnç Kaynağı	6
II.3. KATI HAL BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	6
II.3.1. Difüzyon Kaynağı.....	6
II.3.2. Sürtünme Kaynağı	7
BÖLÜM III. ALÜMİNYUM ve ALAŞIMLARI	8
III.1. ALÜMİNYUMUN ÜRETİMİ.....	8
III.2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ	9
III.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Genel Özellikleri.....	9
III.2.2. Mekanik Özellikler.....	10

III.2.3. Fiziksel Özellikler	10
III.2.4. Şekil Değiştirme Kabiliyeti	11
III.2.5. Kimyasal Özellikler.....	11
III.2.6. Korozyon Özellikleri.....	11
III.3. ÇEŞİTLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ	
.....	12
III.3.1. Alüminyum Mangan Alaşımları.....	12
III.3.2. Alüminyum Magnezyum Alaşımları.....	12
III.3.3. Alüminyum Magnezyum Silisyum Alaşımları	12
III.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ	
.....	13
III.4.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Gaz kaynağı.....	14
III.4.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Örtülü Elektrot Kaynağı	14
III.4.3. Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı	14
III.4.4. Alüminyum ve Alaşımlarının TIG Kaynağı.....	15
III.4.5. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrik Direnç kaynağı	16
BÖLÜM IV. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI.....	17
IV.1. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ HAZIRLANMA SÜRECİ.....	18
IV.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA KULLANILAN TAKIM UÇ ŞEKİLLERİ VE TAKIM ÖZELLİKLERİ.....	18
IV.3. KAYNAK METALURJİSİ.....	20
IV.4. KAYNAK PARAMETRELERİ.....	22
IV.4.1. Takımın (Karıştırıcı uç ve omuz) Dönme ve İlerleme Hızı	23
IV.5. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ KULLANIM ALANLARI	24
IV.5.1. Demiryolu Ve Taşımacılık Endüstrisi.....	25
IV.5.2. Gemi Endüstrisi	25
IV.5.3. Havacılık Endüstrisi	26
IV.5.4. Otomobil Endüstrisi.....	27
IV.5.5. İnşaat Endüstrisi	27
IV.5.6. Elektrik Sanayi	28
IV.6. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ AVANTAJLARI.....	28

IV.7. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI	29
BÖLÜM V. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	30
V.1. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT İLE ALÜMİNYUM ALAŞIMININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI	30
V.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANMASI.....	31
V.2.1. Karıştırıcı Uç.....	31
V.2.2. Deneylerde Kullanılan Tezgah.....	32
V.2.3. Kaynak Parametreleri.....	33
V.3. MEKANİK DENEYLER.....	34
V.3.1. Çekme Deneyi.....	34
V.3.2 Mikro Sertlik Ölçümleri.....	35
V.4. METALOGRAFİK İNCELEME.....	35
BÖLÜM VI. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	37
VI.1. DİKİŞ GÖRÜNÜMLERİ	37
VI.2. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI	38
VI.3. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU	44
VI.4. MİKROSERTLİK DAĞILIMI.....	52
VI.5. ÇEKME DENEYİ SONRASI KIRILMA MORFOLOJİSİ	55
BÖLÜM VII. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
VII.1. Genel Sonuçlar.....	59
VII.2. Öneriler	60
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	68

ÖZET

METAL MATRİSLİ KOMPOZİT İLE ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Alüminyum ve metal matrisli kompozit (MMK) alaşımlar yapı ve otomotiv endüstrilerindeki montajlama işlemlerinde geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu alaşımlar geleneksel ergitmeli kaynak yöntemleriyle birleştirilirken genellikle düşük kaynak kabiliyeti gösterirler. Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için bir alternatif olarak geliştirilen sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile günümüzde farklı iki metal, kurşun, magnezyum, çelik, bakır ve alaşımları, paslanmaz çelik, titanyum ve MMK gibi malzemelerin başarılı bir şekilde birleştirilmesinde daha hızlı ve güvenilir sonuçlar sağlanmıştır.

Bu çalışmada, AA2124/SiCp/25p-T4 MMK ile AA 3003-H24 alüminyum alaşımı levhalar, alüminyum levha takım ilerleme yönünde olacak şekilde 900-1400 dev/dak. takım dönme ve 40-125 mm/dak. takım ilerleme hızlarında takım eğim açısı sabit tutularak SKK ile küt alın formunda başarılı bir şekilde birleştirilmişlerdir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla; çekme mukavemeti, % uzama, kaynak performansı ile farklı bölgelerdeki sertlik dağılımı belirlenmiştir. Optik mikroskop, elektron mikroskobu (SEM) ve elementel analiz (EDS) kullanılarak mikroyapı karakterizasyonu yapılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde, AA2124/SiCp/25-T4 ile AA3003-H24 alüminyum alaşımı levhaların SKK tekniği ile birleştirilmesi sonucu yüksek kaliteli birleştirmeler 900 dev/dak. takım dönme hızı ve 125 mm/dak. takım ilerleme hızında elde edilmiştir. En yüksek çekme mukavemeti 182 MPa ile AA3003-H24 Al alaşımına göre % 104, AA2124/SiCp/25-T4 MMK alaşımına göre ise % 40,2 kaynak performansı elde edilmiştir. Yüksek takım ilerleme hızlarında kaynağın hem üst hem kök kısmında herhangi bir porozite ya da kusura rastlanmamıştır.

Nisan, 2011

Serdal DUMAN

ABSTRACT

INVESTIGATION OF WELDABILITY DISSIMILAR METAL MATRIX COMPOSITE AND ALUMINYUM ALLOY SHEETS BY FRICTION STIR WELDING METHOD

Assemblies consisting of aluminum and metal matrix composite (MMC) alloys have wide spread application in construction and automotive industries. These alloys generally present low weldability by traditional fusion welding process. The development of the friction stir welding (FSW) has provided an alternative improved way of satisfactory producing aluminium joints, but now this technique allows many metals and composites including dissimilar metals, lead, magnesium, steel, titanium, zinc, stainless steels, copper and MMCs, in a faster and reliable manner.

In the present study, AA3003-H24 and AA2124/SiCp/25p-T4 plates were successfully friction stir butt joined by offsetting the tool to aluminum side under tool rotational speed of 900-1400 rpm and traversing speed of 40-125 mm/min, keeping other parameters same. Ultimate tensile strength, percentage elongation and joint efficiency of the welded joints and hardness variations at different zone across the weld interface have been reported. The integrity of the joints have been investigated using optical microcopy, scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. The results indicate that the high quality weld joint could be obtained when tool rotational speed is 900 rpm, and traversing speed is 125 mm/min. The maximum value of tensile strength is 182 MPa with AA3003-H24 Al alloy 104% and AA2124/SiCp/25-T4 MMC 40,2% welding performance and no visible superficial porosity or macroscopic defects observed on both the top and abottom regions of welded samples at high tool transverse speeds.

April, 2011

Serdal DUMAN

YENİLİK BEYANI

METAL MATRİSLİ KOMPOZİT İLE ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Endüstrimizde; ticari Alüminyum ve metal matrisli kompozit (MMK) alaşımlar yapı ve otomotiv endüstrilerindeki montajlama işlemlerinde geniş uygulama alanlarına sahiptir. Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için bir alternatif olarak geliştirilen sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile günümüzde farklı iki metal, başta olmak üzere; kurşun, magnezyum, çelik, bakır ve alaşımları, paslanmaz çelik, titanyum ve MMK gibi malzemeler birleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada, bu güne kadar literatürde rastlanılmayan AA2124/SiCp/25p-T4 MMK ile AA 3003-H24 levhaların sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde hangi kaynak parametrelerinin birleştirme mukavemeti üzerinde nasıl bir etkiye sahip olabileceği araştırılmıştır. Ayrıca kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla; çekme mukavemeti, % uzama, kaynak performansı ile farklı bölgelerdeki sertlik dağılımı belirlenmiştir. Optik mikroskop, elektron mikroskopu ve EDS kullanılarak mikroyapı karakterizasyonu yapılmıştır. İdeal kaynak parametrelerinin hangi aralıklarda olabileceği hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Tez içerisindeki bütün bilgiler etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulmuş ve orjinal olmayan her türlü bilgiye eksiksiz atıf yapılmıştır.

Nisan, 2011

Yrd.Doç.Dr. Yahya BOZKURT

Serdal DUMAN

KISALTMALAR

MMK	: Metal Matrisli Kompozit
SKK	: Sürtünme Karıştırma Kaynağı
SEM	: Elektron Mikroskobu
EDS	: Elementel Analiz (Electron Dispersive Spectroscopy)
ITAB	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
TIG	: Tungsten Inert Gas
MIG	: Metal Inert Gas
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
TMEB	: Termo Mekanik Olarak Etkilenen Bölge
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
mm/dak.	: mm/dakika
dev/dak.	: Devir/dakika
TİY	: Takım İlerleme Yönü
TİYT	: Takım İlerleme Yönünün Ters Tarafı
TMEB (-)	: Takım İlerleme Yönündeki TMEB
TMEB (+)	: Takım İlerleme Yönünün Ters Tarafındaki TMEB
BEI	: Backscatter Electron Image (Geri Yansımali Elektron Görüntüsü)
SiC_p	: Partikül Takviyeli Silisyum Karbür

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil III.1.	MIG Kaynak Yöntemindeki Ark Bölgesi	15
Şekil III.2.	TIG kaynak Yönteminde Ark Bölgesi	15
Şekil IV.1.	Sürtünme Karıştırma Kaynağının Aşamaları	17
Şekil IV.2.	Bazı Tipik Sürtünme Karıştırma Kaynağı Takımları	19
Şekil IV.3.	Bazı Tipik Sürtünme Karıştırma Kaynağı Takımları	20
Şekil IV.4.	Kaynak Bölgesinin Mikroyapısının Şematik Olarak Gösterilmesi	21
Şekil IV.5.	Japonya’da Sürtünme Karıştırma Kaynağının Kullanıldığı Hızlı Tren ve Bu Yöntem İle Kaynağı Yapılan Al-Paneller	25
Şekil IV.6.	Yüksek Hız Feribotlarında Kullanılan Alüminyum Ekstrüzyon Panellerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilmesi	26
Şekil IV.7.	Space Shuttle External Tank Projesi Ve Marshall Space Flight Center Laboratuvarlarındaki Sürtünme Karıştırma Kaynak Sistemlerinden Görüntüler	26
Şekil IV.8.	Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilen Al Alaşımı Prototip Otomobil Jantı	27
Şekil V.1.	a) Sürtünme Karıştırma Kaynak İşleminin Gerçekleştirildiği Takım, b) AlTiN Kaplanmış Takımın Fotoğrafı	31
Şekil V.2.	Sürtünme Karıştırma Kaynak İşleminin Uygulama Aşamaları	33
Şekil V.3.	Devotrans Marka Üniversal Çekme Cihazı	34
Şekil V.4.	Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı Kesit Görüntüsü (1: Alt (kök) bölge, 2: Üst bölge)	35
Şekil V.5.	Mikrosertlik İncelemelerinin Yapıldığı Cihaz	35
Şekil V.6.	Metalografik İnceleme İçin Akış Şeması	36
Şekil VI.1.	Farklı Takım Dönme ve İlerleme Hızlarında Birleştirilen AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımı Levhaların Çekme Mukavemeti Grafiği	39

Şekil VI.2.	900/40 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı	41
Şekil VI.3.	900/80 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b)Kök Kısmı	41
Şekil VI.4.	900/125 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı	41
Şekil VI.5.	1120/40 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı	42
Şekil VI.6.	1120/80 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı	42
Şekil VI.7.	1120/125 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı	42
Şekil VI.8.	1400/40 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı	43
Şekil VI.9.	1400/80 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı	43
Şekil VI.10.	1400/125 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı	43
Şekil VI.11	a) 900/125 ve b) 1400/40 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Makroyapı Resmive Farklı Mikroyapısal Bölgelerin Sınıflandırılması; 1) AA3003-H24 Ana Metal, (2) AA3003-H24 ITAB, (3) AA3003-H24 TMEB, (4) Karışım Bölgesi, (5) AA2124/SiCp/25-T4 TMEB, (6) AA2124/SiCp/25-T4-ITAB, (7) AA2124/SiCp/25-T4 Ana Metal	44
Şekil VI.12.	900/125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Mikroyapısal Değişimlerinin SEM Görünümü.....	46
Şekil VI.13.	900/125 ve 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003 H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Karışım Bölgesindeki Akış Yönü.....	47

Şekil VI.14. 900/125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların SEM Görüntüsü: a) Karışım/TMEB Arayüzey Bölgesi, b) TİY' deki Karışım Bölgesi, c) TİYT Tarafındaki TMEB Bölgesi	48
Şekil VI.15. 900/125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Geçiş Bölgelerinin BEI (Backscatter electron image) ile Haritalama Görünümleri; a) Geçiş Bölgesinin BEI Görünümü, b) Geçiş Bölgesinde Al'nin Dağılımı, c) Geçiş Bölgesinde Si'nin Dağılımı, d) Geçiş Bölgesinde C'nin Dağılımı	49
Şekil VI.16. 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Mikroyapısal Değişimlerinin SEM Görünümü	50
Şekil VI.17. 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların SEM Görüntüsü: a) Karışım/TMEB Arayüzey Bölgesi, b) TİY' deki Karışım Bölgesi, c) TİYT Tarafındaki TMEB Bölgesi	51
Şekil VI.18. 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Geçiş Bölgelerinin BEI (Backscatter Electron Image) ile Haritalama Görünümleri; a) Geçiş Bölgesinin BEI Görünümü, b) Geçiş Bölgesinde C'nin Dağılımı, c) Geçiş Bölgesinde Al'nin Dağılımı, d) Geçiş Bölgesinde Si'nin Dağılımı	52
Şekil VI.19. 900/40-125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhalarının Kaynak Kesitindeki Ortalama Mikrosertlik Grafiği	53
Şekil VI.20. 1120/40-125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhalarının Kaynak Kesitindeki Ortalama Mikrosertlik Grafiği	54
Şekil VI.21. 1400/40-125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhalarının Kaynak Kesitindeki Ortalama Mikrosertlik Grafiği	55

Şekil VI.22. 900/125 Kaynak Parametrelerinde SKK Yapılan AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımı Levhaların Çekme Deneyi Sonrası TİY'deki Ana Metalin Kırık Yüzey Kesitinin; a) 22X ; b, c ve d) 1000X, 2000X ve 3000X SEM Görünümü, e) TİY'deki Ana Metalin Kırık Yüzey Kesitinin EDS Analizi	56
Şekil VI.23. 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK Yapılan AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımı Levhaların Çekme Deneyi Sonrası TİY'deki TMEB Bölgesinden Kırık Yüzey Kesitinin; a) 25X ; b, c ve d) 1000X, 2000X ve 3000X SEM Görünümü, e) TİY'deki TMEB Bölgesindeki Kırık Yüzey Kesitinin EDS Analizi	57

TABLolar

SAYFA NO

Tablo II.1. Bazı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	4
Tablo III.1. Saf Alüminyumun Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri	10
Tablo III.2. Saf Alüminyumun Önemli Fiziksel Özellikleri	11
Tablo IV.1. 4 mm ve 1.6 mm Kalınlığındaki SKK Kaynağı Uygulanmış 2024Al-T3 Plakalarda Ana Malzeme ve Kaynaklı Birleştirmeler İçin Oda Sıcaklığında Boylamasına Çekme Özellikleri	24
Tablo V.1. AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımının Kimyasal Bileşimi.....	30
Tablo V.2. AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımının Mekanik Özellikleri	30
Tablo V.3. Deneylerde Kullanılan Kaynak Parametreleri	34
Tablo VI.1. Farklı Takım Dönme ve İlerleme Hızlarında Birleştirilen MMK ile Al Levhaların Üst ve Kök Yüzeylerinin Görünümleri.....	38
Tablo VI.2. SKK ile Birleştirilen AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımı Levhaların Çekme Deneyi Sonuçları.....	40

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1.GİRİŞ

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitler, geleneksel alaşımlara göre oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda ağırlık oranına göre yüksek sertlik ve mukavemet; mükemmel yorulma özellikleri; yüksek işlenebilirlik ve yüksek aşınma dayanımı gibi birçok avantajı sayesinde son zamanlarda büyük bir odak noktası haline gelmiştir. Bununla birlikte, AA 3003 alaşımları orta derecede dayanıklılık, paslanma dayanımı ve iyi seviyede işlenebilirlik gerektiren uygulamalar için kullanılan genel amaçlı alaşımlar olarak kullanılmaktadırlar. Bunlar gibi farklı iki metalik malzemenin birleştirilmesi, sayısız avantajları nedeniyle endüstriyel uygulamalar içerisinde giderek daha fazla önem arz etmektedir. Söz konusu avantajlar yalnızca istenilen ürün özellikleri gibi teknik avantajlardan ibaret değildir. Aynı zamanda üretim ekonomisine de katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, farklı iki metalik malzemenin sağlam bir birleştirme tekniğine tabi tutulmaları önem arz etmektedir. Ancak farklı kimyasal ve fiziksel karakteristikleri nedeniyle farklı iki metalin, geleneksel ergitme kaynağı ile birleştirilmesi zordur, dolayısıyla katı hal birleştirme yöntemleri oldukça ilgi çekmektedir [1].

Geleneksel alüminyum ergitme kaynağı ve alaşımları, tasarımcılar ve teknoloji uzmanları için büyük bir zorluk ortaya koymuştur. Bu tipteki birleşim yerlerinde kendini gösteren zorluklar, temel olarak, çıkarılması zor bir oksit katmanı, yüksek ısı iletkenlik, yüksek ısı genleşme katsayısı, katılaşma çekmesi ve hidrojen ile diğer gazların erimiş halde yüksek oranda çözünabilir olması ile ilişkilidir. Alüminyum alaşımlarının ergitme kaynağına tabi tutulmaları, ergitme bölgesinin erimesine ve tekrar katılaşmasına yol açmaktadır. Bunun sonucunda da, kırılma dentritik ve ötektik yapılar oluşur. Kaynak bölgesinde kırılma yapının oluşması, sertlikte, dayanımda ve süneklikte düşme gibi mekanik özelliklerde kayda değer bir düşüşe yol açmaktadır [2]. Bu gibi durumlar ergitme kaynağı süreçleri için oldukça sık meydana

gelmekte iken, sürtünme kartirma kaynağının kullanıldığı durumlarda görülmemektedir. Çünkü, işlemin maksimum sıcaklığının, kaynağa tabi tutulan metallerin erime noktasına erimediği bir katı hal süreci söz konusudur [3]. Sürtünme kartirma kaynağı (SKK) İngiltere'deki (TWI) Kaynak Enstitüsü tarafından 1991 yılında patenti alınan bir katı hal birleştirme tekniği olup [4], düşük kaynak sıcaklığı ve kısa kaynak süresi gibi birçok avantaja sahiptir. Bu sebeple, SKK, farklı iki metalin birleştirilmesinde potansiyel olarak kullanılabilir bir uygulamadır [5]. SKK' tekniğinde, kaynaklanılacak iki plaka arasındaki birleşim noktasına kartırıcı uçlu bir takım daldırılır. Takımın dn, kaynağın ilerleme yönü ve ters tarafındaki yüzeylerde malzemelerin mekanik (katı hal) karmına olanak sağlar. Malzemelerin birleştirilmesi, ana metalin yeniden kristallemesini içeren katı halde Şiddetli plastik deformasyon ile sağlanır [6].

Yakın geçmişte, farklı Al alaşımlarının [7-12] örneğin, alüminyum ile elik [13,14], Ti ve alüminyum ile paslanmaz elik [15,16], alüminyum ile magnezyum [17], alüminyum ile bakır [18], bakır ile pirinç alaşımının [19] birleştirilmesi gibi SKK ile farklı iki metalik alaşımın sürtünme kartirma kaynağına tabi tutulmaları hakkında literatürde birçok çalışma yapılmıştır.

Ancak, AA3003-H24 alaşımı ile % 25 SiC partikül takviyeli AA 2124-T4 metal matrisli kompozitin (MMK) SKK ile farklı iki metalin birleştirmesi zerine Şu ana kadar herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada, bu iki farklı levha SKK ile başarılı bir Şekilde birletirilmitir. Bu doğrultuda, Al/MMK'ler arasında gerçekleştirilen farklı iki metalin SKK ile mekanik özellikleri ve mikroyapı değişimi, farklı parametreler kullanılarak elde edilmiştir. Araştırma bulguları, Al ile MMK malzemelerin SKK' s üzerinde gerçekleştirilecek değişik çalışmalara esas nitelikte olacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM II

METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

MMK malzemeler, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir [20]. Metal matrisli, özellikle oksitli ortamlarda ve yüksek sıcaklık uygulamalarında iyidir. Matriks malzemesi olarak kullanılan en yaygın metaller alüminyum, magnezyum, titanyum [21], demir, nikel ve tungstendir [22].

MMK, ana yapıyı metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da seramik ya da refrakter bir takviye elemanın kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemelerin seçiminde hemen hemen hiçbir sınırlama yoktur. Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı göze çarpmaktadır. Son 45-50 yıldır MMK'ler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatürde olumlu şekilde yer almıştır [23-24]. Ancak hepsinden önce, MMK'lerin, monolitik alaşımlara göre esas üstünlüğünün, bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin, mikroyapıları üzerinde yapılan değişikliklerle mühendislik uygulamalarının ihtiyaç duyduğu seviyeye çıkarılabilmesi olduğu vurgulanmaktadır [25].

Bu malzemelerin tercih edilmesinin ana sebebi sahip oldukları dayanım, rijitlik (elastisite modülü), yüksek servis sıcaklıklarında mekanik özelliklerini kaybetmemeleri ve kırılma tokluğu gibi temel özelliklerinin diğer mühendislik malzemeleri ile karşılaştırıldığında daha iyi olmasıdır [26].

Son yıllarda maliyetlerin düşürülmesi ile birlikte MMK malzemelerin üretimi ve dolayısıyla ticari anlamda kullanılmaları yaygınlaşmıştır [27].

II.1. MMK MALZEMELERİN MEKANİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

MMK malzemelerin mekanik ve kimyasal özellikleri, yapısal malzemeler olarak kullanılmak için çok önemli olan çeşitli avantajlara sahiptir. Bu avantajları özetlemek gerekirse, aşağıda gösterilen özelliklerin bir kombinasyonunu içerir [28].

1. Yüksek dayanım
2. Yüksek elastiklik modülü

3. Yüksek sağlamlık ve darbe özellikleri
4. Termal şok veya değişen sıcaklıklara düşük hassasiyet
5. Yüksek yüzey dayanıklılığı ve yüzey hatalarına düşük hassasiyet
6. Yüksek elektrik ve ısı iletkenlik

Tablo II.1. Bazı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri [20].

Metal Matrisli Kompozit Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopmadaki Uzama Miktarı (%)
<u>Sürekli fiberli (fiber yönünde özellikleri)</u>			
Al 2024-T6 (%45 Bor)	1458	220	0.810
Al 6061-T6 (%51 Bor)	1417	231	0.735
Al 6061-T6 (%47 SiC)	1462	204	0.89
<u>Süreksiz fiberli</u>			
Al 2124-T6 (%20 SiC)	650	127	2.4
Al 6061-T6 (%20 SiC)	480	115	5
<u>Partikül Takviyeli</u>			
Al 2124-F (%20 SiC)	552	103	7.0
Al 6061-F (%20 SiC)	496	103	5.5
<u>Güçlendirilmemiş</u>			
Al 2124-F	455	71	9
Al 6061-F	310	68.9	12

Genel olarak bakıldığında metal matrisli kompozitlerin, metallere göre üstün olan özellikleri şunlardır:

1. Yüksek mukavemet / yoğunluk oranı, başka bir deyişle spesifik mukavemet.
2. Yüksek elastiklik modülü / yoğunluk oranı, başka bir deyişle spesifik modül.
3. Daha iyi yorulma direnci.
4. Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme ve düşük sürtünme oranı gibi daha iyi yüksek sıcaklık özellikleri.
5. Düşük termal genişleme katsayısı.
6. Daha iyi aşınma direnci.

Metal matrisli kompozitlerin dezavantajları olarak ise şu maddeler sayılabilir:

1. Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda zor ve karmaşık üretim prosesleri (döküm yöntemi hariç).
2. Metallere göre sünekliğin belli oranda azalması.
3. Yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizat.
4. Yeni gelişen bir teknoloji olması nedeniyle firmaların ve üreticilerin deneyimsiz oluşu [20].

II.2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

Uzun yıllardan beri ergitme kaynağı, difüzyon kaynağı, lehimleme ve direnç kaynağı genel olarak metal matrisli kompozit (MMK) malzemelerin birleştirmelerinde kullanılmaktadır. Fakat MMK malzemelerin kaynağını yapabilmek için kaynak öncesi yüzey temizliği ve uygun koruyucu gaz gibi kompozitin özelliklerini koruyacak önlemler almak gerekir. MMK malzemelerin kaynağında, dolgu telinin kullanımı, gözenek oluşumu ve yüksek ısı girdisinden dolayı ITAB bölgesinin büyük oluşu; takviye fazlarının azalmasına, korozyon ve mekanik özelliklerin düşmesi gibi bazı problemler ortaya çıkmaktadır [29]. Bu problemler katı hal birleştirme teknikleriyle azaltılabilmektedir.

II.2.1. Ergitme Kaynak Teknikleri

Al alaşımların ergitme kaynaklarında, soğuma esnasında çatlama, kırılma v.b. kusurlar ortaya çıkmaktadır. Bu gibi problemler kompozitteki takviyelerin varlığı ile artarken, matrisin kompozisyonuna bağlı olarak değişmektedir. MMK malzemelerin ergitme kaynakları ile ortaya çıkan pek çok olumsuzluklar vardır. Bu problemler aşağıda özetlenmiştir.

1. Yüksek ergime sıcaklığı: Kaynak esnasında partikül katı kalmasına rağmen; matris, ergime noktasının üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılır. Bu durum pek çok probleme sebebiyet verecektir.
2. Partikül segregasyonu: Soğuma esnasında SiC partiküllerinin bir tarafta toplanması ya da dışarı atılması matris içerisinde partikül takviyesiz Al alaşımlı bölgeler ortaya çıkarır. Kaynak bölgesinde homojen olmayan partikül dağılımı ve mukavemet değerlerinin düşüşüne sebep olabilecek segregasyon problemi ile karşılaşılır.
3. Takviye/matris etkileşimi: SiC takviyeli MMK malzemelerin ergitme kaynağı esnasında Al matris ile SiC partikülleri ara yüzeylerinde Al_4C_3 bileşikleri meydana gelir. Bu durum kompozitin kırılma tokluğunu azaltarak kırılma hızına sebep olur.

MMK malzemenin gaz içeriği çok yüksek ise ergitmeli kaynak sıcaklıklarında (özellikle hidrojen gazı) katı çözelti ortaya çıkar. ITAB ve kaynak bölgesinde oluşan gözenekler büyük çatlaklar meydana getirebilir [30].

II.2.2. TIG Kaynağı (Tungsten Inert Gas)

TIG kaynak yönteminde kaynak arkı erimeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında teşekkül etmektedir. Ark, elektrot ve erimiş banyo havanın tesirinden bir argon veya helyum atmosferi ile korunmaktadır. Koruyucu gazın soy bir gaz olması dolayısıyla oksidasyon ve nitrür teşekkülü gibi, istenmeyen haller önlenmektedir. Kaynak işlemi için bir kaynak ilave metaline (kaynak teli veya çubuğuna) ihtiyaç vardır.

MMK malzemelerin TIG kaynağında; gözenek, fiberin dağılım şekli, kimyasal reaksiyondan dolayı istenmeyen fazların oluşumu, ITAB' ta çatlama ve mekanik özelliklerde azalma gibi problemler ortaya çıkmaktadır.

II.2.3. MIG Kaynağı (Metal Inert Gas)

MIG kaynağında genel olarak argon atmosferi altında kaynak yapılmaktadır. MMK malzemelerin kaynağı için MIG kaynağı TIG kaynak yönteminden arkın kaynak yerine otomatik olarak gelen ilave metal ile iş parçası arasında teşekkül etmesiyle ayrılır [31].

II.2.4. Direnç Kaynağı

İş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın tatbikiyle yapılan bir kaynak tekniğidir [60]. Bu kaynak yöntemi pek çok MMK malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmıştır. Sonuçta; kaynak havuzundaki yüksek ısı girdisinden dolayı partikül ve takviye elemanlarının tamamen zarar gördüğü belirtilmektedir [32].

II.3. KATI HAL BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

II.3.1. Difüzyon Kaynağı

Birleştirilmek üzere hazırlanmış malzemelerin ergime derecelerinin altında bir sıcaklıkta, malzemede makro deformasyona sebep olmayacak bir basınçta, iki malzeme arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar malzeme özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek bir süre tutulması ile uygulanan bir kaynak metodudur. Sıcaklık, basınç ve zaman difüzyon kaynağının üç önemli parametresidir. Bunların dışında malzemelerin birleşme yüzeylerinin özellikleri de difüzyon kaynağına doğrudan tesir eden faktörlerdendir. Difüzyon kontrollü birleşme işlemi

başlatılmak için iki yüzey; makro pürüzlülüklerden, kir yağ ve oksit gibi yüzey kirliliklerinden arındırılmış halde, atomlar arasında bağ oluşumuna imkan verecek bir yakınlıkta olmalıdır [33].

II.3.2. Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağında elektrik enerjisi kullanılır. Kullanılan elektrik enerjisi kaynatılmak istenen parçalara mekanik enerji sağlar. Mekanik enerji kaynatılacak parçaların sürtünmesi sonucunda ısı enerjisine dönüşür. Elde edilen bu ısı enerjisinden yararlanarak yapılan kaynak tekniğine katı hal kaynak yöntemi denilir. Dolayısıyla sürtünme kaynağı bir katı hal kaynağıdır. Kaynak süresince parçalar basınç altında ve mekanik enerjinin etkisi altında hareket halindedir. Bu duruma sürtünme fazı veya ısıtma fazı olarak adlandırılır. Kaynak işleminde ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ısınmış ara yüzey malzemesi yığılır. Böylece kaynak bölgesi, termo-mekanik işleme tabi birleşme bölgesinde iyileşme gösterir. Bundan dolayı diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen metaller ve metal alaşımları kolaylıkla kaynatılabilmektedir. Kaynatılan parçalarda kaynak bağının oluşabilmesi için temiz metal yüzeylerinin temas haline gelmesi gerekir. Sürtünme kaynağında bütün temassızlıklar sürtünme yolu ile ortadan kaldırıldığından bu temas çok iyi gerçekleşir. Kaynak esnasında parçaların yüzeylerinde ergime meydana gelmez. Çok az bir ergime olsa bile uygulanan yığıma işlemi sonunda birleşme bölgesinden bu ergiyen malzeme uzaklaşır. Kaynak yüzeyinde ergimiş metale ait herhangi bir bulguya rastlanmaz [34-35].

BÖLÜM III

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Metal malzemeler içinde Al ve alaşımları, gerek saf olarak gerekse alaşım olarak en yaygın olarak kullanılan malzeme gruplarından birisidir. Saf alüminyumun oksijene ilgisinden dolayı döküm kabiliyetinin kötü oluşu ve düşük mekanik özellikler göstermesi gibi istenmeyen özellikleri vardır. Alaşımlama yapılarak bu özelliklerde gelişmeler sağlanmıştır [20].

III.1. ALÜMİNYUMUN ÜRETİMİ

Alüminyumun üretimi beş aşamada gerçekleştirilir;

Birinci aşama; Cevherin çıkarılmasını amaçlayan maden işletmeciliğidir. Doğada saf olarak bulunmayan alüminyum, birçok mineralin bünyesinde yer almaktadır. Ekonomik bakımdan işlenmesi en uygun olanı ise içinde alüminyum hidroksit bulunan boksit cevheridir.

İkinci aşama; Cevherden saf alüminanın (Al_2O_3) elde edilmesidir. Birkaç örnek dışında dünyada alümina üretimi için uygulanan yöntem “Bayer Prosesi” dir. Proseste öğütülmüş boksit ısı ve basınç altında sudkostik ile reaksiyona girer. İşlem sonucu sodyum alüminat çözeltisi yabancı maddelerden arındırıldıktan sonra dekompoza edilir. Bu işlem sonucu oluşan alüminyum hidrat kalsine edilerek alümina haline getirilir.

Üçüncü aşama; Elektroliz işlemidir. Elektroliz hücresinde doğru akım yardımıyla alüminadan sıvı alüminyum elde edilir.

Dördüncü aşama; Sıvı alüminyuma istenilen katkı elementleri ilave edilerek değişik boyut ve ölçülerde döküm işlemleri yapılır.

Beşinci aşama; Kullanım yerlerinin gereklerine göre şekillendirme yapılır. Levha, folyo, tel, profil vb. ürünler elde edilir.

III.2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Yüksek dayanım/ağırlık oranı, mükemmel korozyon direnci, iyi elektrik ve ısı iletkenliği, şekillendirme, işleme kolaylığı, kendine özgü ısı işlem gibi başka metallerin bir arada ya da ayrı ayrı sunamadığı özelliklere sahiptir. Tüketim alanlarının çeşitliliği sonucu alüminyum, temel endüstrinin vazgeçilmez yapı taşı özelliğini korumaktadır. Alüminyum ilk olarak 135 sene önce teknik olarak üretilmeye başlanmıştır. Demir ise ilk çağdan beri tanınmaktadır. Alüminyum sertleştirildikten sonra bile takım malzemesi olarak kullanılamaz [36].

Alüminyum 2.70 g/m^3 yoğunlukta veya diğer bir deyişle, çeliğin üçte biri yoğunluğuna sahip hafif bir metaldir. Çelikle karşılaştırıldığında, alüminyum nispeten düşük çekme dayanımına sahip olmakla beraber dayanımlarının ağırlıklarına oranları mükemmeldir [37].

III.2.1. Alüminyumun Alaşımlarının Genel Özellikleri

1. Alüminyum hafiftir; yoğunluğu, çeliğin $1/3$ ' ü kadardır.
2. Alüminyum havaya, yiyecek maddelerine ve günlük yaşamda kullanılan birçok sıvı ve gaza dayanıklıdır.
3. Yüksek yansıtma özelliğine sahiptir. Gümüşümsü yüzeyiyle birlikte bu özellik alüminyuma, iç ve dış mimari uygulamalara uygun dekoratif özellikler sağlar.
4. Alüminyum yüzeyindeki parlak plastiklerle ve uygun anodik işlemlerle korunabilir. Birçok halde doğal olarak oluşan temiz oksit tabakası yüzeyi korumak için yeterlidir.
5. Alüminyum alaşımları, normal yapı çeliklerinin mukavemetine eşit veya daha fazla dayanıma sahip olabilir.
6. Alüminyum, şok yüküne maruz bazı konstrüksiyonlarda değerlendirilen, yüksek elastik özelliğine sahiptir. Dayanıklılığı, birçok ticari çeliklerde olduğu gibi, düşük sıcaklıklarda belirgin olarak azalmaz.
7. Alüminyum kolaylıkla işlenir ve şekillendirilir. Örneğin, $1/100 \text{ mm}$ kalınlığından daha ince folyo haline getirilebilir.
8. Alüminyum elektriği ve ısıyı hemen hemen bakır kadar iyi iletir.

Dezavantajları:

1. Düşük mukavemet ve akma sınırı,
2. Bazik karakterli maddelere karşı dayanıksızlık,

3. Kaynak ve lehimleme kabiliyeti ancak dekapan ve özel usullerle mümkündür [36].

III.2.2. Mekanik Özellikler

Tablo III.1’de saf alüminyumun oda sıcaklığındaki çekme deney sonuçları görülmektedir. Metal sıcaklığı arttıkça saf alüminyumun akma mukavemeti ve elastisite modülü azalır.

Tablo III.1. Saf alüminyumun oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [38].

% Saflık	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama
99,99	10	45	50
99,8	20	60	45
99,6	30	70	43

Çeşitli alüminyum alaşımlarının ısı işlem sonucu istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirebilir. Mekanik özelliklerin böyle değişebilir olması, alüminyum alaşımlarının kullanım alanlarını genişletmektedir.

III.2.3. Fiziksel Özellikler

Alüminyum kübik yüzey merkezli (YMK) kafes yapısında katılaşır ve ergiyene kadar kafes yapısı değişmez. Bu YMK kafes yapısı metale yüksek süneklik kazandırır. Saf alüminyumun sıcaklığı arttıkça termal genleşme katsayısı ve elektrik özdirenci artarken ısı iletim katsayısı azalır. Saf Alüminyumun önemli fiziksel özellikleri Tablo III.2.’de gösterilmiştir.

Tablo III.2. Saf Alüminyumun Önemli Fiziksel Özellikleri [1].

Özgül ağırlığı(gr/cm ³)	2.78
Ergime sıcaklığı (°C)	660
Ergime ısısı (KJ/kg)	-390
Elastik modülü (Gpa)	66
Isıl genişleme katsayısı (1/K)	24.10 ⁻⁶
Isı iletim katsayısı (W/mK)	230
Elektrik iletim katsayısı (m/Ωmm ²)	40

III.2.4. Şekil Değiştirme Kabiliyeti

Saf alüminyumun, soğuk ve sıcakta şekil değiştirme kabiliyeti çok iyidir. Alüminyum ve alaşımları, soğuk şekil verme sırasındaki pekleşme gösterirler. Alaşımların özelliklerinin değişimi, alaşım elementlerinin cinsine ve miktarına bağlı olarak değişir. Alüminyumun sıcak zorlanmasında, çekme mukavemeti sıcaklık ile düzgün olarak azalmaktadır [39].

III.2.5. Kimyasal Özellikler

Alüminyum yüksek bir kimyasal aktiviteye sahiptir. Oksijen, halojenler, kükürt ve karbon ile bileşiklerinin teşekkül enerjisi çok yüksektir. Alüminyum, havada ince fakat çok sıkı bir alüminyum oksit tabakası ile kaplanır. Bu örtü, metali oksitlenmenin devam etmesine karşı korur. Malzemeye yüksek bir korozyon direnci kazandırır. Ancak bazı asitler ve tuzlar bu oksit tabakasını çözer. Alüminyum bu maddelere karşı dayanıklı değildir. Yüzeydeki oksit tabakası suni olarak kuvvetlendirilir [40].

III.2.6. Korozyon Özellikleri

Her ne kadar alüminyumun oksijene büyük eğilimi varsa da, korozyona dayanımı göreceli olarak yüksektir. Bunu sağlayan da, metalin yüzeyinde oluşup onu daha ileri bir oksitlenmeden koruyan yoğun, nüfuz ettirmez oksit filmidir. Alaşım elementlerinin ilk görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özellikleri kötü yönde etkilenmeden saf alüminyumun, düşük akma sınırını yükseltmektedir [41].

III.3. ÇEŞİTLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

III.3.1. Alüminyum Mangan Alaşimleri

Ticari saf alüminyuma yaklaşık % 1,2 Mn ilavesi (% 6 Fe ve % 0,2 Si) orta düzeyde dayanımlı ısıtıl işlem uygulanamayan bir alüminyum alaşımı üretir. Mangan ilavesi alüminyumu katı eriyik mukavemetlenmesi ve ince bir dağılım çökmesi ile mukavemetlendirir. Dayanımda daha fazla artış %1' e kadar magnezyum ilavesi ile elde edilir. Bu alaşimler genel amaçlar için kullanılır. Burada orta düzeyde dayanım ve iyi şekillendirilebilirlik gereklidir.

III.3.2. Alüminyum Magnezyum Alaşimleri

İkili alüminyum magnezyum alaşimleri ısıtıl işlem uygulanamayan 5XXX serileri için esas oluşturmaktadır. Magnezyum, alüminyumda önemli bir eriyebilirliğe sahip olmakla beraber (451 °C' de % 14,9) katı eriyebilirlik sıcaklık düştükçe azalır. Alüminyum magnezyum alaşimleri % 7 Mg'dan daha az konsantrasyonlarda kayda değer çökme sertleşmesi göstermezler. Buna karşın magnezyum katı eriyik mukavemetlenmesi ile alüminyumu önemli ölçüde mukavemetlendirir ve bu yüksek pekleşme özelliği sağlar. Al-Mg alaşimleri geniş bir aralıkta dayanım, iyi şekillendirilebilirlik, kaynak özellikleri ve yüksek bir korozyon direncine sahiptir. Argon korumalı ark kaynak işlemi kullanıldığında iyi kaynak tepkisi Al-Mg yüksek dayanım alaşımının üstün bir özelliğidir [42].

III.3.3. Alüminyum Magnezyum Silisyum Alaşimleri

Alüminyumda magnezyum (% 0,6-1,2) ve silisyumun (% 0,4-1,3) kombinasyonu dövme, ısıtıl işlem uygulanabilir 6XXX serileri için temel oluşturur. Çoğu durumda, magnezyum ve silisyum, kombine olarak metaller arası Mg₂Si bileşiğinin kararsız fazlarını oluşturmak için gerekli olandan fazla silisyum kullanılabilir. Magnezyum ve krom, çoğu 6XXX serisi alaşımına yükseltilmiş dayanım ve tane boyutu kontrolü için ilave edilir. Bakır da bu alaşımın dayanımını yükseltir ancak % 0,5' den fazla bulunursa korozyon direncini azaltır [43].

III.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ

Çeliklere kıyasla alüminyum malzemeleri kaynak yaparken, malzemeye has bazı özellikler dikkate alınmalıdır. İş parçasını ön tav yaparak ve kalın kesitli malzemeleri kaynak esnasında da tavlayarak, bu tür kaynak hataları önlenebilir. Kaynağa başlamadan önce, yüzeydeki alüminyum-oksit tabakası kaynak bölgesinden frezeleme yoluyla veya paslanmaz çelik fırça ile fırçalayarak tamamen temizlenmelidir. Kaynak ağzı yüzeyleri ve kaynağa yakın bölgeler (kaynak ağzının en az 50 mm yakını) temiz, yağsız ve kuru olmalıdır [44].

Alüminyumun oksijene karşı kuvvetli bir ilgisi olup havaya maruz kaldığında hemen oksitlenir. Isıl işlemler ve nemli depolama şartları oksit kalınlığını artıracaktır. Tabii oksit, asal gaz kaynak arkları veya tozlar vasıtasıyla giderilebilecek inceliktedir. Bununla beraber daha kalın oksit, mekanik veya kimyasal araçlarla kaynak öncesi giderilmelidir.

Ergimiş alüminyumda hidrojen çok hızlı çözünür. Buna karşılık, hidrojen katı alüminyum içinde hemen hiç çözünmez. Bu da alüminyum kaynağında gözenek birinci sebebi olarak tanımlanır. Yüksek sıcaklıklarda kaynak banyosu çok miktarda hidrojen soğurulmasına müsaade eder ve katılaşma esnasında hidrojen çözünürlüğü çok miktarda azalır. Etkili çözünabilirlik sınırını aşan hidrojen, katılaştıran kaynaktan kaçamadığında gözenek oluşturur.

Sağlam kaynakların yapılabilmesi için esas metal ve ilave metal üzerindeki yağlayıcı, yüzeydeki nem veya hidrojen ihtiva eden oksit, bir su soğutmalı üfleç nozülü içinde nem yoğunlaşması veya su sızıntısı, koruyucu gaz içerisindeki nem uzaklaştırılmalıdır. Makaralara sarılmış haldeki çıplak tel elektrot, kuru ve ısıtılmış bir bölgede ambarlanmalıdır. Nem, hidrojen ihtiva eden oksitten toz özlü elektrotlarda yapıldığı gibi ısıtılarak uzaklaştırılmaz. Çarpılmanın azaltılması için yapılacak çalışmalar tasarım sırasında kaynak ağızlarının tespitiyle başlayıp atölye çalışmalarıyla devam eder. Her türlü yabancı maddenin kaynak yapılacak yüzeyden kaldırılması ile kaynak esnasında; ısı, üfleme gibi sebeplerle tekrar geri dönme ihtimalini ortadan kaldıracak kadar uzağa götürülmesi gereklidir [45].

Alüminyumun düşük sıcaklıkta erimesi ve eriyen metalin tav rengi göstermemesi kaynak işlemini güçleştirmektedir. Kaynak bölgesinin kaynak sıcaklığına erişip erişmediği ancak çok tecrübeli kaynakçılar tarafından fark edilmektedir. Alüminyumun ısıl iletkenliğinin yüksek olması; kaynak bölgesinde

bölgesel sıcaklık yoğunlaştırmasını zorlamakta ve birçok hallerde ön tavı gerekli kılmaktadır [46].

III.4.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Gaz kaynağı

Basit ekipmana ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle, bazen saf alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarını kaynak yapmak için gaz (oksi-asetilen) kaynağı kullanılmaktadır. Gaz ergitme kaynağı her tür hafif metale uygulanabilir; bunda oksii-asetilen alevi en iyi sonucu verendir.

III.4.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Örtülü Elektrot Kaynağı

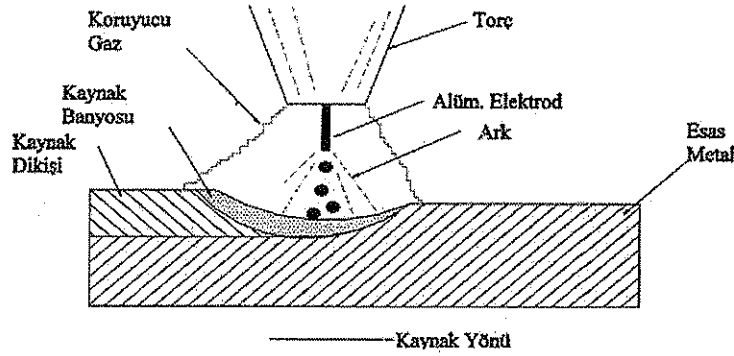
Bu yöntemle bütün alüminyum türleriyle ısıt işlemler yoluyla sertleşmeyen alaşımları kaynak etmek mümkündür. Yapısal sertleşmeli alaşımlar arasında Al-Si-Mg ve Al-Mg-Si tipi alaşımlar uygun şekilde örtülü elektrotla birleştirilebilirler; ancak dikişe yakın bölgelerde mekanik karakteristikler düşer. Alüminyumun bu metal-ark kaynağında dikkate alınacak önemli etkenler nem, ön ısıtma, dekap ve elektrotla iş parçasının temizliğidir. Alüminyum üzerinde kaynaklı birleştirmelerin tasarımında önemli husus, ani kesit ve kaynak yönü değişmelerinden kaçınmaktır. Ark, elektrotu ana metalin yüzeyi üzerinde bir fırçalama hareketi yaparak tutuşturulur.

III.4.3. Alüminyum ve Alaşımlarının MIG Kaynağı

MIG yönteminin bir karakteristiği olan enerjinin verimli kullanılması, çoğu kez ön ısıtmayı gereksiz kılar. Dolayısıyla süreç kalın Al kesitlerinin kaynağında geniş ölçüde uygulanır [47].

Bu teknik her kalınlıktaki alüminyum ve alaşımları için uygulanabilir olmasına rağmen genellikle 3 mm'den daha kalın alüminyum ve alaşımlarının kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Çünkü, MIG kaynağında kaynak hızı ve ergitme gücü diğer Gazaltı kaynak yöntemi olan TIG kaynağına göre daha yüksek olduğu için çok ince levhalar ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynak yapılır. MIG kaynağında genellikle Argon gazı kullanılır. Kalın alüminyum levhaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi nüfuziyet elde etmek için Helyum gazı veya Helyum-Argon gaz karışımı kullanılır. MIG kaynak yönteminin uygulanması çok basittir. Toprak kablosunu iş parçasına veya kaynak masasına

bağlayarak ve üfleç ucundaki tel elektrodu kaynak ağzına değdirerek ark oluşturulur. Makine telin ilerlemesini ve uygun ark boyunu otomatik olarak sağlar [48].

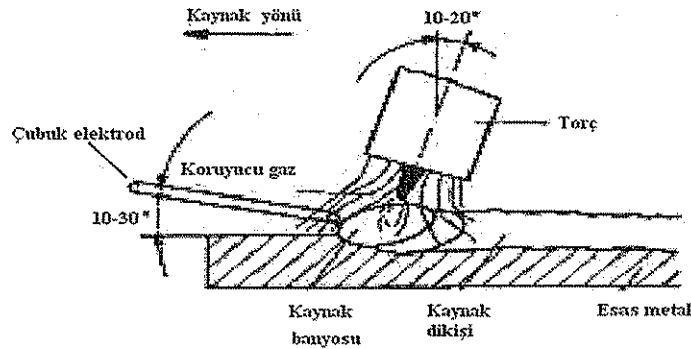


Şekil III.1. MIG Yöntemindeki Ark Bölgesi [48].

III.4.4. Alüminyum ve Alaşımlarının TIG Kaynağı

TIG sembolü, Tungsten Inert Gas kelimelerinin baş harflerinin alınmasıyla oluşturulmuştur [49]. TIG kaynak yöntemi; ergitme esaslı buna karşın dolgu oranı düşük bir kaynak yöntemi olmasına karşın ısı girdisi bölgesel olduğundan ısı iletimi yüksek olan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında çarpılmaları en aza indirdiği için tercih edilen bir gazaltı kaynak yöntemidir. Bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi, bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkilerinden elektrod ile merkezlenmiş konumda bulunan bir nozülden gönderilen bir koruyucu gaz (He veya Ar veya He+Ar karışımları) ile korunmaktadır [50]. TIG kaynağında, doğru ya da alternatif akım kullanılabilir. Fakat alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında alternatif akım kullanılması gerekir.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında sac kalınlığının 16 mm'yi aştığı durumlarda, 150 °C' lik bir ön tavlama faydalı olur.



Şekil III.2. TIG kaynak Yönteminde Ark Bölgesi [29].

III.4.5. Alüminyum ve Alaşımalarının Elektrik Direnç Kaynağı

Direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın uygulanmasıyla yapılan bir kaynak yöntemidir. Malzemedan geçen elektrik akımının doğurduğu ısının dışında, herhangi bir ısı uygulanmamaktadır. Isı, kaynak edilecek kısımlarda oluşur ve basınç kaynak makinesindeki elektrotlar ya da çeneler aracılığıyla uygulanır. Elektrik direnç kaynağı için gerekli alçak gerilim ve yüksek akım şiddetindeki elektrik gücü, kaynak transformatörlerinden, basınç ise hidrolik ya da mekanik donanımlarla sağlanır [49].

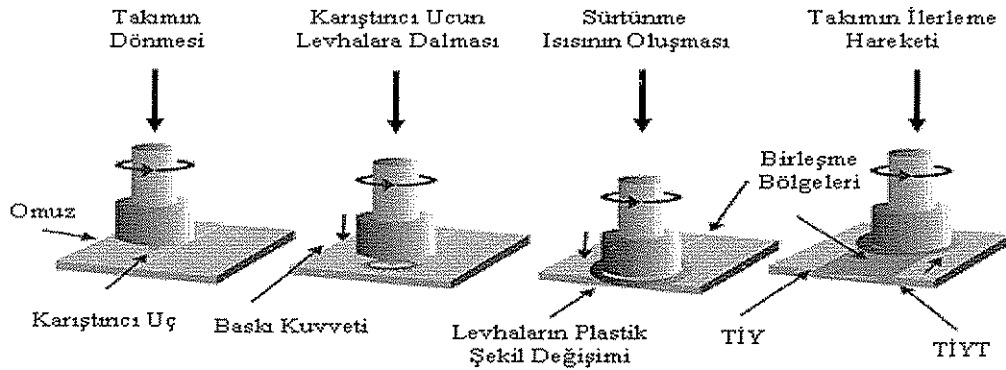
Alüminyum ve alüminyum alaşımları yüksek termal ve elektrik iletkenliğe sahiplerdir. Nokta ve dikiş kaynağı yapabilmek için yüksek kaynak akımı değeri ve nispeten kısa kaynak süresi gereklidir. Alüminyum nokta kaynağında teçhizat seçimini etkileyen bir diğer faktör ise kaynak sıcaklığında malzemenin hızla yumuşamasıdır [51].

BÖLÜM IV

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

Sürtünme karıştırma kaynağında, karıştırıcı ucun iş parçasına dalması ve sürtünmesi sonucunda bölgesel olarak ısı girdisi oluşmaktadır. Karıştırıcı uç ile iş parçası arasında oluşan sürtünmeden dolayı kaynak bölgesindeki malzeme yumuşamakta ve plastik şekil değişimi gerçekleşmektedir. Karıştırıcı ucun iki temel fonksiyonu vardır, birincisi karıştırıcı ucun iş parçasına sürtünmesi ile birleşme için gerekli ısı girdisinin sağlanması, ikincisi ise, yumuşayan malzemenin birleştirme bölgesinde karıştırılarak plastik deformasyonunun sağlanmasıdır.

Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanışı iki farklı şekilde olabilir. Kaynakla birleştirilecek olan parçaların hareketi söz konusu olabileceği gibi, takımın dönme ve ilerleme hareketi de mümkün olabilir. Karıştırıcı uç kaynak yapılacak iş parçasına daldırılarak kaynak yapılacak uzunluk boyunca ilerletilir. Omuz malzemeye temas ettiğinde sürtünme kaynağındaki duruma benzer durum oluşarak temas noktasında ısı, sürtünmenin etkisi ile hızla artar ve malzemenin plastik şekil değişimine neden olur. Karıştırılan malzeme, hidrostatik basınç altında soğuyarak katılaştır ve birleşme olayı gerçekleşir. SKK'nın aşamaları Şekil IV.1.'de gösterilmiştir [52].



Şekil IV.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Aşamaları [52].

IV.1. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ HAZIRLANMA SÜRECİ

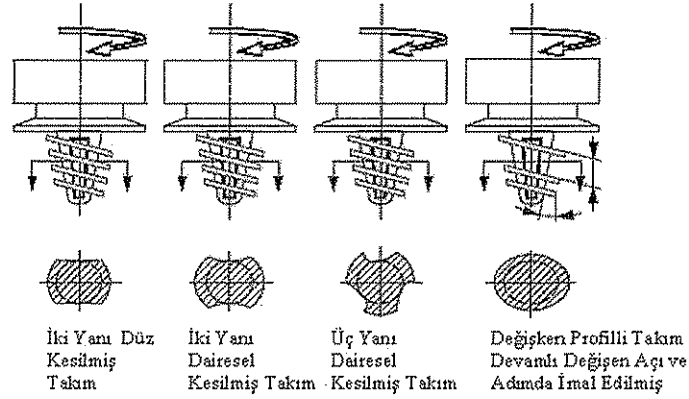
Sürtünme karıştırma kaynağı yapmak için birleştirilecek olan parçalar, kaynak esnasında yana, yukarıya ve ileriye doğru hareket etmelerini önlemek için bir destek parçasının üzerinde sıkıca sabitlenmelidirler. Birleştirme esnasında iş parçaları yukarıya doğru kalkmaya, yana doğru kaymaya ve ileriye doğru itilmeye çalışacaktır. Bu sabitleme işlemi çeşitli hidrolik baskı pabuçları ile de yapılabilir. Ayrıca birleştirme hattında geometrik bozuklukların önüne geçinebilmesi için karıştırıcı ucun her iki yanında ve önünde baskı bilyesi kullanmakta mümkündür. Ucu özel olarak imal edilmiş silindirik kademeli bir karıştırıcı ucun dönmekte olan bir karıştırıcısı yavaşça birleşme hattı üzerine bastırılır. Karıştırıcı ucun boyu istenilen kaynak derinliği ile aynıdır. Dönen karıştırıcının ucu işlenen yüzeye temas ettiği zaman meydana gelen sürtünme, karıştırıcı ucun temas ettiği noktayı aniden ısıtır ve böylece malzemenin mekanik direncini azaltır. Uygulanan kuvvet altında karıştırıcı uç malzemeyi, karıştırıcı uç omuzu da istenen yüzeye temas edinceye kadar karıştırıcı uç ve onun hareket ettiği yönde zorlamakta ve yerinden oynatmaktadır. Bu işlemde dönen karıştırıcı ucun meydana getirdiği sürtünme ısı, karıştırıcı uç etrafında ve karıştırıcı uç omuzu altında yumuşamış bir metal tabakası oluşturur. Kaynak yapılacak parçaların veya karıştırıcının ileriye ve geriye hareket etmesi halinde, yumuşamış olan metal karıştırıcı ucun ön yüzü tarafından kaldırılır ve karıştırıcı ucun mekaniksel dönüşü yönünde ve bastırma hareketi ile karıştırıcı ucu arkasından dönerek sürüklenir. Sonuç olarak, karıştırıcı uç birleşme hattı içine girdikçe oluşan sürtünme birleşme yüzeylerini ısıtarak metali yumuşak hale çevirmekte, takiben birleşme hattını ezerek oksit filmi kırmakta, yumuşak metali karıştırarak birbirine birleştirmekte ve ileriye hareketi ile geride kalan birleşim soğuyarak katı hal kaynağı oluşturmaktadır. Tüm bunlar alaşımın ergime noktasının altında bir sıcaklıkta meydana gelir [53].

IV.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA KULLANILAN TAKIM UÇ ŞEKİLLERİ VE TAKIM ÖZELLİKLERİ

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde kullanılan karıştırıcı takımın iki bölgesi vardır: Birincisi, karıştırma işleminin yapıldığı helisel bir diş sekline sahip uç kısmı ikincisi ise, bu uç kısmının üstünde bulunan ve birleştirilecek parçalara temas ettirilen geniş yüzey çıkıntısıdır. Karıştırıcı takımın uç kısmı ve geniş yüzey çıkıntı kısmı gelişmiş güzel tasarlanamaz. Düzgün bir kaynak işlemi elde edebilecek tasarım ve

görünüş kesitleri kullanılmalıdır. Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde birleştirme kalitesini etkileyen en önemli faktör, karıştırıcı takımın tasarım profili ve diş formudur. Bu faktörlere bağlı olarak birleştirme kalitesi değişmektedir. Bu nedenle en uygun ve ideal sonuçlar verecek özelliklere sahip bir karıştırıcı takım ucunu seçmek oldukça önemlidir.

Karıştırıcı takımın profil tasarımı, kaynak bölgesindeki metal akış yolunu kolaylaştıracak bir tasarım şekli düşünülerek yapılmalıdır. Karıştırıcı takım helisel bir vida diş formuna sahip olup, takım profil kesiti değişik şekillerde tasarlanabilmektedir. Örneğin; oval, üç kenarlı, iki kenarlı ve dairesel helisel diş profiline sahip, karıştırıcı uçlar geliştirilmiştir (Şekil IV.2-Şekil IV.3). Helisel dişlerin arasındaki mesafe, diş kalınlığı ve diş açısı kaynak kalitesini etkilemektedir [54].

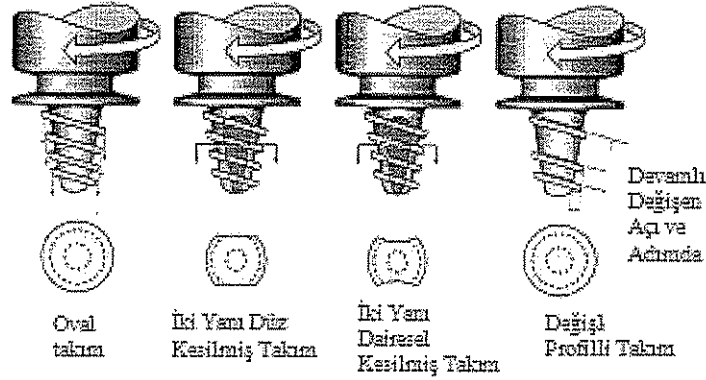


Şekil IV.2. Bazı Tipik Sürtünme Karıştırma Kaynağı Takımları [55].

Helisel dişlerin aralarındaki mesafe, diş kalınlığı ve açısı kaynak kalitesini etkilemektedir. Karıştırıcı takımın helisel dişleri arasındaki mesafe, dişlerin kalınlığından daha büyük olması halinde karıştırma esnasında şekil değiştiren malzemenin helisel diş aralıklarından daha kolay aktığı tespit edilmiştir. Helisel dişlerin yüzeyel alanı, malzeme özelliklerine göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle en uygun malzeme akışını sağlayacak helisel diş formu daima tercih edilmelidir.

Karıştırıcı takımın üst kısmındaki geniş yüzey çıkıntısının iç (omuz) görünüş şekli, iş parçası ile en iyi temas sağlayacak ve karıştırıcı takım ucu ile parçayı en iyi şekilde sıkıştırabilecek bir şekilde seçilmelidir. Omuzun iş parçası ile teması, karıştırma sonucu hamurumsu hale gelen ve dışarıya doğru çıkmak isteyen metalin

kaçışını önleyebilmelidir. Metal kaçışını önlemek amacıyla, omuzun iş parçası ile temas edecek yüzeylerine, spiral veya aynı merkezli dairesel oyuklar açılabilir. Aynı merkezli dairesel oyuklar sayesinde, karıştırıcı takım iş parçası üzerinde daha rahat hareket eder. Bu oyuklar, kaynak metali üzerinde sürekli birbirini takip eden yarım ay şekilleri meydana getirirler [54].



Şekil IV.3. Bazı Tipik Sürtünme Karıştırma Kaynağı Takımları [56].

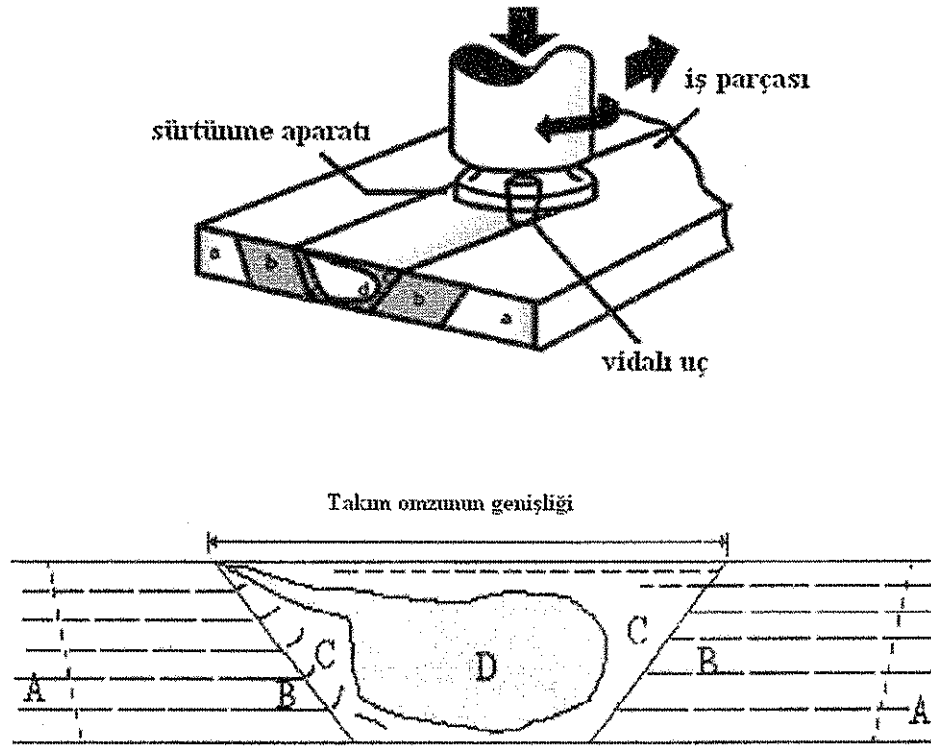
Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde, kullanılan takım işlem esnasında ergimemeli ve aşınmamalıdır. Özel bir diş formuna sahip bu karıştırıcı takım, birleştirme esnasında deforme olmamalı ve diş formu bozulmamalıdır. Dolayısıyla karıştırıcı takım, yüksek sıcaklıklarda iyi dinamik ve statik özelliklere sahip aşınmaya dayanıklı, yumuşak malzemelerin birleştirilmesi için en az 62 HRC sertliğinde çelik malzemelerden yapılmalıdır [54, 57,58].

IV.3. KAYNAK METALURJİSİ

SKK kaynak bağlantılarında oluşan kaynak bölgesinde tipik bir soğan halkaları biçimine rastlanmaktadır. Bu biçim kaynak edilen alaşım türüne, ve kaynak işlem parametrelerine göre değişiklik göstermektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağının yatay kesitine bakıldığında göze çarpan ilk oluşumlardan biri muhtemelen soğan halkalarıdır. Bu girdap desenlerinin takımın dönme düzlemine 90⁰'lik düzlemde olduğunu anlamak oldukça güçtür. Soğan halkalarının varlığına dair bazı mekanizmalar ortaya atılmıştır. Biallas ve arkadaşları ITAB'da soğuk duvarlarından malzeme akışının yansıması yüzünden soğan halkalarının oluştuğunu açıklamışlardır. Threadgill ise soğan halkalarının oluşumunun takımın bir devirdeki ileri hareketi ile ilgili olduğunu savunmuştur [43].

Bu kaynak yönteminde kaynak bölgesi dört farklı bölgeden (Şekil IV.4) oluşmaktadır [59].



Şekil IV.4. Kaynak Bölgesinin Mikroyapısının Şematik Olarak Gösterilmesi [60].

A: Kaynaktan Etkilenmeyen Ana Malzeme

B: Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)

C: Alüminyum Alaşımlarında Bulunan Yeniden Kristalleşmemiş Bölge

D: Alüminyum Alaşımlarında Bulunan Yeniden Kristalleşen Kaynak Çekirdeği

C+D: Termo Mekanik Olarak Etkilenen Bölge (TMEB)

Ana malzeme veya ısıdan etkilenmeyen malzeme her ne kadar kaynak bölgesinden uzakta da prosesin termal çevriminden etkilenir. Fakat bu mikroyapısal ya da mekanik özellikleri etkilemez.

Anametale bitişik fakat kaynak merkezinde yakın olan ITAB'ın mikroyapı ve mekanik özellikleri ısı ile değişir. Fakat herhangi bir plastik deformasyona maruz kalmaz.

TMEB, hem plastik deformasyonun hem de termal etkinin sonucudur. Alüminyumda yüksek sıcaklıkta yeniden kristalleşme meydana gelmeden önemli plastik deformasyon oluşumu mümkündür. Bu konuda çalışan araştırmacıların çoğu TMEB'in bir bölümünde dinamik olarak yeniden kristalleşen kısmın (karışım bölgesi) kalan bölümde ise plastik deformasyona uğramış fakat yeniden

kristalleşmemiş kısmın olduğunu belirtmektedirler. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile kaynaklanmış diğer malzemelerde tipik olarak karışım bölgesi bulunmaz, TMEB, tamamen yeniden kristalleşmiş olarak görülür. Kaynak metalinin şekli; alaşıma, proses şartlarına ve omuz çapına bağlıdır.

Kaynak metalindeki tane boyutu ana metale göre önemli ölçüde küçüktür. Bu durum mekanik özellikler açısından (eğer çatlak başlangıcı ve büyümesi bu bölgede meydana geliyorsa yorulma mukavemeti de dahil olmak üzere) yararlıdır. TMEB'in yeniden kristalleşmeyen kısmı kaynak metalindeki tanelerden farklı olarak plastik deformasyona ve termal etkiye uğramış tanelerden oluşur. Taneler ana metale benzer boyutlardadır.

ITAB, proses parametrelerinden etkilenir, tek pasolu kaynak için Şekil IV.4'de gösterildiği gibi ikizkenar yamuk şeklindedir. En geniş kısım iş parçası ve takım omzu arasındaki sürtünme ile üretilen ısıdan dolayı takım omzunun altında yer alır. Isı etkili bölgenin uzunluğu mikroyapısal ölçümler ve sertlik ölçümleriyle belirlenebilir. 0.8 Tm'e kadar olan sıcaklıklar karıştırıcı uç yakınında ve takım omzunun altında meydana gelir, fakat alüminyumun yüksek termal iletkenliği takım omzundan uzakta da mikroyapısal ve mekanik değişimlere sebep olabilecek sıcaklıkları sağlar. Threadgill'e göre yaşlandırılabilen ve deformasyon sertleşmesi uygulanabilen alaşımlarda ITAB' da aşırı yaşlanma ve/veya dislokasyon yoğunluğundaki azalmadan dolayı sertlik düşmektedir [60].

IV.4. KAYNAK PARAMETRELERİ

Sürtünme karıştırma kaynağı kontrolü gereken oldukça çok sayıda parametre içerir. Bu yöntemle ilgili en önemli değişkenler takımın dönme hızı, sürtünme süresi, takımın hızı ve takımın eğim açısıdır. Ayrıca, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma geciktirmesi süresi, yığma basıncı (dövme) ve süresi gibi değişken parametrelerde mevcuttur. Yapılan çalışmalarda yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gerektiren parametrelerin devir sayısı, sürtünme karıştırma süresi, ilerleme ve kullanılan uç olduğunu göstermiştir. Bu değerlerin dışında kaynatılacak malzeme şartlarına bağlı parametreler de söz konusudur.

Konu ile ilgili literatürler incelendiğinde kaynak parametreleri ile ilgili şu genel sonuçlar çıkarılabilir.

Sürtünme basıncı ve yığma basıncı, numune geometrisine ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Değişim dar bir aralıkta değildir. Basınç değişkeni kaynak

bölgesindeki sıcaklık veya aksenal kısalma ile kontrol edilebilir. Sürtünme basıncı temas eden yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek atmosfer ile ilişkisinin kesebilecek ve ara yüzeylerde dengeli bir ısınmayı sağlayabilecek değerde olmalıdır. Yığma basıncı (dövme) ise malzemelerin sıcak akma sınır değerine bağlıdır. Aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek, yetersiz kaynamaya neden olacak kadar da düşük olmamalıdır. Farklı malzemelerin kaynağında sıcak akma sınırı düşük olan malzeme esas alınarak yığma basıncı tespit edilir [61].

Sürtünme ve yığma süreleri malzemeye bağlıdır. Sürtünme süresi malzeme yüzeylerindeki pislik ve oksitleri temizleyebilecek gerekli plastisite için uniform bir kaynak bölgesi sıcaklığını sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Uygun bir kaynak bağlantısı için ısıtma süresi iyi tespit edilmelidir. Yetersiz ısıtma süresi kaynakta uygun plastisite değeri yakalayamadığı için birleşme yetersiz olacaktır. Aşırı ısıtma zamanı ise yığma basıncı sırasında fazla yığılmadan dolayı malzeme kaybına neden olacaktır [62].

IV.4.1. Takımın (Karıştırıcı uç ve omuz) Dönme ve İlerleme Hızı

Sürtünme karıştırma kaynağını etkileyen en önemli üç parametreden ikisidir. Karıştırıcı ucun saat yönü ya da tersi yönündeki dönme hızı ve takımın (kaynak) ilerleme hızı kontrol edilebilir olup, kontrol edilmesi oldukça kolaydır. Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızı birleştirilecek malzemenin cinsine ve kimyasal içeriğine göre değişiklik göstermektedir. Takımın dönme hızı kendi eksenini etrafında dakikadaki dönme oranıdır. Takımın ilerleme hızı ise, kaynak hattı boyunca kaynağın ilerleme hızıdır [63,64].

Takımın dönmesi karıştırıcı uç etrafındaki malzemenin karışmasına sebep olur, karışan malzeme karıştırıcı ucun önünden arkasına doğru taşınır. Takımın dönme hızı ne kadar yüksek olursa o kadar yüksek sıcaklık meydana gelir. Bununla birlikte, takım yüzeyinin iş parçasıyla kavranması ısı meydana getireceğinden malzeme daha yoğun bir şekilde karışıma uğramış olur. Yüksek kaynak hızlarında asıl problem yeterli birleşmenin olmadığı soğuk kaynaktan kaçınmanın sağlanmasıdır. Takımın yüksek devir hızlarında sürtünmenin fazla olması sebebiyle yüksek ısılar üretilir ve malzemenin daha kuvvetli karışmasına sebep olur.

Biallas ve arkadaşları SKK uygulananmış 2024A1-T3 alaşımında kaynak parametrelerinin çekme özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çekme özellikleri Tablo IV.1'de özetlenmiştir. Tablo IV.1'den de açıkça görülebileceği gibi

takımın sabit bir ilerleme hızı/devir sayısı oranında akma ve nihai çekme gerilmeleri takımın artan devir sayısı ile artmakta ve süneklik iyileşmektedir. Ayrıca Tablo IV.1 ince plakaların kalın plakalara göre daha yüksek mukavemet ve kaynak performansına sahip olduklarını göstermektedir .

Tablo IV.1. 4 mm ve 1.6 mm Kalınlığındaki SKK Kaynağı Uygulanmış 2024Al-T3 Plakalarda Ana Malzeme ve Kaynaklı Birleştirmeler İçin Oda Sıcaklığında Boylamasına Çekme Özellikleri [65].

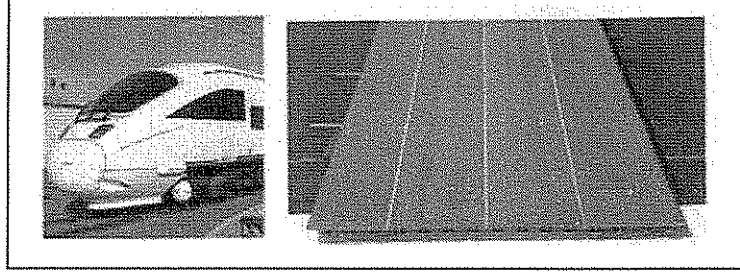
Malzeme	Takım Dönme Hızı (dev/dak)	Takım İlerleme Hızı (mm/dak)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% zama	Kaynak Performansı (%)
Ana Metal (4 mm)	-	-	424	497	14.9	-
SKK Yapılmış (4 mm)	800	80	279	408	6.6	82
SKK Yapılmış (4 mm)	1000	100	296	423	8.1	85
SKK Yapılmış (4 mm)	1250	125	304	432	7.6	87
Ana Metal (1.6 mm)	-	-	325	472	21	-
SKK Yapılmış (4 mm)	1200	120	301	424	6.3	90
SKK Yapılmış (1.6 mm)	1800	180	315	434	6.9	92
SKK Yapılmış (1.6 mm)	2400	240	325	461	11.0	98

IV.5. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ KULLANIM ALANLARI

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi alüminyum ve alaşımlarının kullanıldığı uçak, gemi, inşaat, kara ve demiryolu taşımacılığında kullanılan araç ve gereçlerin birleştirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Ayrıca mutfak araç gereçleri, beyaz eşya imalatı, gaz depoları ve metal mobilya imalatında da kullanılmaya başlanmıştır [66,67].

IV.5.1. Demiryolu ve Taşımacılık Endüstrisi

Alüminyum ve alaşımları kullanılarak imal edilen yüksek hız trenlerindeki birleştirmeler, tren vagonları, tramvay ve yer altı metro vagonları, demiryolu tankerleri, konteynır gövdeleri sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilerek imal edilmeye başlanmıştır.[66,67] Japonya’da sürtünme karıştırma kaynağının kullanıldığı hızlı tren ve bu yöntem ile kaynağı yapılan al-panelleri şekil IV.5.’de gösterilmiştir [68].

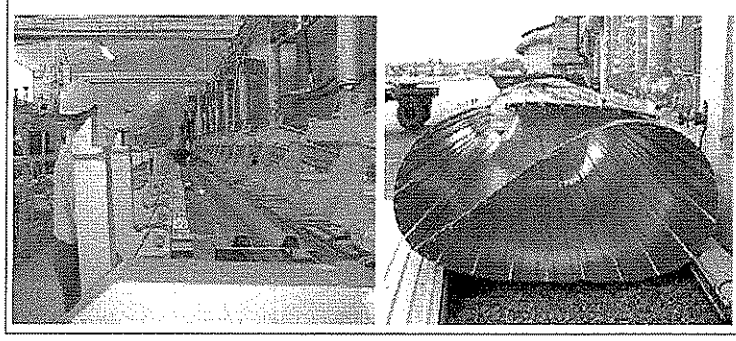


Şekil IV.5. Japonya’da Sürtünme Karıştırma Kaynağının Kullanıldığı Hızlı Tren ve Bu Yöntem ile Kaynağı Yapılan Al-Paneller [68].

IV.5.2. Gemi Endüstrisi

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinin en yaygın olarak kullanıldığı endüstri alanı, gemi endüstrisidir. Hafif ve korozyona dayanıklı olan alüminyum ve alaşımları kullanılarak imal edilen feribot, hız tekneleri ve yelkenlilerin artması sonucu, sürtünme karıştırma kaynak tekniği ön plana çıkmıştır. Şekil IV.6.’da SKK ile birleştirilen yüksek hız feribotlarında kullanılan alüminyum ekstrüzyon panelleri gösterilmektedir. Gemi endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen parçalar şunlardır:

1. Gemi üzerinde inşa edilen helikopter iniş platformu,
2. Kıyıdan uzak deniz içi platformların yapımı,
3. Yelkenli gemilerde kullanılan gemi direği,
4. Balıkçı teknelerinde kullanılan soğutucu veya dondurucu kabin,
5. Feribotun alüminyum güvertesi,
6. Deniz suyuna dayanıklı ve bal peteği panelleri,
7. Gemi güvertesi, kenarı, döşemesi ve kabin bölmelerinde kullanılan panellerin birleştirilmesi. Örneğin; gemi kabin bölmelerinde kullanılan paneller için, 5 adet 250 mm genişliğindeki levhalar birleştirilip, 1250x5000 mm boyutunda panel imal edilmektedir [66,67].

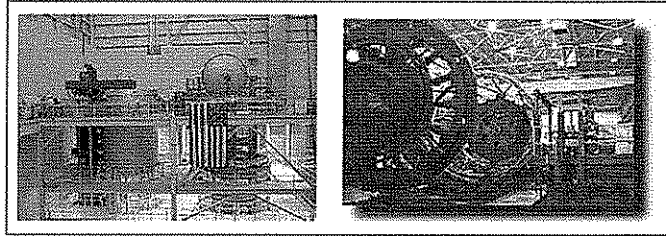


Şekil IV.6. SKK ile Birleştirilen Yüksek Hız Feribotlarında Kullanılan Alüminyum Ekstrüzyon Panelleri [68].

IV.5.3. Havacılık Endüstrisi

Son yıllarda uçak ve uzay sanayinde kullanılan bazı parçaların sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilmesi hız kazanmıştır. Uçak kanadı imalatında kanadı oluşturan ana kiriş, kaburga ve kolonlar ile kaplama sacının birleştirilmesinde sürtünme kaynak tekniğinin uygulanabilirliği araştırılmakta ve çeşitli deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Uzay mekiklerinde kullanılan alüminyum ve alaşımlarından imal edilen yakıt tankları, bu teknikle birleştirilmiş ve Delta II adındaki uzay mekiğinde başarıyla kullanılmıştır. Şekil IV.7.'de space shuttle external tank projesi ve marshall space flight center laboratuvarlarındaki sürtünme karıştırma kaynak sistemlerinden görüntüler gösterilmiştir [68]. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen uçak ve uzay sanayinde kullanılan parçalar şunlardır:

1. Uzay mekiği yakıt tankı,
2. Kanatlar, uçak gövdesi ve uçağın kuyruk kısmı,
3. Uçakta kullanılan yakıt depoları,
4. Askeri ve bilimsel amaçlı roket imalatı [66,67].



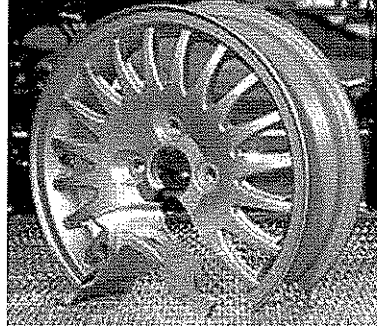
Şekil IV.7. Space Shuttle External Tank Projesi ve Marshall Space Flight Center Laboratuvarlarındaki Sürtünme Karıştırma Kaynak Sistemlerinden Görüntüler [68].

IV.5.4. Otomobil Endüstrisi

Yakıt tasarrufu ve yüksek hız elde etmek amacıyla otomobil imalatında alüminyum ve alaşımları kullanılmaktadır. Şekil IV.8. Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilen Al Alaşımı Prototip Otomobil Jantı gösterilmektedir [70].

Alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesi için sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılan parçalar şunlardır:

1. Motor şasi ve yatakları,
2. Alüminyum alaşımlı jant imalatı. Jantın göbek kısmı dökme alüminyum alaşımı olup, dövme alüminyum alaşımı olan dış kısmı ile sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmişlerdir.
3. Yakıt depoları.
4. Kavran.
5. Hava alanlarında kullanılan yolcu ve yük taşıma araçları.
6. Motosiklet ve bisiklet gövdeleri.
7. Alüminyum gövdeli otomobillerin tamiri.
8. Taşınabilir vinç.
9. Otomobil gövde parçalarının imalatı [66,69].



Şekil IV.8. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Al Alaşımı Prototip Otomobil Jantı [70].

IV.5.5. İnşaat Endüstrisi

İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum veya bakırdan dış cephe panellerinin imalatında, alüminyum merdiven, asansör kabini, alüminyum boru, pencere kasası imalatında, enerji santrallerinde, kimya sanayinde kullanılan alüminyum reaktör imalatında, ısı esanjörleri ve klima imalatında da sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılmaktadır [66,67].

IV.5.6.Elektrik Sanayi

Elektrik motor koruyucusu, elektrik bağlama çubuğu ve bazı elektrik bağlantılarında sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılmaktadır [66,67].

IV.6. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ AVANTAJLARI

Sürtünme karıştırma kaynağının dezavantajları olduğu gibi, bilinen diğer kaynak işlemlerine göre daha fazla avantajlara sahiptir. Sürtünme karıştırma kaynağının avantajları aşağıdaki gibidir:

1. Farklı özelliklerdeki malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesine uygundur. Ergitme kaynağı ile birleştirilemeyen malzemeler ve kompozitler bu yöntem ile rahatlıkla birleştirilirler.
2. Uygun kaynak parametreleri ve karıştırıcı uç kullanıldığı takdirde güvenilir ve sağlam birleştirme elde etmek mümkündür. Ergitme tekniği ile birleştirilen malzemelerin mukavemet değerleri ile karşılaştırıldığında sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen parçaların yorulma, çekme ve eğme mukavemetlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
3. Birleştirme işlemi malzemenin ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki katı faz aşamasında gerçekleştirildiğinden, ergitme kaynağı ile birleştirilmesi zor olan 2000 ve 7000 serili alüminyum alaşımlarının birleştirilmesine uygun bir yöntemdir.
4. Kaliteli bir karıştırıcı ucun kullanılması ile 100 metre uzunluğuna kadar levhaların hatasız birleştirilmesi ile panel haline getirilmeleri mümkün olmaktadır.
5. Alüminyum alaşımlarının yüzeyinde bulunan ince oksit tabakasını temizlemeden birleştirme işlemi yapılabilir.
6. Katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile alüminyum ve alaşımlarını birleştirmede, sıvılaşma ve katılaşma çatlakları oluşmaz.
7. Alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde plastik deformasyon sayesinde, ana metale göre kaynak metalinde daha ince taneli bir yapı ve yeniden kristalleşme meydana gelir.
8. Kaynak metali içerisinde buharlaşma olmadığı için alaşım elementi kaybı olmaz. Dolayısıyla malzemenin alaşım içeriği aynı kalır.

9. Kaynak dikiş sonunda eğer otomatik karıştırma aparatı kullanılırsa anahtar deliği hatası oluşmamaktadır.
10. İnsan sağlığına zararlı kaynak dumanı ve radyasyonun olumsuzlukları ile karşılaşılmaz.
11. Eğritme kaynağında görülen metal sıçrama problemi ve ark oluşumu yoktur.
12. Kaynak dikiş uzun olsa bile, oldukça az malzeme çarpılması meydana gelir.
13. Otomatik karıştırma aparatı sayesinde değişik kalınlıklardaki malzemelerin tek bir karıştırma aparatı kullanılarak birleştirilmesi mümkündür.
14. Kaynak metalinde gözenek oluşumu problemi ile karşılaşılmaz.
15. Tüm kaynak pozisyonlarına uygundur.
16. Enerji tasarrufu sağlar. Elektrik gücü ve toplam enerji gereksinimi diğer kaynak işlemlerinin sadece küçük bir oranı kadardır.
17. Ergiyen ilave metal kullanmaya gerek yoktur.
18. Koruyucu maske ve gaz kullanımına gerek yoktur.
19. Ergimeyi kolaylaştıran malzeme (Flux dolgu malzemesi) ve koruyucu atmosfere gerek yoktur.
20. El kabiliyeti iyi olan kalifiye elemana gerek duyulmaz.
21. Kaynak dikiş kenarlarında oluşabilecek çapakları temizlemek haricinde, taşlama ve fırçalamaya gerek yoktur [66,67,70].

IV.7. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI

Sürtünme karıştırma kaynağının dezavantajları aşağıdaki gibidir:

1. Kaynak hızı ergitme kaynak yöntemlerine göre daha yavaştır. Örneğin; piyasada kullanılan makinelerle 5 mm kalınlığındaki 6000 serisi alüminyum alaşımı için maksimum 75 mm/dakika'lık bir hızla çalışabilmektedir.
2. Birleştirilecek parçalar oldukça düzgün sabitlenmelidir. Sabitleme işi için hidrolik baskı pabuçları veya mengeneler kullanmak gerekir. Bu işlem maliyeti artırır.
3. Kaynak dikiş sonunda oluşan ve özellikle boru kaynaklarında problem olan anahtar deliği oluşur [66,67].

BÖLÜM IV

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

V.1. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT İLE ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

SKK tekniği için AA2124/SiCp/25-T4 MMK malzeme İngiltere'nin AMC firmasından; 130x50x3 mm ölçülerinde levha haline getirilerek [71], AA 3003-H24 alüminyum alaşım ise aynı ölçülerde levha halinde ASSAN Alüminyum A.Ş.' den temin edilmiştir.

Bu alaşımlara ait kimyasal bileşimler aşağıdaki Tablo V.1'de mekanik özellikleri ise Tablo V.2'de belirtilmiştir.

Tablo V.1. AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımının Kimyasal Bileşimi.

Material	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Al
AA2124/SiC/25p-T4	3.86	1.52	0.65	0.17	-	93.8
AA3003-H24	0.05	0.12	1.20	0.15	0.46	98.02

Tablo V.2. AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımının Mekanik Özellikleri.

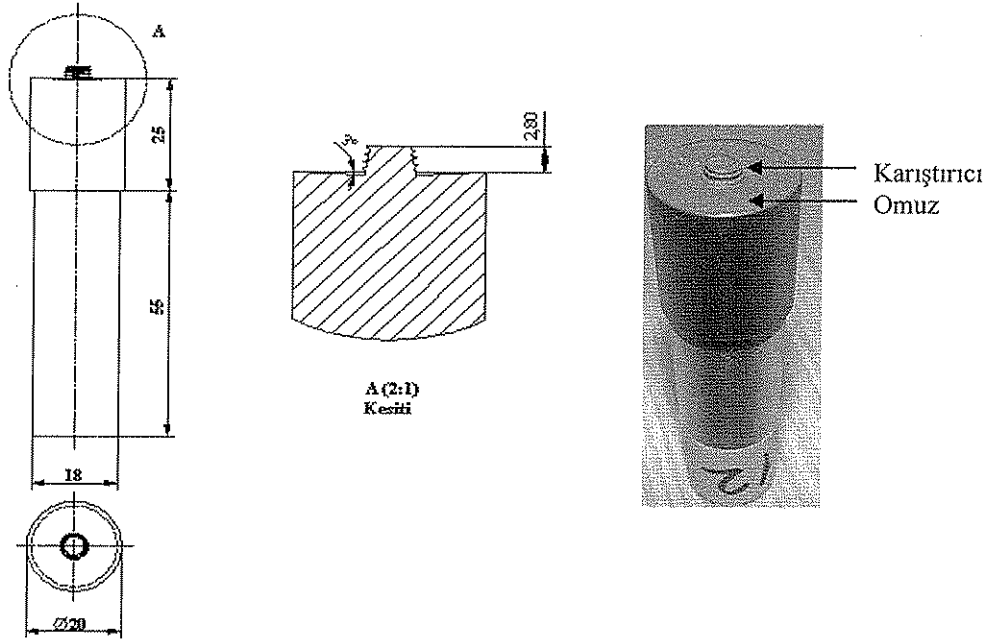
Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Sertlik (HV)
AA2124/SiCp/25-T4	453	390	2	190
AA3003-H24	175	143	9,7	58,5

V.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANMASI

V.2.1. Karıştırıcı Uç

Sürtünme karıştırma kaynağında, karıştırıcı ucun Al alaşımı ile MMK levhaları arasına dalması ve sürtünmesi sonucunda bölgesel olarak ısı girdisi oluşarak karışım bölgesindeki malzeme yumuşamakta ve plastik şekil değişimi gerçekleşmektedir. Karıştırıcı ucun iki temel özelliği vardır; birincisi, birleştirilecek levhaların ısıtılması, ikincisi sürtünme ısı ile yumuşayan levhaların birleştirme bölgesinde şiddetli karıştırma hareketinden dolayı plastik deformasyonunun sağlanmasıdır.

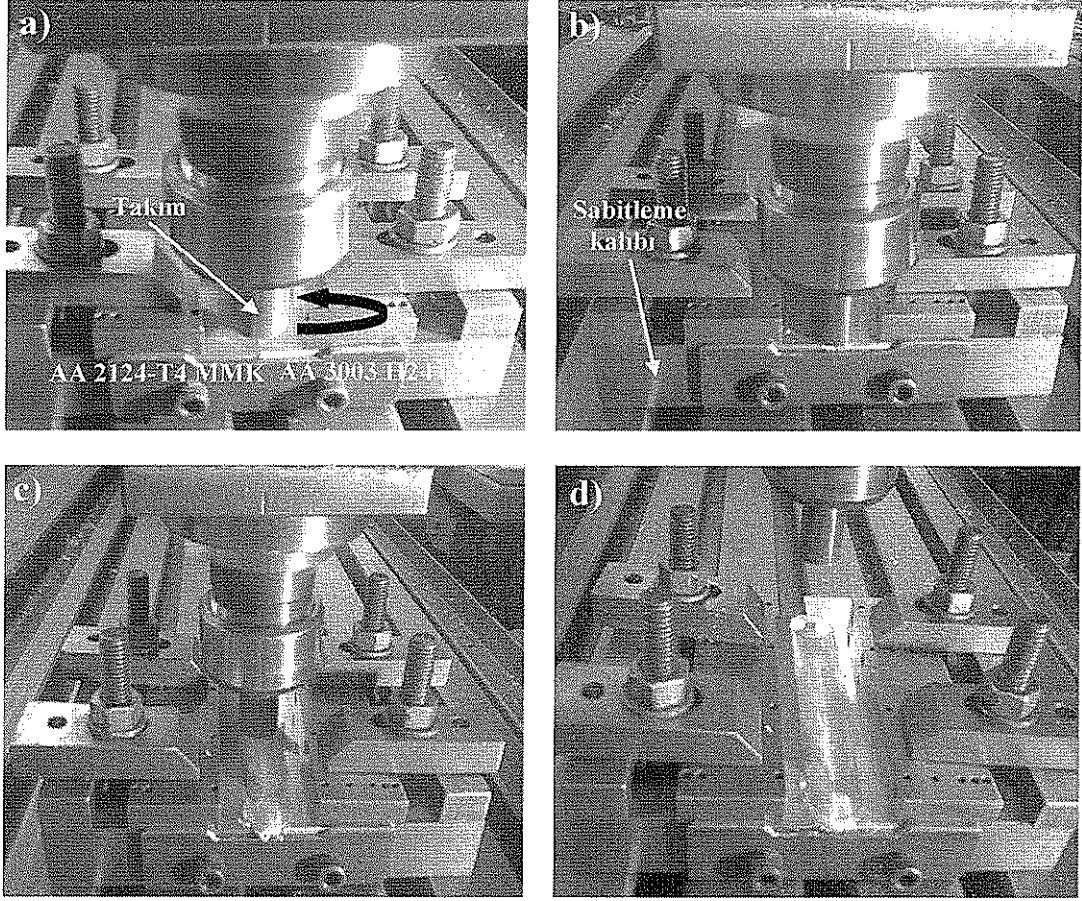
SKK'da kullanılan karıştırıcı ucun iki bölgesi vardır: 1) Karıştırma işleminin yapıldığı helisel bir diş şekline sahip uç kısmı ve 2) Bu uç kısmının üstünde bulunan ve birleştirilecek parçalara temas ettirilen geniş yüzey çıkıntısı olarak tanımlanan omuz'dur. Bu çalışmada kullanılan karıştırıcı uç 1.334 yüksek hız (HSS) çeliğinden imal edilmiştir. Karıştırıcı uca su verme ısıl işlemi ile sertliğinin 62 HRC değerine ulaşması sağlanmış ve akabinde aşınmaya karşı direnç sağlamak için AlTiN kaplatılmıştır. Karıştırıcı ucun şematik resmi aşağıdaki şekil V.1a'da, fotoğrafı ise şekil V.1b'de gösterilmiştir.



V.2.2. Deneylerde Kullanılan Tezgah

Sürtünme karıştırma kaynak işlemi max. 1400 dev/dak. takım dönme hızına sahip toplam gücü 13,5/50 KW/Hz olan üniversal tip dikey freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kaynak esnasında Al ve MMK levhaların kaymaması için bir sabitleme kalıbı kullanılarak dikey freze tezgâhına bağlanmıştır. Kaynak edilecek levhalar sabitlenirken karıştırıcı ucun her iki levhanın birleşme çizgi merkezini ortalayacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra takıma (karıştırıcı uç ve omuz) 2° lik eğim açısı verilerek belirlenen kaynak parametreleri ile SKK işlemi gerçekleştirilmiştir. SKK' nın işlem aşamaları Şekil V.2.'de gösterildiği gibi kısaca şu şekilde özetlenebilir:

1. Dikey freze kafasına bağlanan takım, birleştirilecek levhaların birleşme eksenine konumlandırılır (Şekil V.2a).
2. Takım belirlenen devirde döndürülerek, birleşme eksenine batırılıp levha içine daldırılır ve karıştırıcı ucun omuz kısmı levha yüzeyine temas edinceye kadar daldırma işlemine devam edilir (Şekil V.2b).
3. Takım, birleşme eksenine boyunca belirlenen ilerleme hızında ileriye doğru hareket ettirilir. Böylece sürtünme etkisiyle meydana gelen ısı sayesinde hamurumsu hale gelen iki levha birbirine karışmış olur (Şekil V.2c).
4. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra dönen karıştırıcı uç levhalardan yukarı doğru çıkarılır. Birleştirme sonunda karıştırıcı ucun çıktığı yerde bir delik kalır. Bu delik kesilerek birleştirilen levhalardan ayrılır (Şekil V.2d).



Şekil V.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak İşleminin Uygulama Aşamaları.

V.2.3. Kaynak Parametreleri

Sürtünme karıştırma kaynak işleminde Al ve MMK levhalara kaynak işlemi öncesinde herhangi bir yüzey ve ısıl işlem uygulanmamış, levhalara kaynak ağzı açılmamıştır. SKK işleminde kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere nasıl etki edebileceğinin incelenmesi amacıyla takımın dönme ve ilerleme hızı olmak üzere iki farklı kaynak parametresi kullanılmıştır. Tablo V.3’de gösterildiği gibi, üç farklı (900 dev/dak., 1120 dev/dak. ve 1400 dev/dak.) takım dönme hızı kullanılmıştır. Her bir takım dönme hızı ile üç farklı takım ilerleme hızı parametresi (40 mm/dak., 80 mm/dak. ve 125 mm/dak.) kullanılmıştır. SKK işleminde AA3003-H24 Al alaşımı takımın dönme yönünde olacak şekilde birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo V.3. Deneyleerde Kullanılan Kaynak Parametreleri.

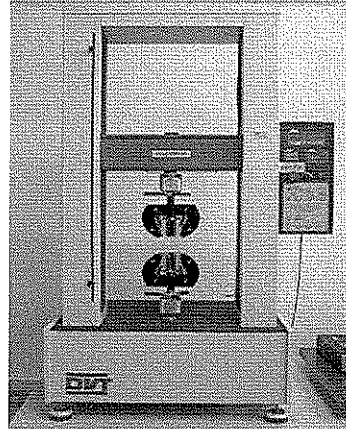
Takım Dönme Hızı (dev/dak.)	Takım İlerleme Hızı (mm/dak.)	Takım Eğim Açısı	Takımın Dönme Yönü
900	40	2°	Saat yönünün tersi
	80		
	125		
1120	40		
	80		
	125		
1400	40		
	80		
	125		

V.3. MEKANİK DENEYLER

V.3.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi öncesi SKK' lı AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 alüminyum alaşımı levhalar, kaynak başlangıcı ile bitimindeki 25 mm' lik kısımlar kesilerek atılmıştır. Bunun sebebi, kaynağın başlangıç ve bitiminde oluşabilecek hatalı bölgelerden kaynak performansının etkilemesini engellemektir.

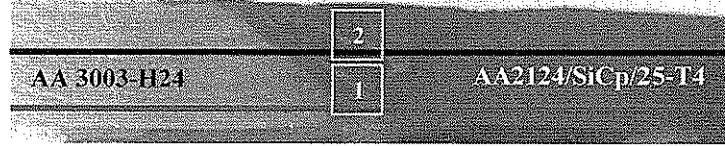
SKK'lı levhalar ISO/TTA2 standart'ına göre [72] çekme deneyine tabi tutulmuştur. Çekme deneyleri Şekil V.3' de gösterilen Devotrans marka üniversal çekme cihazında yapılmıştır. Her deney için 3 adet numune kullanılarak ortalamaları alınmıştır.



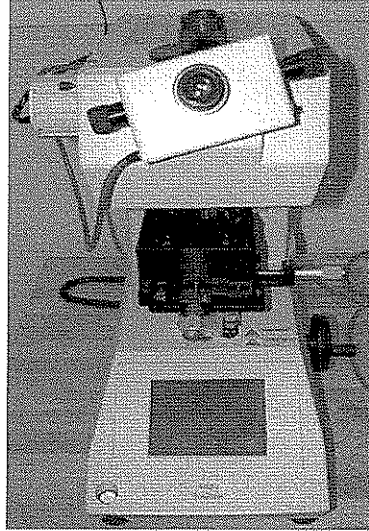
Şekil V.3. Devotrans Marka Üniversal Çekme Cihazı.

V.3.2. Mikro Sertlik Ölçümleri

Mikrosertlik deneyleri için, Şekil V.4' de gösterildiği gibi SKK kesitinden kesilen numuneler, alt ve üst bölgelerden çizgi halinde 1'er mm aralıklarla 20 sn' lik bir süre ve 500 gr yük kullanılarak HMV-2T E Shimadzu marka mikro sertlik cihazı (Şekil V.5.) kullanılarak mikrosertlik değerleri tespit edilmiştir.



Şekil V.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı Kesit Görüntüsü (1: Alt (kök) bölge, 2: Üst bölge).

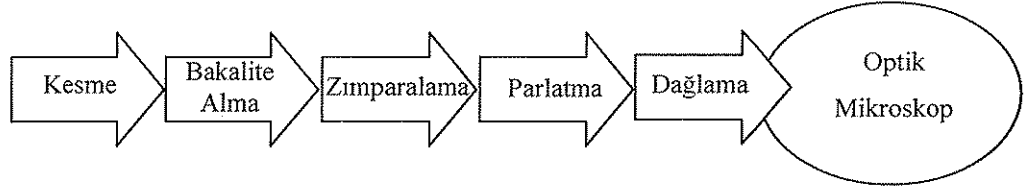


Şekil V.5. Mikrosertlik İncelemelerinin Yapıldığı Cihaz.

V.4. METALOGRAFİK İNCELEME

Mikro ve makro yapı incelemeleri için, SKK kesitinden kesilen numuneler soğuk kalıplama sonrası farklı büyütmelerdeki zımparalar ile zımparalanmıştır. Zımparalanan yüzeyler özel çuhalarda elmas pasta ile parlatıldıktan sonra uygun dağlama reaktifi ile dağlandıktan sonra optik mikroskop altında farklı büyütmelerde incelenen numunelerin mikro ve makro yapı fotoğrafları alınmıştır. Aşağıdaki Şekil V.6' da metalografik inceleme için akış şeması gösterilmiştir.

SKK yapılan numunelerin hem kaynak bölgesini hem de çekme deneyi sonrası kırık yüzeylerini incelemek için Jeol marka JSM 5910-LV elektron mikroskobu (SEM) ve elektron dispersive spectroscopy (EDS) cihazı kullanılmıştır.



Şekil V.6. Metalografik İnceleme için Akış Şeması.

BÖLÜM VI



















DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

VI.1. DİKİŞ GÖRÜNÜMLERİ

SKK yöntemi ile 3 mm kalınlığındaki AA2124/SiCp/25-T4 ile AA3003-H24 alüminyum alaşımı levhalar, Tablo V.3'de belirtilen farklı kaynak parametreleri kullanılarak küt alın formunda başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Tablo VI.1'de farklı takım dönme ve ilerleme hızlarında birleştirilen MMK ile Al levhaların üst ve kök yüzeyleri gösterilmiştir. Kaynaklı numunelerin çıplak gözle yapılan incelemelerinde; SKK ile elde edilen kaynak yüzeylerinin, temizleme ve kaynak sonrası herhangi bir işlem gerektirmeyecek kadar düzgün olduğu görülmüştür. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğü yönünden takım omuz kısmının kaynak yüzeyine teması sonucu meydana gelen soğan halkalarına benzer bir görünümünden dolayı [73] ergitmeli kaynak yöntemleri ile elde edilen yüzeylerden oldukça üstün oldukları görülmektedir.

Sabit takım dönme hızı ve düşük takım ilerleme hızlarında kaynak yüzeyinde minimal porozite görülmüş, takım ilerleme hızlarının artırılmasıyla kaynağın hem üst hem kök kısmında herhangi bir porozite ya da kusura rastlanmamıştır.

Tablo VI.1. Farklı Takım Dönme ve İlerleme Hızlarında Birleştirilen MMK ile Al Levhaların Üst ve Kök Yüzeylerinin Görünümleri.

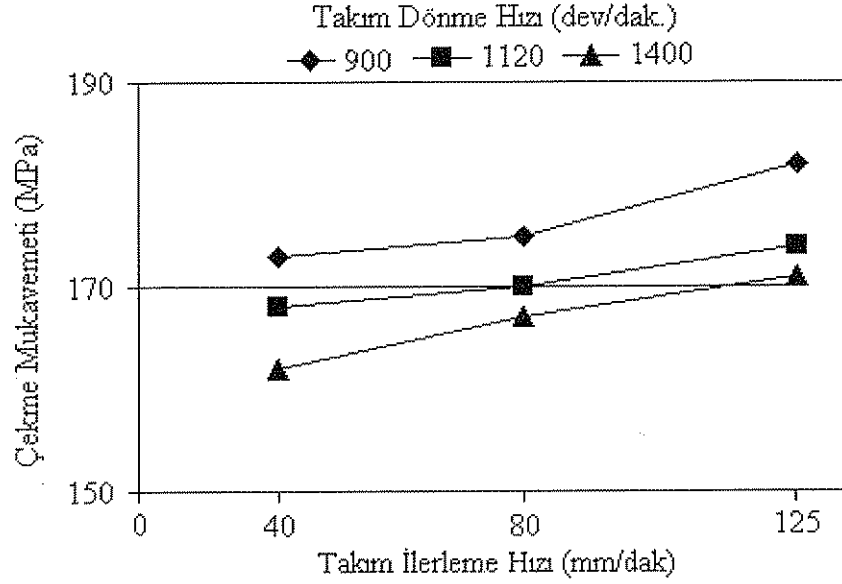
Kaynak Parametreleri		Kaynak Dikişi Görünümleri	
		Üst	Kök
900 dev/dak.	40 mm/dak.		
	80 mm/dak.		
	125 mm/dak.		
1120 dev/dak.	40 mm/dak.		
	80 mm/dak.		
	125 mm/min		
1400 dev/dak.	40 mm/dak.		
	80 mm/dak.		
	125 mm/dak.		

VI.2. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımı levhaların SKK ile birleştirilmesi sonrası yapılan çekme deneyinde elde edilen sonuçlar Tablo VI.2’ de belirtilmiş, grafiği ise Şekil VI.1’ de gösterilmiştir. Şekil VI.1’deki grafikte görüldüğü gibi sabit takım ilerleme hızında takım dönme hızı arttıkça ısı girdisinin fazla olmasından dolayı mukavemet değerlerinin düştüğü, takım ilerleme hızlarının artırılmasıyla da arttığı görülmektedir.

Tablo VI.2’ de belirtildiği gibi en yüksek çekme mukavemeti 182 MPa ve % uzama değeri 11,2 ile kaynak performansı (SKK’ lı çekme mukavemeti/ana metalin çekme mukavemeti) AA3003-H24’ e göre % 104 ve AA2124/SiCp/25-T4’ e göre, % 40,2 olan 900 dev/dak. takım dönme hızı ve 125 mm/dak. takım ilerleme hızında (900/125 kaynak parametresi) birleştirilen numunelerden elde edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti değeri ise 162 MPa ve % uzama değeri 8,4 ile kaynak performansı AA3003-H24’ e göre % 92,6 ve AA2124/SiCp/25-T4’ e göre, % 35,8 olan 1400 dev/dak. takım dönme hızı ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızında (1400/40 kaynak parametresi) birleştirilen numunelerden elde edilmiştir. Benzer kaynak

performansları, J.Yan ve arkadaşlarının 1060 Al ile AZ31 Mg alaşımlarını kullanarak yaptıkları SKK' da elde edilmiştir. Buna göre, 1060 Al alaşımının % 67' si, AZ31 Mg alaşımının ise % 30' u olduğunu belirtmişlerdir [74].



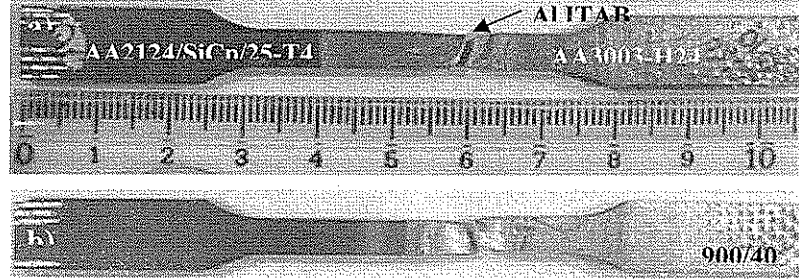
Şekil VI.1. Farklı Takım Dönme ve İlerleme Hızlarında Birleştirilen AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımı Levhaların Çekme Mukavemeti Grafiği.

Tablo VI.2. SKK ile Birleştirilen AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımı Levhaların Çekme Deneyi Sonuçları.

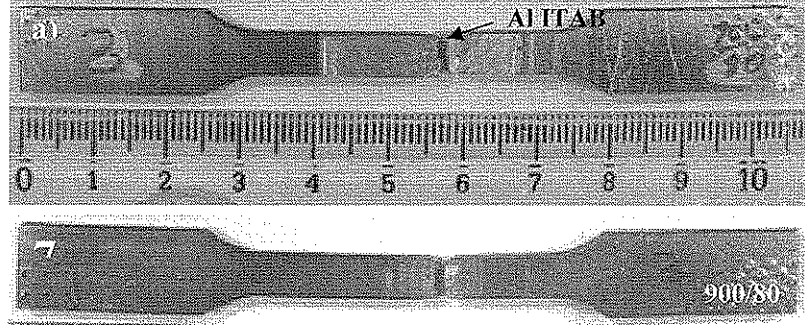
Kaynak Parametreleri		Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Kaynak Performansı (%)		Kopma Bölgesi
Takım Dönme Hızı (dev./dak.)	Takım İlerleme Hızı (mm/dak.)			AA2124/SiCp/25-T4'e Göre	AA3003-H24'e Göre	
AA2124/SiCp/25-T4 (Ana Metal)		453	1,4	-	-	-
AA3003-H24 (Ana Metal)		175	9,7	-	-	-
900	40	173	9,9	38.2	98.9	Al-ITAB Bölgesi
900	80	175	10,4	38.8	100	
900	125	182	11,2	40.2	104	Al-ITAB Bölgesi
1120	40	168	9,4	37.1	96	
1120	80	170	9,5	37.5	97.1	Al-Ana Metal Bölgesi
1120	125	174	11	38.4	99.4	
1400	40	162	8,4	35.8	92.6	Al-Ana Metal Bölgesi
1400	80	167	9,4	36.9	95.4	Al-ITAB Bölgesi
1400	125	171	10,6	37.8	97.7	

Çekme deneyleri sonrasında, SKK ile birleştirilen AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımlarına ait numunelerde kırılmaların, üç farklı mikroyapı bölgesinden gerçekleştiği belirlenmiştir. Birincisi; 900/40-80 (Şekil VI.2 ve Şekil VI.3), 1120/80-125 (Şekil VI.6 ve Şekil VI.7), 1400/80-125 (Şekil VI.9 ve Şekil VI.10), kaynak parametreleriyle birleştirilen ve Al'nin ITAB'dan kopan numuneler: İkincisi; 1400/40 (Şekil VI.8) kaynak parametresi ile birleştirilen ve en düşük mukavemet değerlerinin elde edildiği Al' nin TMEB'den kopan numuneler: Üçüncüsü ise; hem en yüksek mukavemet değerlerinin elde edildiği 900/125 (Şekil VI.4) kaynak parametresi ile hem de 1120/40 (Şekil VI.5) kaynak parametresi ile birleştirilen ve Al' nin ana metal bölgesinden kopan numunelerdir.

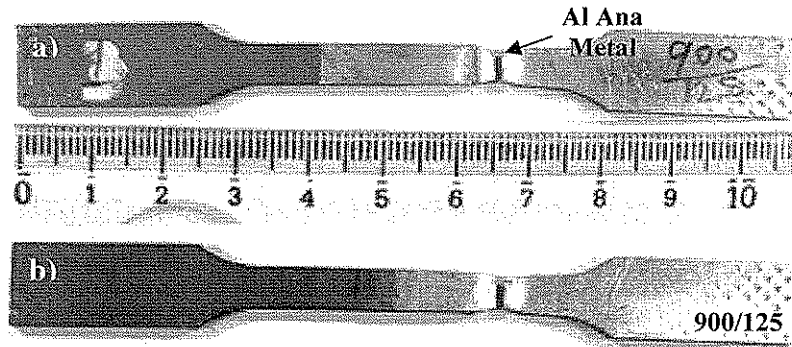
mukavemet değerlerinin elde edildiği Al' nin TMEB'den kopan numuneler: Üçüncüsü ise; hem en yüksek mukavemet değerlerinin elde edildiği 900/125 (Şekil VI.4) kaynak parametresi ile hem de 1120/40 (Şekil VI.5) kaynak parametresi ile birleştirilen ve Al' nin ana metal bölgesinden kopan numunelerdir.



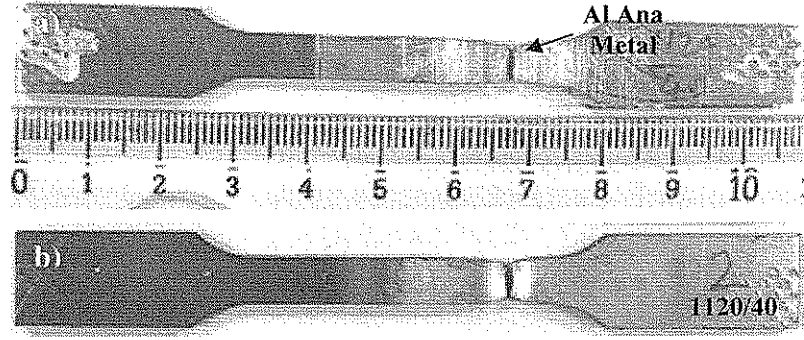
Şekil VI.2. 900/40 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı.



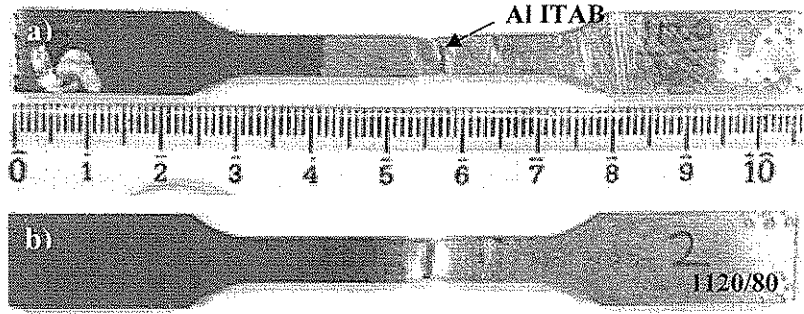
Şekil VI.3. 900/80 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı



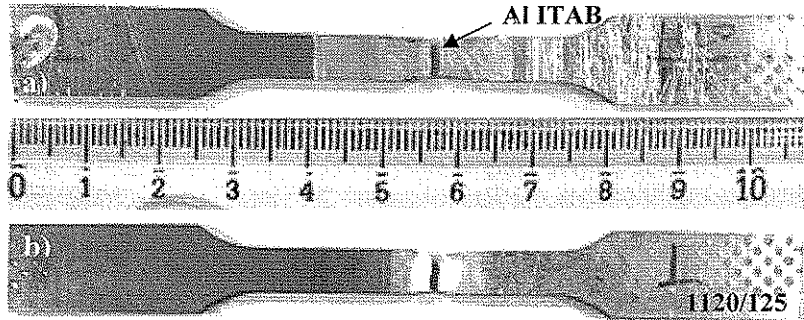
Şekil VI.4. 900/125 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı.



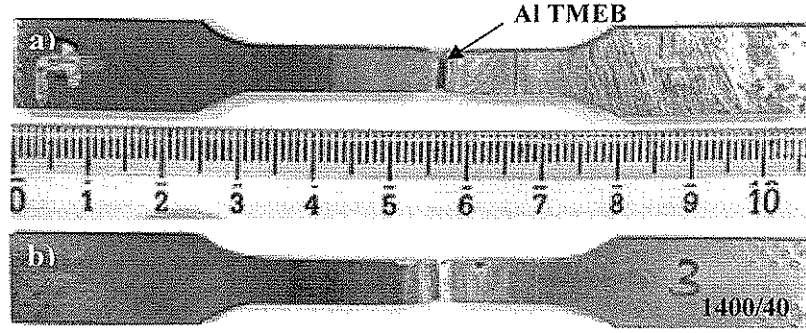
Şekil VI.5. 1120/40 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı.



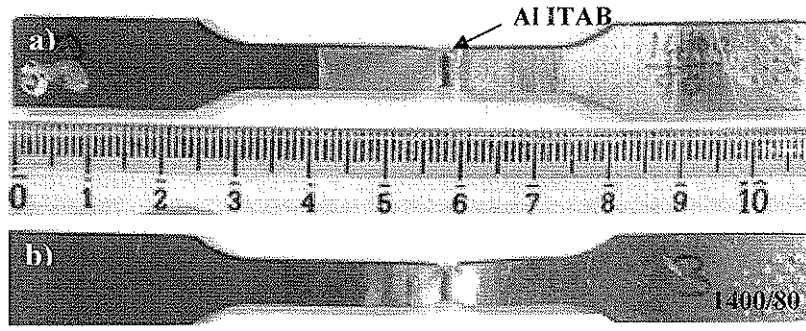
Şekil VI.6. 1120/80 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı.



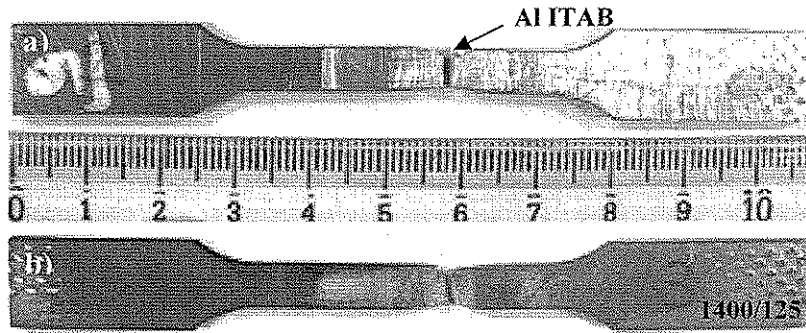
Şekil VI.7. 1120/125 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı.



Şekil VI.8. 1400/40 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı.



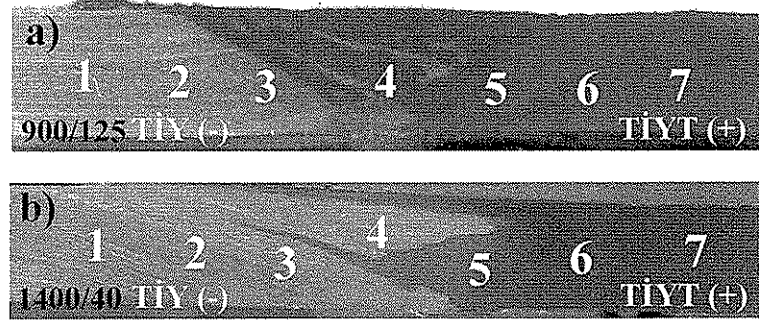
Şekil VI.9. 1400/80 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı.



Şekil VI.10. 1400/125 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen Levhaların Çekme Deneyi Sonrası Görünümleri; a) Üst Yüzey, b) Kök Kısmı.

VI.3. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

SKK yapılmış AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımlarının kaynak yönüne dik kesitlerinden yapılan mikroyapı incelemeleri sonucu hem takım ilerleme yönü (TİY) hem de takım ilerleme yönünün ters tarafında (TİYT) literatüre uygun olarak [75] farklı mikroyapısal bölgeler belirlenmiştir. Bu bölgeler; takım ilerleme yönünde olan AA3003-H24 Al alaşımı için a) Ana metal bölgesi, b) ITAB c) TMEB ve d) Karışım bölgesi. Ayrıca, takım ilerleme yönünün ters tarafında bulunan AA2124/SiC/25p-T4 MMK için de bu farklı bölgelerin varlığı belirlenmiştir. Bu farklı bölgelere ait optimum kaynak performansı gösteren 900/125 kaynak parametresine ait makroyapı resmi ile farklı mikroyapısal bölgelerin sınıflandırılması Şekil VI.11a' da ve minimum kaynak performansı gösteren 1400/40 kaynak parametresi ile yapılan birleştirmede elde edilen makroyapı resmi ile farklı mikroyapısal bölgelerin sınıflandırılması ise Şekil VI.11b'de gösterilmiştir.



Şekil VI.11. a) 900/125 ve b) 1400/40 Kaynak Parametreleri ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Makroyapı Resmi ve Farklı Mikroyapısal Bölgelerin Sınıflandırılması; 1) AA3003-H24 Ana Metal, (2) AA3003-H24 ITAB, (3) AA3003-H24 TMEB, (4) Karışım Bölgesi, (5) AA2124/SiCp/25-T4 TMEB, (6) AA2124/SiCp/25-T4-ITAB, (7) AA2124/SiCp/25-T4 Ana Metal.

Şekil VI.11' de gösterildiği gibi 900/125 kaynak parametrelerinde birleştirilen AA3003-H24 ve AA2124/SiCp/25-T4 levhalarda porozite, boşluk yada herhangi bir kusura rastlanmamıştır. Bu sebepten, bu tip iki alaşımın SKK gibi katı hal kaynak tekniği ile başarılı birleştirmeler elde edilebileceği gösterilmiştir. SKK ile birleştirilen AA3003-H24 ve AA2124/SiCp/25-T4 levhaların kaynak bölgelerindeki mikroyapılar; TIG, MIG/MAG v.b. kaynak teknikleri ile yapılan birleştirmeler

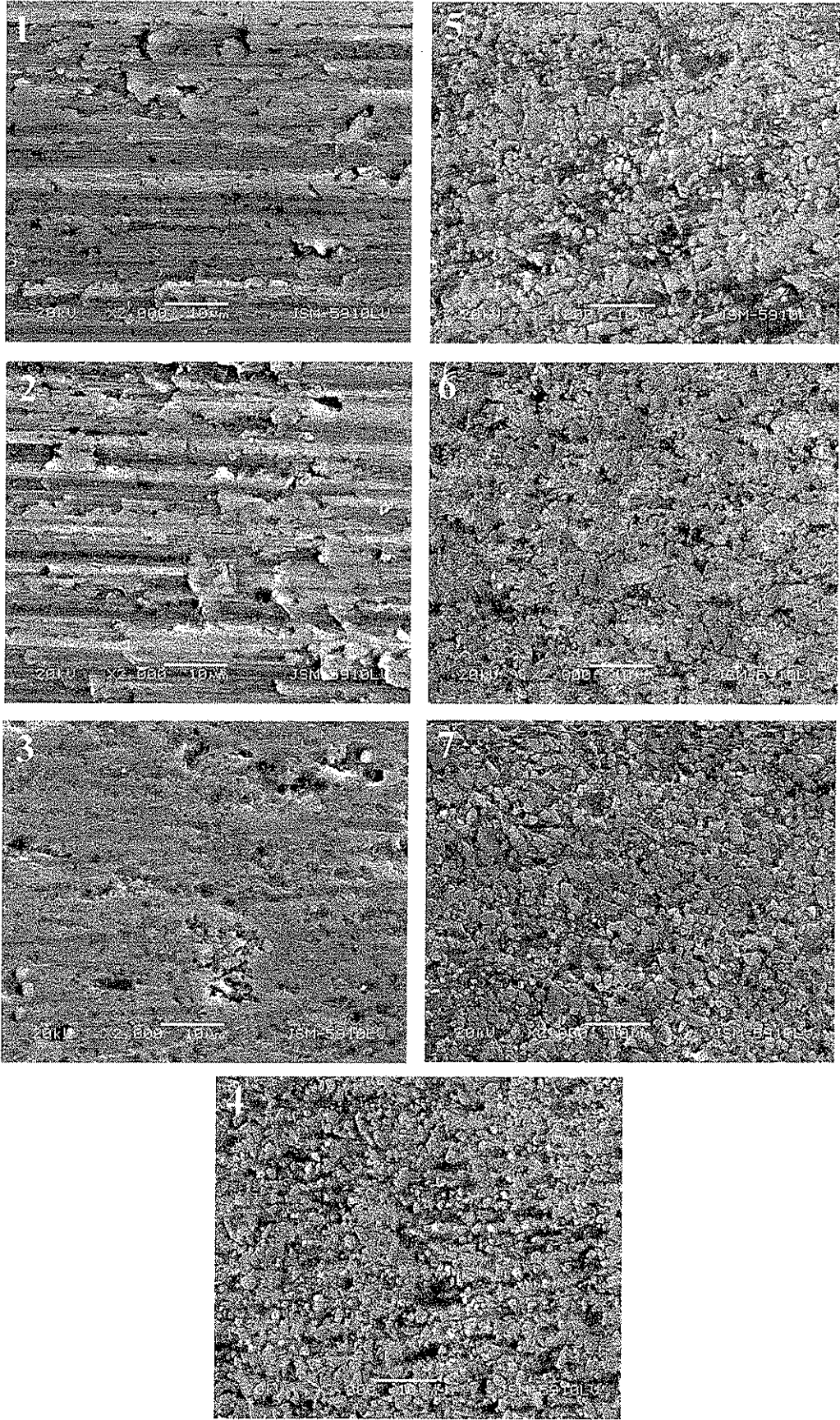
sonucu elde edilen mikroyapılardan oldukça farklıdır [76]. Bu mikroyapısal bölgeler aşağıda açıklanmıştır.

AA3003-H24 ve AA2124/SiCp/25-T4 ana metal (Şekil VI.11 ve 12; 1 ve 7 nolu bölgeler): Birleştirme sırasındaki ısı ve deformasyondan etkilenmeyerek mikroyapıların değişmediği, TİY ve TİYT tarafında olan bölgelerdir.

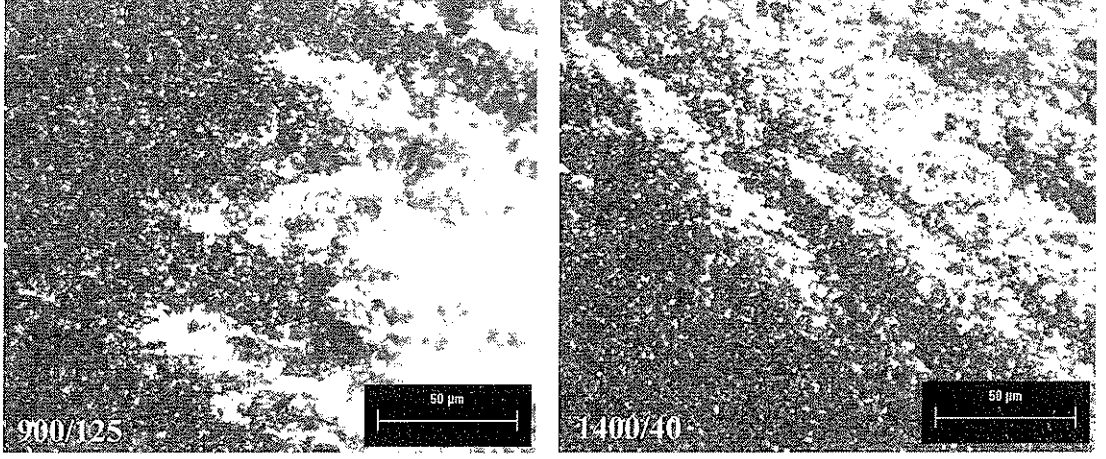
AA3003-H24 ve AA2124/SiCp/25-T4 ITAB (Şekil VI.11 ve 12; 2 ve 6 nolu bölgeler): Ana metal bölgesi ve TMEB arasında kalan bu bölgelerde mekanik deformasyon yoktur. Ancak, birleştirme esnasında meydana gelen ısıdan dolayı malzeme özelliklerinin etkilendiği, hem TİY hem de TİYT tarafında olan bölgelerdir.

AA3003-H24 ve AA2124/SiCp/25-T4 TMEB (Şekil VI.11 ve 12; 3 ve 5 nolu bölgeler): Karışım bölgesine yakın olan hem TİY hem de TİYT tarafındaki TMEB bölgesi, SKK esnasında sürtünme ısısından etkilenmiş ve plastik deformasyona uğramıştır. Ayrıca, karıştırma esnasında oluşan ısı sebebiyle, bu bölgedeki mikroyapı ve malzemenin özellikleri de değişiklik gösterilmiştir.

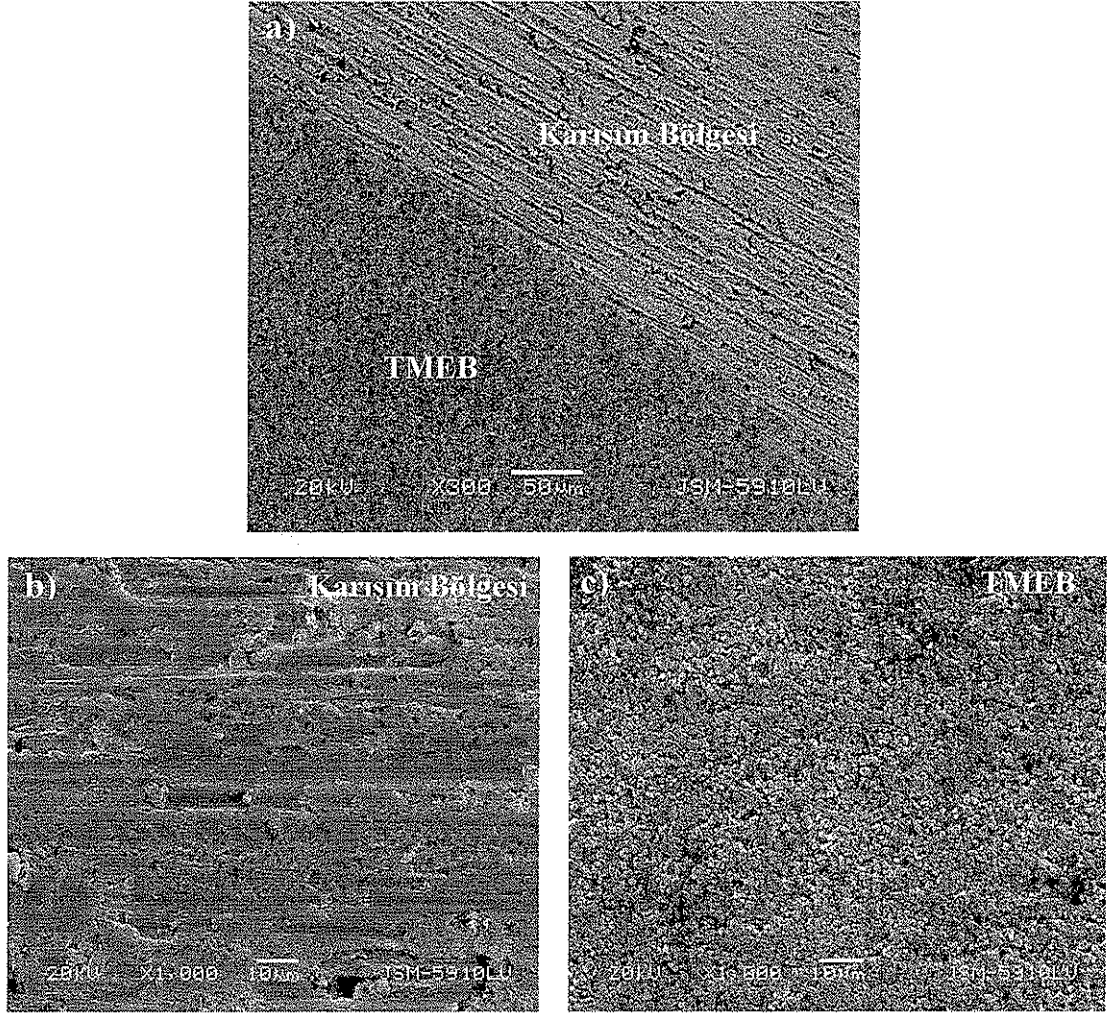
Karışım Bölgesi (Şekil VI.11 ve 12; 4 nolu bölgeler): Yüksek ısı ve yoğun plastik deformasyonun etkisi altında kalan ve AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 levhaların karışımından meydana gelen, yeniden kristalleşmiş ince tane yapısına sahip olan bölgedir. Ayrıca, karışım bölgesinin hem 900/125 hem de 1400/40 kaynak parametrelerinde elips şeklinde ve soğan halkalarına benzer bir mikroyapıya sahip olduğu görülmektedir (Şekil VI.13). Karışım bölgesindeki bu görünüm malzeme akışının karıştırıcı uç dönme yönünde olduğunu göstermektedir.



Şekil VI.12. 900/125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Mikroyapısal Değişimlerinin SEM Görüntümü.



Şekil VI.13. 900/125 ve 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Karışım Bölgesindeki Akış Yönü.

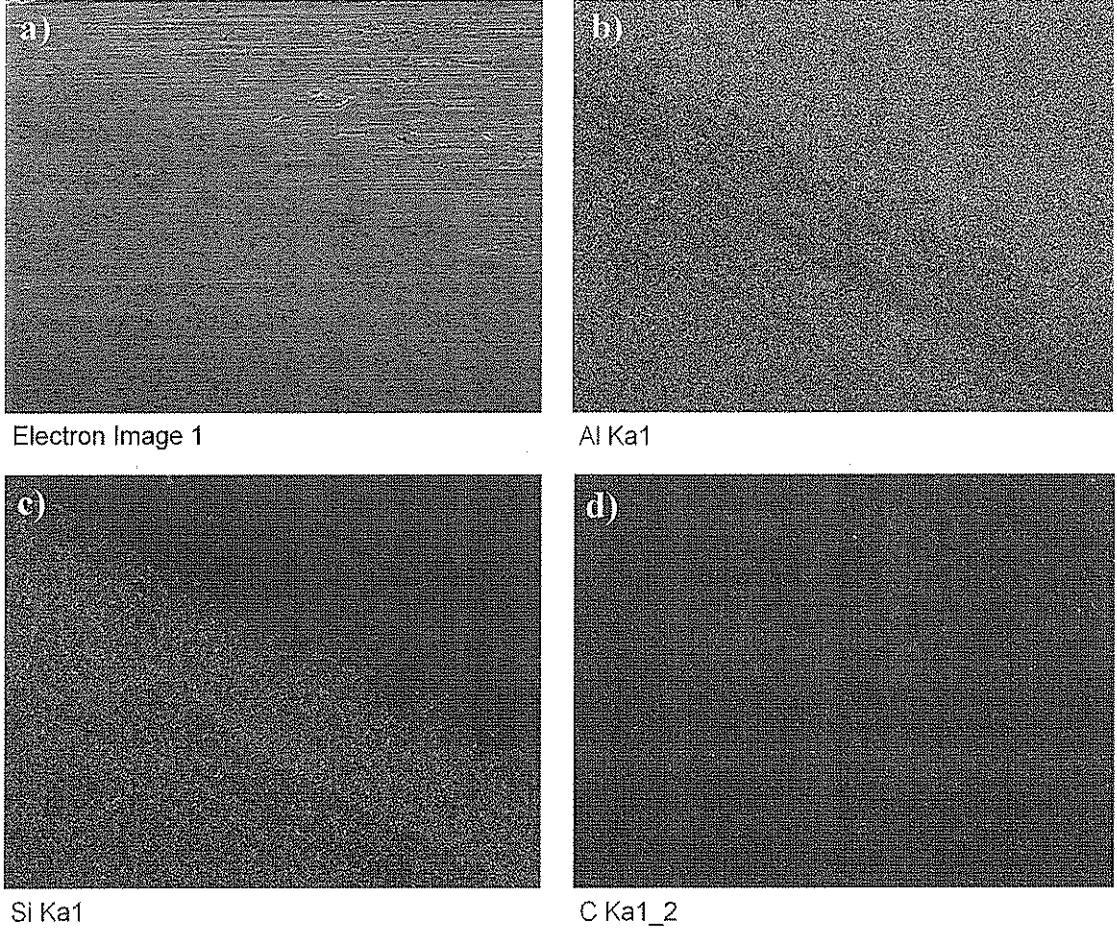


Şekil VI.14. 900/125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların SEM Görüntüsü: a) Karışım/TMEB Arayüzey Bölgesi, b) TTY’deki Karışım Bölgesi, c) TTYT Tarafındaki TMEB Bölgesi.

Al alaşımlarının SKK hakkındaki literatür bilgilerine göre [77] Şekil VI.14’de gösterilen kaynak merkezinin hem TTY’deki karışım bölgesi (-) hem de TTYT (+) tarafındaki TMEB Bölgesi yukarıda da bahsedildiği gibi sıcaklık ve yoğun plastik deformasyonun etkisinden dolayı malzeme akışının karıştırıcı uç dönme yönünde şekillenmektedir.

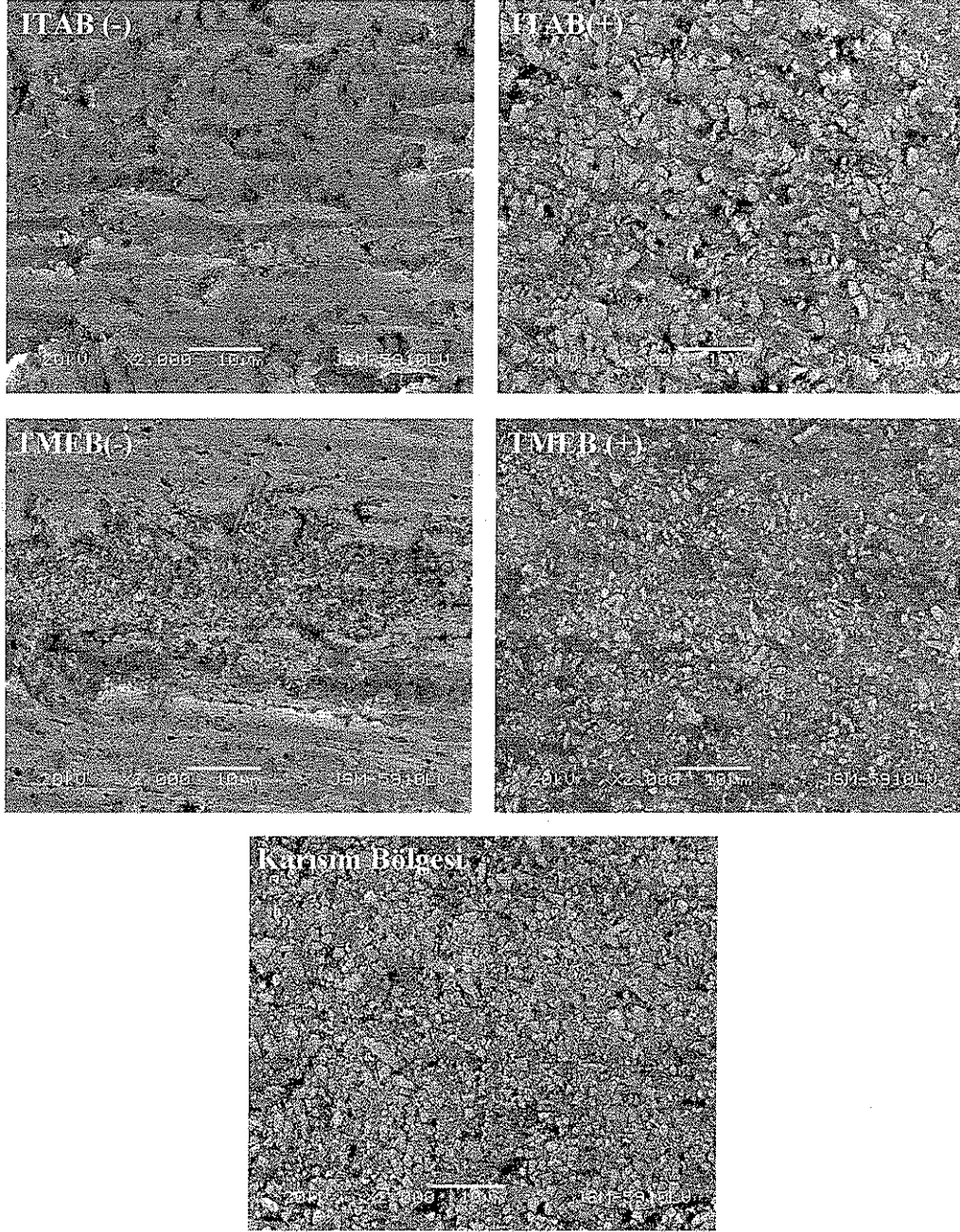
900/125 kaynak parametrelerinde SKK ile birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 levhaların geçiş bölgelerinin BEI (Backscatter electron image) ile haritalama görüntüleri Şekil VI.15’de gösterilmiştir. Şekil VI.15a’da karışım bölgesi/TMEB geçiş bölgesinin BEI görüntüsü, b)’de Al nin, c)’de Si nin, d)’de C nin dağılımı gösterilmektedir.

Şekil VI.12'deki 4 nolu bölge, Şekil VI.14b ve Şekil VI. 14 incelendiğinde bu bölgelerde karıştırıcı uçtan kopan metal parçacıklarının olmadığı dolayısıyla AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 levhaların 900/125 kaynak parametresi ile yapılan birleştirmede takım aşınmasının meydana gelmediği belirlenmiştir. Fakat 900/100 kaynak parametreleriyle iki AA2124/SiCp/25-T4 MMK levhanın SKK'lı birleştirmesinde takım aşınması olduğu belirtilmiştir. [71,78]



Şekil VI.15. 900/125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Geçiş Bölgelerinin BEI ile Haritalama Görünümleri; a) Geçiş Bölgesinin BEI Görünümü, b) Geçiş Bölgesinde Al'nin Dağılımı, c) Geçiş Bölgesinde Si'nin Dağılımı, d) Geçiş Bölgesinde C'nin Dağılımı.

1400/40 kaynak parametrelerinde SKK ile birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 levhaların hem TİY'deki ITAB ve TMEB (-) hem de TİYT tarafındaki ITAB ve TMEB (+) ile karışım bölgelerinin SEM görüntüleri aşağıdaki Şekil VI.16' da gösterilmiştir.

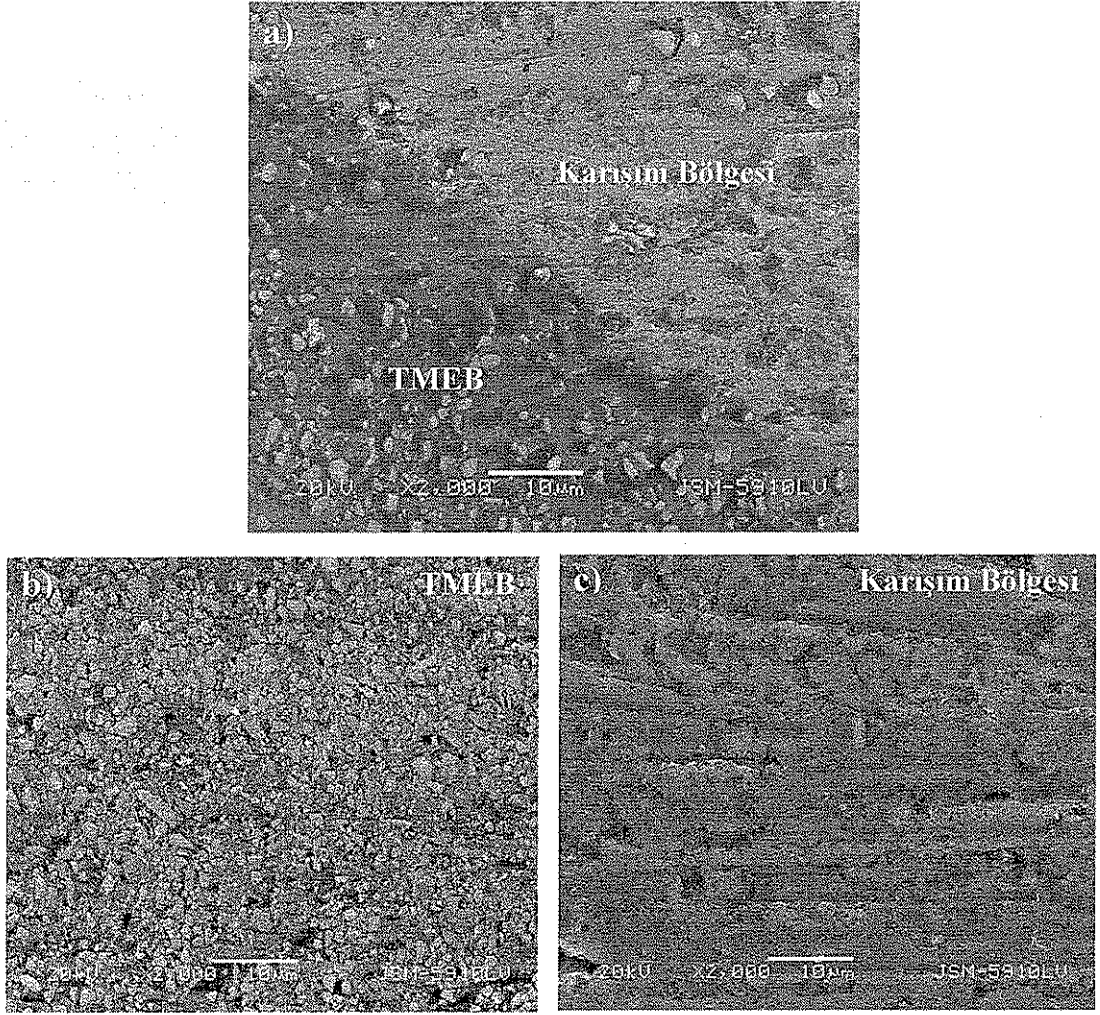


Şekil VI.16. 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Mikroyapısal Değişimlerinin SEM Görünümü.

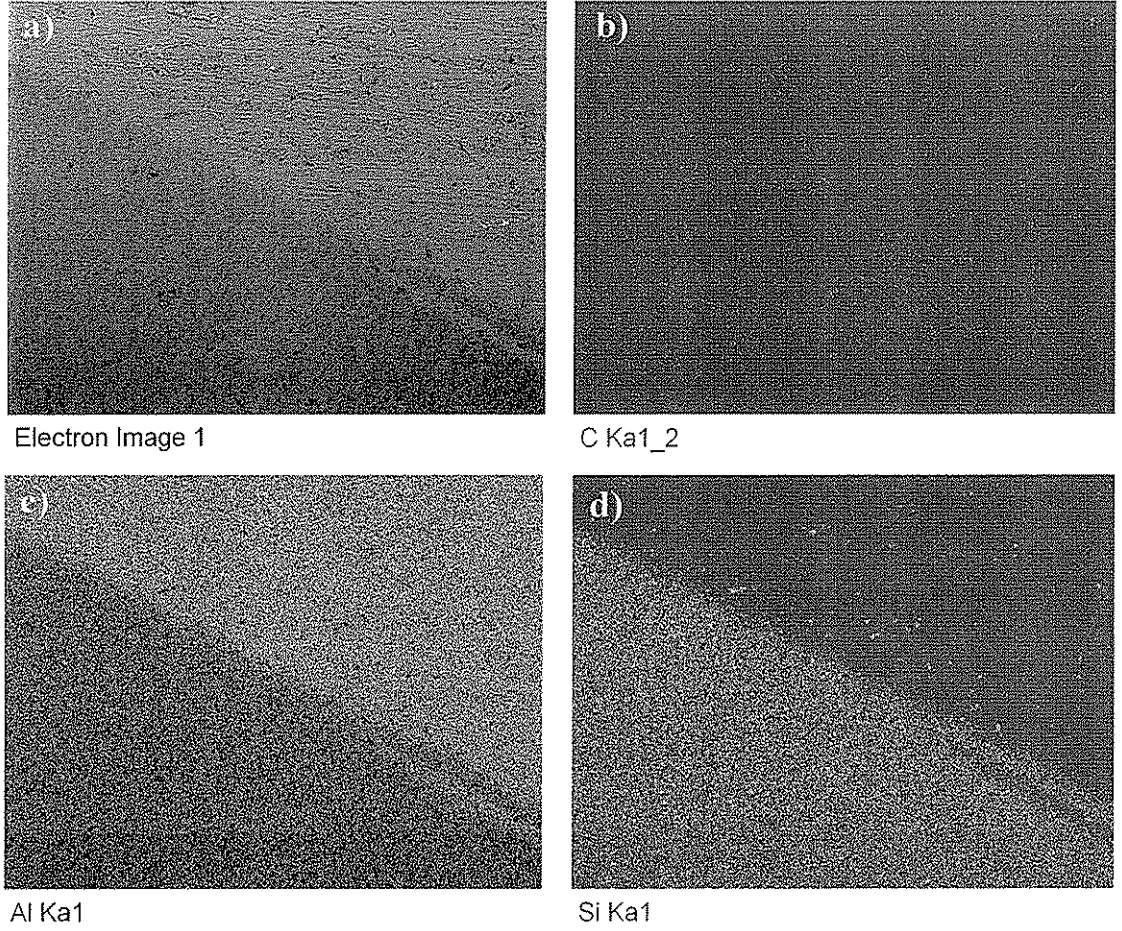
Şekil VI.16' da gösterilen çekme mukavemetinin en düşük olduğu, 1400/40 kaynak parametrelerinde AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 levhaların birleştirilmesi sonucunda TİY' deki TMEB (-) bölgesinden kırılması; karışım bölgesindeki karıştırıcı ucun şiddetli deformasyonu sonucu AA3003-H24 ara yüzeyine ince SiC partiküllerin TİY'de hareket etmesi ile AA3003-H24 Al' nin

mukavemetini düşürmüş ve bu bölgeden kopmuştur. SiC partiküller TİYT'deki ITAB ve TMEB bölgesinde homojen dağılım göstermişlerdir.

Şekil VI.17' de 1400/40 kaynak parametrelerinde SKK ile birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 levhaların karışım bölgesi/ TMEB arayüzeyinin SEM görüntüsü gösterilmiştir. TİYT'den TİY'e doğru SiC partiküllerin yönlenmesi Şekil VI.18' deki haritalama görünümünde de açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil VI.17. 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların SEM Görüntüsü, a) Karışım/TMEB Arayüzey Bölgesi, b) TİY' deki Karışım Bölgesi, c) TİYT Tarafındaki TMEB Bölgesi.

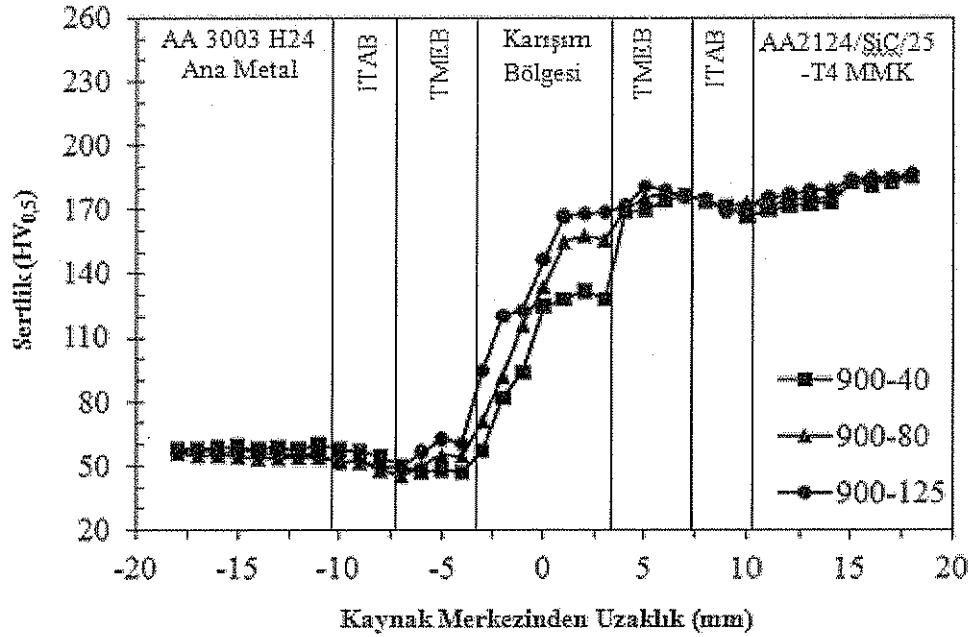


Şekil VI.18. 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhaların Geçiş Bölgelerinin BEI İle Haritalama Görünümleri; a) Geçiş Bölgesinin BEI Görünümü, b) Geçiş Bölgesinde C'nin Dağılımı, c) Geçiş Bölgesinde Al'nin Dağılımı, d) Geçiş Bölgesinde Si'nin Dağılımı.

VI.4. MİKROSERTLİK DAĞILIMI

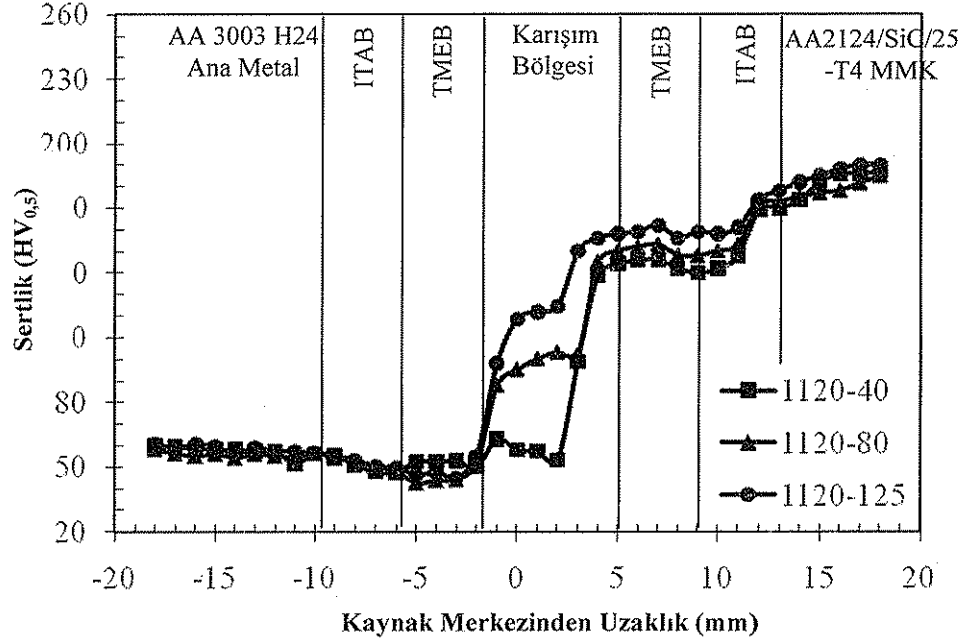
Mikrosertlik ölçümleri farklı takım dönme ve ilerleme hızlarında SKK yapılan AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 levhaların kaynak kesitinden ve ilerleme yönüne dik olacak şekilde 1'er mm eşit aralıklarla kaynağın kök kısmına yakın olan alt bölge ve kaynak yüzeyine yakın olan üst bölgelerden $HV_{0,5}$ mikrosertlik değerleri belirlenmiş ve bu değerlerin ortalamaları alınarak her bir kaynak parametresi için mikrosertlik değerleri belirlenmiştir. 900-1400 takım dönme ve 40-125 ilerleme hızlarında birleştirilen levhaların mikrosertlik değişimi Şekil VI.19-21' de gösterilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda literatüre uygun olarak dört farklı bölgede sertlik dağılımının değiştiği görülmüştür.

Şekil VI.19. incelendiğinde, 900/40-125 kaynak parametrelerinde birleştirilen levhaların karışım bölgesindeki sertlik, TİY'den TİYT tarafına gidildikçe artış göstermektedir. Takım ilerleme hızının artmasıyla karışım bölgesindeki max. sertlik 125-168 HV_{0,5} aralığında değişiklik göstermektedir. Karışım bölgesinden itibaren TİY' deki TMEB ve ITAB'ta sertlik düşerken, TİYT tarafındaki TMEB'de artmış fakat, ITAB bölgesinde düşüş göstermiştir. Birleştirme bölgesi ve yakınındaki bölgelerde değişiklik gösteren ölçüm sonuçlarının ana metale ulaşıldığında, AA2124/SiCp/25-T4 MMK ve AA3003-H24 Al alaşımlarının ana sertlik değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.



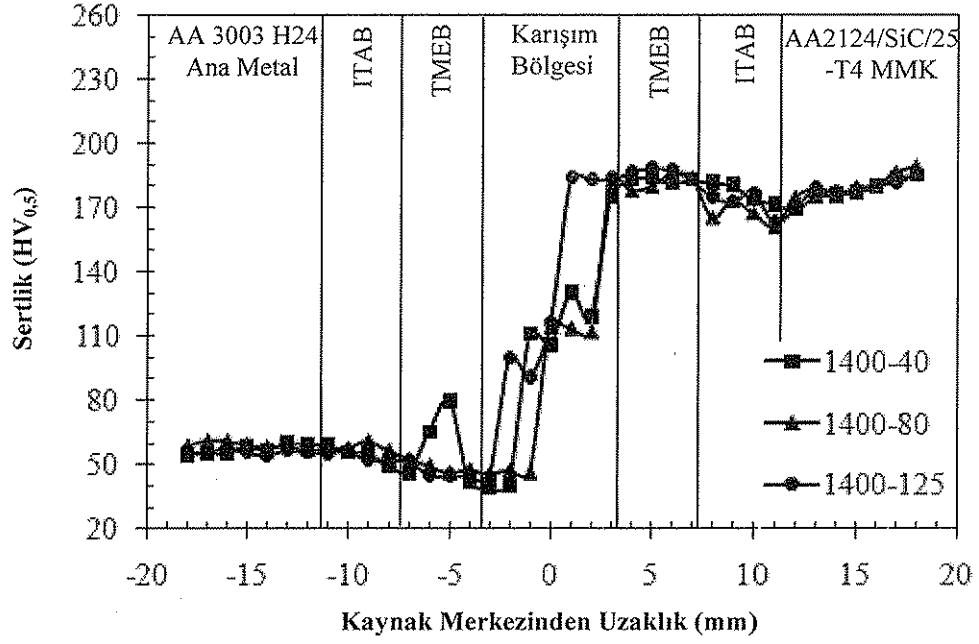
Şekil VI.19. 900/40-125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhalarının Kaynak Kesitindeki Ortalama Mikrosertlik Grafiği.

Şekil VI.20 incelendiğinde, 1120/40-125 kaynak parametrelerinde birleştirilen levhaların karışım bölgesindeki sertlik, takım ilerleme hızının artmasıyla 60 HV_{0,5}'den 110 HV_{0,5}' ye kadar artmıştır. TİY'deki TMEB ve ITAB bölgesindeki sertlik AA3003-H24 Al alaşımının sertliğine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. TİYT tarafındaki TMEB' de ise sertlik 146 HV_{0,5}'den 162 HV_{0,5}' ye kadar artarken ITAB bölgesinde nispeten azalmaktadır.



Şekil VI.20. 1120/40-125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhalarının Kaynak Kesitindeki Ortalama Mikrosertlik Grafiği.

Şekil VI.21 incelendiğinde, 1400/40-125 kaynak parametrelerinde birleştirilen levhaların TİY' deki karışım bölgesinin sertliği 110 HV_{0,5}' ye, TİYT tarafındaki sertliği ise yüksek takım ilerleme hızında MMK ana metalin sertliğine yakın değere ulaşmıştır. Bu durum TİYT tarafındaki TMEB bölgesine kadar devam ederek ITAB bölgesinde düşüş göstermiştir. TİY' deki TMEB' bölgesindeki sertlik ise 1400/40 kaynak parametresinde 85 HV_{0,5}' ye kadar ulaşmış ve kırılma bu bölgeden gerçekleşerek en düşük mukavemet değeri elde edilmiştir.



Şekil VI.21. 1400/40-125 Kaynak Parametrelerinde SKK ile Birleştirilen AA3003-H24 ile AA2124/SiCp/25-T4 Levhalarının Kaynak Kesitindeki Ortalama Mikrosertlik Grafiği.

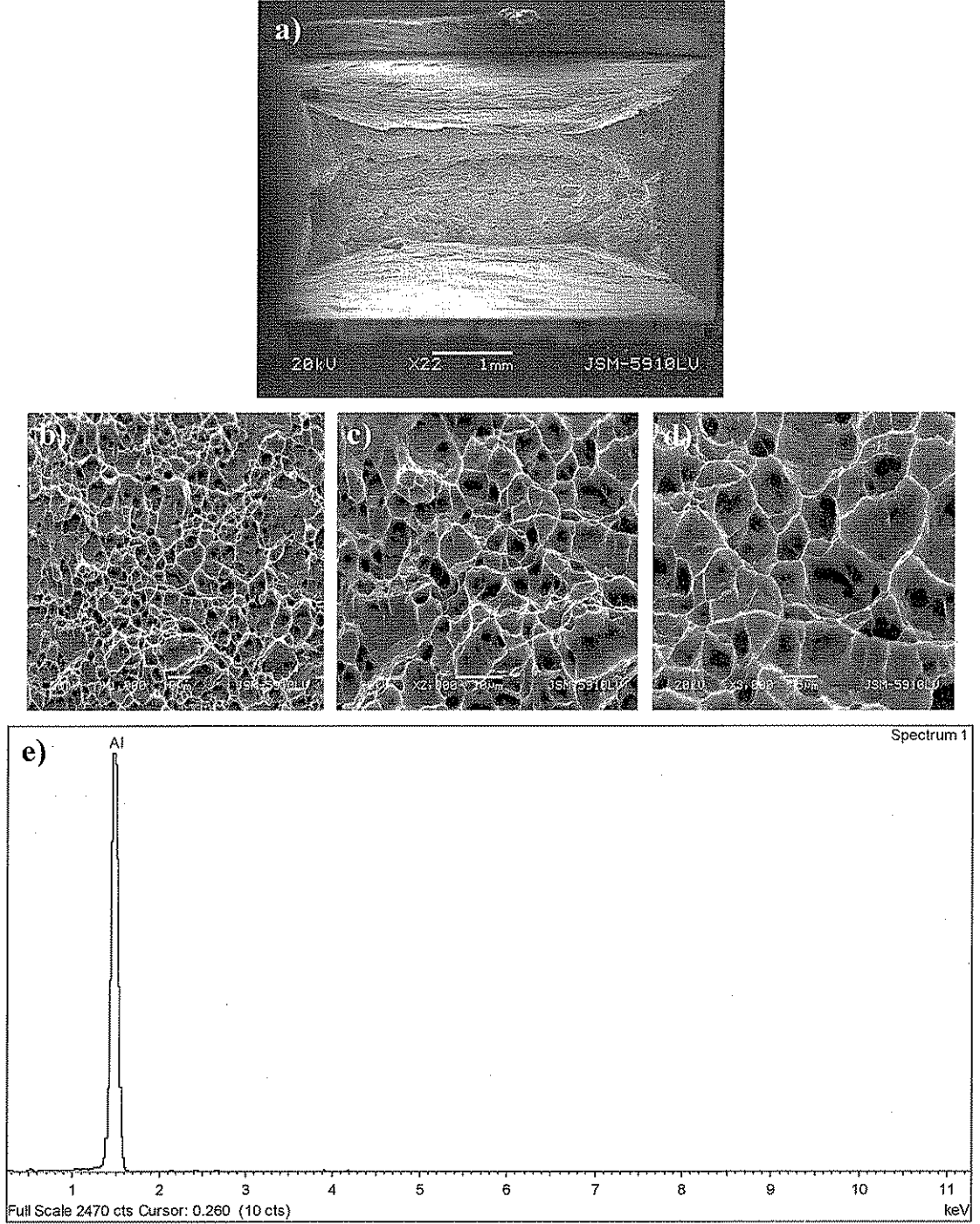
Genel olarak sertlik değerlerine bakıldığında, karıştırıcı ucun TİY ya da tersi tarafına hareketi sertliği etkilemektedir. Kaynak merkezindeki sertlik değerlerindeki yükselişlerin görülmesi ve bütün birleştirme işlemlerinde dönme yönünün bir etkisi sonucu TİYT tarafındaki karışım bölgelerinin sertlik değerlerinin maksimum değerlere ulaşması bu bölgelerde plastik deformasyon ve şiddetli ekstrüzyon sonucu ortaya çıkan tane küçülmesinin ve pekleşmenin sertlik değerlerini arttırdığı düşünülmektedir.

VI.5. ÇEKME DENEYİ SONRASI KIRILMA MORFOLOJİSİ

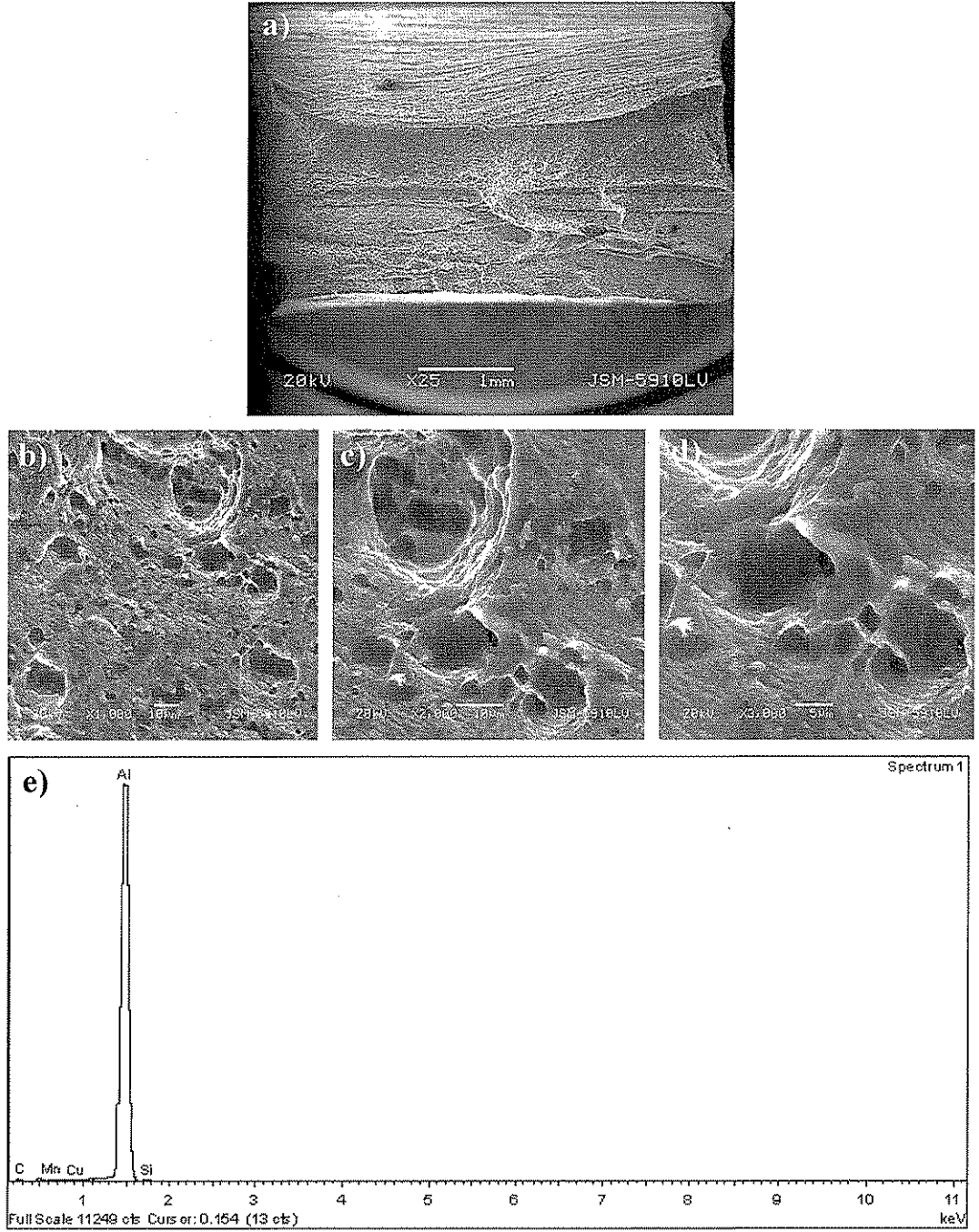
900/125 ve 1400/40 kaynak parametrelerinde SKK ile birleştirilen AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımı levhaların çekme deneyi sonrası kırık yüzey kesitlerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizi sonuçları Şekil VI.22 ve 23' de gösterilmiştir.

900/125 kaynak parametrelerinde SKK yapılan Al/MMC alaşımların çekme deneyi sonrası TİY' deki Al ana metalden kırıldığı Şekil VI.4' de daha önce gösterilmişti. Şekil VI.22' de bu kırık yüzeyin farklı büyütmelelerdeki (Şekil VI.22a) d) SEM görünüşleri incelendiğinde, TİY' deki AA3003-H24 Al alaşımının sünek

kırılma mekanizması şeklinde olduğu görülmektedir. Şekil VI.22e' deki EDS analizi sonucuna bakıldığında kırık yüzeyin %100 Al içerdiği belirlenmiştir.



Şekil VI.22. 900/125 Kaynak Parametrelerinde SKK Yapılan AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımı Levhaların Çekme Deneyi Sonrası TİY'deki Ana Metalin Kırık Yüzey Kesitinin; a) 22X ; b, c ve d) 1000X, 2000X ve 3000X SEM Görünümü, e) TİY'deki Ana Metalin Kırık Yüzey Kesitinin EDS Analizi.



f)

Kaynak Parametresi ve Bölgesi	Kimyasal Element (%)				
	C	Al	Si	Mn	Cu
1400/40 TİY'deki TMEB Bölgesi	15,38	82,91	0,85	0,81	0,05

Şekil VI.23. 1400/40 Kaynak Parametrelerinde SKK Yapılan AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al Alaşımı Levhaların Çekme Deneyi Sonrası TİY'deki TMEB Bölgesinden Kırık Yüzey Kesitinin; a) 25X ; b, c ve d) 1000X, 2000X ve 3000X SEM Görünümü, e) TİY'deki TMEB Bölgesindeki Kırık Yüzey Kesitinin EDS Analizi.

1400/40 kaynak parametrelerinde SKK yapılan Al/MMC alaşumlarının çekme deneyi sonrası TİY' deki TMEB bölgesinden kırıldığı Şekil VI.8' de daha önce gösterilmişti. Şekil VI.23' de bu kırık yüzeyin farklı büyütmelelerdeki (Şekil VI.23a) d) SEM görünümüleri incelendiğinde, TİY' deki TMEB bölgesinden karışık tipli gevrek-sünek kırılma modunda kırıldığı görülmektedir. Şekil VI.23e ve f' deki EDS analizi sonucuna bakıldığında kırık yüzeyin %15.38 C, %82.91 Al, %0.85 Si, % 0.81Mn ve % 0.05 Cu içerdiği belirlenmiştir.

BÖLÜM VII

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

VII.1. Genel Sonuçlar

1. AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımı levhalar, SKK tekniği ile küt alın formunda başarılı bir şekilde birleştirilmişlerdir.
2. Sabit takım dönme hızı ve düşük takım ilerleme hızlarında kaynak yüzeyinde minimal poroziteler görülmüş, takım ilerleme hızlarının artmasıyla kaynağın hem üst hem kök kısmında herhangi bir porozite ya da kusura rastlanmamıştır.
3. AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımı levhaların SKK sonrası en yüksek çekme mukavemeti 182 MPa ve % uzama değeri 11.2 ile kaynak performansı, AA3003-H24' e göre % 104 ve AA2124/SiCp/25-T4' e göre, % 40.2 olan 900/125 kaynak parametresi ile birleştirilen numunelerden elde edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti değeri ise 162 MPa ve % uzama değeri 8.4 ile kaynak performansı AA3003-H24'e göre % 92.6 ve AA2124/SiCp/25-T4'e göre, % 35.8 olan 1400/40 kaynak parametresi ile birleştirilen numunelerden elde edilmiştir.
4. Çekme deneyleri sonrasında, SKK ile birleştirilen AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımlarına ait numunelerde kırılmaların, üç farklı mikroyapı bölgesinden gerçekleştiği belirlenmiştir: Birincisi; 900/40-80, 1120/80-125 ve 1400/80-125, kaynak parametreleriyle birleştirilen ve TİY' deki ITAB bölgesinden kopan numuneler: İkincisi; 1400/40 kaynak parametresi ile birleştirilen ve en düşük mukavemet değerlerinin elde edildiği TİY' deki TMEB bölgesinden kopan numuneler: Üçüncüsü ise; hem en yüksek mukavemet değerlerinin elde edildiği 900/125 kaynak parametresi, hem de 1120/40 kaynak parametresi ile birleştirilen ve TİY' deki ana metal bölgesinden kopan numunelerdir.
5. SKK yapılmış AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımlarının kaynak yönüne dik kesitlerinden yapılan mikroyapı incelemeleri sonucu hem

takım ilerleme yönü hem de takım ilerleme yönünün ters tarafında literatüre uygun olarak farklı mikroyapısal bölgeler belirlenmiştir. Bu bölgeler; takım ilerleme yönünde olan AA3003-H24 Al alaşımı için a) Ana metal bölgesi, b) ITAB c) TMEB ve d) Karışım bölgesi. Ayrıca, takım ilerleme yönünün ters tarafında bulunan AA2124/SiC/25p-T4 MMK için de bu farklı bölgelerin varlığı belirlenmiştir.

6. AA2124/SiCp/25-T4 MMK ile AA3003-H24 Al alaşımı levhaların birleştirilmesinde takım aşınmasının meydana gelmediği belirlenmiştir.
7. Tüm kaynak parametrelerinde birleştirilen levhaların karışım bölgesindeki sertlik, TİY'den TİYT tarafına gidildikçe artış göstermektedir.
8. 1400/40 kaynak parametresinin TİY' deki TMEB'de sertlik 85 HV0,5' ye kadar ulaşmış ve kırılma bu bölgeden gerçekleşerek en düşük mukavemet değeri elde edilmiştir.
9. 900/125 kaynak parametrelerinde SKK yapılan farklı iki alaşımın çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde, TİY' deki AA3003-H24 Al ana metal tarafından sünek kırılma mekanizması şeklinde kırıldığı belirlenmiştir. EDS analizi sonucuna bakıldığında kırık yüzeyin %100 Al içerdiği görülmüştür.
10. 1400/40 kaynak parametrelerinde SKK yapılan farklı iki alaşımın çekme deneyi sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde, TİY' deki TMEB bölgesinden karışık tipli gevrek-sünek kırılma modunda kırıldığı belirlenmiştir. EDS analizi sonuçlarına bakıldığında kırık yüzeyin %15.38 C, %82.91 Al, %0.85 Si, % 0.81Mn ve % 0.05 Cu içerdiği görülmüştür.

VII.2. Öneriler

Bu çalışmada, MMK ile Al alaşımı levha çiftinin SKK tekniği ile birleştirilebilirliği incelenmiş ve aşağıdaki önerilerin yapılması uygun bulunmuştur.

1. Takım geometrisi değiştirilebilir.
2. Farklı kaynak parametreleri kullanılarak bu parametrelerin mekanik özelliklere etkisi irdelenebilir.
3. CNC kontrollü dikey freze kullanılarak birleştirme işleminin sonuçları karşılaştırılabilir.
4. MMK levhalara ön tavlama yapıldıktan sonra Al ile birleştirilebilir.
5. MMK ile Cu, Mg vb. farklı alaşımlar birleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Xue, P.: Xiao, B. L.: Ni, D. R.: Ma, Z. Y.: “Enhanced Mechanical Properties of Friction Stir Welded Dissimilar Al–Cu Joint by Intermetallic Compounds” *Materials Science and Engineering A* Vol 527 (2010) 5723–5727.
- [2] Shanmuga Sundaram, N. and Murugan, N.; “Tensile Behavior of Dissimilar Friction Stir Welded Joints of Aluminium Alloys” *Materials & Design*, Volume 31, (2010), 4184-4193.
- [3] Leal, R.M. and Loureiro A.: “Effect of Overlapping Friction Stir Welding Passes in the Quality of Welds of Aluminium Alloys”, *Materials & Design*, Volume 29, Issue 5, (2008) 982-991
- [4] Liu, C.: Chen D.L.: Bhole, S.: Cao, X. and Jahazi, M.: “Polishing-Assisted Galvanic Corrosion in the Dissimilar Friction Stir Welded Joint of AZ31 Magnesium Alloy to 2024 Aluminum Alloy”, *Materials Characterization*, (2009), 370-376.
- [5] Tanaka, T.: Morishige, T.: Hirata, T.: “Comprehensive analysis of joint strength for dissimilar friction stir welds of mild steel to aluminum alloys”, *Scripta materialia* 61 (2009) 756–759.
- [6] Somasekharan, A.C.: Murr, L.E.: “Microstructures in Friction-Stir Welded Dissimilar Magnesium Alloys and Magnesium Alloys to 6061-T6 Aluminum Alloy” *Materials Characterization* 52 (2004) 49– 64.
- [7] Shigematsu, I.: Kwon, Y.J.: Suzuki, K.: Imai, T. and Saito, N.: “Joining of 5083 and 6061 Aluminum Alloys by Friction Stir Welding”, *J Mater Sci Lett.* V22. 343-356.
- [8] Wert, J.A.: “Microstructures of Friction Stir Weld Joints Between an Aluminum-Base Metal Matrix Composite and a Monolithic Aluminum Alloy”, *Scr. Mater.*, (2003) 49, (6), 607–612.”
- [9] Ghosh, M.: Kumar, K.: Kailas, S.V.: Ray, A.K.: “Optimization of Friction Stir welding parameters for dissimilar aluminum alloys”, *Materials and Design* 31 (2010) 3033–3037.

- [10] Khodir, S.A.: Shibayanagi, T.: “Friction Stir Welding of Dissimilar AA2024 and AA7075 Aluminum Alloys”, *Materials Science and Engineering B* 148 (2008) 82–87.
- [11] Cavaliere, P.: Panella, F.: “Effect of Tool Position on the Fatigue Properties of Dissimilar 2024-7075 Sheets Joined by Friction Stir Welding”, *Journal of Materials Processing Technology* 206 (2008) 249–255.
- [12] Cavaliere, P.: De Santis, A.: Panella, F.: Squillace, A.: “Effect of Welding Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Dissimilar AA6082–AA2024 Joints Produced By Friction Stir Welding”, *Materials and Design* 30 (2009) 609–616.
- [13] Chen, C.M.: Kovacevic, R.: “Joining of Al 6061 Alloy to AISI 1018 Steel by Combined Effects of Fusion and Solid State Welding”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44 (2004) 1205–1214.
- [15] Fazel Najafabadi, M.: Kashani Bozorg, S. F. and Zarei Hanzaki, A.: “Joining of CP-Ti to 304 Stainless Steel Using Friction Stir Welding Technique”, *Material Design*. (2010) 0261-3069
- [16] Uzun, H.: Done, C.D.: Argagnotto, A.: Ghidini, T.: Gambaro, C.: “Friction Stir Welding of Dissimilar Al 6013-T4 to X5CrNi18-10 Stainless Steel”, *Materials and Design*, 26 (2005) 41-46.,
- [17] Yan, Y.: Zhang, D.: Qiu, C.: Zhang, W.: “Dissimilar Friction Stir Welding Between 5052 Aluminum Alloy and AZ31 Magnesium alloy”, *Trans.Nonferrous Met.Soc.China* 20 (2010), 619-623.
- [18] Liu, P.: Shi, Q.: Wang, W.: Wang, X.: Zhang, Z.: “Microstructure and XRD Analysis of FSW Joints for Copper T2/aluminium 5A06 Dissimilar Materials”, *Materials Letters* 62 (2008) 4106–4108
- [19] Barlas, Z.: Uzun, H.: “Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Butt Welded Dissimilar Pure Copper/Brass Alloy Plates”, *International Journal of Materials Research (Zeitschrift für METALLKUNDE)*, 101 ,6, (2010) 801-807.
- [20] www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/MMK_son.pdf
15.11.2010.

- [21] Altınkök, N.: "Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Al₂O₃-SiC Partikül Destekli Metal Matriks Kompozit Üretimi ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi" *Doktora Tezi Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, Türkiye (2002) 1-158.
- [22] Staab, GH.: "Laminar Composites", Butterworth-Heinemann, MA, (1999). 166-173.
- [23] Ma, Q.S.; Chen, Z.H.; Zheng, W.; Hu, H.: "Processing and Characterization of Particles Si-O-C Composites via Pyrolysis of Polysiloxane SiC or/and Al fillers", *Ceramics International, Elsevier*, 31 (2005) 1045-1051.
- [24] Berghezan, A.: "Basic Design Concepts and Specific Methods for the Fabrication of Metal Matrix Composites Materials", *Advance In Composite Materials, ed., G. Piatti*, (1978) 5-17.
- [25] Peng, H.X.; Fan, Z.; Evans, J.R.G.: "Novel MMC Microstructures Prepared by Melt Infiltration of Reticulated Ceramic Preforms", *Materials Science and Technology*, 16: (2000) 903-907.
- [26] Bahçeci, E.: "Al Matrisli α -Si₃N₄ Takviyeli Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin Karakterizasyonu", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2006).
- [27] Çiftçi, İ.: "Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003) 4-30.
- [28] Yusuf, Ş.: *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitapevi, Ankara, (2000) 1-36.
- [29] Kudapa, S.: *Laser Beam Processing of Metal Matrix Composites*, Department of Materials Science and Mechanics Michigan State University East Lansing, MI (1996) 48824.
- [30] Ellis, M.B.D.: *Joining of Metal Matrix Composites*, Electronic Copyright TWI, (1994) 489.
- [31] Anık, S.; Anık, E.S; Vural, M.: *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye (1993) 111-247.
- [32] Irving, R.: "What's Being Done to Weld Metal Matrix Composites", *Welding Journal*, 6 (1991) 65-67
- [33] Kurt, A.: Katı Hal Birleştirmeler için Difüzyon Kaynağı, *Kaynak Teknolojisi I. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 13-15 Kasım, (1997) 77-83.

- [34] Anık, S.: “Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, Ergör Matbaası İstanbul,196-207, 259-269 (1983).
- [35] Erdmann, H.C.: *Metallografie und Estigkeitscerhalten von Reibschweipverbindungen an Unterschiedlichen Werkstoffen*, Materials, DVS, Duesseldorf, 3: (1968) 1-17
- [36] Şendeniz, M.: “Seçilen Bir Al-Mg-Si Alaşımının (AlMgSi0.5 ; Etial 60) Isıl İşlemlerle Özellik Değişimlerinin İncelenmesi” *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye (2006). 1-86
- [37] Askeland, D.: *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, Nobel Yayın Dağıtım (1998). 1-363
- [38] Tülbentçi, K.: *Alüminyum ve Alaşımının Kaynağı*, Bönler Yayını, İstanbul, (1990) 98.
- [39] Kafalı, H.: “AA 2024 Al Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında (Skk) Kaynak Parametrelerinin Birleşmeye Etkilerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye (2009) sy.1-50
- [40] Kurtuluş, O.: "Alüminyum ve Alaşımının Kaynaklanabilirliği ve Değişik Parametrelerin Mekanik Özellikler ile Mikro Yapı Üzerine Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,Türkiye (2001) 3-56.
- [41] Kayabaş, Ö.: “Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyumun Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” *Bitirme Projesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye (2003) 13-46.
- [42] Smith, W.F.: *Mühendislik Alaşımının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşım*, Nobel Yayın Dağıtım, (2001) 2 ,602.
- [43] Krishnan, K.N.: “On the Formation of Onion Rings in Friction Stir Welds”, *Material Science and Engineering*, (2002) 246-251.
- [44] Oerlikon, *Alüminyum ve Alaşımının Kaynağı*, (2006) Oerlikon Yayını.
- [45] Senyen, C.: *Alüminyum Alaşımının Kaynağında Dikkat Edilecek Hususlar*, TMMOB Kaynak Teknolojisi IV: Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, (2001) 42-54.

- [46] Anık, S.: Dikicioğlu, A., Vural, M., "Koruyucu Gaz Altında Kaynak ve Alüminyumun MIG kaynağı, *Kaynak Tekniği Yayınları*, İstanbul, Türkiye (1994) 30-45.
- [47] Oğuz, B.: *Demir Dışı Metallerin Kaynağı*, (1990) Oerlikon Yayını.
- [48] Kursun, T.: *Alüminyum ve Alaşımlarının MIG kaynağı*, Metal Makine Dergisi, (2006) 158.
- [49] Anık, S.: *Makine Mühendisliği El Kitabı Üretim ve Tasarım, Kaynak Teknolojisi*, A. Cerit (Der.), TMMOB Makine Mühendisleri Odası (1996) 2, 222s.
- [50] Kaluç, E. ve Taban, E.: *Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynağı*, Makine Tek, (2006) 102.
- [51] Welding Handbook, *Section Two Welding Process: Gas, Arc and Resistance* (1970)
- [52] Sayer, S.: "AA 6063 (AlMgSi0.5) Tipi Alüminyum Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Değişkenlerinin, Bağlantının Dayanımı ve Mikroyapı Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması" *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir, Türkiye 2007 1-130.
- [53] Dawes, C.J.: Thomas, W.M.: "Friction Stir Process Welds Aluminium Alloys", *Welding Journal*, 28 (1) (1996) 41-45.
- [54] Nicholas, E.D.: Kallee, S.W.: "Friction Stir Welding-A Decade On", *II. World Asian Pasific International Congress*, Sydney, (2000) 45-50.
- [55] Thomas, W.M.: Andrews, R.E.: "High Performance Tools For Friction Stir Welding", *international Patent Application*, WO99/52699 (1999).
- [56] Tova, R.: Gambaro, C.: Volpone, M.: "Friction Stir Welding: an Innovative Seam Technology", *Welding International*, 17(1) (2003) 36-42.
- [57] Çam, G.: "Al-Alaşımları için Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri", *III. Ulusal Kaynak Teknolojileri Kongresi*, İstanbul, Türkiye (2001) 227-267.
- [58] Prado, R.A.: Murr, L.E.: Shindo, D.J.: Soto, K.F.: "Tool Wear In The Friction Stir Welding Of Aluminium Alloy 6061+20%Al2O3:a Preliminary Study", *Scripta Materialia*, 45(1) (2001) 75-80.
- [59] Külekçi, M.K. ve Sık, A.: "Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Alüminyum Alaşımı Levhaların Birleştirilmesi ve Elde Edilen Kaynaklı Bağlantıların Özellikleri", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, (2003b) 34-44.

- [60] Bradley, G.R. and Jones, M.N.; “*Geometry and Microstructure of Metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy 5383-H321*”, (2000) 86.
- [61] Gürleyik, M.Y.: “Döküm Parçaların Sürtünme Kaynağı” *Mühendis ve Makine Dergisi*, 30 (1989) 13-17.
- [62] Kurt, A.: Özdemir, M.: Boz M.: “Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi”, *IV.Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi*, Kocaeli, (2003) 89-99.
- [63] Özbekmez, R.: “Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği İle CuZn30 Levhalarının Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, (2006) 1-138.
- [64] Kallgren, T.: “Friction Stir Welding of Copper Canister for Nuclear Waste”, *License Thesis*, Department of Materials Science and Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm Sweden (2005) 1-51.
- [65] Mishra, R.S.: Ma, Z.Y.: “Friction Stir Welding and Processing”, *Materials Science and Engineering*, R 50 (2005) 1-78.
- [66] Uzun, H.: Yılmaz, R.: Fındık, F.: “Alüminyum Alaşımları için Süper Birleştirme Yöntemi: Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ve Uygulamaları”, *Metal Dünyası*, 118 (2003) 75-82.
- [67] Johnsen, M.R.: “Friction-Stir Welding Takes off at Boenning”, *Welding Journal*, 28(4) (1999) 35-39.
- [68] Çam, G.: “Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK): Al-Alaşımları için Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi”, *TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi*, (2005) 46, 541, 30- 39.
- [69] Çam, G.: “Sürtünme Karıştırma Kaynağı Gelişmeler”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, (2003b) 4-21.
- [70] Kreye, H.: Reiners, G.: “Mikrostruktur und Mechanische Eigenschaften von Aluminium-Kupfer Reibschweißverbindungen”, *Metallkunde*, (1989) 708-713.
- [71] ISO/TTA 2.: “Tensile Tests for Discontinuously Reinforced Metal Matrix Composites at Ambient Temperatures”, *First Edition, Technology Trends Assessment*, (1997) 04-15.
- [72] Krishnan, K.N.: “On the Formation of Onion Rings in Friction Stir Welds”, *Materials Science and Engineering*, A 327 (2002) 246-251.

- [73] Yan, J.: Xu, Z.: Li Z., Li, L.: Yang, S.: “Microstructure Characteristics and Performance of Dissimilar Welds Between Magnesium Alloy and Aluminum Formed by Friction Stirring”, *Scripta Materialia*, 53 (2005) 585-589.
- [74] Xu, S.: “Microstructure Analysis and Solid Mechanics Modeling of Friction Stir Welding”, *PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering College of Engineering & Information Technology, University of South Carolina, (2003)*.
- [75] Sarsılmaz, F.: Çaydaş, U.: Haşçalık, A.: Tanrıöver, L.: “The Joint Properties of Dissimilar Aluminum Plates Joined by Friction Stir Welding”, *Int. Journal of Materials Research volume 101, (2010) 692-699*
- [76] Cavaliere, P.: Nobile, R.: Panella, F.W.: Squillace, A.: “Mechanical and Microstructural behaviour of 2024–7075 Aluminium Alloy Sheets Joined by Friction Stir Welding”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46 (2006) 588–594
- [77] Bozkurt, Y.: Uzun, H.: Salman S.: “Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen AA2124/SiCp/25 Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerine Takım Aşınmasının Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, (2011) 27*.
- [78] Bozkur, Y.: “Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen AA2124/SiCp/25 Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerine Takım Aşınmasının Etkisi”, *Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi İstanbul, Türkiye (2011)*.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kastamonu'nun Taşköprü ilçesinde doğdu. İlk ve Orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı.2000 yılında Bahçelievler Erkan Avcı Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümünü kazandı. 2006 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümüne yatay geçiş yaparak 2007 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2007-2009 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Kardiyoloji Enstitüsü Teknik Servisinde görev yaptı. 2009 Aralık ayında Aydın Polis Meslek Eğitim Merkezinde 7 ay süreli bir eğitime tabi tutulduktan sonra 2010 yılında Polis Memuru olarak göreve başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

Halen Polis Memuru olarak görevine devam etmektedir.

