

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN 5754
ALÜMİNYUM ALAŞIMI SACLARIN DİRENÇ NOKTA
KAYNAĞI (RSW) VE SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA
KAYNAĞI (FSSW) YÖNTEMLERİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Makina Müh. Barbaros KAHRAMAN

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Erdiñç KALUÇ

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN 5754
ALÜMİNYUM ALAŞIMI SAÇLARIN DİRENÇ NOKTA
KAYNAĞI (RSW) VE SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA
KAYNAĞI (FSSW) YÖNTEMLERİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Barbaros KAHRAMAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 02 Ocak 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 20 Şubat 2009

**Tez Danışmanı
Prof.Dr. Erdiñç KALUÇ**

(.....)

**Üye
Prof.Dr. Ahmet OĞUR**

(.....)

**Üye
Prof.Dr. Muharrem YILMAZ**

(.....)

KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Alüminyum ve alüminyum alaşımlardan üretilen levhaların veya sacların özellikle otomotiv endüstrilerinde kullanımı son yıllarda popüler konulardan bir tanesi olmuştur. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının taşıt endüstrisinde kullanılan türlerinin başında 5xxx serisi alaşımlar ile 6xxx serisi alaşımlar gelmektedir. Ülkemizde ve dünyada AW 5754-O veya AW 6111-T4 gibi alaşımlar çok kullanılmaktadır. Bu endüstrilerde kullanılan sacların en çok bindirme türü birleştirmeler biçiminde olması dolayısı ile bu tür birleştirmelere uygun olan basınç esaslı (katı faz) kaynak yöntemlerinden elektrik direnç nokta kaynağının yanı sıra yeni bir katı faz kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma nokta kaynağı da (FSSW) kullanılmaya başlamıştır. Dolayısı ile ülkemiz otomotiv endüstrilerinde halen kullanılmayan bu yeni FSSW yöntemi ile oluşturulan bağlantıların performanslarını incelemek ve sonuçlarını direnç nokta kaynağı bağlantılarının özellikleriyle karşılaştırarak elde edilen bilgileri endüstriye aktarmak amacı ile bu çalışma planlanmıştır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarına uygulanan basınç esaslı (katı faz) kaynak yöntemlerinin incelenmesi konulu güncel bir çalışmayı öneren, çalışmalarım sırasında sürekli olarak beni destekleyerek yönlendiren, deneysel çalışmalarım ve tezimin incelenmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Erdiñ KALUÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarım ve numunelerin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Makina Mühendisi Mehmet Halil COŞKUN'a, Sayın Yüksek Metalürji Mühendisi Özgür ÇINAR'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Direnç nokta kaynağı çalışmalarını yapmama izin vererek yardım eden Otokar Otobüs Karoseri Sanayi A.Ş yetkililerine, mekanik deneylerin yapılmasında laboratuvarlarının tüm olanaklarını kullanmamı sağlayan Assan Alüminyum San. Ve Tic A.Ş Ar-Ge bölümü yöneticisi Sayın Murat DÜNDAR ve Ar-Ge bölüm personeline ve özellikle Sayın Hüsnü ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi borç bilirim. Bizden önce yapmış olduğu yüksek lisans tezi ve tezinden çıkan yayınlarını kullanmamız için yardım eden ve tez sırasında bizleri yayın olarak destekleyen Ar. Gör. Dr. Emel TABAN'a da ayrıca teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleştirilmesi sırasında her türlü fedakârlık ve desteğini esirgemeyen babam Aydın KAHRAMAN'a, annem Nurten KAHRAMAN'a, kardeşim Hakan KAHRAMAN'a ve değerli sözlüm Hilal ULUDELEN'e de derin teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin sonuçlarının tüm ülke endüstrisine, bilim camiasına yararlı olmasını dilerim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
İNGİLİZCE ÖZET.....	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	4
2.1. Alüminyumun Elde Edilmesi ve Genel Özellikleri.....	4
2.2. Alüminyum Alaşımının Sınıflandırılması, Standard Gösterimleri ve Uygulanan Sertleştirme İşlemlerine Göre Simgelendirilmesi	8
2.2.1. Dövme alüminyum alaşımları	9
2.3. Dövme Alüminyum Alaşımının Türlerinin İncelenmesi	12
1xxx serisi alaşımlar.....	12
2xxx serisi alaşımlar.....	13
3xxx serisi alaşımlar.....	13
4xxx serisi alaşımlar.....	13
5xxx serisi alaşımlar.....	14
6xxx serisi alaşımlar.....	15
7xxx serisi alaşımlar.....	15
2.2.2. Döküm alüminyum alaşımları.....	15
2.4. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımının Çeşitli Endüstri Kollarında Kullanım Alanları.....	17
2.4.1. Otomotiv endüstrisi.....	17
2.4.2. Gemi ve taşımacılık yapım endüstrisi	18
2.4.3. Savunma ve havacılık endüstrisi.....	18
BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI	19
3.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımının Kaynak Kabiliyeti.....	19
3.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımının Kaynağını Etkileyen Faktörler.....	21
BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN BASINÇ KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	26
4.1. Genel	26
4.2. Elektrik Direnç Kaynağı	27
4.2.1. Elektrik direnç kaynağı usulleri	28
4.2.1.1. Elektrik direnç nokta kaynağı	29
4.2.1.1.1. Kaynak noktasının oluşumu.....	31
4.2.2. Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çevrimi.....	33
4.2.3. Elektrik direnç nokta kaynağı usulleri	34

4.2.4. Elektrik direnç nokta kaynağına etkileyen faktörler	34
4.2.5. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrodlar	35
4.2.5.1. Elektrod imalinde kullanılan malzemeler	36
4.2.6. Kaynak makinaları	38
4.2.7. Elektrik direnç nokta kaynağını etkileyen faktörler	39
4.2.7.1. Kaynak akımı ve kaynak süresinin etkisi	39
4.2.7.2. Elektrod basma kuvvetinin etkisi	41
4.2.7.3. Kaynak yapılan malzemenin etkisi.....	42
4.2.7.4. Kaynak yapılan malzemenin yüzey durumu	42
4.2.7.5. Isıl denge	43
4.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağı	44
4.3.1. Malzeme özelliklerine bağlı olarak elektrik direnç nokta kaynağına etki eden faktörler	44
4.3.1.1. Elektrik ve ısı iletkenliği	46
4.3.1.2. Sıcaklık artışı.....	46
4.3.1.3. Plastik alan	47
4.3.1.4. Soğuma sırasında kendini çekme	47
4.3.1.5. Oksit tabakası	48
4.3.2. Elektrodların bakımı.....	48
4.3.3. Yüzey hazırlama.....	49
4.3.4. Alüminyumun elektrik direnç nokta kaynağı karakteristikleri	50
4.3.4.1. Kaynak akımı	50
4.3.4.2. Kaynak süresi	51
4.3.4.3. Elektrod kuvveti	51
4.3.4.4. Nokta aralıkları.....	52
4.3.5. Kaynak hatalarının sebepleri ve çözümleri	53
4.3.5.1. Elektrod alaşımlanması	53
4.3.5.2. Çatlak ve gözenekler	54
4.3.5.3. Kaynak metalinin akması	54
4.3.5.4. Sac yüzeylerinin ezilmesi.....	54
4.3.5.5. Uygunsuz kaynak biçimi ve ergime	54
4.3.5.6. Yüzey yanmaları	55
4.4. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı	55
4.4.1. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulanması	56
4.4.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı kontrolü ve yöntem değişkenleri.....	57
4.4.3. Kaynak parametreleri	59
4.4.3.1. Takım malzemesi	60
4.4.3.2. Takım dönme hızı ve kaynak hızı	60
4.4.3.3. Takım omuz çapı	61
4.4.3.4. Takım geometrisi.....	61
4.4.4. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı makinaları.....	63
4.4.5. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulandığı malzemeler.....	65
4.4.6. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulanma alanları.....	65
4.5. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Uygulaması Üzerine Yapılan Çalışmalar	66

BÖLÜM 5. ÇALIŞMANIN AMACI VE PLANLANMASI.....	70
BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	72
6.1. Genel	72
6.2. DeneY Malzemesi	72
6.3. DeneY Parçalarının Boyutları	73
6.4. Kaynak Öncesi Yapılan İşlemler.....	73
6.5. Kaynak İşlemlerinin Yapılışı	74
6.5.1. Elektrik direnç nokta kaynağı yönteminin uygulanması.....	74
6.5.1.1. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrod.....	76
6.5.1.2. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan kaynak parametreleri.....	76
6.5.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminin uygulanması.....	76
6.5.2.1. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminde kullanılan takım geometrisi..	79
6.5.2.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminde kullanılan kaynak parametreleri	80
6.6. DeneY Numunelerinin Hazırlanma Esasları	80
6.7. Mekanik DeneYlerin Yapılışı	80
6.7.1. Çekme deneYleri.....	80
6.7.2. Metalografik inceleme deneYleri.....	81
BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	82
7.1. Genel	82
7.2. Çekme DeneYi Sonuçları.....	83
7.3. Metalografik İnceleme Sonuçları	84
7.4. DeneY Sonuçlarının İrdelenmesi	85
7.4.1. Çekme deneY sonuçlarının irdelenmesi.....	85
7.4.2. Bağlantıların makro yapılarının incelenmesi..	88
7.4.3. Mikro sertlik inceleme sonuçlarının irdelenmesi	90
7.4.4. Mikro yapı inceleme sonuçlarının irdelenmesi	91
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı kullanılarak üretilmiş Mazda RX-8'in yan kapı paneli ve noktaların görünüşü.....	2
Şekil 3.1: Alüminyumun hidrojen çözünebilirliği	22
Şekil 3.2: 6 mm kalınlığında TIG kaynaklı parçada, çok ince dağılmış gözenekler	22
Şekil 3.3: Köşe kaynağında alüminyum oksit filmi	23
Şekil 4.1: Başlıca direnç kaynağı usullerinin şematik olarak gösterilmesi.....	29
Şekil 4.2: Pnömatik basma tertibatlı bir nokta kaynağı makinasının prensip şeması ...	31
Şekil 4.3: Nokta kaynak dikişinin geometrisi	32
Şekil 4.4: Temas dirençleri ve kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımı.....	33
Şekil 4.5: Nokta kaynağı işleminin çeşitli safhalarının sırasıyla şematik olarak gösterilmesi	34
Şekil 4.6: Nokta kaynağında kullanılan standard elektrod uçları	35
Şekil 4.7: Nokta kaynağında akım ve kaynak süresine bağlı olarak çizilebilen kaynak edilebilirlik diyagramı	40
Şekil 4.8: Nokta kaynağı işleminde sıcaklık dağılımı	46
Şekil 4.9: Alüminyum alaşımlarında plastik alan	47
Şekil 4.10: Elektrod uçlarının temizlenmesi	48
Şekil 4.11: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı prensibi	56
Şekil 4.12: Japon otomobil üreticisi kuruluş tarafından geliştirilen FSSW yönteminin spor model bir otomobilin gövde panellerinin ve arka kapılarının sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanımı	57
Şekil 4.13: FSSW yönteminde takım baskı kuvveti kontrolü çevrim diyagramı.....	58
Şekil 4.14: FSSW yönteminde takım yerdeğişimi çevrim diyagramı.....	59
Şekil 4.15: Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan farklı omuz biçimleri	61
Şekil 4.16: FSSW kaynağı yönteminde kullanılan takımlardan örnekler	61
Şekil 4.17: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi ile elde edilen kaynak görüntüsünün üst ve alttan görüntüsü	62
Şekil 4.18: Alışılmış FSSW yöntemiyle ortaya çıkan noktanın kaynak bölgesi.....	62
Şekil 4.19: Bir Amerikan kuruluşunca geliştirilen C- çerçeve robotik sürtünme karıştırma nokta kaynak makinası.....	63
Şekil 4.20: Japonya'da geliştirilerek patenti alınan robotik FSSW makinası.....	64
Şekil 4.21: Bir Amerikan kuruluşunca geliştirilen tezgah üstü kaynak işlemleri yapabilen robotik FSSW makinası.....	64
Şekil 4.22: FSSW kaynağı kullanılarak üretilmiş otomobil parçaları.....	66
Şekil 4.23: AA 5754 Alüminyum alaşımı sacların FSSW yöntemiyle kaynatılması sonucu makro yapı ve mikro yapı görüntüsü paneli	68
Şekil 4.24: 6111-T4 Alüminyum alaşımı numunede takım dalma derinliğine bağlı kaynak çevresindeki incelenmesi.....	69
Şekil 4.25: 6111-T4 Alüminyum alaşımı numuneye ait mikro yapı görüntüsü.....	69

Şekil 4.26: 7075-T6 Alüminyum alaşımı numuneye ait mikro yapı görüntüsü.....	69
Şekil 6.1: Bindirme pozisyonunda kaynaklı deney parçası boyutları	73
Şekil 6.2: Malzemenin zımparalanarak temizlenmesi	74
Şekil 6.3: Malzemenin mirlonlanarak temizlenmesi.....	74
Şekil 6.4: Malzemenin elektrik direnç kaynağı uygulaması	75
Şekil 6.5: Hiçbir işlem görmemiş piyasa durumunda AW 5754 alüminyum alaşımı direnç nokta kaynağı görüntüsü	75
Şekil 6.6: Yüzeyi zımparalanarak pürüzlendirilmiş durumda AW 5754 alüminyum alaşımı direnç nokta kaynağı görüntüsü.....	76
Şekil 6.7: Kaynak işleminde kullanılan freze tezgahı ve kaynak edilecek parçaların freze tezgahına bağlanması	77
Şekil 6.8: Sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulanması	78
Şekil 6.9: 1,4 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı görüntüsü	78
Şekil 6.10: 1,5 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı görüntüsü	79
Şekil 6.11: Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan takımlar	79
Şekil 6.12. DEVOTRANS marka çekme cihazı	81
Şekil 7.1: Elektrik direnç nokta kaynağı uygulanmış AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere ait makro yapı görünüşü	84
Şekil 7.2: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulanmış AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere ait makro yapı görünüşü	85
Şekil 7.3: Esas metal, RSW-1 ve RSW-2'nin kesme makaslama yükü değişimi	86
Şekil 7.4: Esas metal, FSSW-1 ve FSSW-2'nin kesme makaslama yükü değişimi	87
Şekil 7.5: Esas metal, RSW-1, RSW-2, FSSW-1 ve FSSW-2 kaynak bağlantılarının kesme makaslama yükü değişimi	88
Şekil 7.6: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı kesiti ve kaynak bölgesi	89
Şekil 7.7: Elektrik direnç nokta kaynağı kesiti ve kaynak bölgesi	90
Şekil 7.8: AW 5754 Alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma nokta kaynağına ait sertlik tarama sonuçları	90
Şekil 7.9: AW 5754 Alüminyum alaşımının elektrik direnç nokta kaynağına ait sertlik tarama sonuçları	91
Şekil 7.10: FSSW uygulanmış numunenin mikro yapı görüntüsü.....	92
Şekil 7.11: RSW uygulanmış numunenin mikro yapı görüntüsü.....	93

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1: Alüminyumun genel özellikleri.....	6
Tablo 2.2: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ürün biçimleri ve uygulama alanlarının malzeme türüne göre sınıflandırılması.....	8
Tablo 2.3: Alüminyum birliği tarafından geliştirilen standardizasyona göre dövme alüminyum alaşımlarının simgelenmesi.....	9
Tablo 2.4: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının temel ısı (temperleme) işlemlerinin gösterimi	11
Tablo 2.5: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının H (sertleştirme) işlemlerinin alt bölümlerinin gösterimi	11
Tablo 2.6: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının T (ısı işlem) işlemlerinin alt bölümlerinin gösterimi.....	12
Tablo 2.7: Alüminyum Birliği standardlarına göre döküm alüminyum alaşımlarının simgelenmesi	16
Tablo 2.8: ISO'ya göre standardize edilen kaynak edilebilir alüminyum döküm alaşımları ve uygulama alanları	17
Tablo 4.1: Alüminyum alaşımlarının erime sıcaklığı ve direnç kaynağı kabiliyetleri	45
Tablo 4.2: Alüminyum sacların nokta kaynağı için önerilen bindirme uzunlukları, nokta aralıkları ve nokta sıraları.....	53
Tablo 6.1: Deney malzemesinin kimyasal bileşimi.....	72
Tablo 6.2: Deney malzemesinin mekanik özellikleri.....	72
Tablo 7.1: Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa durumundaki) numunelere ait kesme makaslama yükü değişimi	83
Tablo 7.2: Yüzeyi zımparalanarak pürüzlendirilmiş numunelere ait kesme makaslama yükü değişimi.....	83
Tablo 7.3: 1,4 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağına ait kesme makaslama yükü değişimi.....	83
Tablo 7.4: 1,5 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağına ait kesme makaslama yükü değişimi.....	84

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN 5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI SAÇLARIN DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI (RSW) VE SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI (FSSW) YÖNTEMLERİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Barbaros KAHRAMAN

Anahtar Kelimeler: Alüminyum ve alüminyum alaşımları, Basınç kaynak yöntemleri, Direnç nokta kaynağı (RSW), Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW), Mekanik özellikler.

Özet: Otomotiv endüstrisinde alüminyum ve alüminyum alaşımların kullanımı sürekli artmaktadır. Çeşitli alüminyum ve alüminyum alaşımları otomobil bagaj kapağı, motor kapağı, gibi elemanların üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca tüm gövdenin alüminyum ve alüminyum alaşımlarından üretildiği otomobil modelleri bulunmaktadır. Bu sayede, otomobil gövde ağırlığı düşürülmekte ve araç yakıt tasarrufu sağlanmaktadır.

Bu çalışmada 1 mm kalınlığında alüminyum alaşımı AW 5754 sac kullanılmıştır. Sac çiftleri endüstriyel koşullarda önce direnç nokta kaynağı (RSW) sonra sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemleri ile birleştirilmişlerdir. Elde edilen bağlantıların kaynak bölgelerinin metalurjik ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Sonuç olarak, sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yapılan 5754 alaşımı bağlantıların mekanik özelliklerinin direnç nokta kaynağı (RSW) yapılan bağlantıların mekanik özelliklerinden daha iyi oldukları görülmüştür.

JOINING OF 5754 ALUMINIUM ALLOY SHEETS, USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY, THROUGH RESISTANCE SPOT WELDING (RSW) AND FRICTION STIR SPOT WELDING (FSSW)

Barbaros KAHRAMAN

Key Words: Aluminium and aluminium alloys, pressure welding methods, resistance spot welding (RSW), friction stir spot welding (FSSW), mechanical properties.

Abstract: The use of aluminium and aluminium alloys in the automotive industry is consistently increasing. Various aluminium and aluminium alloys have been used in the production of parts such as automobile decklids and hoods. Besides, there are automobile models whose whole body are made of aluminium and aluminium alloys. In this way, automobile body weight could be reduced and vehicle fuel economy could be obtained.

In this study, aluminium alloy AW 5754 (1 mm. thickness) sheet is used. Sheet couples are joined firstly with resistance spot welding method and then with friction stir spot welding method in industrial conditions. Metallurgic and mechanical properties of joints' source region are also investigated in this study.

As a result, it is observed that when applied to aluminium alloy 5754, friction stir spot welding (FSSW) joints are superior to resistance spot welding (RSW) in terms of mechanical properties.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Basınç kaynak yöntemlerinden elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi kaynak edilecek sac kalınlığına bağlı olarak oldukça hızlı bir kaynak yöntemidir. Yüksek üretim kapasitesine sahip birleştirme hatlarında kolaylıkla kullanılabilmesi ve otomasyona yatkınlığı dolayısıyla otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım olanağı bulmuştur. Nokta kaynağı yöntemi, ilave malzeme kullanılmadığından sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetiklik, özel beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle günümüz endüstrisinde büyük ölçüde kullanılmaktadır (Eryürek, 1982).

Son yıllarda yakıt tasarrufunun çok önemli hale gelmesi sonucu araç toplam kütlelerini azaltmaya yönelik girişimlerde bulunulmuştur. Bu girişimde Audi firması A8 modelinin kaporta imalatında alüminyum alaşımları kullanmıştır. Ancak yumuşak bir malzeme olan alüminyum alaşımının kaporta imalatında kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak edilmesinde yaşanan güçlükler otomotiv kaportasında alüminyum alaşımlarının yaygın olarak kullanılmasını geciktirmiştir (Çam, 2007).

Ancak son yıllarda elektrik direnç nokta kaynağına alternatif olarak geliştirilmiş olan ve alışılmış sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) yönteminden yola çıkılarak geliştirilen sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemi, kaynak teknolojisi konusundaki son gelişmelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yöntem, nokta sürtünme kaynağı (Spot Friction Welding- SFW) veya sürtünme nokta birleşirmesi (Friction Spot Joining- FSJ) olarak da adlandırılmaktadır (Badarinarayan ve diğ, 2007).

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi, ilk olarak literatüre 2000 yılında girmiş ve 2001 yılında temel prensibi hakkındaki ilk rapor yayımlanmıştır. Bu yöntem 1999 yılında bir Japon otomobil kuruluşu olan Mazda tarafından geliştirilmiş ve daha sonra patenti alınarak ve literatür de yayımlanarak dünyaya

tanıtılmıştır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ilk defa 2003 yılında Mazda RX-8'in yan kapı panel nokta kaynağında kullanılmıştır (Şekil 1.1) (Badarinarayan ve diğ, 2007).



Şekil 1.1: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı kullanılarak üretilmiş Mazda RX-8'in yan kapı paneli ve noktaların görünüşü (Kaluç ve Taban, 2007b).

Son yıllarda otomotiv sektöründe alışılmış çelik sacların yerine otomobil kapı yapımında, bagaj kapağı, motor kapağı gibi arabanın birçok bölgesinde alüminyum alaşımları gibi daha hafif malzemelerin kullanılması ile gövde ağırlığını azaltılmıştır (Badarinarayan ve diğ, 2007).

Sürtünme karıştırma nokta kaynağının (FSSW), direnç nokta kaynağı (RSW) uygulamasına göre birçok üstünlükleri bulunmaktadır. Bunlar; maliyetinin %90 daha tasarruflu olması, daha yüksek mekanik özellikler elde edilmesi, metal buharı çıkışının olmaması, kaynak yapılan noktalar arasının daha dar olması, levhalar arası ısı girdisinin çok düşük olmasından dolayı çarpılmaların yok denecek kadar düşük seviyede olması sayılabilir (Çam, 2007).

Dolayısı ile yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı alüminyum ve alüminyum alaşımlarının son yıllarda otomobil gövde üretimi ve otomobil parçalarının seri üretiminde kullanılmakta olması bu çalışmanın bu malzemelerde kullanılan kaynak yöntemleri ile birleştirilmelerinin araştırılmasına ve bağlantı

performanslarının incelenmesine dönük planlanmasına öncü olmuştur. Bu çalışmada otomobil parçası olarak kullanılan EN AW 5754-O (AlMg3) alüminyum alaşımı parçalar ayrı ayrı elektrik direnç nokta kaynak (RSW) yöntemiyle ve elektrik direnç nokta kaynağına alternatif bir yöntem olarak geliştirilen sürtünme karıştırma nokta (FSSW) kaynağı yöntemiyle kaynak edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini incelemek üzere çekme deneyine tabi tutulması, kaynak bölgelerinin metalurjik dönüşümlerinin görülmesi için metalografik olarak incelenmesi ve incelemelerde makro ve mikro yapı incelemeleri yapılması amaçlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaynak bölgelerinin Vickers sertlik taraması yapılmıştır. Böylece elektrik direnç nokta kaynağı (RSW) ve sürtünme karıştırma nokta kaynağıyla (FSSW) oluşturulan bağlantıların mekanik özelliklerinin karşılaştırılması, metalurjik dönüşümleri ve sertlik taraması sonuçlarının ülke endüstrisine ve bilim camiasına aktarılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyumun Elde Edilmesi ve Genel Özellikleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, günümüzde çelikten sonra en çok tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir. Alüminyum, yer kürede, oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmakla birlikte kullanım alanlarının yaygınlaşmasında savunma, otomotiv ve havacılık endüstrilerinin büyük bir katkısı olmuştur (Kaluç ve Taban, 2007a).

Alüminyum, her ne kadar yer kabuğunda en fazla bulunan metalsel element ise de, sürekli olarak bileşik durumunda bulunur ve elde edilmesi güç bir metaldir. Bunun nedeni alüminyum içeren minerallerin genellikle karmaşık ve kararlı yapıda olmasıdır. Bu minerallerden alüminyum metalinin indirgenmesi için çok yüksek enerji ve yüksek sıcaklık gereklidir. 18. yy.'ın sonları ile 19. yy.'ın başlarında Berzelius, Dalton, Davy, Lavoisier ve Oersted gibi ünlü bilim adamları alüminyum bileşikleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. 1807 yılında Sir Humphrey Davy bu bileşiklerin içerisinde bir metal bağlı olduğunu ileri sürmüştü ve buna "alüminyum" adını vermiştir. 1821'de Fransa, Les Baux'ta alüminyum üretiminin temel hammaddesi olan cevher bulunmuş ve yörenin adına dayanarak buna "boksit" adı verilmiştir. Daha sonra, 1825'de Hans Cristian Oersted, metal alüminyum üretimi için önemli bir bileşik olan alüminyum klorid bileşiğini hazırlamayı başarmıştır. Bundan iki yıl sonra, 1827'de Friedrich Wöhler bu bileşiğin potasyum ile reaksiyonu sonucu ilk metal alüminyumu kimyasal yollarla elde etmeyi başarmıştır. Alüminyumun endüstriyel çapta elde edilmesi ancak 1886'da ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul L.T. Heroult tarafından birbirlerinden habersiz ve hemen hemen aynı zamanlarda patenti alınarak özel elektroliz yöntemi ile olanaklı olmuştur (Taban, 2004).

Doğada birçok tür alüminyum cevheri bulunmasına karşın, alüminyum elde edilmesinde günümüzde % 55-65 Al_2O_3 içeren ve boksit adı verilen bir cevher kullanılmaktadır. Bu cevher önce yabancı madde olarak içerdiği Fe_2O_3 ve SiO_2 'den arındırılır. Bunun için, cevher kızgın NaOH buharıyla tepkimeye sokulur ve alüminyum oksit suda çözünebilir $NaAlO_2$ 'a dönüşür ve bir filtrasyon veya flotasyon işlemi ile demir ve silisyum bileşikleri cevherden temizlenir. Elde edilen çözelti içinde alüminyum, alüminyum hidroksit durumunda kristalize edilir ve sonra suyu uçurularak saf alümina (Al_2O_3) elde edilir (Taban, 2004).

Alüminyumun, oksijene olan ilgisi, karbonunkinden daha büyük olduğundan burada demir cevherleri durumunda olduğu gibi karbonla redüklemeye yapılamaz. Bunun için elektroliz uygulanır. Elektrolizi gerçekleştirebilmek için bu oksitin ergitilmesi veya çözelti konumuna getirilmesi gereklidir. Alümina $2050^\circ C$ 'de ergir, bu nedenle ergitme yöntemi kullanılamaz. Alümina bir başka alüminyum cevheri olan "kriyolit" içinde çözünebilmektedir ve kriyolit de $950^\circ C$ civarında sıvı duruma geçmekte ve alüminayı çözebilmektedir. Karbon astarlı özel elektroliz fırını içinde kriyolit ergitilir ve sonra alümina eklenerek çözelti elde edilir ve karbon anodlar kullanılarak elektroliz gerçekleştirilir. 5 V'luk bir gerilim uygulandığında Al_2O_3 parçalanırken, kriyolit değişime uğramaz ve alüminyum katod olarak kullanılan banyonun dibinde birikir ve buradan dışarı alınır ve banyoya sürekli alümina eklenir. Bu yöntemde enerji sarfiyatı 1 kg alüminyum için 17 kWh gibi oldukça yüksektir. Bu durum alüminyumun fiyatını etkilemektedir (Taban, 2004).

Bilim adamları alüminyumun elde edilmesiyle yeni bir metal türünün ortaya çıkmasının birçok problemi çözebileceğini düşünmüşlerdir. Başlangıçta az miktarda ve fazla enerji tüketilerek oldukça pahalıya üretilen alüminyum, altından daha değerli bir metal konumuna gelmiştir. İlk olarak Danimarkalı General VII. Frederik'in miğferinde kullanılan alüminyum, Fransa'da III. Napoleon'un ve diğer imparatorların saray mutfaklarında kullanılan lüks bir eşya olmuş ve yıllarca imparatorların hatırlı misafirlere ziyafet sofralarında tencere, tabak ve kadehlerin yapımında kullanılmıştır (Taban, 2004).

Alüminyumun en önemli özellikleri olarak; özgül ağırlığının düşük olması, elektriği ve ısıyı çok iyi bir şekilde iletmesi, çok yumuşak ve sünek olması ile bazı alaşımlarının çökelme yolu ile sertleştirilebilmesi sayılabilir. Alüminyum genel özellikleri Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Alüminyum, atmosfer ile teması sonucunda üzerinde oluşan ince fakat yoğun ve refrakter karakterli oksit tabakasından (Al_2O_3) ötürü havanın ve çeşitli kimyasal maddelerin korozyon etkilerine karşı dirençlidir. Bu tabaka su ile yıkanarak çıkarılamaz. Alüminyum ne kadar safsa o derece yüksek elektriksel iletkenlik ve korozyon mukavemetine sahip olmaktadır (Kaluç ve Taban, 2007a).

Tablo 2.1: Alüminyumun genel özellikleri (Taban, 2004).

Atom ağırlığı	26.97
Kristal kafes yapısı	KYM
Yoğunluğu (20°)	2.70
Ergime sıcaklığı	659.8 °C
Özgül ısı	0.2259 cal/g °C
Ergime ısı	93 cal/g
Isıl genişleme katsayısı	23.8. 10 ⁻⁶ /°C
Elektrik direnci (20°C)	2.699 $\mu\Omega$.cm
Isıl iletkenliği (20°C)	0.52 cal.cm/cm ² .s.°C
Çekme mukavemeti	400- 900 N/mm ²
Akma mukavemeti	100-300 N/mm ²
Sertlik (HB₂₅)	120-200
Elastiklik modülü	72 000 N/mm ²
Kopma uzaması	% 35- 45
Katılaşmada kendini çekme	% 1.7...1.8
Sıvılaşmada hacimsel büyüme	% 6.5

Alüminyum saflık derecesine göre sınıflandırılır. Mekanik özellikleri Si, Fe, Ti, Cu ve Zn gibi elementlerin etkisi ile yükselmesine karşın kimyasal maddelere karşı olan direnci azalır. Mekanik özellikler alüminyuma uygulanan şekil verme işlemine bağlı olarak büyük ölçüde değişir.

Gıda ve elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyum % 99.99 safiyet derecesindedir; alüminyum borular ve saclar % 99.5 ile 99.8 ve bazı durumlarda da % 99-98 seviyesinde saftır. Bu tür alüminyumda geri kalan kısım genellikle katışkı olarak bulunan silisyum ve demirden oluşmaktadır.

Alüminyumun bileşiminde katışkı olarak bulunan demir, özelliklerini belirgin bir şekilde etkilemez, buna karşın alüminyum 250-350°C de tavlanır ise, katı çözeltili durumunda bulunan silisyum ayrışır ve bu sıcaklığın üstünde tekrar katı çözeltili durumuna geçer. Silisyumun ayrışması ile alüminyumun mukavemeti oldukça azalır, bu bakımdan bu sıcaklık derecelerinin üzerinde bir sıcaklığa kadar tavlanmış olan silisyum içeren alüminyum alaşımları, soğuma sırasında bu aralığı hızlı geçmelidir, örneğin kaynaktan sonra parça suya sokularak hızla soğutulmalıdır.

Alüminyum % 99.0- 99.5- 99.8- 99.99 safiyet derecelerinde üretilir; % 99.99 saflıktaki alüminyum yüksek nitelikte saf alüminyum olarak tanımlanır ve burada fiziksel ve mekanik özellikler belirli bir şekilde kendini gösterir. Bu alüminyum yumuşaktır ve kolay işlenebilir, ısı ve elektriği iyi iletir, ışığı iyi yansıtır ve korozyona karşı çok dirençlidir (Taban, 2004).

Günümüzde, alüminyum mutfak eşyaları, bina kaplamaları, elektrik iletkenleri üretiminde, kimya ve gıda endüstrisinde saf alüminyum, makina imalat, havacılık ve taşıt endüstrisinde de alüminyum alaşımları yaygın bir kullanma alanına sahiptir. Alüminyum ve alaşımlarının başlıca endüstriyel kullanım alanları Tablo 2.2'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ürün biçimleri ve uygulama alanlarının malzeme türüne göre sınıflandırılması (Mathers, 2002)

Alüminyum Alaşımı	Ürün Biçimi	Uygulama Alanı
Saf alüminyum	Folyo, haddelenmiş levha, ekstrüzyon ürünleri.	Ambalaj malzemesi ve folyo, çatı kaplama, zırhlama, düşük mukavemetli korozyona dirençli kazan ve depolama tankları yapımı.
2000 serisi (Al-Cu alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Çok yüksek zorlanmaya maruz parçalar, havacılık ve uzay araçlarında kullanılan yapısal elemanlar, ağır dövme parçalar, taşıt tekerlek jantları, silindir kafaları, pistonlar.
3000 serisi (Al-Mn alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Ambalaj malzemesi, çatı kaplama ve zırhlama, kimyasal madde varilleri ve tankları, kimyasal madde ve gıda taşıma ekipmanları.
4000 serisi (Al-Si alaşımları)	Tel, döküm parçalar.	Kaynak telleri, silindir kafaları, motor blokları, supap gövdeleri, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
5000 serisi (Al-Mg alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar, içi boş elemanlar ve borular.	Zırhlama, kazan ana yapı levhaları, güçlü yapı elemanları, yapısal elemanlar, kazanlar ve depolama tankları, otomobil, tren vagonu, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
6000 serisi (Al-Si- Mg alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar, içi boş elemanlar ve borular.	Yüksek mukavemetli yapı elemanları, otomobil, tren vagonu, deniz taşıtları ve deniz üstü yapı elemanları, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
7000 serisi (Al-Mg- Zn alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Yüksek mukavemetli yapı elemanları, uçaklarda kullanılan kalın kesitli dövme parçalar, askeri köprüler, zırh levhaları, ağır taşıt ve vagonlarda kullanılan ekstrüzyon ürünleri.

2.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması, Standard Gösterimleri ve Uygulanan Sertleştirme İşlemlerine Göre Simgelendirilmesi

Alüminyum alaşımları, alaşım elementlerinin çok farklı etkileri dolayısı ile birbirinden çok farklı özelliklere sahiptirler ve Bunlar dövme ve döküm alüminyum alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar (Kaluç ve Taban, 2007a).

2.2.1. Dövme alüminyum alaşımları

Bu türe giren alaşımlar Cu, Mg, Mn, Si ve Ni gibi elementler içerirler; çoğu kez önce sürekli döküm yöntemi ile blok biçiminde elde edildikten sonra, homojenleştirme tavı uygulanır, haddeleme veya ekstrüzyon ile biçimlendirilirler. Döküm yapısında tane sınırlarında oluşan sürekli gevrek fazlar, şekillendirme sırasında parçalanır ve ana kütleye dağılır ve böylece alaşım soğuk şekillendirmeye uygun duruma geçer.

Dövme alüminyum alaşımlarının simgelenmesi ve standardizasyonu ilk olarak sistematik biçimde 1954 yılında Alüminyum Birliği tarafından gerçekleştirilmiştir. Burada dört numaralı bir tanımlama sistemi kullanılır (Tablo 2.3). Bu sistem günümüzde hala geçerli olan bir sistemdir ve gerek Amerikan gerekse de Avrupa standartlarının temelini oluşturur (Kaluç ve Taban 2007a).

Tablo 2.3: Alüminyum Birliği tarafından geliştirilen standardizasyona göre dövme alüminyum alaşımlarının simgelenmesi (Taban, 2004).

Alüminyum Birliği No.	Başlıca Alaşım Elementi
1xxx	Min. %99.0 veya daha fazla alüminyum
2xxx	Bakır
3xxx	Mangan
4xxx	Silisyum
5xxx	Magnezyum
6xxx	Magnezyum ve Silisyum
7xxx	Çinko
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Kullanılmayan seriler

1xxx, 3xxx ve 5xxx serisi dövme alüminyum alaşımları ısıtılma işlemi uygulanamayan ve sadece şekil değişimiyle sertleştirilebilirler. 2xxx, 6xx ve 7xxx serisi dövme alüminyum alaşımları ise ısıtılma işlemi tabi tutulabilirler. 4xxx serisi hem ısıtılma işlemi tabi tutulabilir hem de ısıtılma işlemi tabi tutulamaz alaşımlar içerir.

Isıl işleme tabi tutulabilir alaşımlar, en yüksek mekanik özelliklerini en genel olarak çözeltiye alma ısıl işlemi veya yapay yaşlandırma ısıl işlemleri ile kazanırlar. Çözeltiye alma ısıl işleminde alaşım, çözelti (solution) içine alaşım elementleri veya bileşik katmak için yaklaşık 532°C 'ye kadar ısıtılır, arkasından hızlı soğutma gelir, bu işlem; oda sıcaklığında aşırı doymuş çözelti sağlamak için genelde su içinde yapılır. Genellikle bunu, yaşlandırma ısıl işlemi takip eder.

Yaşlandırma; istenen akma özellikleri için, aşırı doymuş çözülden bir miktar element veya bileşiğin çökertilmesidir. İki yaşlandırma yöntemi vardır; ilki; oda sıcaklığında yapılan doğal yaşlandırma olarak adlandırılan yöntem, diğeri ise; yüksek sıcaklıklarda yapılan yapay yaşlandırmadır. Yapay yaşlandırma sıcaklıkları genel olarak yaklaşık 160°C dir. Çözeltiye alma ısıl işlemi ve yapay yaşlandırma koşulları içinde, bir çok ısıl işleme tabi tutulabilir alüminyum alaşımları kaynaklı üretim için kullanılır.

Isıl işleme tabi tutulamayan alaşımlar en yüksek mekanik özelliklerini, soğuk şekillendirme yoluyla mukavemeti artırma yöntemi olan şekil değiştirme sertleştirmesi ile kazanırlar.

6061-T6, 6063-T4, 5052-H32 alaşımlarının gösteriminde olduğu gibi alaşım numaralama sistemini ısıl işleme bir tire ile birleştiren, serilerin harflerini alaşım gösterim numarasının takip ettiği sistemdir ve bu gösterim tüm standartlarda aynıdır (Kaluç ve Taban 2007a).

Tablo 2.4: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının temel ısıl (temperleme) işlemlerinin gösterimi (Kaluç ve Taban 2007a).

Harf	Anlamı
F	Üretim- Ürünlerde hiç bir özel ısıl kontrol veya sertleştirme koşulları kullanılmayan şekillendirme sistemi
O	Tavlama- Uygulanan tav, en düşük mukavemet koşullarını, süneklik ve boyutsal kararlılığı sağlamak için uygulanır.
H	Şekil değiştirme sertleştirme- soğuk şekillendirme ile üretilen ürünlere uygulanır. Şekil değiştirme sertleşmesini, mukavemeti bir miktar düşüren ek ısıl işlem uygulanması takip eder. H' 1 genelde iki veya daha çok sayı takip eder.
W	Çözeltiye alma ısıl işlemi- kararlı olmayan alaşımlara yalnızca çözeltiye alma tavlamasından sonra oda sıcaklığında kendiliğinden yaşlanmayı sağlayan tav uygulanır.
T	Isıl işlem- F, O, H' dan daha kararlı tav sağlamak içindir. Ürünlere tav uygulaması bazen sabit sertlik derecesi sağlamak için şekil değiştirme sertleştirme ile birlikte uygulanır.

Tablo 2.5: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının H (sertleştirme) işlemlerinin alt bölümlerinin gösterimi (Kaluç ve Taban 2007a).

<p>H' dan sonraki ilk rakam temel işlemi tanımlar.</p> <p>H1— Sadece Şekil Değiştirme Sertleştirme H2— Şekil Değiştirme Sertleştirme ve Yapay Yeniden Kristalleştirme H3— Şekil Değiştirme Sertleştirme ve Yapı Dengeleme H4— Şekil Değiştirme Sertleştirme ve Parlatma veya Boyama</p> <p>H' dan sonraki ikinci harf şekil değiştirme sertliğinin derecesini tanımlar.</p> <p>HX2— Dörtte bir HX4— Yarım Sert HX6— Üç-çeyrek Sert HX8— Tam Sert HX9— Çok Sert</p>

Tablo 2.6: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının T (ısıtıl işlem) işlemlerinin alt bölümlerinin gösterimi (Kaluç ve Taban 2007a).

- T1-** Ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıkta şekil verilmiş parçalar soğutulduktan sonraki doğal yaşlandırma
T2- Yüksek sıcaklıkta şekil verme soğutmasından sonra soğuk şekillendirme ve ardından doğal yaşlandırma
T3- Çözeltiye alma ısıtıl işlemi, soğuk şekillendirme ve doğal yaşlandırma
T4- Çözeltiye alma ısıtıl işlemi ve doğal yaşlandırma
T5- Yüksek sıcaklıkta şekil verme soğutmasından sonra yapay yaşlandırma
T6- Çözeltiye alma ısıtıl işlemi ve yapay yaşlandırma
T7- Çözeltiye alma ısıtıl işlemi ve stabilizasyon (aşırı yaşlandırma)
T8- Çözeltiye alma ısıtıl işlemi, soğuk şekillendirme ve yapay yaşlandırma
T9- Çözeltiye alma ısıtıl işlemi, yapay yaşlandırma ve soğuk şekillendirme
T10- Yüksek sıcaklıkta şekil verme soğutmasından sonra soğuk şekillendirme ve sonra yapay yaşlandırma

Eklenen numaralar gerilme gidermeleri tanımlar.

Örnek:

TX51 veya **TXX51-** Çekme ile gerilim giderme

TX52 veya **TXX52-** Basma ile gerilim giderme

2.3 Dövme Alüminyum Alaşımlarının Türlerinin İncelenmesi

1xxx serisi alaşımlar

Bu seri en yüksek 70-190 N/mm²'lik çekme mukavemetli, ısıtıl işleme tabi tutulmaz seridir. Bu seri genelde saf alüminyum serisidir, zira bu seriden en az %99,0 alüminyum içeriğine sahip olması istenir. Bu alaşımlar kaynak edilebilir, ancak dar ergime bölgesi nedeniyle uygun kaynak prosedürleri uygulanması önemle istenir. Üretim için, bu alaşımlar, özellikle kimyasal madde tankları ve boru hatları gibi yüksek korozyon direnci gerektiren uygulamalarda veya elektrik iletim hatları gibi yüksek elektrik iletkenliği gereken uygulamalarda seçilir. Bu alaşımlar gerçekte düşük mekanik özelliklere sahiptir ve nadiren yapısal uygulamalarda kullanılır. Bu esas metaller genelde uygulama ve mekanik özellik gereksinimlerine bağlı olarak benzer ek kaynak metali veya 4xxx serisi ek kaynak metalleri ile kaynak edilirler.

2xxx serisi alaşımlar

Bu serinin üyeleri ısıl işleme tabi tutulabilir ve 186 ile 428 N/mm²'ye kadar çekme mukavemetine sahiptir. Bu alaşımlar alüminyum / bakır alaşımlarıdır (toplam bakır oranı %0,7'den %6,8'e kadardır) ve yüksek mukavemet, yüksek performans alaşımları genellikle uzay ve havacılık uygulamalarında kullanılır. Bu alaşımlar geniş sıcaklık alanları üzerinde yüksek mukavemete sahiptir.

Bu alaşımlardan bazıları sıcak çatlama ve gerilmeli korozyon çatlağı hassasiyeti nedeniyle ark kaynak yöntemleri ile kaynak edilemezler, ancak diğerleri uygun kaynak yöntemi kullanarak başarıyla kaynak edilirler. Bu esas metaller genelde yüksek mukavemetli performanslarına uygun düşünölmüş 2xxx serisi ek kaynak metalleriyle kaynak yapılır, ancak bazı uygulama ve istenen çalışma isteklerine uygun 4xxx serisi silisyum ve silisyum-bakır içeren ek kaynak metalleri ile de kaynak edilebilirler.

3xxx serisi alaşımlar

Bu ısıl işleme tabi tutulamayan seri, 110-283 N/mm²'lik çekme mukavemetine sahiptir. Bunlar alüminyum / mangan alaşımlarıdır (toplam mangan oranı %0,05'ten %1,8'e kadardır). Bu alaşımlar iyi korozyon dirençli ve yüksek sıcaklıkta kullanım için uygunlukla birlikte orta mukavemetlidir. Bu alaşımların bazı kullanım alanları tencere ve tava yapımıdır, bugün arabalardaki ısı eşanjörleri ve güç üniteleri için temel bileşen bu alaşımlardır. Orta mukavemetleri genellikle mukavemetli uygulamalar için kullanımına engel olmaktadır. Bu esas metaller, kimyasal bileşimleri, çalışma isteklerine bağılı olarak lxxx, 4xxx ve 5xxx serisi ek kaynak metalleri ile kaynak edilebilir.

4xxx serisi alaşımlar

Yalnızca bu seri hem ısıl işleme tabi tutulabilir hem ısıl işleme tabi tutulamayan alaşımlar içermektedir. Bu alaşımlar 172-379 N/mm²'lik çekme mukavemetine sahiptir. Bunlar alüminyum / silisyum alaşımlarıdır, (toplam silisyum oranı %0,6'dan %21,5'e kadardır) Silisyum alüminyuma eklendiğinde

ergime sıcaklığını yükseltir ve ergimiş durumdaki akışkanlığını iyileştirmiş olur. Bu karakteristikler, tüm ergitme kaynakları ve lehimlemenin her ikisi içinde kullanılan ek kaynak metalleri için istenir. Bundan dolayı bu seriler, çoğunlukla ek kaynak metali olarak kullanılırlar. Alüminyum içindeki serbest silisyum ısıtılma tabii tutulamaz, bunun yanında silisyum alaşımlarının bazıları onlara ısıtılma tabii tutulabilme yeteneği sağlayan magnezyumla veya bakırla birlikte bulundurulur. Örneğin, bu ısıtılma işlemi uygulanabilir ek kaynak metalleri yalnızca kaynak sonrasındaki ısı uygulamalarına bağılı olarak seçilerek kullanılırlar.

5xxx serisi alaşımlar

Bu ısıtılma tabii tutulamayan seri 124-352 N/mm²'lik çekme mukavemetine sahiptir. Bunlar alüminyum - magnezyum alaşımlarıdır (toplam magnezyum oranı %0,2'den %6,2'ye kadardır) ve ısıtılma tabii tutulamayan alaşımlar içinde en yüksek mukavemete sahiptir.

Bu alaşımlar; kolay kaynak edilebilirliği nedeniyle gemi yapımı, taşımacılık, basınçlı kaplar, köprüler ve binalar gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar.

Magnezyum alaşımları genellikle esas metal içindeki magnezyuma, kaynak dikiş bileşimine ve çalışma koşullarına bağılı olarak belirlendikten sonra seçilen ek kaynak metali ile kaynak edilir. Bu serideki %3,0'dan fazla magnezyumlu alaşımlar, 66°C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklar için zorlamaya hassasiyeti ve daha sonra gelen gerilmeli korozyon çatlamasına hassasiyeti nedeniyle önerilmez. % 2,5'den az magnezyum içeren esas metaller genellikle 5xxx veya 4xxx serisi ek kaynak metalleri ile başarıyla kaynak edilirler. 5052 alaşımı genellikle 4xxx serisi bir ek kaynak metali ile kaynak edilebilen en çok kaynak edilebilir esas metal olarak kabul edilir. Ötektik ergime ve zayıf mekanik özelliklerdeki kaynak problemleri nedeniyle bu serideki yüksek oranda magnezyum içeren alaşımlar için 4xxx serisi ek kaynak metalleri ile kaynak yapılması önerilmez. Daha yüksek magnezyum içeren esas metaller, yalnız esas alaşım bileşimine göre seçilen 5xxx ek kaynak metalleri ile kaynak edilir.

6xxx serisi alaşımlar

Bu seri ısııl işleme tabi tutulabilir ve 124-221 N/mm² çekme mukavemetine sahiptir. Bunlar; Al-Mg-Si alaşımları (toplam magnezyum ve silisyum oranı yaklaşık %1'dir). Kaynaklı üretimde geniş çapta kullanılırlar, çoğunlukla ekstrüzyon ürünü ve farklı yapı bileşenlerini birleştirmek için kullanılırlar. Alüminyuma magnezyum ve silisyum eklemekle, bu metale yüksek zorlanmalar için tavlama uygulamalarında çözünür, ergir duruma gelmesini sağlayan magnezyum silikat bileşimi oluşur. Bu alaşımlar doğal olarak eklenirken çatlama duyarlılığı ve bu nedenle kendi kendine (ek kaynak metali olmadan) kaynak yapılmamalıdır. Ark kaynağı yöntemi süresince uygun miktarda ek kaynak metali kullanmak esas metalin ıslanmasını sağlar, o sayede sıcak çatlama problemi önlenmiş olur. Bu alaşımlar, uygulama ve çalışma isteklerine bağlı olarak 4xxx ve 5xxx ek kaynak metallerinin her ikisi ile de kaynak edilirler.

7xxx serisi alaşımlar

Isıl işleme tabi tutulabilir, 221- 607 N/mm² çekme mukavemetli bu alüminyum - çinko alaşımları (toplam çinko oranı %0,8'den %12'ye kadardır) alüminyum alaşımları içinde en yüksek mukavemet değerine sahip olanlardır. Bu alaşımlar genellikle havacılık, uzay ve spor malzemeleri gibi yüksek performans istenen uygulamalarda kullanılır. 2xxx serisi gibi bu seri de, diğerleri gibi genelde başarıyla kaynak edilirken ark kaynağı için uygun olmayan bazı alaşımlar içermektedir. Genellikle bu serideki 7005 gibi kaynak edilebilir alaşımlar çoğunlukla 5xxx serisi ek kaynak metali kullanımıyla kaynak edilirler.

2.2.2. Döküm alüminyum alaşımları

Bu tür alaşımların büyük çoğunluğu silisyum içerir; %11,7 Si içeren alaşım ötektik bileşimde olduğundan çok üstün döküm özelliklerine sahiptir. Bu alaşımın korozyona direnci ve kaynak kabiliyeti de oldukça iyidir.

Döküm alüminyum alaşımlarına bir miktar bakır katılması, talaş kaldırma özelliklerini geliştirir, buna karşın, korozyon direncinde azalmaya neden olur.

Döküm alüminyum alaşımlarına silisyumdan başka magnezyum katılarak çökeltme yolu ile sertleştirilebilen ve deniz suyunun korozif etkilerine dirençli alaşımlar elde edilir.

Alüminyum Birliği'nin standardizasyonuna göre alaşımları ülkemizde de TS 410/Nisan 1975'de yayımlanmış "Alüminyum Alaşımlarından Yapılan Dökümlerin Bileşimi" adlı standard ile tanımlanmışlardır.

Günümüzde bu tür alaşımlar için hazırlanmış olan EN 1706 ve EN 1780 serisi standartlar geçerlidir. Ancak, bu çalışmada bu tür alaşımlar kullanılmadığından burada bu gösterimlere yer verilmemiştir.

Tablo 2.7: Alüminyum Birliği standartlarına göre döküm alüminyum alaşımlarının simgelenmesi (Taban, 2004).

Alüminyum Birliği No.	Başlıca Alaşım Elementi
1xxx	Saf alüminyum (%99'dan daha fazla)
2xxx	Bakır
3xxx	Silisyum+bakır ve/veya Magnezyum
4xxx	Silisyum
5xxx	Magnezyum
6xxx	Kullanılmayan seriler
7xxx	Çinko
8xxx	Kalay
9xxx	Diğer elementler

Tablo 2.8: ISO' ya göre standardize edilen kaynak edilebilir alüminyum döküm alaşımları ve uygulama alanları (Taban, 2004).

ISO	Uygulama Alanları
Al 99,5	Kuma döküm, kimya ve gıda endüstrisi
AlSi 10Cu2Fe	Metal kalıba döküm
AlSi 5 Cu 3	Kuma döküm, metal kalıba döküm, genel mühendislik uygulamaları
AlMg5 AlSi 12	Kuma döküm, metal kalıba döküm, deniz taşıtları
AlSi 12 Mg	Kuma döküm, soğutma plakalı döküm, metal kalıba döküm, genel mühendislik uygulamaları
AlSi12 CuFe	Soğutma plakalı döküm, metal kalıba döküm, genel mühendislik uygulamaları
AlSi 7 Mg AlSi 7 Cu 2	Kuma döküm, soğurma plakalı dökümler, genel mühendislik uygulamaları

2.4. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Çeşitli Endüstri Kollarında Kullanım Alanları

2.4.1 Otomotiv endüstrisi

Günümüzde, alüminyumun kaynak edilerek birleştirilmesinde en dinamik ilerleme, otomotiv endüstrisinde olmaktadır. Otomobilde görülen birçok bileşen alüminyumdan yapılmakta ve korozyon direnci, artırılmış yakıt verimi, yeniden dönüştürülebilmesi ve kullanımı gibi çevresel konulardan dolayı uygulamalar artmaktadır.

Motor blokları, ön ve arka süspansiyon elemanları, şaft ve tekerlek jantları gibi ana yapısal bileşenlerin tamamen alüminyumdan üretilmesi; ısı eşanjörleri, radyatör ve klima birimleri gibi daha geleneksel, yapısal olmayan bileşenleri bütünlemektedir.

Yakıt verimi sağlamanın dışında Alüminyumun kullanımıyla ilgili bir diğer etken de emniyettir. Alüminyumun temel fiziksel karakteristikleri, otomobil tasarımında; yalnızca çarpışmalarda daha iyi performans göstermekte kalmaz, kazaların tümünü önlemeye de yardım eder. Alüminyumun mukavemet-ağırlık

oranı, daha üstün enerji absorpsiyonu için daha büyük araç parçaları tasarımına olanak sağlamaktadır. Çelikle aynı enerjiyi absorbe edebilmek için, ağırlığın sadece % 55'inde alüminyum yapılar tasarlanabilir. Bu ağırlık tasarrufu; bir çarpışmada daha az kinetik enerji absorbe gereksinimini getirir.

2.4.2. Gemi ve taşımacılık yapım endüstrisi

Deniz taşımacılığındaki yeni gelişmelerde, alüminyumun gemi yapımında kullanımıyla hızlı feribot projelerinde ilerlemeler ortaya çıkmıştır. Kar amacıyla, nakliye firmaları; hızlı, verimli ve az tamir bakım gerektiren alüminyum gövdeli yüksek hızlı feribotların yapımını araştırmaktadırlar. Hızlı feribotlar terimi, büyük yolcu yükü ve kargoyu yüksek hızlarda taşımak için yapılan küçük gemiler, dalgakıran sallar ve tek veya çok bölmeli gemileri ifade etmektedir. Alüminyumun düşük ağırlık / yüksek mukavemet oranı ve korozyona dirençli olması, yüksek hızlı deniz taşıtı uygulamalarının gelişimini olanaklı yapmaktadır.

Otomotiv endüstrisindeki nedenlere benzer olarak taşıma araçları daha çok alüminyum içerecek tasarımlarda üretilmektedirler. Isıtma sistemi demiryolu vagonları ve buhar hatlarında, mukavemet ve yüksek sıcaklık özelliğinden dolayı 5454 alüminyum alaşımı kullanılmaktadır.

2.4.3. Savunma ve havacılık endüstrisi

Bu endüstri dalları, bazı uygulamalar için, ısıtma işlem yapılamayan, yüksek mukavemetli 5xxx serisini kullanmakta, ancak bazı özel tür, üstün mekanik özellikler veren, ısıtma işlem yapılabilen alüminyum alaşımlarını da tercih etmektedirler. Mermiler; 2019'dan ve 2219 alaşımlarından üretilmektedir.

Geniş bir sıcaklık spektrumunda iyi mukavemet özellikleri veren alüminyum alaşımları havacılıkta kullanılmaktadırlar. Bu alaşımlar, 2219, 2014, 2090, 2024 ve 7075'i içermektedir. Bu esas malzemeler, özel olarak yüksek performans uygulamalarında kullanılmaktadır (Taban, 2004).

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

3.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti

Alüminyumun diğer metallerden özellikle çelikten farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri kaynak kabiliyeti üzerinde oldukça etkilidir. Bunlar;

1-Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakası

2-Yüksek ısı iletkenliği

3-Yüksek ısı genleşme katsayısı

4-Düşük ergime sıcaklığı,

5-Ergime sıcaklığına yaklaştığında renk değişimi göstermemesi (kısaca tav rengi göstermemesi).

Alüminyum aktif bir metaldir ve havadaki oksijenle reaksiyona girerek yüzeyinde alüminyum oksit oluşur. Alüminyum oksit, alüminyum malzemenin yüzeyini kaplayan dirençli ve hızlı oluşan bir oksittir ve alüminyuma çok iyi korozyon direnci kazandırır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, içerdikleri alaşım elementleri miktarlarına bağlı olarak farklı ergime sıcaklıkları gösterebilir de genellikle saf metalin ergime sıcaklığı yaklaşık olarak 660°C'dir. Buna karşın malzemenin yüzeyinde oluşan alüminyum oksitin ergime sıcaklığı ise 2050°C'dir. Bu oksit tabakası, havadaki nem emerek daha kalın duruma geçebilir ve kaynak sırasında da ergimiş banyonun üzerinde yüzer. Buna ek olarak, nem içinde hidrojen olduğundan, hidrojenin kaynak metaline geçerek gözenek oluşturma tehlikesi ile karşılaşılır (Kaluç ve Taban 2007a).

Alüminyum, kaynak edildiği zaman tav rengi vermediğinden, esas metalin ergime sıcaklığına gelip gelmediği, bu oksit filminin varlığından dolayı anlaşılabilir ve kaynakçı ısıtmaya devam ederken, esas metalin kendisi ergiyerek akmaya başlar ve kaynak dikişinin oluşması güçleşir. (Kaluç ve Taban 2007a).

Alüminyumun alaşım içeriğine bağlı olarak ısı iletmesi çelikten 3 ile 5 kat daha hızlıdır. Bu açıdan alüminyumun ergitmek için çok fazla enerji gereksinimi vardır. Isı iletkenliği çok yüksek olduğundan kalın kesitlerin kaynağı durumunda ön tavlama gereksinimi duyulur. Eğer ön tav sıcaklığı çok yüksek ve uygulama süresi de çok uzun tutulursa, ısı işlemle ya da soğuk şekil değiştirmeye sertleştirilen her iki türde de kaynak bağlantısının mukavemetinde düşme ile karşılaşılır. Alüminyum ve alaşımlarında ön tav sıcaklığı özel durumlar dışında 200°C'yi aşmamalıdır ve parçalar bu sıcaklıkta gerektiğinden daha uzun süre tutulmamalıdır. Yüksek ısı iletkenliğinden dolayı yüksek ısı girdisi kullanılan kaynak yöntemleri çok hızlı yapılacak şekilde bir kaynak prosedürü uygulanmalıdır (Kaluç ve Taban 2007a).

Alüminyum yüksek ısı iletkenliği, ısının kaynak bölgesinden hızlı transfer olmasıyla kaynak metalinin hızlı katılaşması gibi bir yararlı etkiyi de beraberinde getirir, bu sayede alüminyum parçaların her pozisyonda kaynak edilebilme olanağı doğar.

Alüminyumun ısı genleşmesi çeliğe göre iki kat daha fazladır. Buna ek olarak, ergimiş durumdan katılaşmayla alüminyum kaynak metalinin kendini çekmesi hacimce % 6 oranındadır. Bu da, boyutlardaki değişime ve bunun sonucunda da açılmalara ve çatlamaya neden olur. Kaynak ağız biçimi ve kaynak metalinin oluşturulmasında kullanılan pasoların sayısı çarpılmanın oluşumunda oldukça önemli bir etkidir. I-alın kaynak ağız açılmış bağlantılarda V- kaynak ağız açılmış çok pasolu kaynaklara göre daha az açılmalara ortaya çıkar. Kaynak hızı da açılmalarda çarpılmanın kontrol altında tutulmasında etkili bir etkidir. Yavaş kaynak hızları ısı girdisini arttırmaktadır. Bu açıdan kaynak edilecek parçaların çok iyi sabitlenmeleri gerekmektedir; bu şekilde ağızlarda kayma olmadan kaynak yapılabilmesinin yanı sıra çarpılma da önlenmiş olacaktır. Eğer, parçalar bağlanamıyorsa, puntaların dikkatlice yapılması gerekir, zira bu sayede parçalar istenilen konumda tutulabilirler.

Alüminyum çok iyi korozyon direncine sahiptir, kolay biçimlendirilir. Bu özelliklerden dolayı da gıda endüstrisinde kullanım alanı bulur. Manyetik olmadığından dolayı kaynak sırasında ark üfleme problemi ile karşılaşmaz.

Alüminyumun tav rengi göstermemesi, alüminyum ve alaşımlarının üflele yumuşak ve sert lehimlenmesini etkiler. Bu açıdan, bu yöntemlerin uygulanmasında dekapan kullanılır. Dekapan alüminyum alaşımının ergime sıcaklığının yaklaşık 50°C altında eriyerek çalışma sıcaklığına yaklaşıldığını göstermesinin yanı sıra yüzeydeki oksiti çözerek birleştirmenin sağlıklı yapılmasını sağlar (Kaluç ve Taban 2007a).

3.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynağını Etkileyen Faktörler

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında, birçok problemle karşılaşılır. Bu problemleri aşağıdaki, gibi sıralayabiliriz;

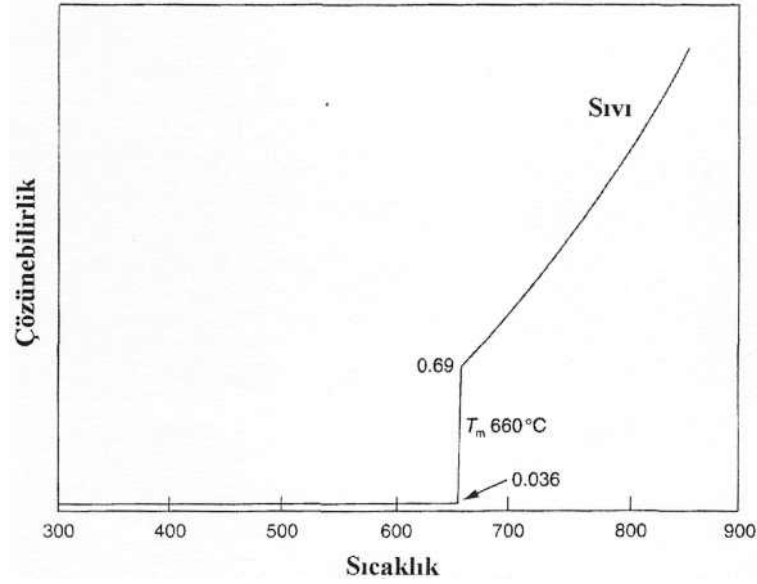
- 1-Gaz gözenekleri,
- 2-Oksit kalıntıları ve oksit tabakası,
- 3-Sıcak çatlak veya sıcak yırtılma,
- 4-Kaynak metal ve IEB'de mukavemet düşmesi,
- 5-Ergime eksikliği,
- 6-Korozyon direncinde azalma,
- 7-Elektrik direncinde azalma.

Özellikle, bu problemlerden ilk dördü olan; gözenek, oksit filmi, sıcak çatlama ve mukavemet azalması ve bunların önlenme yolları aşağıda anlatılmaktadır (Mathers, 2002).

Gözenek, kaynak metalinde çözünen gaz nedeniyle oluşur ve katılma sırasında kaynak metalinde hapsolarak kalan gaz boşlukları olarak oldukça önemli bir problemdir; çünkü kesitin azalmasına, mekanik değerlerinin düşmesine ve zorlanmalar sırasında çentik etkisi oluşturarak kırılmasına neden olur. Gözenekler, mikro gözenek biçiminde oluşabildiği gibi 3-4 mm çapında balıkgözü olarak tabir edilen boyutlara da ulaşabilmektedir.

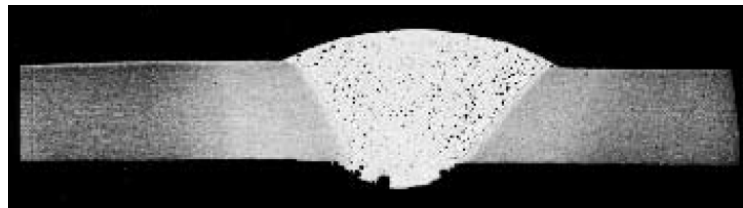
Burada, ergimiş alüminyumda yüksek miktarda çözünebilirliğe ancak katı durumda çok düşük çözünebilirliğe sahip olan hidrojen etkilidir (Şekil 3.1).

Çünkü katılaşıma o kadar hızlı olmaktadır ki hidrojen, katı çözelti içinde; gaz halinde hapsolarak kalmaktadır. Bu açıdan alüminyumun kaynağında, gözeneksiz kaynak dikişleri oluşturmak çok zordur.



Şekil 3.1: Alüminyumun hidrojen çözünübilirliği (Mathers, 2002).

Kaynak teli kullanılmayan kaynak yöntemlerinde gözenek oluşma eğilimi oldukça düşüktür; ancak, ek kaynak metali kullanıldığında telden gelen kirlilikler dolayısıyla gözenek oluşma eğilimi artar. TIG kaynak yönteminde, MIG kaynak yöntemine göre, telin hidrojen oluşturan kirliliğine bağlı olarak daha düşük gözeneklilik oluşur (Şekil 3.2).



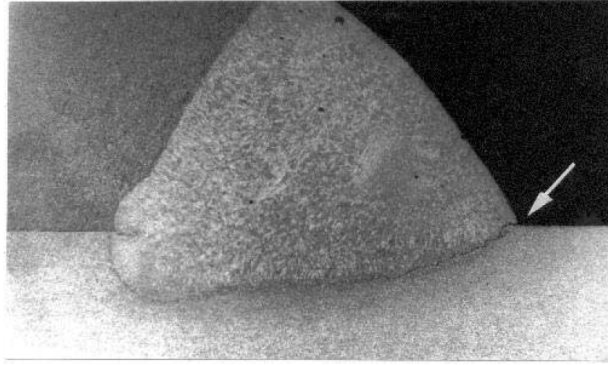
Şekil 3.2: 6 mm kalınlığında TIG kaynaklı parçada, çok ince dağılmış gözenekler (Mathers, 2002).

Kaynak akımının artırılması veya ilerleme hızının azaltılması, ark geriliminin yükseltilmesi gibi kaynak parametreleri ile oynanarak hidrojen nedenli gözeneklilik değiştirilir. Alaşım elementi içeriği de gözenek oluşmamasında yararlı bir etki sağlayabilir. Özellikle magnezyumun bu problemi azaltıcı etkisi

olduğu varsayılmaktadır. Örtülü elektrod ve tozaltı kaynak yöntemlerinde örtü ve tozdan gelebilecek nem, gözenek oluşumu üzerinde başlıca etkiye sahiptir. Bu açıdan, kullanılmadan önce alüminyum ve alüminyum alaşımları için geliştirilmiş örtülü elektrod ve tozların kurutulmaları gerekir.

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazın da oldukça saf olması ve gaz hortumlarının su emmez türde olması gözenekliliği önlemede etkilidir. Çünkü son araştırmalar göstermiştir ki özellikle su soğutmalı torçlar kullanılması durumunda su hortumlarından koruyucu gaz hortumlarına su geçişi olabileceğini, bu açıdan torç bağlantı paketi içinde kullanılan gaz hortumlarının malzemelerinin su emme özellikleri düşük olan plastiklerden yapılması gerekliliğini ortaya çıkmıştır (Mathers, 2002).

Kaynaktan önce oksit filminin temizlenmesi gereksinimi, gözenek oluşum tehlikesini azaltmak içindir. Bu filmin, kaynak sırasında kırılarak dağıtılmasının bir gereksinimi de eksik ergime ve oksit film tutulmasından sakınmaktır. şekil 3.3'de köşe kaynağında oksit tutulmasının bağlantının mukavemeti üzerindeki güçlü etkisi görölmektedir.



şekil 3.3: Köşe kaynağında alüminyum oksit filmi (Mathers, 2002).

Aslında alüminyum oksit, alüminyum malzemenin yüzeyini kaplayan dirençli ve hızlı oluşan bir oksittir ve alüminyuma çok iyi korozyon direnci kazandırır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, içerdikleri alaşım elementleri miktarlarına bağlı olarak farklı ergime sıcaklıkları gösterebilirler de genellikle saf metalin ergime sıcaklığı 660°C dir. Buna karşın malzemenin yüzeyinde oluşan alüminyum oksitin ergime sıcaklığı 2050 °C dir. Bu oksit tabakası kaynak

sırasında ergimiş banyonun üzerinde yüzer. Alüminyum, kaynak edildiği zaman tav rengi vermediğinden, esas metalin ergime sıcaklığına gelip gelmediği, bu oksit filminin varlığından dolayı anlaşılabilir ve kaynakçı ısıtmaya devam ederken, esas metalin kendisi ergiyerek akmaya başlar ve kaynak dikişinin oluşması güçleşir. Aynı zamanda ergimiş metal damlaların kaynak ağzına nüfuz etmeden yapışarak kalması problemi ile karşılaşılır. Bu açıdan, kaynak öncesinde, oksit filminin çok iyi temizlenmesi ve temizleme ürünlerinin kaynak ağız bölgesinden uzaklaştırılması gereklidir. Bu problem kaynak makinası üreticileri tarafından bilindiğinden günümüzde, alüminyumun kaynağı için geliştirilmiş oksit kırma özellikli değişken kutuplamalı, alternatif akım ya da doğru akım kaynak makinaları da üretilmektedir (Mathers, 2002).

Sıcak çatlama problemi, saf metallerde görülmeyen ancak alaşımlarda görülen bir kaynak problemidir ve yalnızca alüminyum alaşımlarında değil aynı zamanda çelikler, nikel ve bakır alaşımlarında da ortaya çıkar. Kaynak metalinde katılma sırasında soğuk ağız cidarlarından başlayan ve metal orta eksenine doğru uzayan iğnemi tanelerin, alaşım içindeki katılma sıcaklığı daha yüksek olan katışkıları ortaya doğru sürmesi ve bu bölgede katışkıcı zengin segregasyon bölgeleri ortaya çıkmasına sebep olur. Bu bölgelerin soğuma sırasındaki çatlama kaynak ısı girdisi nedeniyle oluşan gerilmelerden dolayı çatlama hassas hale getirmesi sonucunda oluşur. Bu çatlaklara sıcak çatlak adı verilir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları halinde özellikle ek kaynak metali bileşimi ile oynanarak ve de kaynak ağız aralıkları değiştirilerek bu sorunun önüne geçilmeye çalışılır (Mathers, 2002).

Kaynağa bağlı mukavemet azalması, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynak metallere ve IEB'lerinde ortaya çıkan bir durumdur. Bilindiği üzere ergitme kaynak yöntemlerinde, kaynak metali, esas metal ve ek kaynak metalinin karışımından oluşmuş bir döküm yapısındadır. Kaynak metalinin özellikleri, ek kaynak metalinin tane boyutu, kalitesi ve bileşimine bağlı olarak değişir. Hızlı soğuma, çok ince tane yapıları verirken yavaş soğuma, daha iyi

mekanik özellikler kazandırır. Küçük boyutlu kaynak dikişleri, büyük boyutlu kaynak dikişlerinden daha iyi özelliklere ve daha yüksek sıcak çatlama direncine sahiptir.

Alaşım elementlerinin kaynak arkı içinde yanarak yani oksijen ile reaksiyona girerek azalması sonucunda da kaynak metallerde mukavemet azalması bilinen bir gerçektir. Bu durum, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında da geçerlidir. Örneğin; lityumun oksijen ile reaksiyona girerek yanması ya da magnezyumun düşük kaynama sıcaklığı, magnezyum kaybına veya bazı alaşımlarda lityum kaybına neden olmakta ve böylece kaynak metallerde mukavemetin azalması durumuyla karşılaşılmaktadır ve uygulamada koruyucu gazın dikkatlice seçilerek bu problemleri minimuma indirilmesi olanağı vardır (Mathers, 2002).

BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN BASINÇ KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.1. Genel

Alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafiflik, yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci, kolay biçimlendirilebilirlik ve birçok kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirlikleri açısından mühendislik malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptirler. Daha önceden belirtildiği gibi, alüminyumun özgül ağırlığı; çeliğin yaklaşık olarak $1/3$ ' i kadardır. Ayrıca alüminyum ve alüminyum alaşımları havada, su içinde, yağlarla temasta ve birçok kimyasal maddeye karşı oldukça iyi korozyon direncine sahiptirler. Çünkü atmosfer ile temas sonucunda yüzeyde oluşan ince ancak yoğun refrakter karakterli oksit tabakası korozif etkilere karşı direnç sağlar. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağının çelikten farklı olmasını sağlayan bir dizi özellik vardır. Bunlar; yüzeyde bulunan alüminyum oksit tabakası, yüksek ısı iletkenlik, yüksek ısı genleşme katsayısı, ergime sıcaklığına yaklaştıkça renk değişimi göstermemesi olarak sıralanabilir. Bu özellikler; alüminyumun kaynağı açısından dikkat edilmesi gereken ve kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının geliştirilmeye başlandığı yıllarda, bu alaşımların uçak endüstrisinde kullanılması ve kaynakla birleştirilmesi gereksinimi, günümüzde gazaltı kaynak yöntemleri olarak adlandırılan TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin keşfini ve geliştirilmesini sağlamıştır. Alüminyum alaşımlarının kesilebilmesi için plazma arkı ile kesmenin geliştirilmesi gerekmiş, uzaya giden roketlerin alüminyum parçalarının kaynağında, plazma ark kaynağının kullanımı gündeme gelmiş ve bu arayış diğer ileri kaynak yöntemlerinin de alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanımını teşvik etmiştir. Aslında alüminyum ve alüminyum alaşımları, ergitme kaynak yöntemlerinden olan gaz ergitme kaynağı (oksi-asetilen) ve örtülü elektrod ile ark kaynağı yöntemleri kullanıldığında sınırlı olarak kaynak edilebilirken, gazaltı kaynak yöntemlerinin

ortaya çıkması daha kaliteli bağlantıların oluşturulmasına yol açmıştır. Gazaltı kaynak yöntemleri daha da geliştirilerek yüksek akımlı MIG, plazma MIG, ince tel MIG, darbeli MIG, doğru akım helyum TIG, çift gaz koruyuculu TIG, değişken kutuplamalı plazma ark kaynağı gibi yeni teknikler uygulamaya alınmıştır (Mathers, 2002).

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarına, basınç esaslı kaynak yöntemleri de (katı faz kaynak yöntemleri) uygulanmaya başlamıştır. Özellikle 1991 yılında, İngiliz Kaynak Enstitüsü'nde bulunan sürtünen eleman ile birleştirme kaynak yöntemi (FSW) o yıllara kadar MIG, TIG ya da plazma ark kaynağı uygulanan alüminyum ve alüminyum alaşımı levhaların alın birleştirmelerinin oluşturulmasında yeni bir kavramın ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu açıdan yöntem, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kullanıldığı birçok endüstri kolunda hızla uygulamaya girmiş, yöntem üzerine gerek endüstriyel gerek akademik çalışmalar yaygınlaşmış ve yöntem günümüzde oldukça popüler bir konuma gelmiştir (Mathers, 2002). Bu çalışmada, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan ve tezin konusunu oluşturan Elektrik direnç kaynağı (RSW) ve Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemleri detaylı olarak ele alınmış, diğer yöntemler üzerinde durulmamıştır.

4.2. Elektrik Direnç Kaynağı

Elektrik direnç kaynağı ilk olarak 1877 yılında ABD'de bir rastlantı sonucu bulunan oldukça eski kaynak yöntemlerinden birisidir. Bu yöntem daha sonraları Birinci Dünya Savaşına kadar endüstride çok az kullanılmış, ancak İkinci Dünya Savaşından günümüze kadar bu yöntemde ve özellikle elektrik devreleri ve zaman kontrol cihazlarında büyük gelişmeler olmuştur (Eryürek, 1982).

Günümüzde üretilmekte olan konstrüksiyonlarda güvenilirlik ve kalitenin yanı sıra işin verimini arttırmaya, boyutları küçültmeye ve ağırlığı azaltmaya çalışılmaktadır. Bu uğraş içinde malzeme ve üretim giderleri de azaltılmaya çalışılır. Bunlara paralel olarak geliştirilen birleştirme teknikleri sürekli yeni problemlerin ortaya çıkmasına

neden olmaktadır. Bu arada kullanıma giren elektrik direnç kaynak yöntemleri seri üretime uygun ve oldukça yaygın kullanılan kaynak yöntemleri olarak konumlarını sağlamlaştırmışlardır. Kaynak işlemi, bir düğmeye veya ayak pedalına basarak makinayı çalıştırabilme bilgisine sahip operatörler tarafından büyük bir hızla gerçekleştirilir. Bu nedenle, özellikle ark kaynağı, gaz ergitme kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi diğer ısı birleştirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, birim birleştirme boyuna düşen işçilik gideri bu yöntemde oldukça düşüktür. Öte yandan direnç kaynağı makinaları, diğer kaynak yöntemleri için gerekli cihazların maliyetleri ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır. Direnç kaynağını uygulamada ekonomik konuma getirmek, yani düşük birim işçilik gideri ile birlikte uygun birim makine maliyeti elde etmek için çok sayıda aynı veya benzer birleştirme gerekmektedir. Bu kaynak yöntemi ek kaynak metali kullanılmadığı için sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerden dolayı günümüzde çok büyük ölçüde kullanılmaktadır (Eryürek, 1982).

4.2.1. Elektrik direnç kaynağı usulleri

Elektrik direnç kaynağı usullerini aşağıdaki şekilde gruplayabiliriz (Şekil 4.1).

a-) Nokta Kaynağı

a1-Normal nokta kaynağı

a2-Kabartılı nokta kaynağı

b-) Dikiş Kaynağı

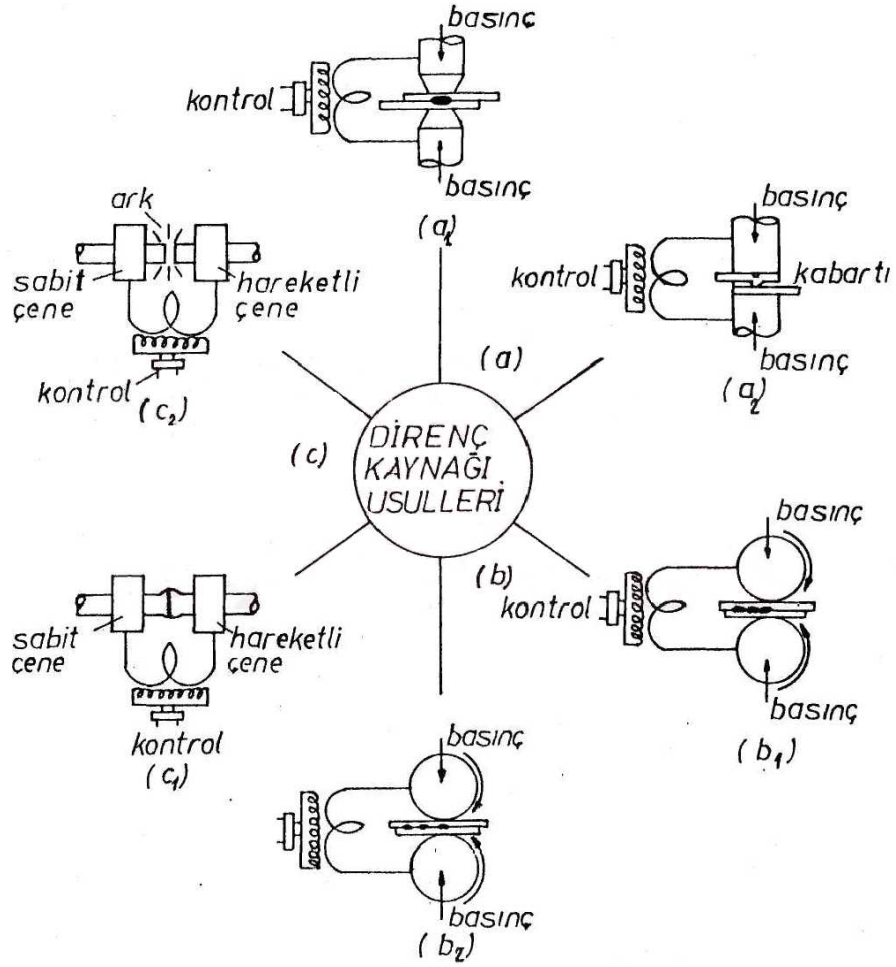
b1-Sürekli dikiş kaynağı

b2-Aralıklı dikiş kaynağı

c-) Alın Kaynağı

c1-Basınçlı alın kaynağı

c2-Yakma alın kaynağı



Şekil 4.1: Başlıca direnç kaynağı usullerinin şematik olarak gösterilmesi (Anık, 1991).

Uygun akım şiddeti seçimi ve kaynak zamanı ayarlaması tüm direnç kaynağı yöntemlerinde geçerlidir. Direnç kaynağı yönteminde işlem sırası özet olarak şöyle sıralanabilir (Anık, 1991).

- 1-Sınırlı bir metal hacminin ergimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek,
- 2-Daha sonra bu metalin basınç altında yeniden katılaşması ile soğumasına olanak vermektir.

4.2.1.1. Elektrik direnç nokta kaynağı

Elektrik direnç nokta kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda, basıncın tatbikiyle

yapılan bir kaynak yöntemidir. Malzemeden geçen elektrik akımının meydana getirdiği ısının dışında, herhangi bir ısı tatbik edilmemektedir. Isı, birleşme yerinde “Joule” kanununa göre oluşur (Eryürek, 1982).

$$Q = k \cdot I^2 \cdot R \cdot t$$

Burada;

Q: Üretilen ısı

k: Malzemeye bağlı sabit

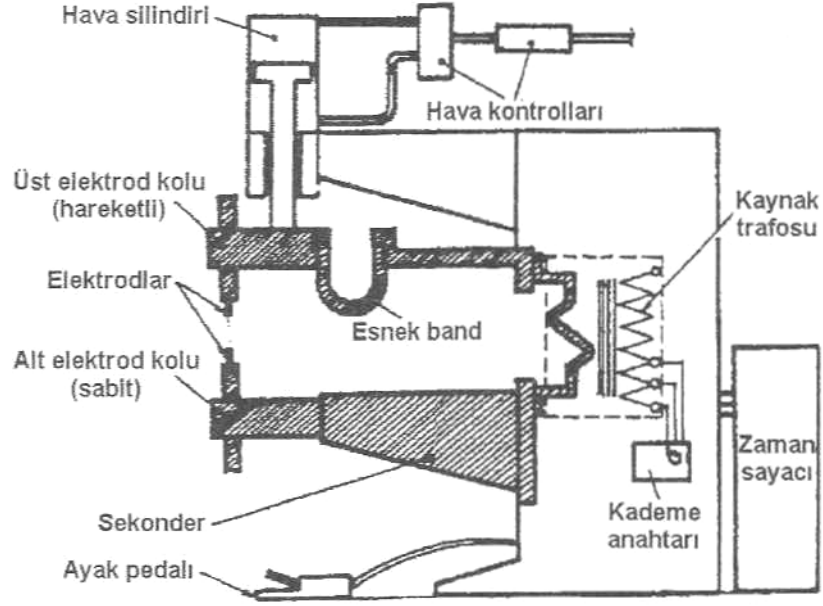
I: Kaynak akımı

R: Kaynak akımının geçtiği devredeki dirençlerin toplamı

t: Kaynak akımının devrede kalma süresi

Üretilen ısının bir bölümü kondüksiyon veya radyasyon yolu ile uzaklaşır. Uygulamada kaynak edilen parçaların elektrik direncinin değeri küçük olduğundan, gerekli kaynak ısıısını üretebilmek için yüksek akım şiddetine gerek vardır. Gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, alçak gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatöründen sağlanır. Basma kuvveti, aynı zamanda kaynak akımını da ileten elektrodlar tarafından uygulanır. Bu kuvvetin şiddeti hidrolik, pünomatik veya mekanik düzenleyiciler ile ayarlanır (Eryürek, 1982).

Şekil 4.2’de bir nokta kaynak makinasının prensip şeması görülmektedir. Bu yöntemle ancak sacların bindirme türü kaynağı gerçekleştirilebilir. Alt elektrod sabit olup, üst elektrod hidrolik, pünomatik, veya mekanik tertibatlar yardımıyla hareket edebilmekte ve elektrodlar arasında kaynak edilecek saclara istenen yükü uygulamaktadır. Kaynak transformatörünün sekonder devresine elektriksel olarak da bağlı olan bu elektrodlar gerekli kaynak akımını da iletmektedir.



Şekil 4.2: Pünomatik basma tertibatlı bir nokta kaynağı makinasının prensip şeması (Eryürek, 1982).

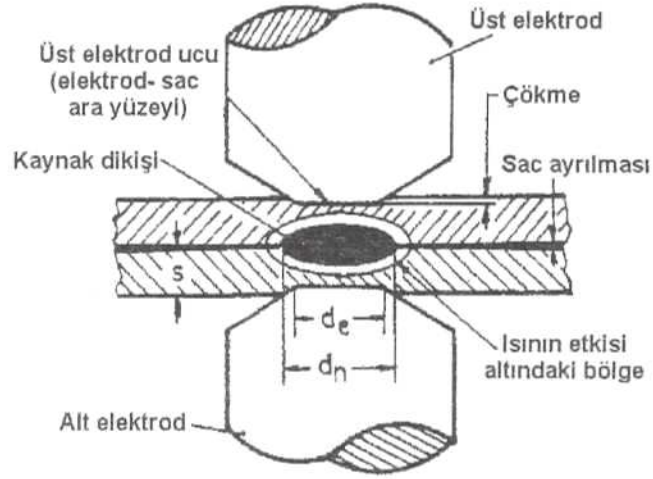
Nokta kaynağı ile 12 mm kalınlığa kadar çelik sacların, 1 mm kalınlığa kadar bakır sacların ve 5 mm kalınlığa kadar alüminyum sacların kaynağı yapılabilmektedir. Bakır ve alüminyumun yüksek ısı iletkenlikleri ve düşük elektrik dirençleri, daha kalın saclarda kaynak işlemini zorlaştırmaktadır. Şekil 4.3'de nokta kaynağında oluşan dikişin boyutları görülmektedir (Eryürek, 1982).

4.2.1.1.1. Kaynak noktasının oluşumu

Kaynak noktasının oluşmasındaki temel prensip yukarıdaki formülde verilen Joule yasasıdır. Burada R, kaynak akımının bir elektrodan diğerine geçerken karşılaştığı elektrik dirençlerinin toplamıdır. Uygulanan akıma karşı, sistemde ortaya çıkan dirençler esas olarak iki türdür:

- a-Kullanılan malzemelerin dirençleri
- b- Temas dirençleri

Malzeme dirençleri, kaynak yapılacak malzemenin ve elektrodların öz direncine, akım yolunun büyüklüğüne (elektrod çapı, sac kalınlığı, v.b.) ve akım yolundaki sıcaklığa bağlıdır.

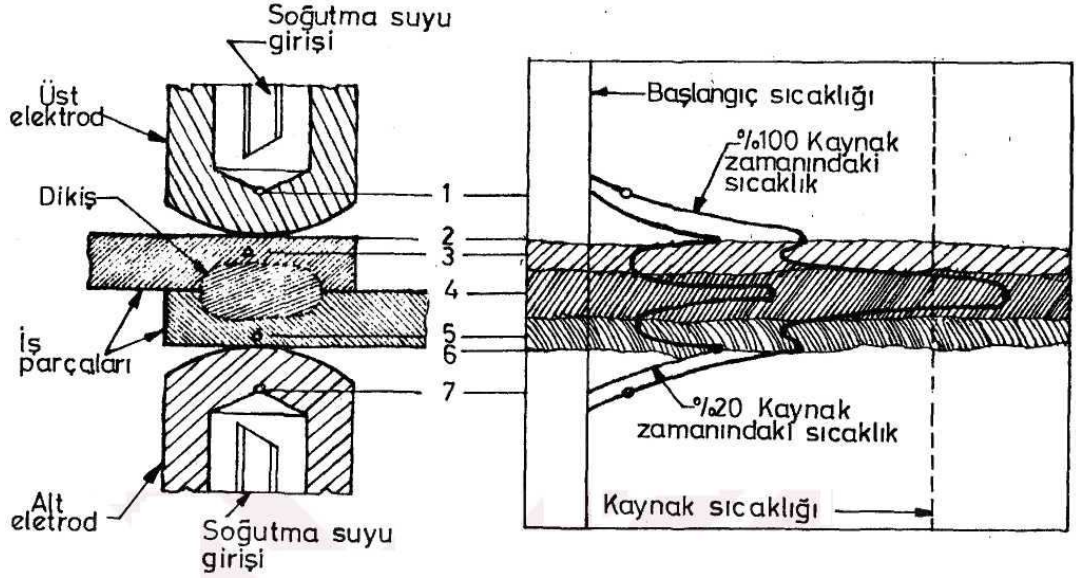


Şekil 4.3: Nokta kaynak dikişinin geometrisi (Eryürek, 1982).
(s: sac kalınlığı; d_e : elektrod çapı; d_n : oluşan noktanın veya dikişin çapı)

İki iletkenin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci sadece sıcaklığa ve malzemeye bağlı değil, yüzey koşullarına ve elektrod kuvvetine de bağlıdır. Bu direnç, yüzeylerin doğal pürüzlülükleri nedeniyle akım yollarının, temas yüzeyindeki gerçek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralmasıyla ortaya çıkan daralma direnci ve parça yüzeyleri üzerinde var olan oksit filmlerinin oluşturduğu film direnci toplamına eşittir. Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrod kuvveti arttıkça, temas yüzeyindeki oksit filmlerinin parçalanması, temas noktalarının sayılarının ve alanlarının artması nedeniyle temas direnci azalır (Eryürek, 1982).

Direnç kaynağının en önemli özelliği hızlılığıdır. Yani ısıyı hızlı bir şekilde üretebilmektedir. Üretilen ısının ve ısı kayıplarının, elektrodları ve iş parçalarını kapsayan kısma yaptıkları bileşke etki Şekil 4.4'de gösterilmiştir. İki levhanın tek nokta ile kaynağında seri olarak yer almış yedi adet direnç mevcuttur. Bu dirençler sırasıyla aşağıdaki gibi sıralanır.

- 1- Üst elektrodun direnci
- 2- Üst elektrod ile üst levha arasındaki temas direnci
- 3- Üst levhanın direnci
- 4- Üst levha ile alt levha arasındaki temas direnci
- 5- Alt levhanın direnci
- 6- Alt levha ile alt elektrod arasındaki temas direnci
- 7- Alt elektrodun direnci



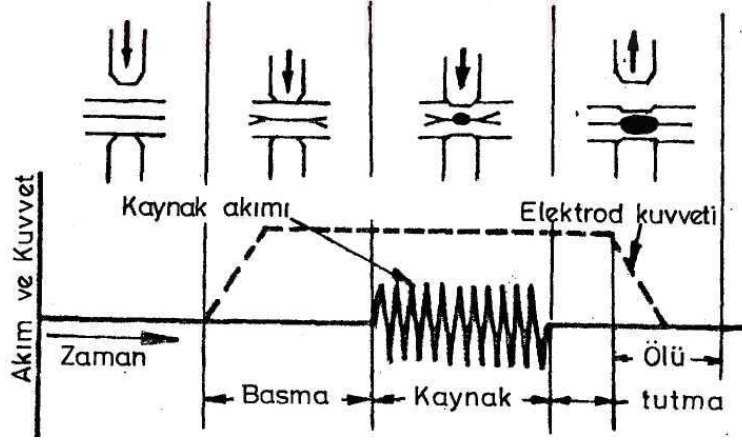
Şekil 4.4: Temas dirençleri ve kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımı (Anık, 1991).

4.2.2. Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çevrimi

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynağı dört periyod'luk çevrimde gerçekleşir. Bunlar şöyle sıralanır.

- 1- Basma süresi: Elektrod kuvvetinin tatbik edildiği an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen zamandır.
- 2- Kaynak süresi: Kaynak akımının geçtiği zaman aralığıdır.
- 3- Tutma süresi: Kaynak akımının kesilmesinden sonra, elektrod kuvvetinin etkisinin devam ettiği zamandır.
- 4- Ölü süre: Elektrodların iş parçası ile temasta olduğu zaman aralığıdır.

Bu süreler ve bu sürelerde elektrod kuvvetinin değişimi Şekil 4.5'de şematik olarak görülmektedir (Kaluç ve Taban, 2004).



Şekil 4.5: Nokta kaynağı işleminin çeşitli safhalarının sırasıyla şematik olarak gösterilmesi (Anık, 1991).

4.2.3. Elektrik direnç nokta kaynağı usulleri

Genel olarak, elektrik direnç nokta kaynağı usulleri iki grupta sınıflandırılır

1-Tek noktalı kaynak

2 -Çok noktalı kaynak

Akımın uygulandığı sürede bir tek kaynak noktası elde ediliyorsa tek noktalı kaynak, aynı anda iki veya daha fazla kaynak noktası oluşuyorsa çok noktalı kaynak yapılmış olur. Çok noktalı kaynak, düzenlemeye bağlı olarak paralel veya seri noktalar halinde elde edilebilir (Anık, 1991).

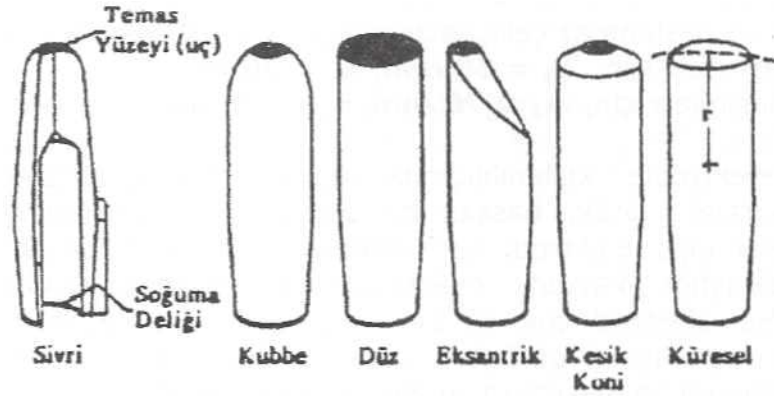
4.2.4. Elektrik direnç nokta kaynağına etkiyen faktörler

Hatasız nokta kaynağı bağlantılarını gerçekleştirmek için, belirli kaynak koşullarının dışına çıkılmamalıdır. Kaliteli kaynak noktalarının elde edilebilmesinde yalnızca kaynak makinasındaki ayarlanabilir büyüklükler (akım şiddeti, elektrod kuvveti, kaynak süresi) etkili olmayıp, aynı zamanda elektrodların türü, biçim ve yönleri ile kaynak edilen sac yüzeylerinin durumu da önemlidir (Eryürek, 1982).

4.2.5. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrodlar

Ticari saf bakır, en iyi iletkenidir. Saf bakır elektrodlar, üstün mekanik özelliklerinin yanı sıra yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilinceye kadar, direnç kaynak elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti, daha yüksek elektrod kuvveti ve daha yüksek kaynak hızı kullanılan yöntemlerin geliştirilmesi, saf bakırın elektrod malzemesi olarak kullanılmasını önlemiştir (Eryürek, 1982).

Elektrolitik bakır, yüksek elektrik ve ısıl iletkenliğe sahip olduğundan, hafif metallerin kaynağında tercih edilir. Gümüş-bakır, kadmiyum-bakır ve krom-bakır esaslı elektrodlar elektrik iletkenliklerinin yanında sertlikleri ile tanınırlar. Daha sert özelliğe sahip olan berilyum-bakır esaslı elektrodlar ise, yüksek elektrik direncine sahip sert malzemelerin kaynağı için önerilirler. Tungsten-bakır ve molibden-bakır esaslı elektrodlar genellikle gümüş, bakır ve farklı metal çiftlerinin birleştirilmesinde, seri işlemlerde ve özel bir tür olan kabartılı direnç kaynağı uygulamaları için kullanılırlar. Elektrodların biçim ve boyutları, kaynak edilecek iş parçalarının malzemesine, biçim ve boyutlarına göre saptanır. Şekil 4.6'da standard elektrod uçları gösterilmiştir. Bunlar içinde en fazla kesik koni uçlu ve küresel uçlu elektrodlar kullanılır (Eryürek, 1982).



Şekil 4.6: Nokta kaynağında kullanılan standard elektrod uçları (Eryürek, 1982).

4.2.5.1. Elektrod imalinde kullanılan malzemeler

Elektrod üretiminde kullanılan malzemeler aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

- * Elektrod metali kaynak edilen metal ile alaşım oluşturmamalı ve kaynak noktalarının yanmaması için düşük temas direncine sahip olmalıdır.
- * Yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır.
- * İşlem sıcaklığı ve kaynak baskı kuvvetinde deformasyona uğramaması için yeteri kadar dayanıklı olmalıdır.
- * Ani sıcaklık değişimlerine uygun mukavemet sağlamalıdır.
- * Yeterli sertliğe sahip olmalıdır ve yüksek sıcaklıklarda da elektrod sertliğini kaybetmemelidir. (Aslanlar, 2007).

A-grubu: Bakır alaşımları

B-grubu: Refrakter metal bileşimleri

Özel alaşımlar

A-grubu: Bakır alaşımları

Üç gruba ayrılırlar:

- *Sınıf 1: Bileşimi 1% kadmiyum ve 99% bakır olan alaşımların oluşturduğu gruptur. Bu tür elektrodlar yüksek mukavemet, sertlik, ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bakır-kadmiyum alaşımlarının elektrik iletkenliği, elektrolitik bakıra göre 88-95% arasında değişir. Isıl işlem uygulanmaksızın; sertleştirme ve dayanıklılık, soğuk haddeleme işlemi ile elde edilir. Böylece malzemenin yüksek ısı ve elektrik iletkenliği etkilenmemiş olur. Bu alaşım çubuk veya kütük şeklinde çekilebildiği gibi yassı çubuk veya levha haline de getirilebilir, dövülebilir (Aslanlar, 2007).

*Sınıf 2: Bu sınıfı, bileşimi 0,8% krom ve geri kalanı bakır olan alaşımlar meydana getirir. Bu sınıftaki malzemeler; birinci sınıfa göre daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Ancak, ısı ve elektrik iletkenliği daha düşüktür. Optimum mekanik ve fiziksel özellikler, ısıl işleme veya ısıl işlem ve soğuk haddelemenin kombinasyonu ile sağlanır. Bu tür malzemeler, genel amaçlı elektrodların yapımında kullanılır. Bu malzeme; çubuk veya kütük şeklinde çekilebilir, yassı çubuk veya levha haline getirilebilir, dövülebilir ve dökülebilir (Aslanlar, 2007).

*Sınıf 3: Bileşimi 0,5% berilyum, 1% kobalt ve geri kalanı bakır olan alaşımlardan oluşur. Bazen 1% nikel olabilir. Sınıf 1 ve Sınıf 2'ye göre daha yüksek mekanik özelliklere sahip olmasına karşın, daha düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu tür malzemeler sertleştirilebilir. Yüksek sertliğe, iyi aşınma direncine, yüksek tavlama sıcaklığına sahip olması nedeniyle yüksek mukavemetli metallerin ve elektrod basıncının fazla olduğu kaynak işlemlerinde kullanılmaktadır (Aslanlar, 2007).

B-grubu: Refrakter metal bileşimleri

Tungsten, molibden gibi erime noktası yüksek metaller, refraktör metal olarak adlandırılırlar. B-grubu; 10, 11, 12, 13 ve 14 olmak üzere beşe ayrılmaktadır .

Bu elektrod malzemeleri yüksek ısı, uzun kaynak zamanı, uygunsuz soğutma veya yüksek elektrod kuvveti gibi sebeplerle bakır esaslı elektrodların kısa zamanda bozunması durumunda kullanılırlar. Elektrod malzemesinin seçimi yapılırken elektrod dizaynı, kaynak edilecek parçalar, karşı elektrod tipi ve nokta kaynak makinasının tipi ayrı ayrı gözönüne alınmalıdır (Aslanlar, 2007).

Bakır alaşımları kaynak edilirken; bakır alaşımı ile temas eden elektrod B-grubundan, çelik ile temas eden elektroda A-grubunun Sınıf 1 veya Sınıf 2'sinden seçilmelidir.

*Sınıf 10: Bu malzeme yüksek erime noktasına sahip, bakır- tungsten alaşımıdır.

*Sınıf 11: 42% bakır ve 58% tungsten içeren refraktör metal olup, yüksek sertliğe sahiptir. Ancak elektrik iletkenliği Sınıf 10'a göre daha düşüktür (Aslanlar, 2007).

*Sınıf 12: Bakır- tungsten esaslı metal olup Sınıf 11'e göre daha yüksek sertliğe ve daha düşük elektrik iletkenliğine sahiptir.

*Sınıf 13 ve 14: Sırasıyla alaşımsız tungsten ve molibden'den meydana gelmişlerdir. Bakır alaşımlı parçaların, düşük karbonlu çelikler ile kaynağında kullanılırlar.

Özel alaşımlar

Özellikle Sınıf 1 ve Sınıf 2 malzemelerine benzer. Bakır-zirkonyum ve bakır-kadmiyum-zirkonyum alaşımlarıdır. Çinko, alüminyum, kalay, kalay-kurşun alaşımı ve kadmiyum ile kaplanmış çeliklerin kaynağı için uygun elektrod malzemeleridir. Sınıf 1'in kullanıldığı, elektrod yüzeyinin yüksek sıcaklığa mukavemetinin daha fazla olması gereken kaynak işlemlerinde bakır-zirkonyum alaşımları kullanılabilir (Aslanlar, 2007).

4.2.6. Kaynak makinaları

Elektrik direnç nokta kaynağı makinaları pres tipi, seyyar tip ve çok nokta kaynak makinaları olarak imal edilebilirler.

Nokta direnç kaynağında kullanılan makinalar otomasyon derecesine bağlı olarak basit-ucuz veya kompleks-pahalı olabilir. Nokta direnç kaynağı makinaları mono veya trifazlı şebekeden alınan alternatif akımı, 2-20 V gibi düşük bir gerilime indirirler. Makinanın mono veya trifazlı olarak seçiminde; makinanın kapasitesi, ilk yatırım, işletme ve bakım masrafları göz önüne alınır. Mono fazlı makinalar, trifazlı makinalara göre daha çok kullanılırlar. Daha basit ve ucuzdurlar (Gültekin, 1991).

Monofazlı makinalar, elektrik şebekesinden yüksek güç çekerler. Çalışma esnasında dengesiz olarak çekilen bu güç, şebekedeki diğer cihazları etkileyebilir. Mono fazlı makinalar, daha düşük çalışma faktörüne sahiptirler. Mono fazlı makinalarda bu değer 50% civarında iken, trifazlı makinalarda %85'ler mertebesindedir. Bu nedenle trifazlı makinaların şebekeden çektikleri güç daha azdır. Ayrıca dengesiz güç kullanımı da indirgenmiştir. Ancak trifazlı makinalar, ince sacların kaynağı için uygun değildir.

Kaynak makinası elektrik devresi; kaynak transformatörü, primer sargı sayısı değiştirme anahtarı ve sekonder devreden oluşur. Sekonder devre, kaynak edilen parçalara akım ileten elektrodları da içerir.

Kaynak transformatörü; yüksek gerilimdeki şebekeden alınan gücü, düşük gerilimdeki yaklaşık eşdeğer bir güce çevirir. Bir transformatör devresi esas olarak; bir manyetik devre, şebekeye bağlanmış primer sargı ve elektrodlara kaynak için gerekli gücü sağlayan sekonder sargıdan ibarettir (Gültekin, 1991).

Primer devrenin sargı sayısı değiştirilerek kaynak akımı ayarlanabilir. Bunun için primer devre üzerine bir ayar anahtarı yerleştirilir. Bu anahtar çevrilerek, primer devredeki sargı sayısı değiştirilebilir.

Sekonder devre, yüksek değerdeki kaynak akımını transformatörden elektrodlara dolayısıyla kaynak edilecek saçlara iletir. Sekonder devrenin voltajı 5-20 V arasındadır. Yeterli kaynak akımı elde edebilmek için sekonder devre direncinin mümkün olduğunca küçük olması gerekir (Gültekin, 1991).

4.2.7. Elektrik direnç nokta kaynağını etkileyen faktörler

4.2.7.1. Kaynak akımı ve kaynak süresinin etkisi

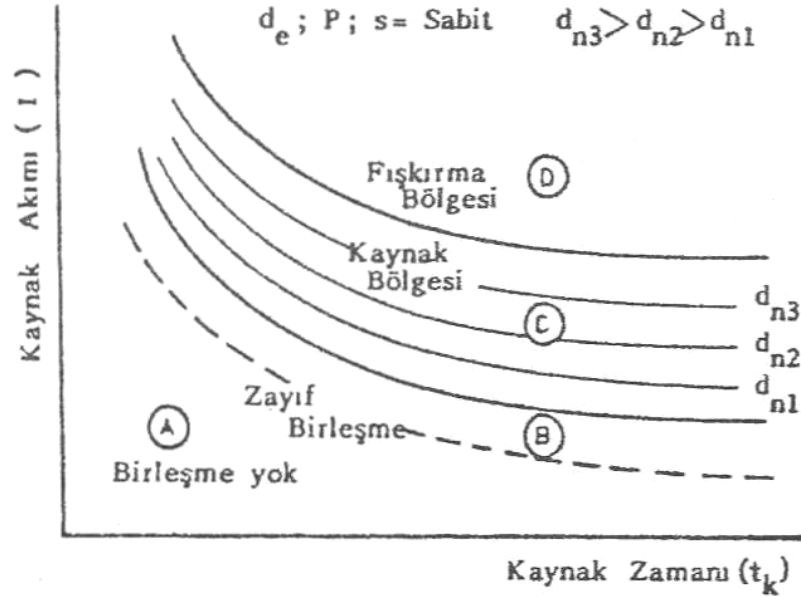
Kaynak bölgesinde, belirli hacimdeki metali erime sıcaklığına ulaştırmak için gerekli toplam ısı, $Q = k \cdot I^2 \cdot R \cdot t$ eşitliği yardımı ile hesaplanıp, sağlanmaktadır. Bu eşitlikteki R direnci malzemeye, sac kalınlığına, elektrod kuvveti ve elektrod uç çapına bağlı olup, değeri artan elektrod kuvveti ile azalmaktadır. řu halde verilmiş bir elektrod kuvveti ve sac kalınlığı için, gerekli ısı enerjisini elde etmek amacı ile değiştirilebilecek kaynak parametreleri, kaynak akımı ve kaynak sresidir.

Belirli bir ısı enerjisi elde etmek için çeşitli I ve t değerleri var olmakla birlikte, ısı kaybının da zamana bağlı olması nedeni ile akım şiddetinin istendiği gibi azaltılarak kaynak süresini arttırma olanağı yoktur. Akımın minimum şiddette olması durumunda kaynak bölgesinde herhangi bir erime oluşmaz. Bu minimum akım şiddeti; malzeme

türüne, malzeme kalınlığına, elektrod uçlarının boyutlarına bağlıdır. Bir başka değişle, ergimenin oluşabilmesi için bir minimum akım yoğunluğu vardır ve bu değer malzemenin türü, malzemenin kalınlığı ile kaynak bölgesine etki eden elektrod basıncına bağlıdır (Kaluç ve Taban, 2004).

Verilmiş bir elektrod basıncı için, akım yoğunluğunun bir üst sınırı vardır ve bunun üzerindeki değerlerde, kaynak bölgesindeki ergimiş metal, levhalar arasından bölge dışına doğru fıskırır. Bu olay, kaynak dikişinin çekme makaslama mukavemetinin azalmasına neden olur. Ayrıca kaynak akımının fazla yükseltilmesi sonucunda, elektrodlar ile saclar arasındaki temas yüzeylerinde ergime oluşur. Elektrodlar saclarla yapışıp tahrip olur.

Belirli bir sac malzemesi ve kalınlığı, elektrod uç çapı ve verilmiş bir elektrod kuvveti için kaynak edilebilirlik diyagramı (Akım-Zaman Diyagramı) elde etme olanağı vardır. Şekil 4.7'de böyle bir diyagram şematik olarak verilmiştir. Burada t_k (periyod) olarak kaynak zamanı, s (mm) olarak sac kalınlığı, d_n nokta çapıdır ve d_e elektrod çapıdır.



Şekil 4.7: Nokta kaynağında akım ve kaynak süresine bağlı olarak çizilebilen kaynak edilebilirlik diyagramı (Kaluç ve Taban, 2004).

Bu diyagramda dört bölge vardır. Bunlar:

A Bölgesi: Burada herhangi bir erime veya birleşme yoktur.

B Bölgesi: Basınç etkisi ile erime olmadan oluşan zayıf bir birleşme bölgesidir.

C Bölgesi: Ergime ve kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren ergime başlar ve ergimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içinde gittikçe artar. Sonuçta, nokta çapı d_n , elektrod çapı d_e ' ye yaklaşık olarak eşit olur.

D Bölgesi: Bu bölge fışkırma bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren fışkırma başlar.

4.2.7.2. Elektrod basma kuvvetinin etkisi

Elektrik direnç nokta kaynağında, kaynak işlemi özel uygulamalar varsa da daha önce belirtildiği üzere esas olarak dört periyod'luk çevrimde gerçekleşir.

Elektrod kuvvetinin kaynak işleminin üç periyodunda da çok önemli rol oynadığı görülmektedir. Basma sürecinde, elektrod kuvveti, saclar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrod-sac temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Sacların elektrodlar altında, belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler.

Kaynak periyodundaki elektrod kuvvetinin görevi, saclar arasındaki aralıktan fışkırmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde tutarak bu fışkırmayı önlemektir. Tutma periyodunda ise, kaynak noktasının sıvı durumdan itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir (Kaluç ve Taban, 2004).

Elektrod kuvvetinin değişimi ile temas direnci de değişir. Yüksek bir elektrod kuvveti düşük bir direnç, düşük bir elektrod kuvveti daha yüksek bir direnç oluşturur. Sacların arasındaki temas direnci, akımın akmaya başlamasından çok kısa bir süre sonra ısınmayı sağladığından yüksek elektrod kuvvetlerinde

yüksek akım şiddeti, düşük elektrod kuvvetlerinde, düşük akım şiddeti önerilmektedir. Malzeme ve sac kalınlığına bağılı olarak elektrod kuvveti F , aşığıdaki verilen eşitlik yardımıyla seçilebilir. Burada F , (kN) olarak elektrod kuvveti; s , (mm) olarak sac kalınlığıdır.

- Alaşımsız çelikler için: $F = 2 \times s$

- Yüksek alaşımlı çelikler için: $F = 3,5 \times s$

- Alüminyum için: $F = 2,5 \times s$

4.2.7.3. Kaynak yapılan malzemenin etkisi

Metallerde, elektrik ve ısıı iletkenlik genellikle aynı yönde paralel olarak değişir, bu nedenle yüksek elektrik iletkenliği ve dolayısı ile de yüksek ısı iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerde yüksek akım yoğunluğunda dahi, üretilen çok az ısı çevreye hızla yayılır ve ergime için gerekli ısı birikimini engeller. Bu ise kaynak işlemini olanaksız hatta zor hale getirir. Sonuçta metalin bileşimi belirli bir metal hacmini ergime noktasına getirmek için verilmesi gerekli toplam ısı miktarını etkiler.

Örneğin, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı özelliklerine sahip iki metali ergime sıcaklıklarına getirmek için birim kütleleri başına yaklaşık aynı miktarda ısı gerekir. Bununla beraber, alüminyumun elektrik ve ısıı iletkenliği paslanmaz çeliğe nazaran sırasıyla yirmi ve on defa daha büyüktür. Bu nedenle, alüminyum için gerekli kaynak akımı, paslanmaz çelik için olandan oldukça fazladır (Kurşungöz, 1986).

4.2.7.4. Kaynak yapılan malzemenin yüzey durumu

Kaynak yapılacak iş parçalarının yüzey durumu temas dirençleri yoluyla ısı üretimini etkiler. Eğer yüzeyler temiz ise, belirli bir uygulamada, daima aynı kalitede kaynak noktası elde edilir. Yüzey üzerinde bulunan oksit, pas gibi şeyler iş parçasında değişik kalitede kaynak noktalarının oluşmasına yol açar. Parça üzerinde mevcut yağ, kir, pas gibi maddeler akım iletimini zorlaştıracığı

gibi, elektrodun yüzeyine yerleşerek, elektrod ömrünü azaltır. Kaynak yapılacak yüzeylerin mekanik yollarla pürüzlendirilmesi ile yüzeyler arasındaki temas direnci ve buna bağlı olarak ısı üretimi artmaktadır. Artan ısı üretimi akım yoğunluğunun yükselmesine neden olmasıyla birlikte kaynak noktasında daha hızlı ve daha büyük çaplı kaynak dikişi oluşmaktadır. Bu durum bağlantının mekanik özelliklerinin artmasına neden olmaktadır. (Kurşungöz, 1986).

4.2.7.5. Isıl denge

Eğer değişik bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve şekle sahip elektrodlarla kaynak edilirse, ısı her iki parçada da üniform olarak üretilen ve kaynak kesiti tipik elips biçimde olacaktır. Bu koşul var ise, ısıl denge vardır; bununla beraber, levhalardan biri diğerinden daha yüksek elektriksel dirence sahip ise, ısı bu levhada diğerine göre çok daha hızlı üretilen olacaktır. Bu durumda ısıl denge mevcut değildir. Farklı iki metalin kaynak edilmesi halinde, ısıl denge, ya yüksek dirençli malzeme tarafındaki elektrod temas alanını artırarak ya da düşük dirençli malzeme tarafında, daha yüksek dirençli elektrod kullanarak sağlanır.

Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, soğutulmuş elektrodun ince parça tarafında kaynak ara yüzeyine daha yakın olması nedeni ile ara yüzeyde yetersiz ısı üretimi yönünde bir eğilim vardır. Uygun ısıl denge, ince levha tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrod kullanarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamanı kullanmak suretiyle gerçekleştirilir (Kurşungöz, 1986).

4.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

Al ve Al alaşımları modern yapılarda kullanıldığı gibi, özellikle hafif yapı konstrüksiyonlarının daha fazla uygulandığı deniz taşıtları ve havacılık endüstrisindeki işlemlerde kullanılır. Uygun bir bağlantı yöntemi olan elektrik direnç nokta kaynağı, özellikle ekonomik olup, çeşitli endüstriyel konstrüksiyonlarda büyük bir önem kazanmıştır.

Alüminyum diğer metallerden farklı özelliklere sahiptir. Bu özellikleri nedeni ile kaynağı da farklı uygulama gerektirir. Örneğin; yüksek elektriksel ve ısı iletkenliği, metali eritmeye yeterli ısının üretilmesi için, yüksek akım kapasiteli makinaların kullanılmasını gerektirir.

Saf alüminyum düşük mukavemeti dolayısı ile ancak küçük yükler için yapı malzemesi olarak düşünülebilir. Diğer uygulamalar genellikle alüminyum alaşımları içindir (Demirkesen, 1997).

4.3.1. Malzeme özelliklerine bağlı olarak elektrik direnç nokta kaynağına etki eden faktörler

Alüminyum alaşımı sac, ekstrüzyon, dövme ve döküm parçaları nokta direnç kaynağı ile birleştirilebilir. Alüminyum alaşımlarının belirgin özellikleri; yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, düşük ergime sıcaklığı, soğuma sırasında önemli derecede kendini çekme, yüzeyde oksit tabakası ve bakır elektrodla karşı duyarlılık olarak sıralanabilir. Direnç kaynağının mukavemeti, alüminyum alaşımına ve kalınlığına bağlıdır. Bazı alaşımların kaynağına elverişliliği diğerlerine göre daha iyidir. Alüminyumun hava ile temas etmesi sonucu, üzerinde bir alüminyum oksit tabakası oluşur. Bu tabakanın ergime sıcaklığı 2050°C'dir. Bu tabaka alüminyumun kaynağını zorlaştırır. Alüminyum alaşımlarının sertlik değerleri, kaynak edilebilirliği etkileyen önemli bir etkidir. (Demirkesen, 1997).

Yüksek mukavemetli alaşımlar daha kolay kaynak edilebilirler. Ancak çatlama olasılıkları yüksek olduğundan dolayı elektrod baskı kuvveti kademeli artışlar ile uygulanmalıdır. Hemen hemen tüm alüminyum alaşımlarına nokta kaynağı yapılmasına karşın, bazı alaşımların kaynak kabiliyeti diğerlerine göre daha iyidir. Tablo 4.1 'de Amerikan standartlarına göre verilmiş işlenmiş ve döküm alüminyum alaşımlarının direnç kaynağı yapılabilirliği ile ilgili karşılaştırmalar yapılmıştır (Demirkesen, 1997).

Tablo 4.1: Alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığı ve direnç kaynağı kabiliyetleri (Demirkesen, 1997)

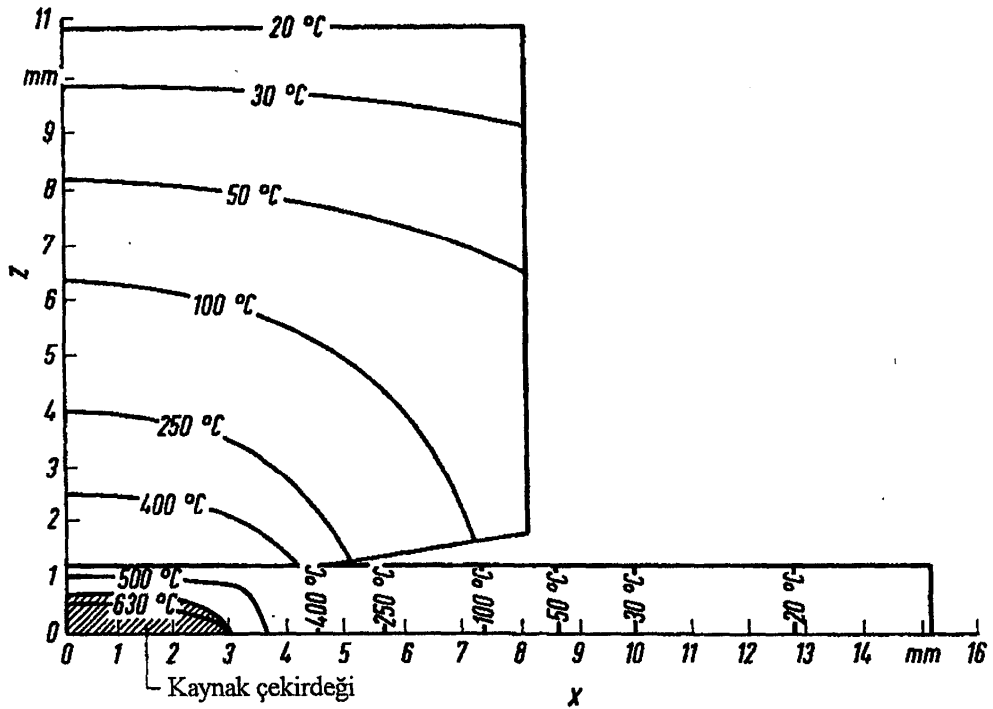
Alaşım Grubu	Ergime Sıcaklığı (°C)	Direnç Kaynağı Yapılabilirliği	Alaşım Grubu	Ergime Sıcaklığı (°C)	Direnç Kaynağı Yapılabilirliği
1350-H19	646-657	ST	2219-T37	543-643	ST
1060-H18	646-657	ST	6009-T4	560-649	RW
1100-H18	643-657	RW	6010-T4	585-649	RW
3003-H18	643-654	RW	6061-T6	593-649	RW
3004-H38	629-652	RW	6063-T6	616-654	RW
5005-H38	632-652	RW	6101-T6	616-652	RW
5050-H38	627-652	RW	7075-T6	477-638	ST
5052-H38	593-649	RW	413.O-F	574-582	LW
5083-H321	574-638	RW	443.O-F	574-632	RW
5086-H34	584-640	RW	308.O-F	521-613	ST
5154-H38	593-643	RW	238.O-F	507-599	LW
5182-O	574-641	RW	513.O-F	579-638	ST
5454-H34	602-646	RW	S20.O-T4	449-604	NR
5456-H321	571-638	RW	333.O-T6	516-585	ST
2014-T6	510-638	ST	C3S5.O-T61	546-621	ST
2024-T361	502-638	ST	356.O-T6	557-613	ST
2036-T4	554-649	RW	712-F	604-643	RW
RW (Readily Weldable): Kaynağa uygun					
NR (Not Recommended): Kaynak tavsiye edilmez					
ST (Special Techniques): Kaynağa uygun ancak bazı durumlarda özel teknikler gerektirebilir.					
LW (Limited Weldability): Kaynağı sınırlıdır ve genellikle özel tekniklerle kaynak yapılır.					

4.3.1.1. Elektrik ve ısı iletkenliği

Yüksek elektrik iletkenliği dolayısıyla, yüksek şiddetli kaynak akımı verebilecek, yüksek kapasiteli kaynak makinaları kullanılmaktadır. Yüksek ısı iletkenliği dolayısıyla, ısının parça üzerinde yayılmasına olanak vermeden hızlı kaynak programı uygulanmaktadır. Genel olarak alüminyum alaşımlarının nokta kaynağında çelik saclara göre en az 3 kat fazla akım kullanılmasına karşın kaynak süresinin 1/10'u kullanılmaktadır (Demirkesen, 1997).

4.3.1.2. Sıcaklık artışı

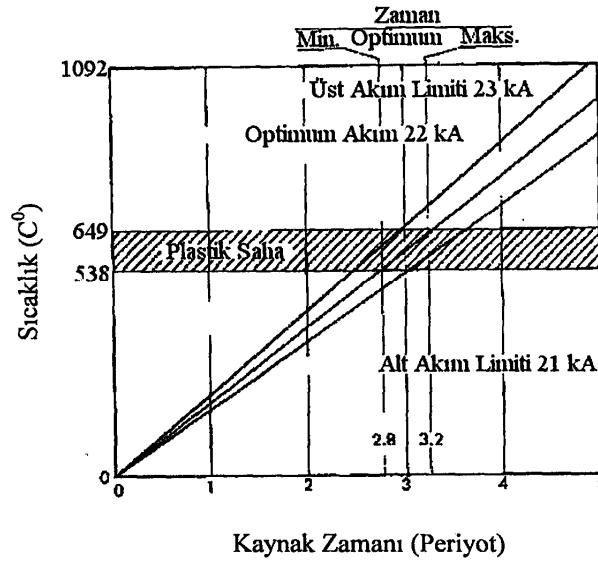
Alüminyum malzeme, çeliğe göre daha hızlı ve daha düşük sıcaklıklarda yumuşar. Bu nedenle elektrod tutucuları, kaynak kuvveti ve iş parçası temasını sürdürebilmek için elektrodların hızlı bir şekilde hareketine imkân vermelidir. Bu hareketler çok küçük 2 ila 5 ms'lik çok kısa sürelerde meydana gelir. Şekil 4.8'de AW 5056 malzemesine ait kaynak işlemi sırasındaki sıcaklık dağılımı görülmektedir (Demirkesen, 1997).



Şekil 4.8: Nokta kaynağı işlemi sırasında sıcaklık dağılımı: Malzeme 5056, kaynak hızı 6 periyod, sac kalınlığı 1.15mm, kaynak akımı 28 kA, Elektrod kuvveti 4kN (Demirkesen, 1997).

4.3.1.3. Plastik alan

Alüminyum alaşımlarında kaynak noktasının oluştuğu plastik alan çok dardır. Şekil 4.9'da farklı kaynak akımları kullanıldığında plastik bölgeye bağlı olarak kullanılması gereken kaynak zamanları görülmektedir. Burada görüldüğü gibi optimum akım olan 22000 A kullanıldığında 111°C'lik bir plastik alanda 2,8 ila 3,2 periyodluk bir zaman aralığında kaynak yapılabilir. Çelikte bu saha 540°C'ye denk gelir. Bu yüzden alüminyum alaşımlarında, çeliklere göre kaynak zamanı daha kısadır (Demirkesen, 1997).



Şekil 4.9: Alüminyum alaşımlarında plastik alan (Demirkesen, 1997)

4.3.1.4. Soğuma sırasında kendini çekme

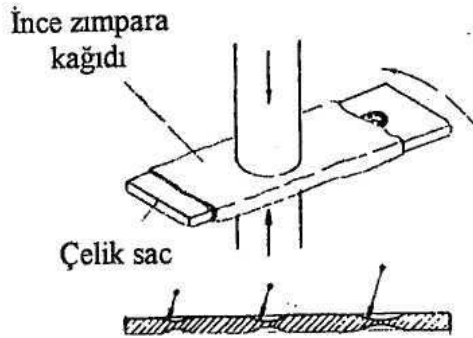
Özellikle 2024, 7075 gibi ısı işlem görmüş yüksek mukavemetli alaşımların kendini çekme oranının yüksek olması nedeniyle kaynak bölgesinde çatlaklar oluşabilir. Katılaşma tamamlanıncaya kadar elektrod basıncı uygun olmadığı takdirde, kendini çekmeye bağlı olarak çatlak ve gözenekler oluşmaktadır. Bu nedenle katılaşma süresince elektrod basıncı artırılmaktadır. Böylelikle kaynak noktasında yüzey düzgünlüğü de iyileşir.

4.3.1.5. Oksit tabakası

Alüminyum malzemelerin yüzeyinde bulunan üniform olmayan oksit tabakasının elektrik direnci oldukça yüksektir ve yüksek sıcaklıklarda ergir. Yüzey üzerinde üniform olmayan oksit tabakası kaynak işleminden önce uzaklaştırılmalı veya bu tabaka üniform bir elektrik direncine sahip hale getirilmelidir. Kaynak işlemi oksit tabakası uzaklaştırılmadan yapıldığı takdirde elektrod ömrü azalır ve kaynak kalitesi düşük olur (Demirkesen, 1997).

4.3.2. Elektrodların bakımı

Alüminyum sacların nokta kaynağında kalite, kaynatılacak sacların yüzey durumlarına, elektrodların temizliği ve bakımına kuvvetle bağlıdır. Alüminyum nokta kaynağında elektrod ömrünü azaltan faktör çelik sacların kaynağında olduğu gibi deformasyon (mantarlaşıma) değil, elektrodun alüminyum toplayıp alaşımlanmasıdır. Alaşımlanan elektrod ucunun elektrik iletkenliği düşer ve temas direnci artar. Bunun sonucunda elektrod iş parçasına yapışır ve parça yüzeyi erir. Bu nedenle elektrod ucunun temizlenmesi ve bakımı daha önem taşımaktadır. Alaşımlanan elektrod ucu periyodik olarak temizlenmeli veya değiştirilmelidir. Bu mahzurlu durumu ortadan kaldırmak için uygun elektrod kuvveti kullanılmalı, kaynak akımı yüksek olmamalı ve alüminyum parça yüzeyleri (oksit tabakası) uygun biçimde temizlenmelidir.



Şekil 4.10: Elektrod uçlarının temizlenmesi (Anık ve Ören, 1964).

Elektrodların temizlenmesinde el ile eğeleme yapılmamalı, uygun alet ve makinalar kullanılmalıdır. Temizleme sırasında Şekil 4.10'da görülen ve üzerinde elektrodun ucuna göre uygun yuvalar açılan bir çelik sactan istifade edilebilir, çelik sacın üzerine zımpara kağıdı sarılarak elektrodun uçları arasına konur ve sağa sola hareket ettirilmek suretiyle temizleme yapılır. Temizleme sonrasında elektrod uç şeklinin aynı olmasına dikkat edilmelidir (Anık ve Ören, 1960).

4.3.3. Yüzey hazırlama

Kaynak yapılacak yüzeylerin hazırlanması, elektrod ile parça arasındaki temas direnci bakımından önemlidir. Buna karşın alüminyum ve alaşımlarının yüzeylerini hazırlamadan da nokta kaynağı yapmak olanağı vardır. Fakat parçanın yüzeyindeki oksit, pislik ve yağ tabakası bağlantının mukavemetini düşürdüğü gibi elektrod ömrünü de kısaltır (Demirkesen, 1997).

Alüminyum, alaşımların nokta kaynağında çatlak ve gözenek oluşumundan kaçınmak, uygun ve üniform bir kaynak mukavemeti elde etmek ve elektrodun ömrünü uzatmak için oksit tabakasının temizlenmesi gerekir. Oksit tabakası mekanik veya kimyasal yollarla temizlenebilir. Alüminyumun oksijene karşı aşırı ilgisinden dolayı, temizlenen parçaların hemen kaynak edilmesi gerekir. Aksi takdirde oksit tabakası yeniden oluşur. Oksit tabakasının temizlenmesinden sonra kaynak etme süresi, temizleme yöntemine ve depolama şartlarına bağlı olarak 48 saat ile birkaç gün arasında değişir. Oksit tabakası çıkarılan yüzeylere ince gres yağı sürülürse bu süre biraz daha uzar. Ancak bu tabakanın da sonra yeniden temizlenmesi gerekir.

Parça yüzeyleri üzerinde bulunan yağ ve diğer pislikler önce boya tineri, alkol veya uygun çözücülerle temizlenir. Bu temizleme işlemi miktar ve parça büyüklüğüne bağlı olarak silme, daldırma, spreyleme veya buhar uygulanması şeklinde olabilir. Buhar tatbiki, çok sayıda parça için uygundur. Daha sonra oksit tabakası da mekanik veya kimyasal yollarla çıkartılır (Demirkesen, 1997).

Oksit tabakasının mekanik olarak temizlenmesinin etkinliği, operatörün becerisine bağlıdır. Eğer kaynak ufak bir bölgede yapılacaksa, parça adedi az ise ve oksit tabakası ince ise bu yöntem hızlı bir çözüm sağlar. Çok büyük parçaların kimyasal banyoları zor olacağından dolayı, mekanik metotların kullanılması daha uygun olmaktadır.

Oksit tabakasının kimyasal yöntemle çıkartılması, kütle halindeki imalatta veya büyük yüzeylerin temizlenmesinde kullanılır. Kimyasal olarak temizleme yönteminde tipik bir çözelti % 12 Nitrik asit ve % 0,4 hidroflorik asit içerir. Parçalara 2-6 dakika arasında kimyasal banyo uygulandıktan sonra temiz su ile durulanır.

Döküm, ekstrüzyon veya benzer şekilde kalın oksit tabakasına sahip parçalar, asit banyosundan önce alkalın çözeltilere daldırılıp (% 5 NaOH, 20-50 sn) temiz su ile yıkanmalıdır (Demirkesen, 1997).

4.3.4. Alüminyum elektrik direnç nokta kaynağı karakteristikleri

4.3.4.1. Kaynak akımı

Alüminyumun ısı ve elektrik iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle, aynı kalınlıktaki çelik saclara göre kaynak sırasındaki ısı girdisi yüksek tutulmaktadır. Yüksek akım uygulanması ile kaynak çekirdeği daha hızlı bir şekilde oluşacaktır. Ancak uzun süreli yüksek akım uygulanması durumunda plastik saha parça yüzeyine kadar erişecek, yüzeyde ergime görülecek, kaynak noktasında gaz kabarcıkları oluşacak ve dolayısıyla kaynak kalitesi ve elektrod ömrü düşecektir.

Aksine, akım düşük tutulursa çekirdek yavaş oluşacak ve bu sırada oluşan ısının çevreye daha fazla yayılması ile çarpılmalar görülecektir. Uygun kaynak kalitesini sağlamak amacıyla kaynak akımlarının ayarlanmasında artan azalan akım (Slope kontrol) kontrolü uygulanabilir (Metals Handbook, 1983).

4.3.4.2. Kaynak süresi

Alüminyum alaşımlarında uygulanan kaynak süresi, çeliğe göre daha kısadır. Alüminyumun ergime sıcaklığının düşük olmasına bağlı olarak, oldukça dar bir kaynak aralığı vardır. Parça kalınlığı arttıkça kaynak zamanı da artar. Kaynak noktasının büyüklüğü ve mukavemeti de zamana etki eder (Metals Handbook, 1983).

4.3.4.3. Elektrod kuvveti

Elektrod basıncı, esas itibarıyla birleştirilecek parçanın mukavemetiyle alakalıdır. Akım şiddeti ve elektrod basıncı, kaynak yapılan noktada ergimiş metalin sac yüzeyine çıkmayacak şekilde ayarlanır (Metals Handbook, 1983).

Alüminyum nokta kaynağında elektrod kuvveti, aynı kalınlıktaki çelik levhalara göre daha yüksektir. Düşük mukavemetli alüminyum alaşımları, yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlara göre daha az elektrod kuvveti gerektirir.

Yetersiz elektrod kuvveti uygulanması sonucunda yüzey yanmaları, aşırı elektrod ucu alaşımlanması ve kaynak metalinin dışarı akması gibi sakıncalı durumlar görülebilir. Aşırı elektrod kuvveti uygulanması ise yüzey bozukluklarına, çarpılmalara ve simetrik olmayan kaynak noktasına neden olur.

Ergimiş çekirdek tamamen katı metalle çevrili olduğundan, hemen basıncın kalkacağı düşünülürse, o anda kaynakta boşluk ve çatlama tehlikesi oluşur. Bundan dolayı ergimiş malzeme üzerinde elektrodların basıncı soğuma sırasında devam ettirilir veya artırılarak ısının çabuk dağılmasına ve aynı zamanda kaynağın dövülmesine olanak tanınır (Metals Handbook, 1983).

İç hataları azaltmak ve kaynak kalitesini yükseltmek amacıyla, kademeli olarak uygulanan elektrod kuvveti, kaynak çevrimi süresince artırılıp, azaltılır. Parçalardan akımın geçtiği süre içinde elektrod kuvveti düşük tutularak, temas direnci artırılır.

Kaynak çekirdeğinin katılaşması yani, tutma süresince elektrod kuvveti artırılır. Akım geçtikten sonra oluşan kaynak çekirdeğinin soğuması sırasında uygulanan elektrod kuvvetinin ayarlanması çok önemlidir. Eğer elektrod kuvveti kaynak süresi bitmeden artırılırsa, temas direnci düşer ve kaynak düzgün olmaz. Aksine çok geç arttırılırsa, kaynak çekirdeği soğuyacağından dolayı etkisi olmaz (Metals Handbook, 1983).

4.3.4.4. Nokta aralıkları

Nokta aralıkları uygun tutulmadığı takdirde, kaynak akımının bir kısmı daha önce yapılmış olan kaynak noktası üzerine sapacaktır. Kısa devre olayı görülmesi nokta aralığının, parça kalınlığının ve elektrik direncinin azalmasıyla artar.

Noktalar arası uzaklık pratik olarak, parça kalınlığının 8 katından az olmamalıdır. Eğer bu uzaklıktan daha az bırakılmak zorunda kalınırsa, akım değeri ilk nokta kaynağını takiben arttırılmalıdır, ikiden fazla sıralı nokta kaynağı yapılması durumunda ilk olarak merkezdeki sıranın yapılmasına önem verilmelidir (Metals Handbook, 1983).

Nokta kaynağının parça kenarına çok yakın yapılması durumunda nokta ile kenar arasındaki bölge deforme olur ve ergiyik metal birleşme yerinden akar. Tablo 4.2'de alüminyum alaşımı sacların nokta kaynağında tavsiye edilen en az bindirme uzunlukları, nokta aralıkları ve nokta sıraları aralıkları verilmektedir (Metals Handbook, 1983).

Tablo 4.2: Alüminyum sacların nokta kaynağı için önerilen bindirme uzunlukları, nokta aralıkları ve nokta sıraları (Metals Handbook, 1983).

En ince sac kalınlığı	Min. bindirme miktarı (mm) *a	Min. nokta aralığı (mm) *b	Min. Nokta sıraları aralığı (mm)
0,41	7,94	9,53	6,35
0,51	9,53	9,53	6,35
0,64	9,53	9,53	7,94
0,81	12,70	12,70	7,94
1,02	14,29	12,70	9,53
1,30	15,88	15,88	9,53
1,63	19,05	15,88	9,53
1,83	20,64	19,05	11,11
2,06	22,23	19,05	12,7
2,31	23,81	22,23	12,7
2,59	25,4	25,4	12,7
3,18	28,58	31,75	15,88
*a) Noktanın parça kenarına olan en düşük mesafesi, bindirme miktarının yarısı kadar olmalıdır			
*b) Merkezden merkeze uzaklıktır			

4.3.5. Kaynak hatalarının sebepleri ve çözümleri

En çok rastlanılan hatalar; elektrod alaşımlanması, çatlak ve gözenekler, ergiyik metalin dışarı akması, levha ezilmesi, uygunsuz biçime sahip kaynak ve tam ergimemiş malzeme şeklinde sıralanabilir (Demirkesen, 1997).

4.3.5.1. Elektrod alaşımlanması

Elektrod ile iş parçası yüzeyi arasındaki aşırı ısınmanın sonucunda bakır elektrod ucu alüminyum ile alaşımlanır. Bazı durumlarda iş parçası yüzeyi ergiyebilir veya yanabilir. Elektrodun alaşımlanması uygun elektrod kuvveti kullanarak, aşırı akım ve kaynak zamanından kaçınarak önlenabilir. Elektrod temizliğinin düzenli yapılmaması, ve uygunsuz soğutmanın yapılması elektrodun alaşımlanmasını hızlandırır (Demirkesen, 1997).

4.3.5.2. Çatlak ve gözenekler

Aşırı hızlı ısınma ve soğuma veya uygun olmayan elektrod kuvvetinin uygulanması neticesinde oluşur. Bazı yüksek mukavemetli 2024 ve 7075 alaşımlarda kaynak akımı çok yüksek veya elektrod kuvveti kaynak sırasında çok düşük ise çatlama olasılığı artar (Demirkesen, 1997)..

Kaynak sonrası dövme akımı uygulanması veya artan azalan akım kontrolü (slope kontrol) yöntemlerinin kullanılması ile kaynak kalitesi artırılabilir.

4.3.5.3. Kaynak metalinin akması

Daha iyi bir yüzey temizliği yapılmalı ve kaynak akımı biraz düşürülmelidir. Ayrıca başlangıçta düşük tutulan elektrod kuvvetinin daha sonra aşırı şekilde artırılması neticesinde de görülmektedir (Demirkesen, 1997).

Kaynak edilecek sacın aşırı ısınması ve uygun olmayan elektrod kuvvetinin kullanılması, kaynak metalinin akmasına neden olur. Ayrıca kaynak noktasının parça kenarına olan uzaklığı çok yakın olmamalıdır (Demirkesen, 1997).

4.3.5.4. Sac yüzeylerinin ezilmesi

Alüminyum sac yüzeyleri çok yumuşaktır. Elektrod kuvveti düşürülüp, elektrod ucunun yuvarlatma yarıçapı büyütülmeli veya kaynak akımı ve süresi azaltılmalıdır. Ayrıca kaynak edilecek parçaların da düz olmaları gerekir (Demirkesen, 1997).

4.3.5.5. Uygunsuz kaynak biçimi ve ergime

Parçaların tam uydurulmaması, elektrodların merkezlememesi, yetersiz yüzey hazırlama veya elektrod ucunun uygun şekle sahip olmaması sonucunda karşılaşılır (Demirkesen, 1997).

4.3.5.6. Yüzey yanmaları

Yetersiz elektrod kuvveti, yüksek kaynak akımı ve yüzeyde bulunan yabancı cisimler nedeniyle meydana gelir. Kaynak makinasının akım ve elektrod kuvveti zaman ayarları kontrol edilmelidir (Demirkesen, 1997).

4.4. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW)

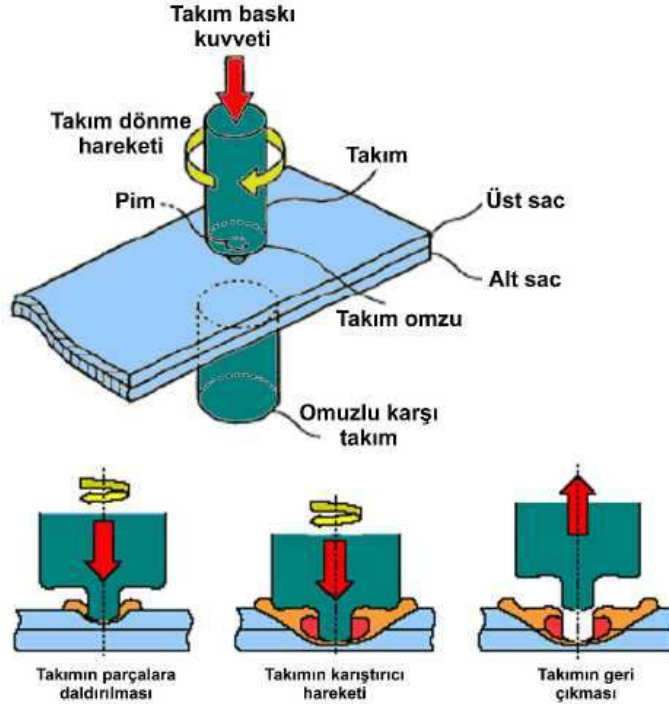
Elektrik direnç nokta kaynağına alternatif olarak geliştirilmiş olan ve alışılmış sürtünen elemanla kaynak veya yaygın adıyla sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) yönteminden yola çıkılarak geliştirilen sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemi, kaynak teknolojisi konusundaki son gelişmelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yöntem, nokta sürtünme kaynağı (Spot Friction Welding- SFW) veya sürtünme nokta birleştirmesi (Friction Spot Joining- FSJ) olarak da adlandırılmaktadır (Badarinarayan ve diğ, 2007).

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi, ilk olarak literatüre 2000 yılında girmiş ve 2001 yılında temel prensibi hakkındaki ilk rapor yayımlanmıştır. Bu yöntem 1999 yılında bir Japon otomobil kuruluşu olan Mazda tarafından geliştirilmiş ve daha sonra patenti alınarak ve literatür de yayımlanarak dünyaya tanıtılmıştır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ilk defa 2003 yılında Mazda RX-8'in yan kapı panel nokta kaynağında kullanılmıştır. (Pan 2007).

Son yıllarda otomotiv sektöründe alışılmış çelik sacların yerine daha hafif alaşımların kullanılması yönünde kritik kararlar alınmaktadır. Otomobil gövde yapımında ve kapalı panellerde; bagaj kapağı, motor kapağı gibi arabanın birçok bölgesinde alüminyum alaşımı saclar ya da daha ince kesitlerde yüksek mukavemetli çelik saclar kullanılarak gövde ağırlığını azaltılmıştır. Ağırlığı azaltmak otomotiv endüstrisinde yakıt tasarrufu sağlamaktadır. (Badarinarayan ve diğ, 2007).

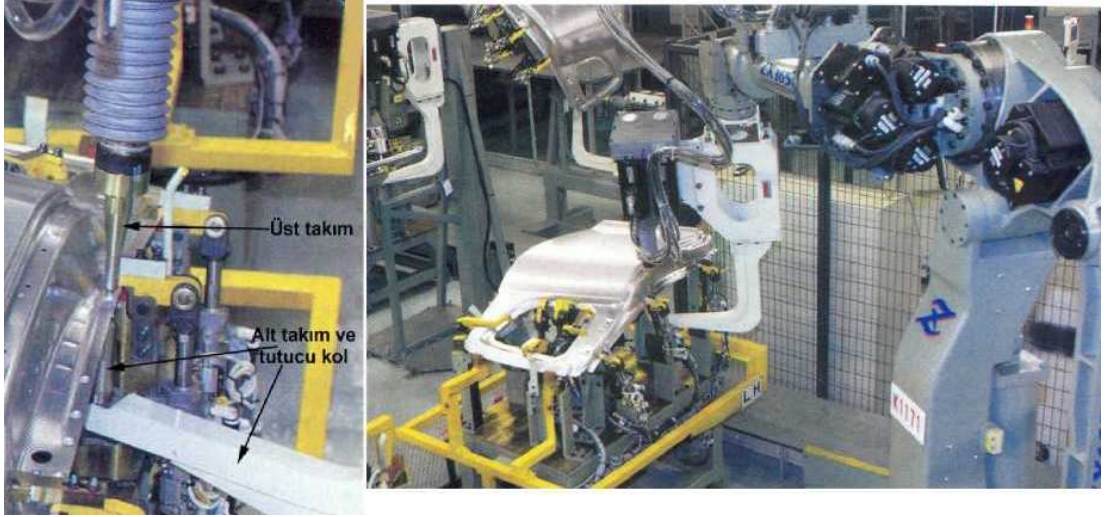
4.4.1. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulanması

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) prensibi Şekil 4.11’de verilmiştir. Bu yöntem bindirme pozisyonunda bulunan malzemelerin hem alt hem de üst bölgelerine uygulanır. Dönen uçlu aparat malzemeye sürtünme ısısı oluşturmak için üst yüzeyinden bir süre uygulanır. Dönen aparat bitişik olan ısınmış ve yumuşamış olan malzemede plastik akışa neden olur. Bununla birlikte takım omuzu malzemeye baskı verir. Belirli bir süre sonra takım malzemeden uzaklaştırıldıktan sonra nokta biçiminde kaynak oluşur (Badarinarayan ve diğ, 2007).



Şekil 4.11: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı prensibi (Kaluç ve Taban, 2007b).

Yöntemi geliştiren ve ilk kullanan Japon otomobil kuruluşu, yöntemin uygulanmasında bu yöntem için özel olarak geliştirilen kaynak robotunu kullanarak üretmekte olduğu spor model otomobillerin arka kapılarını ve motor kaputlarını üretmektedir. Ekipman fiyatları bakımından sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi direnç nokta kaynağına göre % 40 daha az yatırım masrafı gerektirdiği de belirtilmektedir. Şekil 4.12’de kaynak robotuyla yapılan FSSW kaynak uygulaması görülmektedir (Kaluç ve Taban, 2007b).



Şekil 4.12: Japon otomobil üreticisi kuruluş tarafından geliştirilen FSSW yönteminin spor model bir otomobilin gövde panellerinin ve arka kapılarının sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanımı (Kaluç ve Taban, 2007b).

4.4.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı kontrolü ve yöntem değişkenleri

Sürtünen elemanla nokta kaynak yöntemi iki kontrol türüyle uygulanmaktadır:

- 1-) Takım baskı kuvvetinin kontrolü
- 2-) Takım yer değişiminin (pozisyon) kontrolü

Şekil 4.13’de takım baskı kuvveti kontrollü sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yönteminin temel uygulanış çevrimi görülmektedir. Takım dönmeye başladıktan sonra takıma dik yöndeki kuvvetin artan oranı ile pim malzemeye doğru bastırılır. Takım baskı kuvveti önceden saptanan bir seviyeye ulaştıktan sonra yöntem süresince sabit tutulur ve önceden belirlenen kaynak süresine kadar da takım malzeme içinde daldırılmış konumda döner, daha sonra işlem durdurularak pim yukarı çekilir (Pan, 2007).

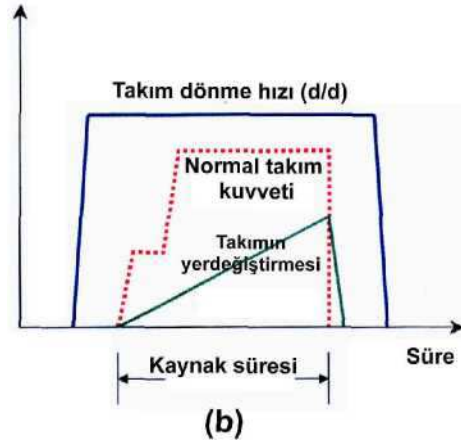


(a)

Şekil 4.13: FSSW yönteminde takım baskı kuvveti kontrolü çevrim diyagramı (Pan, 2007).

Şekil 4.14’de de takım yer değişiminin (pozisyon) kontrol edildiği kaynak çevrimi görülmektedir. Burada, takım dönmeye başladıktan sonra önceden belirlenen maksimum derinliğe erişilene kadar kontrollü bir biçimde parçalara daldırılır. Daha sonra işlem durur ve takım geri çekilir. Takım baskı kuvveti pim parçaya ilk daldırıldığı zaman nispeten daha düşük bir değerdedir, takım omuzu parça üst yüzeyine tam temas ettiğinde ise kuvvet daha yüksek sabit bir değere ulaştırılır (Pan, 2007).

Bu iki kontrol türü de otomotiv uygulamaları için robot kullanımına uygundur. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi ile oluşturulan kaynak bağlantılarının kesme makaslama mukavemeti üzerine yapılan çalışmalarda, bağlantıların mukavemetinin kaynak süresi, uygulanan basma kuvveti ve takım dönme hızına bağlı olduğu belirtilmiştir. Bunların yanı sıra, kaynak uygulanacak malzemelerin kalınlıkları, malzemenin türü, takımın omuz çapı ve takım piminin biçimi ve pimin uygulama derinliği de bağlantıların performansı üzerindeki etkili kaynak değişkenleridir (Pan, 2007).



Şekil 4.14: FSSW yönteminde takım yerdeğişimi çevrim diyagramı (Pan, 2007).

Optimum yöntem değişkenlerini saptamak amacıyla takım dönme hızının, pim dalma derinliğinin, pim dalma hızının, kaynak süresinin ve pim geometrisinin bağlantının kesme makaslama mukavemeti üzerine etkilerini incelemek üzere çeşitli kalınlıklardaki farklı alüminyum alaşımı sacların sürtünme karışırma nokta kaynağı (FSSW) üzerine yapılan çalışmalarda çok farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Pan, 2007).

Bu çalışmaların çoğundan alınan ortak sonuç; düşük takım dönme hızlarında (1000-1500 dev/dk) daha iyi bağlantı mukavemetlerinin elde edildiğinin belirtilmesidir (Pan, 2007).

4.4.3. Kaynak parametreleri

Sürtünme karışırma nokta kaynağı (FSSW) yönteminde kullanılan değişkenlere bağlı olarak değişik biçimlerde kaynak noktaları oluşmaktadır. Bu değişkenler;

- Kaynak edilen malzeme,
- Takım malzemesi,
- Takım omuz çapı,
- Takım geometrisi (pim çapı ve pim biçimi),
- Takımın dönme hızı,
- Kaynak hızı (Kaluç ve Taban, 2007c).

4.4.3.1. Takım malzemesi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) uygulamalarında kaynak edilecek malzemenin türüne bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda aşınma direncine sahip takımlar kullanılır. Yöntem önceleri alüminyum ve alüminyum alaşımları için kullanıldığından alaşımsız çeliklerden yapılmış takımlar ile iyi sonuçlar alınmıştır. Ancak yöntemin ısı işlem görmüş bazı alüminyum türlerinde de kullanılması takımın aşınmasına ve kısa sürede kırılmasına neden olmuştur. Zaman içinde alaşımsız çelik takımlar yerini alaşımlı çelik takımlara bırakmıştır. Alüminyum alaşımlarının normal türlerinde alaşımlı AISI 4140 ve AISI 4340 türü transmisyon (mil) çelikleri kullanılabilmesinin yanı sıra (X40CrMoV51) sıcak iş takım çeliği ve bazı tür HSS (EN HS 6-5-3) yüksek hız çelikleri kullanılabilir. İnce alüminyum levhaların kaynağında da C45, C50, C60 gibi az alaşımlı takım çelikleri kullanılmaktadır (Kaluç ve Taban, 2007c).

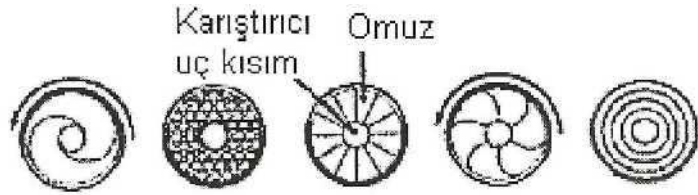
4.4.3.2. Takım dönme hızı ve kaynak hızı

Yapılan çalışmalarda genel olarak takım devri 1000-2000 devir/dk değerlerindedir. Bu devirler özellikle birleştirmenin mukavemeti ve kaynak süresi üzerinde olumlu ya da olumsuz etki yapmaktadırlar. Çalışmaların çoğundan alınan ortak sonuç; düşük takım dönme hızlarında (1000-1500 devir/dk) daha iyi bağlantı mukavemetlerinin elde edildiği belirtilmektedir (Sederstrom, 2007).

Genel olarak ortaya çıkan kaynak süresi 1,5 sn ile 3,25 saniye arasında değişmektedir. Bu süre kaynak malzemesi ve takım devri ile değişmektedir (Sederstrom, 2007).

4.4.3.3. Takım omuz çapı

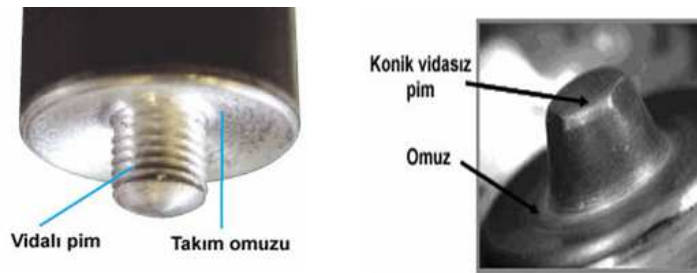
Sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi üzerine yapılan çalışmalar, malzemeye basınç uygulayan omuzlu takımın omuz profillerinin kaynak kalitesi üzerinde etkisi olduğunu göstermiş, bu amaçla çeşitli omuz profillerine sahip takımlar geliştirilerek endüstriyel uygulamalarda kullanılmıştır. Şekil 4.15’de farklı omuz biçimleri görülmektedir. Özellikle omuz profili, kaynak edilen malzemede kaynak sırasında plastik şekil değiştiren metali aşağıya doğru bastırarak kaynak dikişinin oluşumunu etkilemektedir (Kaluç ve Taban, 2007c).



Şekil 4.15: Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan farklı omuz biçimleri (Kaluç ve Taban, 2007c)

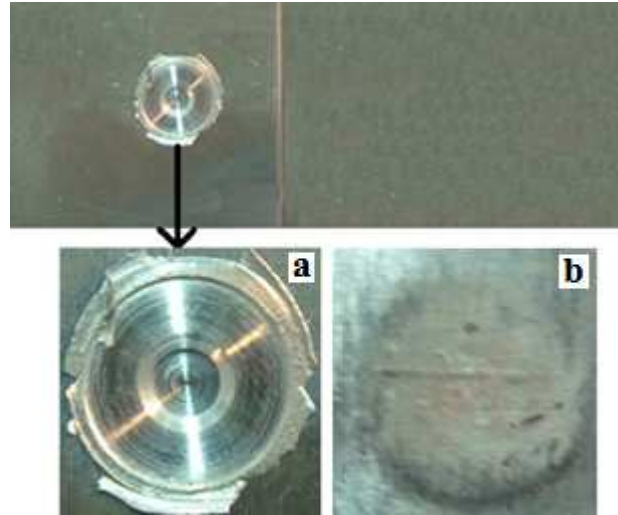
4.4.3.4. Takım geometrisi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynak kalitesine etkiyen en önemli etkenlerden biri yöntemde kullanılan takım geometrisidir. Takım bu yöntemin uygulanmasında iki önemli görevi yerine getirmektedir. Bunlardan ilki yerel ısı oluşturmak, diğeri de ısınarak plastikleşmiş olan malzemeyi takım arkasına doğru iterek yer değiştirmesini sağlamaktır (Kaluç ve Taban, 2007c). Şekil 4.16’da sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan takım örnekleri görülmektedir.



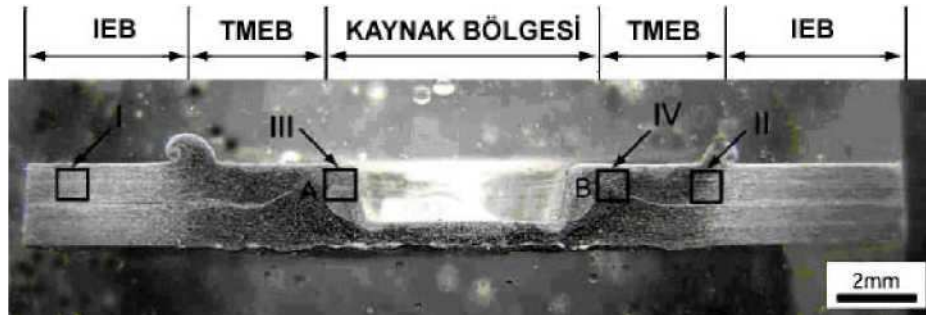
Şekil 4.16: FSSW kaynağı yönteminde kullanılan takımlardan örnekler (Kaluç ve Taban, 2007b).

Japon kuruluğu tarafından geliştirilen FSSW yönteminde pimli üst takımın yukarıya çekilmesi sonucu bir delik kalmaktadır. Şekil 4.17’de alışılmış FSSW yöntemi takımı kullanılarak oluşturulan bir deney parçasındaki noktanın üst ve arka görünümü verilmektedir (Kaluç ve Taban, 2007c).



Şekil 4.17: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi ile elde edilen kaynak görüntüsünün üst ve alttan görüntüsü (a-üst görünüş b-Alt görünüş)

Şekil 4.18’de da FSSW yöntemi ile elde edilmiş bir bağlantının kesiti ve kaynak bölgesinde oluşan metalurjik değişimler verilmiştir.



Şekil 4.18: Alışılmış FSSW yöntemiyle ortaya çıkan noktanın kaynak bölgesinde oluşan metalurjik değişimler verilmiştir (Kaluç ve Taban, 2007b).

4.4.4. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı makinaları

Alışılmış direnç nokta kaynağına alternatif olarak geliştirilen sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemi bu konudaki son gelişmelerden biri olarak karşımıza gelmektedir. Japonya'da bir otomobil üreticisi tarafından geliştirilen bu yöntem zaman içinde Amerika, Japonya ve Almanya gibi çeşitli ülkelerdeki FSW makinası ve robot üreticileri tarafından da geliştirilerek patenti alınmış ve bu yeni FSSW makinaları otomobil ve tren üreticileri tarafından ilk prototiplerin oluşturulmasında ve ileriye dönük üretimlerde kullanılmak üzere devreye alınmaya başlamışlardır.

Amerika, Avrupa ve Japonya'da bulunan bu kuruluşlardan bazıları ilk araç prototipleri üreterek denemeler yapmaktadırlar. Bazı otomobil üreticileri de FSSW yöntemini ileride kullanabileceklerini ve gelecek on yılda yöntemin devreye alınabileceğini belirtmektedirler (Kaluç ve Taban, 2007b).

C çerçeve şeklinde sürtünme karıştırma nokta kaynak makinası Şekil 4.19'da görülmektedir. Bu makine geleneksel elektrik direnç nokta kaynağı tezgâhına benzer ve takım döndürme ünitesi ve aksel basma ünitesine sahiptir. İndüksiyon motoru takım döndürmek için kullanılır. Yaklaşık 80 Kg' dır (Badarinarayan ve diğ, 2007).



Şekil 4.19: Bir Amerikan kuruluşunca geliştirilen C- çerçeveli robotik sürtünme karıştırma nokta kaynak makinası (Kaluç ve Taban, 2007b).

C çerçeve şeklinde sürtünme karıştırma nokta kaynak makinası Şekil 4.20’de görülen 6 eksen hareket kabiliyetine sahip Kawasaki Robota monte edilmiştir (Badarinarayan ve diğ, 2007).



Şekil 4.20: Japonya’da geliştirilerek patenti alınan robotik FSSW makinası (Kaluç ve Taban, 2007b).

Şekil 4.21’de ise tezgah üstü işlemleri yapabilen bir sürtünme karıştırma nokta kaynak makinası görülmektedir.



Şekil 4.21: Bir Amerikan kuruluşunca geliştirilen tezgah üstü kaynak işlemleri yapabilen robotik FSSW makinası (Kaluç ve Taban, 2007b).

4.4.5. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulandığı malzemeler

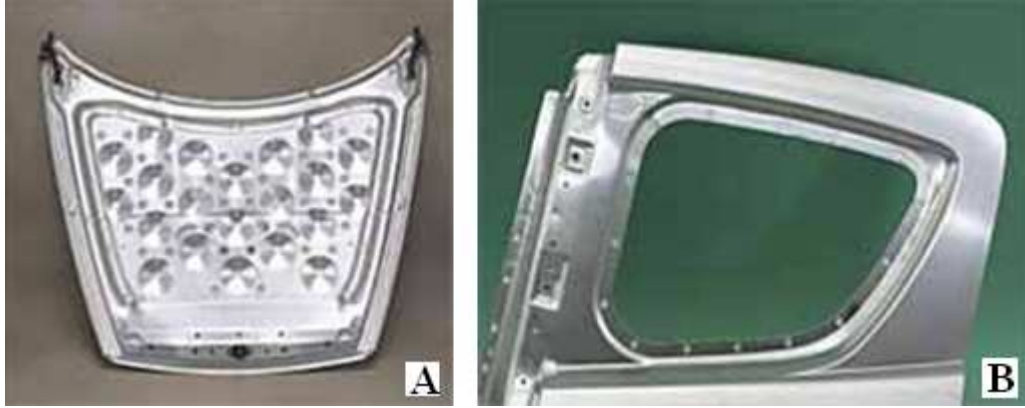
Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi öncelikle direnç nokta kaynağı ile kaynak edilmesinde bir dizi problemle karşılaşılan alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi üzerine geliştirilen bir yöntem olma özelliğini uzun süre korumuştur. Yöntem öncelikle 6xxx serisi alüminyum sacların nokta kaynağında kullanılmış ve zaman içinde diğer alüminyum alaşımlarının kullanıldığı endüstri kolları için olan araştırmalara konu olmuştur. Yapılan araştırmalarda 6111-T4, 5052-H32, 5754-O, 2017-T6, 5182-O, 6060-T5 alüminyum saclar kullanılmış ve başarılı kaynak bağlantılarının oluşturulduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, yöntem yine otomotiv endüstrilerinde kullanılan AM60, AZ91, AZ31 magnezyum alaşımlarına da uygulanmıştır. Yöntemin farklı metal birleştirmelerine uygulanması yönünde yapılan bir çalışma da 1050 alüminyum alaşımının AISI 304 paslanmaz çelik malzemesi ile kaynak edilmesi üzerine olmuştur (Pan, 2007).

Son yıllarda otomotiv endüstrisinin ilgisini çeken ve kullanıma almakta olduğu çift fazlı yüksek mukavemetli çelikler olan DP600, DP780, DP800 ve martenzitik içyapılı çelik saclardan M190, FSSW yöntemi ile birleştirilerek bağlantıların performansları değerlendirilmiştir (Pan, 2007). Yüksek mukavemetli çeliklerin FSSW kaynağı üzerine FSW yönteminin bulunduğu ve geliştirildiği TWI tarafından da endüstriyel bazda araştırma projeleri yürütülmektedir. Gelecek birkaç yıl içinde yöntemin özellikle metalik malzemeler için endüstriyel kullanımının artarak gerçekleşeceği belirtilmektedir (Kaluç ve Taban, 2007b).

4.4.6. Sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulanma alanları

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Yüksek birleştirme kalitesi ve düşük üretim giderleri nedeniyle diğer yöntemlere göre sürtünme karıştırma nokta kaynağı dikkat çekmektedir. Bindirme pozisyonunda sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) geleneksel direnç nokta kaynağına (RSW) göre daha üstün özelliklere

sahip olmakla birlikte aynı zamanda daha az enerji kullanımı ve daha az bakım maliyeti gerektirir. Çeliklerin yanı sıra alüminyum ve alüminyum alaşımları gibi hafif malzemelerin otomotiv endüstrisinde kullanılmasıyla taşıt ağırlıkları azalmakta ve yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Otomotiv endüstrisinde yapılan uygulama örneği Şekil 4.22’de görülmektedir.



Şekil 4.22: FSSW kaynağı kullanılarak üretilmiş otomobil parçaları A-) Otomobil motor kaputu B-) Otomobil arka kapası (Kaluç ve Taban, 2007b).

4.5. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Uygulaması Üzerine Yapılan Çalışmalar

Sürtünme karıştırma nokta tekniği Japon otomobil firması olan Mazda tarafından bulunmuştur ve bu teknoloji ilk defa 2003 yılında Mazda RX-8’in yan kapı panel nokta kaynağında kullanılmıştır. Mazda firmasının tahminlerine göre sürtünme karıştırma nokta kaynağı sistemi için yapılması gereken yatırım dengi bir elektrik direnç nokta kaynağı sistemi için yapılması gerekenden yaklaşık %50 daha azdır. Bunun nedeni de sürtünme karıştırma nokta kaynağı sisteminde elektrik direnç nokta kaynağında olduğu gibi büyük bir enerji kaynağına, soğutma ünitesi vb. gerek yoktur (Badarinarayan ve diğ, 2007).

Tek bir noktanın kaynak yapılması için gerekli olan maliyet kıyaslandığında FSSW kaynağı yöntemi elektrik direnç nokta kaynağına göre % 85 daha ucuzdur. Bu düşük maliyetlerden dolayı FSSW yöntemi otomotiv endüstrisinde çok kullanışlı bir kaynak yöntemidir (Badarinarayan ve diğ, 2007).

Elektrik direnç nokta kaynağı, yöntemine rakip olarak çıkan sürtünme

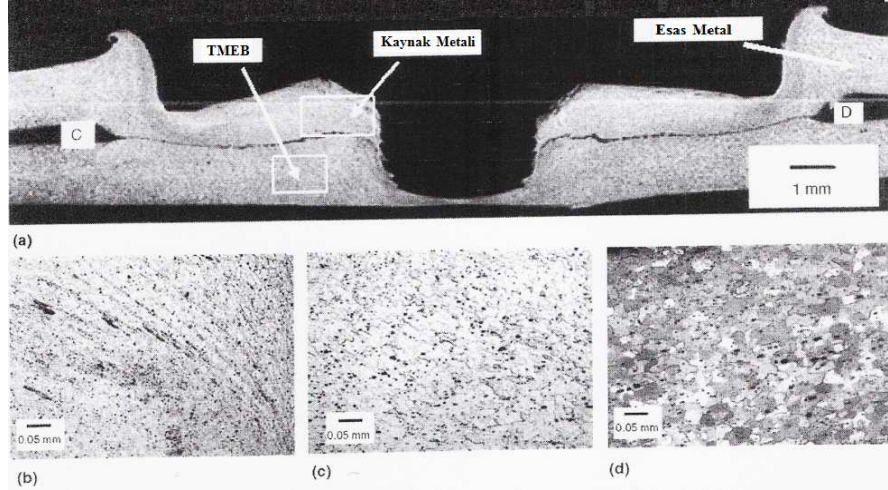
karıştırma nokta kaynağı Mazda'nın ilk defa bu yöntemi üretim hattında kullanmasıyla birlikte hızlı bir şekilde gelişmiştir. Kaynak parametrelerini optimize etmek için takım devri, uç geometrisi gibi etkenler üzerinde çalışmalar yapılarak yöntem daha iyi anlaşılmaya çalışılmaktadır (Sakano ve diğ, 2001).

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulamasında kaynak mukavemet değerlendirmesiyle ilgili olarak yapılan bir çalışmada 1 mm kalınlığında AA 5754 saclar kullanılmıştır. 25,4 mm eninde ve 101,6 mm boyunda olan kaynak edilecek numuneler bindirme pozisyonunda 25,4 mm kaynak merkezi ölçüsünde kesiştirilerek sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılmıştır. Takım geometrisi olarak konkav omuzlu ve düz omuzlu takımlar kullanılmıştır (Badarinarayan ve diğ, 2007).

Dalma derinliğinin etkisini incelemek için numuneler iki farklı derinlikte (1,85 mm ve 1,95 mm) sürtünme karıştırma nokta kaynağı edilmiştir. Konkav omuza sahip olan takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağında derinlik 1,85 mm'den 1,95 mm'ye çıktığında maksimum çekme makaslama yükü %4,7 artmış ve 2,92 kN'dan 3,06 kN'a çıkmıştır (Badarinarayan ve diğ, 2007).

Düz omuza sahip olan takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağında derinlik 1,85 mm'den 1,95 mm'ye çıktığında çekme makaslama yükü 2,88 kN'da aynı kalmıştır (Badarinarayan ve diğ, 2007).

Şekil 4.23'de konkav omuza sahip takımla 5754 alüminyum alaşımı saclara yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı makroyapı ve mikroyapıları görülmektedir. Merkez etrafındaki çentiğin yapısı takım uç piminin yapısına benzemektedir. Konkav omuz üst metaldeki malzemeyi kenarlara doğru fişkirtmakta ve çapak oluşmasına neden olmaktadır. Alt ve üst plakaların arasında kaynak olmamış ara yüzeydeki çentik uçları "C" ve "D" gösterilmiştir. Şekil 4.23'de görüldüğü gibi esas metalde taneler daha büyüktür ancak esas metalden kaynak metaline doğru taneler sıklaşarak küçülmektedir.



Şekil 4.23: AA 5754 Alüminyum alaşımı sacların FSSW yöntemiyle kaynatılması sonucu makro yapı ve mikro yapı görüntüsü (a) Makroyapı görüntüsü (b) Kaynak metali (c) TMEB (d) Esas metal (Badarinarayan ve diğ., 2007).

Yapılan bir başka sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulamasında 25,4 mm genişliğinde 101,6 mm uzunluğunda ve 0,94 mm kalınlığında 6111-T4 alüminyum alaşımı numunesi kullanılmıştır. Kaynak edilecek numuneler bindirme pozisyonunda 25,4 mm kaynak merkezi ölçüsünde kesiştirilerek sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılmıştır. Takım malzemesi olarak H13 takım çeliği kullanılmıştır. Takım sabit dönme hızı 2000 devir/dk'dır. Dalma derinliğinin etkisini incelemek için numunelere dalma derinliği 1,60 mm ile 1,90 mm arasında değişmektedir (Pan, 2007).

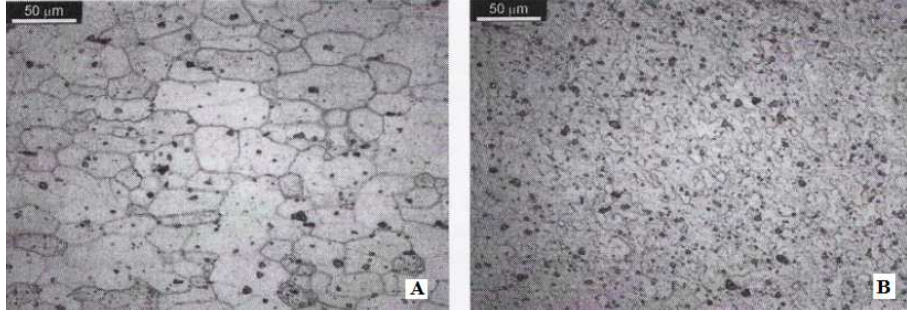
Takım dalma derinliği 1,60 mm iken çekme makaslama yükü değeri 2,77 kN, 1,70 mm iken 2,98 kN, 1,80 mm iken 3,02 kN ve 1,90 mm iken 2,89 kN olduğu bulunmuştur. Burada en yüksek kesme makaslama yükü değeri 3,02 kN olarak 1,80 mm dalma derinliğinde elde edilmiştir (Pan, 2007).

Takım dalma derinliği ile artan malzeme kesme makaslama yükü değeri 1,90 mm dalma derinliğinde 2,89 kN'a düşmektedir. Bunun nedeni takımın sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılan malzemeye fazla dalması nedeniyle malzeme üst yüzeyinde kaynak çevresinde incelmeye neden olmasıdır (Şekil 4.24). Bu nedenle 1,90 mm dalma derinliğinde çekme makaslama yükü değerinde düşme görülmüştür (Pan, 2007).



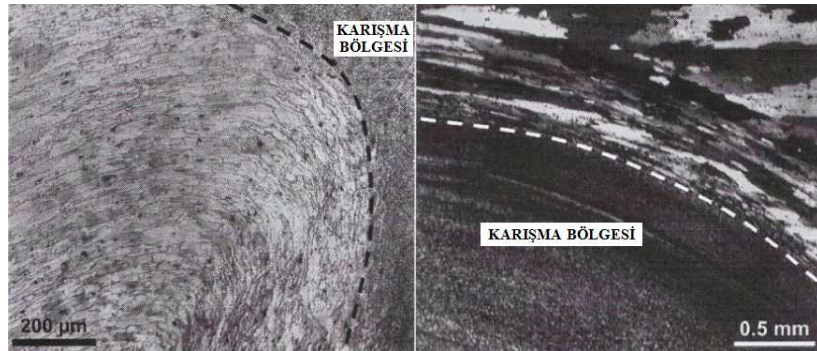
Şekil 4.24: 6111-T4 Alüminyum alaşımı numunede takım dalma derinliğine bağlı kaynak çevresindeki inceleme (Pan, 2007).

6111-T4 alüminyum alaşımı numunelere ait mikroyapı resimleri Şekil 4,25’de görülmektedir. Mikroyapı resimlerinde de görüldüğü gibi kaynak metali mikroyapı görüntüsünde tanelerin boyutu karışmanın etkisi ve plastik akış dolayısıyla ana metalin mikroyapı görüntüsündeki tanelerin boyutundan 3-5 kat daha küçüktür. Kaynak metalinde daha sık bir tane yapısı mevcuttur.



Şekil 4.25: 6111-T4 Alüminyum alaşımı numuneye ait mikro yapı görüntüsü (A) Esas metal (B) Kaynak metali (Pan, 2007).

FSSW yöntemiyle kaynak edilen Al 7075-T6 alüminyum alaşımı numunelere ait mikroyapı incelemesi Şekil 4.26’da verilmiştir. Bu görüntüden anlaşılacağı gibi TMEB’den karışma bölgesine (kaynak metali) doğru daha ince yapıli taneler bulunmaktadır. Ayrıca karışma bölgesinde taneler homojen bir dağılım göstererek paralel olarak uzanmaktadır (Gerlich ve diğ, 2007)



Şekil 4.26: 7075-T6 Alüminyum alaşımı numuneye ait mikro yapı görüntüsü (Gerlich ve diğ, 2007)

BÖLÜM 5. ÇALIŞMANIN AMACI VE PLANLANMASI

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, içerdikleri alaşım elementi miktarlarına ve gördükleri mekanik işlem veya ısıl işleme göre mekanik özellikleri ve korozyon dirençleri bazı tür çeliklere yaklaşan endüstriyel bir malzeme grubu olarak son yıllarda artan kullanım alanına sahip ve ekonomik metalsel malzemeler konumuna gelmişlerdir. Bu tür malzemelerin kullanım alanları; ev eşyalarından uzay teknolojisine kadar geniş bir alana yayılmıştır. Özellikle taşıt endüstrisinde, otomobillerde ve demiryolu taşıtlarında kaporta malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında yüksek hızlı trenlerde, dış kaplama ve çatı panellerinde, savunma endüstrisinde, zırhlı taşıt yapımında, gemi yapım endüstrisinde, havacılık endüstrisinde, askeri ve sivil amaçlı uçakların yapımında, roket yapımında, uzay aracı parçaların yakıt depolarında kullanılmakta ve çeşitli kaynak yöntemleriyle birleştirilmektedirler.

Yukarıda kullanım alanları kısaca belirtilen alüminyum ve alüminyum alaşımlardan üretilen levhaların veya sacların özellikle otomotiv endüstrilerinde kullanımı son yıllarda popüler konulardan bir tanesi olmuştur. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının taşıt endüstrisinde kullanılan türlerinin başında 5xxx serisi alaşımlar ile 6xxx serisi alaşımlar gelmektedir. Ülkemizde ve dünyada AW 5754-O veya AW 6111-T4 gibi alaşımlar çok kullanılmaktadır. Bu endüstrilerde kullanılan sacların en çok bindirme türü birleştirmeler biçiminde olması dolayısı ile bu tür birleştirmelere uygun olan basınç esaslı (katı faz) kaynak yöntemlerinden elektrik direnç nokta kaynağının yanı sıra yeni bir katı faz kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma nokta kaynağı da kullanılmaya başlamıştır. Zira alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında ergitme oluşturmaksızın gerçekleştirilebilecek bir yöntem olan sürtünme karıştırma nokta kaynağı yaygın bir biçimde kullanılır konuma gelmektedir.

Özellikle son yıllarda, uzun ömürlü taşıt yapımına dönük projeler, farklı alüminyum alaşımlarının FSSW yöntemi ile birleştirilmesinin önemini bir kez daha gündeme getirmiştir ve bu konularda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları birçok gelişmiş ülkede sayıca artmıştır. Yöntemin kullanımı ile kaliteli kaynak bağlantılarının oluşturulabilmesi için uygun kaynak parametrelerinin saptanması ve bağlantının çekme mukavemeti üzerine etkisi güncelliğini hala korumaktadır. Dolayısı ile ülkemiz otomotiv endüstrilerinde halen kullanılmayan bu yeni yöntem ile oluşturulan bağlantıların performanslarını incelemek ve elde edilen bilgileri endüstriye aktarmak amacı ile bu çalışma planlanmıştır.

Bu çalışmanın elektrik direnç kaynağı uygulaması bölümünde hiçbir işlem görmemiş aynen piyasadan temin edilmiş halde olan alüminyum alaşımı numuneler ile yüzeyi özel olarak zımparalanarak pürüzlendirilmiş numunelere ayrı ayrı elektrik direnç nokta kaynağı uygulaması yapılmış, yüzey temas dirençleri değişmiş olan kaynak bağlantılarının mukavemet değerlerindeki değişim incelenmiştir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulaması bölümünde ise takım geometrisi değiştirilmiş ve bu değişimin kaynaklı numuneler üzerindeki mukavemet değerlerindeki değişim incelenmiştir. FSSW yöntemiyle kaynak edilmelerinde bir dizi ön deney yapılmış ve literatürde verilmiş parametreler ile ön deneylerde saptanan parametreler karşılaştırılması amaçlanarak kaliteli FSSW kaynaklı bağlantıların oluşturulması için optimum kaynak parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır.

Yapılan kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri ve kaynak bölgelerinde, kaynak parametrelerine bağlı olarak oluşan kaynak ısı girdisi nedeni ile ortaya çıkan özellikler detaylı bir biçimde incelenmiştir. Dolayısı ile bu çalışmada, EN AW 5754-O (AlMg3) alüminyum alaşımının elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile kaynağında ve sürtünme karıştırma nokta kaynağında oluşan bağlantıların mekanik özelliklerini incelemek üzere çekme deneylerine tabi tutulmuş, kaynak bölgelerinin metalurjik dönüşümlerini görmek için makro ve mikro yapılarını incelenmiş ve Vickers sertlik taraması yapılmıştır.

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Genel

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak dövme alüminyum alaşımı olan EN AW-5754-O (EN AW - AlMg3) saclar kullanılmıştır. AW-5754 alüminyum alaşımı, saclar birbirlerine direnç nokta kaynağı (RSW) ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) kaynak yöntemleriyle uygun parametreler kullanılarak kaynak edilmişlerdir.

Ayrı ayrı elektrik direnç nokta kaynağı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılan bağlantıların mukavemet değerlerini saptamak amacıyla numunelere çekme deneyi uygulanmış ve metalografik incelemeye tabi tutulmuşlardır.

6.2. Deney Malzemesi

Bu çalışmada, 1 mm kalınlığında, kimyasal bileşimi Tablo 6.1' de, mekanik özellikleri Tablo 6.2' de verilen alüminyum alaşımı deney malzemesi olarak kullanılmıştır.

Tablo 6.1: Deney malzemesinin kimyasal bileşimi.

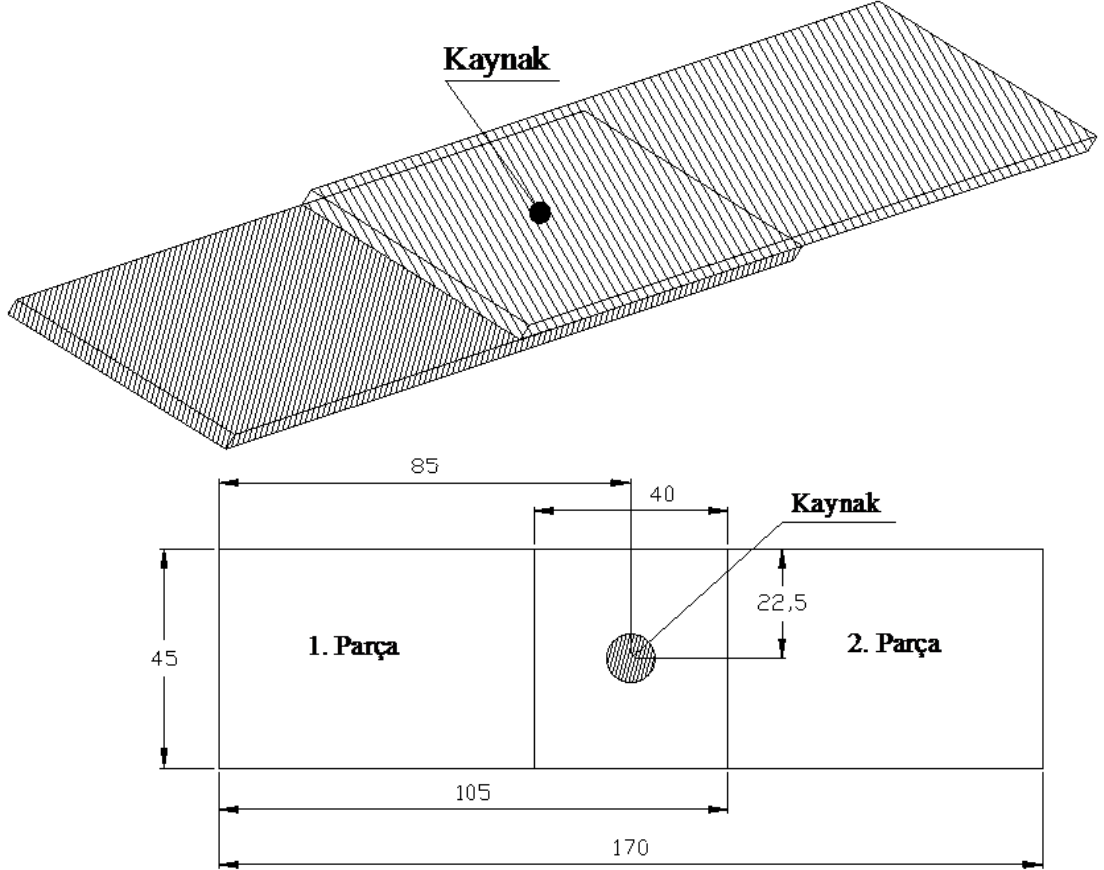
Alaşım		Kimyasal Bileşimi (%)				
Numerik	Kimyasal Sembol	Si	Fe	Mn	Mg	Al
EN AW 5754-O	EN AW - AlMg3	0,4	0,4	0,5	2,6-3,2	Kalanı

Tablo 6.2: Deney malzemesinin mekanik özellikleri

Alaşım		Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Numerik	Kimyasal Sembol		
EN AW 5754-O	EN AW - AlMg3	120	215

6.3. DeneY Parçalarının Boyutları

Kaynak edilecek parçaların boyutları ISO/DIS 14273 uluslararası standardına göre saptanmıştır. 1 mm kalınlığında 45x105 mm'lik levhalar bindirme pozisyonunda kaynak edilecek şekilde hazırlanmıştır. Kaynak edilecek parçaların boyutları Şekil 6.1' de verilmiştir.



Şekil 6.1: Bindirme pozisyonunda kaynaklı deneY parçası boyutları.

6.4. Kaynak Öncesi Yapılan İşlemler

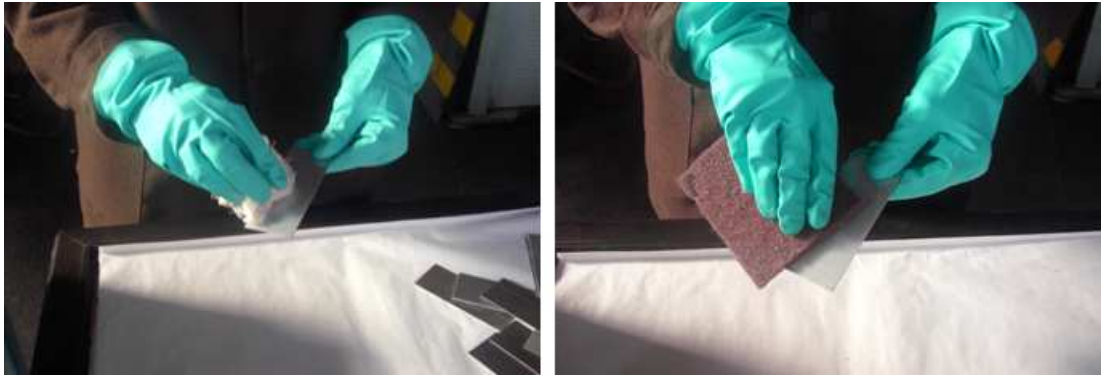
Bu çalışmada deneY malzemelerinin standarda uygun şekilde kesilmesinin ardından kenarlarında çapakları alınmıştır. Elektrik direnç nokta kaynağı uygulaması için hiçbir işlem görmemiş aynen piyasadan temin edilmiş halde olan alüminyum alaşımı numuneler ile yüzeyi özel olarak zımparalanarak pürüzlendirilmiş numuneler hazırlanmıştır.

Temizleme işlemleri sırasında, elektrik direnç kaynağıyla kaynak edilecek alüminyum alaşımı numuneler Şekil 6.2’de görüldüğü gibi kaynak işlemine başlamadan önce malzeme yüzeyi zımparalanarak mekanik temizleme yöntemi uygulanmıştır. Böylece hem malzeme yüzeyi pürüzlendirilmiş hem de malzeme yüzeyinde bulunan oksit tabakası temizlenmiştir.



Şekil 6.2: Malzemenin zımparalanarak temizlenmesi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağıyla kaynak edilecek alüminyum alaşımı numuneler Şekil 6.3’de görüldüğü gibi malzeme yüzeyinde oluşabilecek oksit tabakasını yok etmek için mirlon kullanılarak temizlenmiştir. Daha sonra standarda uygun olarak bindirme mesafesi ve kaynak noktası işaretlenmiştir.



Şekil 6.3: Malzemenin mirlonlanarak temizlenmesi

6.5. Kaynak İşlemlerinin Yapılışı

6.5.1. Elektrik direnç nokta kaynağı yönteminin uygulanması

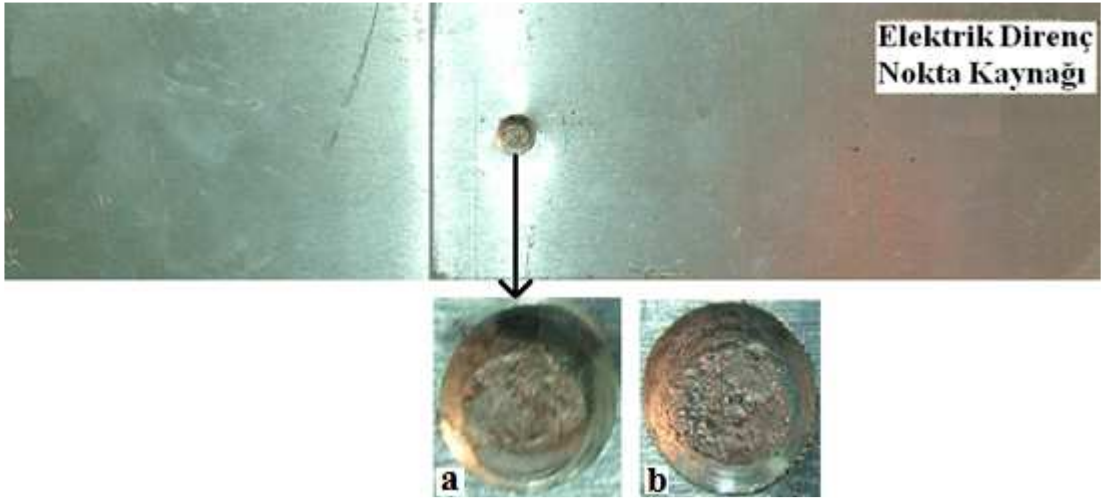
Standard esaslarına göre hazırlanan alüminyum alaşımı numuneler daha önce yapılan ön deneyler sonucunda ve literatürden saptanan kaynak parametreleri kullanılarak elektrik direnç nokta kaynak yöntemi uygulanmıştır. Elektrik direnç kaynak makinası

olarak 441 KVA gücünde, 700 kgf basma kuvvetine sahip pünomatik basma tertibatlı kaynak makinası kullanılmıştır. Bu aşamada alüminyum alaşımı numuneler daha önce kaynak yeri ölçüleri belirtildiği şekilde bindirme pozisyonunda kaynak edilmiştir (Şekil 6.4).

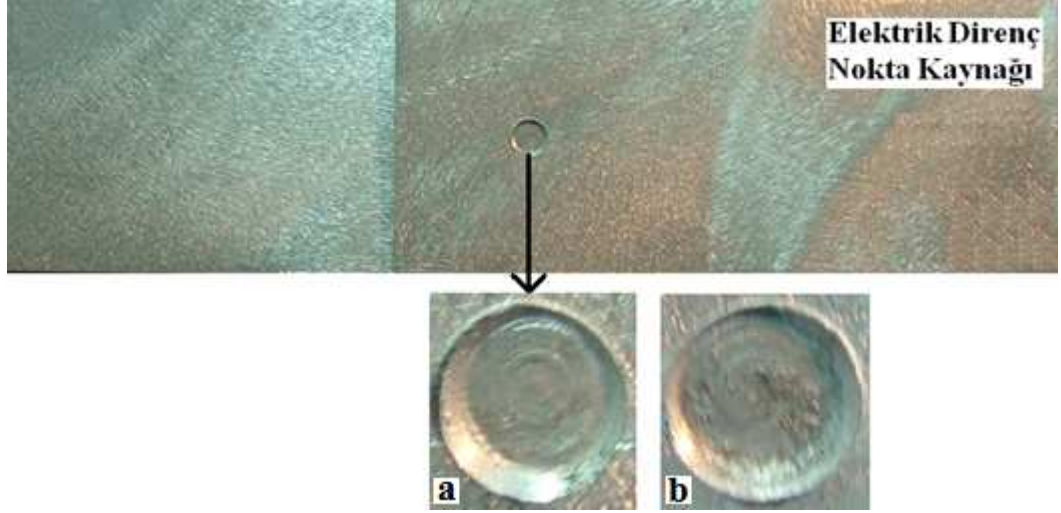


Şekil 6.4: Malzemenin elektrik direnç kaynağı uygulaması

Elektrik direnç nokta kaynağı uygulaması için hiçbir işlem görmemiş aynen piyasadan temin edilmiş halde olan AW 5754 alüminyum alaşımı parçalar Şekil 6.5’de ve yüzeyi zımparalanarak pürüzlendirildikten sonra kaynak edilmiş parçalar Şekil 6.6’da görülmektedir.



Şekil 6.5: Hiçbir işlem görmemiş piyasa durumunda AW 5754 alüminyum alaşımı direnç nokta kaynağı görüntüsü (a) Üst görünüş (b) Alt görünüş



Şekil 6.6: Yüzeyi zımparalanarak pürüzlendirilmiş durumda AW 5754 alüminyum alaşımı direnç nokta kaynağı görüntüsü (a) Üst görünüş (b) Alt görünüş

6.5.1.1. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrod

Elektrik direnç nokta kaynağı ile AW 5754 alüminyum alaşımı numunelerin kaynağının yapılmasında temas yüzeyi çapı 5 mm olan saf bakır elektrodlar kullanılmıştır.

6.5.1.2. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan kaynak parametreleri

Elektrik direnç nokta kaynağında AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere 2,5 kN elektrod kuvveti, kaynak akımı makina maksimum akımının %68'i değerinde 30 kA, 7 periyod'luk kaynak süresi, 10'ar periyod'luk sıkıştırma ve tutma süreleri uygulanmıştır.

6.5.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminin uygulanması

ISO/DIS 14273 standardında belirtilen esaslara göre hazırlanan alüminyum alaşımı numuneler universal freze tezgâhında literatürden saptanan kaynak parametreleri ve daha önce yapılan ön deneyler sonucunda saptanan kaynak parametreleri kullanılarak sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemi ile kaynak yapılmıştır.

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yarı otomatik freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kaynak yapılacak numuneler freze tezgâhının tablası üzerine

bindirme pozisyonunda bağlama pabuçlarıyla sabitlenerek bağlanmış ve alüminyum alaşımı numuneler daha önce kaynak yeri ölçüleri belirtildiği şekilde bindirme pozisyonunda sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılmıştır. Şekil 6.7’de kaynak işlemi yapılan freze tezgâhı ve kaynak edilecek parçaların freze tezgâhına bağlanması gösterilmiştir.



Şekil 6.7: Kaynak işleminde kullanılan freze tezgâhı ve kaynak edilecek parçaların freze tezgâhına bağlanması.

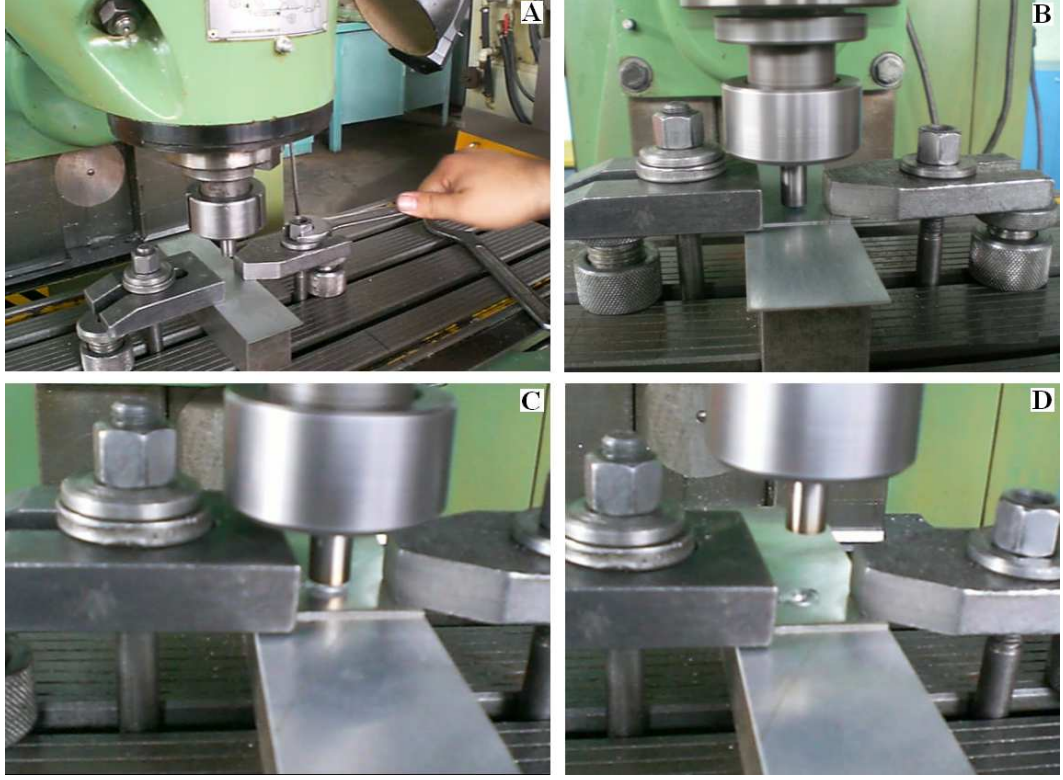
Sürtünme karıştırma nokta kaynağının AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere uygulanması Şekil 6.8 A,B,C,D’de şematik olarak gösterilmiştir.

A-) Bu aşamada AW 5754 alüminyum alaşımı numuneler daha önce kaynak yeri ölçüleri belirtildiği şekilde bindirme pozisyonunda markalandıktan sonra freze tezgâhının tablasına bağlama pabuçlarıyla sabitlenerek bağlanır.

B-) Dikey olarak hareket eden takım pim ucu numunenin markalanmış kaynak yapılacak bölgesine 1-2 mm mesafe kalacak şekilde yaklaştırılır.

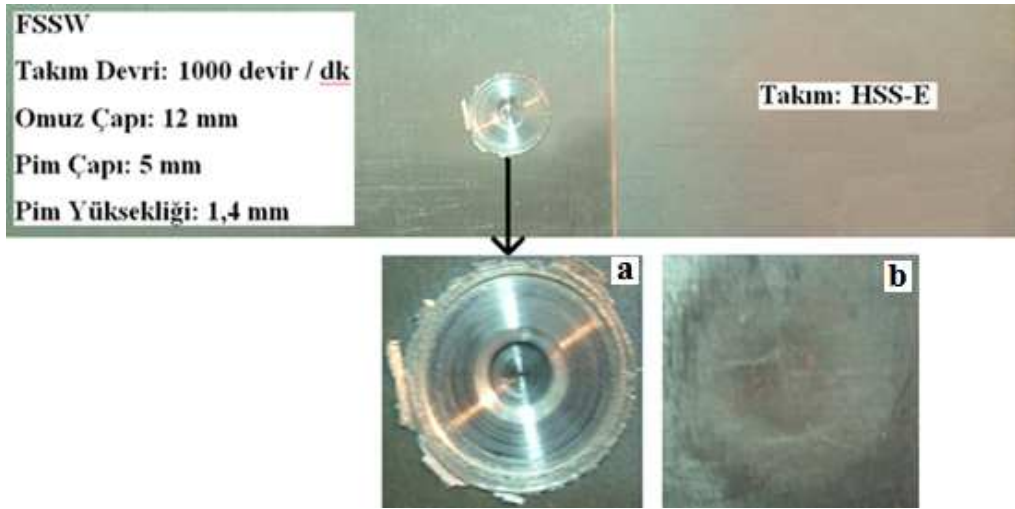
C-) Takım 1000 devir/dk dönme devrinde sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılacak numuneye daldırılarak markalanan kaynak noktasından sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılır.

D-) Takım kaynak bölgesinden uzaklaştırılır. Numuneyi sabitleyen bağlama pabuçları sökülür ve AW 5754 alüminyum alaşımı numunenin kaynağı tamamlanır.

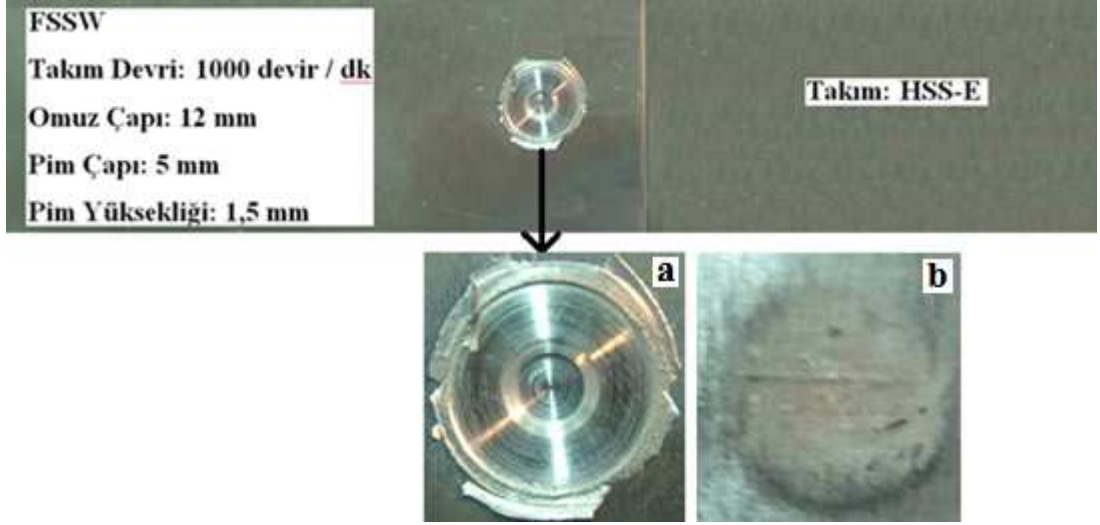


Şekil 6.8: Sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulanması

Alüminyum alaşımı numunelere 1,4 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı görüntüsü Şekil 6.9'da 1,5 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.9. 1,4 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı görüntüsü (a) Üst görünüş (b) Alt görünüş



Şekil 6.10. 1,5 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı görüntüsü (a) Üst görünüş (b) Alt görünüş

6.5.2.1. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminde kullanılan takım geometrisi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile alüminyum alaşımı numunelerin kaynağının yapılmasında HSSE Co8 3324 malzemesinden imal edilen takım kullanılmıştır. Kullanılan takımın omuz çapı 12 mm, pim çapı 5 mm, pim yüksekliği 1,5 mm ve 1,4 mm olan takımlar kullanılmıştır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan takımlar Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11: Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kullanılan takımlar
A) Pim yüksekliği 1,4 mm, B) Pim yüksekliği 1,5 mm

6.5.2.2. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yönteminde kullanılan kaynak parametreleri

Sürtünme karıştırma nokta kaynağında AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere literatür taramaları ve ön denemeler sonucunda saptanan takım dönme devri kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Takım devri 1000 devir/dk olarak uygulanmıştır. Kaynak süresi 1,5 sn ile 2 sn arasında olmaktadır. Takım devrinin arttırılmasıyla birlikte kaynak süresinin düşeceği öngörülse de takımın aşınması ve ekonomik ömrünün azalması bu düşüncüyü bertaraf etmektedir.

6.6. Deney Numunelerinin Hazırlanma Esasları

Kaynak işlemi biten parçaların üzerine kaynak parametreleri ve numune seri numarası yazılarak markalanmış ve deney sonuçlarının yorumlanması aşamasında parametrelerin kaynak üzerindeki etkisinin incelenmesi sağlanmıştır.

Yapılan uygulamalarda her bir kaynak yönteminde uygulanan değişik parametrelere bağlı olarak 6 ile 10 arasında değişen numune serileri oluşturulmuştur. Bunun amacı, kaynak parametrelerinin değiştirilmesinin birleştirmeye olan etkisini görebilmektir. Yapılacak hatalı numuneler serinin geneline etki etmeksizin inceleme dışı kabul edilmiştir.

6.7. Mekanik Deneylerin Yapılışı

6.7.1. Çekme deneyleri

Çekme deneyleri için Otokar Otobüs ve Karoseri A.Ş'de bulunan çekme cihazı kullanılmıştır. Çekme cihazı maksimum 500 kgf kapasiteli DVT C model DEVOTRANS markadır. Tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tüm sonuçlar Şekil 6.12'de görüldüğü gibi otomatik göstergeden okunmuştur. Üçer adet kaynak çifti çekme deneyine tabi tutulmuştur. Üç numunenin maksimum kesme makaslama yükü değerlerinin ortalaması birleştirmenin kesme-makaslama yükü olarak verilmiştir.



Şekil 6.12: DEVOTRANS marka çekme cihazı

6.7.2. Metalografik inceleme deneyleri

Tüm kaynaklı bağlantılardan en gerçekçi sonuçları almak için metalografik deney numuneleri genel yapıyı temsil edecek şekilde seçilmiştir. Deney numuneleri, kaynak yapılmış noktalardan (kaynak çekirdeği merkezinden) boyuna kesilmiş ve bakalite gömülmüştür. Yüzeyleri 200, 400, 600, 800 ve 1200 numaralı SiC su zımparası ile zımparalanmış, 0,2 µm elmas keçe ile parlatılmıştır. Numuneler daha sonra makro fotoğraf çekimine tabi tutulmuştur. Metalografik incelemesi yapılan numunelerde esas metal, IEB ve kaynak metali incelenmiştir.

BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

7.1. Genel

Uygulanan bu çalışma doğrultusunda 1 mm kalınlığında AW 5754 alüminyum alaşımı numuneler elektrik direnç nokta kaynağı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemleriyle birleştirilmiştir.

Bu çalışmanın elektrik direnç nokta kaynağı uygulaması bölümünde hiçbir işlem görmemiş aynen piyasadan temin edilmiş halde olan alüminyum alaşımı numuneler ile yüzeyi özel olarak zımparalanarak pürüzlendirilmiş numunelere ayrı ayrı elektrik direnç nokta kaynağı uygulaması yapılmış, yüzey temas dirençleri değişmiş olan kaynak bağlantılarının mukavemet değerlerindeki değişim incelenmiştir.

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulamasında ise takım geometrisi özellikle pim yüksekliği değiştirilmiş ve bu değişimin kaynaklı numuneler üzerindeki mukavemet değerlerindeki değişim incelenmiştir. Numunelerin sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemiyle kaynak edilmelerinde bir dizi ön deney yapılmış ve literatürde verilmiş parametreler ile ön deneylerde saptanan parametreler karşılaştırılması amaçlanarak kaliteli FSSW kaynaklı bağlantıların oluşturulması için uygun kaynak parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır.

Bağlantıların mekanik özellikleri ve kaynak bölgelerinde, kaynak parametrelerine bağlı olarak oluşan kaynak ısı girdisi nedeni ile ortaya çıkan metalurjik özellikler diğer değişimle tanelerin yapısal değişimleri incelenmiştir. Endüstriyel koşullarda elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi kullanılarak elde edilen kaynaklı bağlantılar ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi ile elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini incelenmek üzere çekme deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca kaynak bölgesinin makro ve mikro yapısı ile kaynak bağlantısının kesitinde Vickers sertlik taraması yapılmıştır.

7.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Elektrik direnç nokta kaynağı uygulamasında hiçbir işlem görmemiş aynen piyasadan temin edilmiş ve yüzeyleri zımparalanarak pürüzlendirilmiş halde olan alüminyum alaşımı numunelere ayrı ayrı elektrik direnç nokta kaynağı uygulaması sonucunda kaynak bağlantılarının mukavemet değerlerindeki değişimi gösteren kesme makaslama yükü sonuçları Tablo 7.1 ve Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1: Hiçbir işlem görmemiş (piyasa durumundaki) numunelere ait kesme makaslama yükü değişimi (RSW-1)

Malzeme	Kesme Makaslama Yükü (N)	Ortalama Kesme Makaslama Yükü (N)
AW 5754-1	1250	1300
AW 5754-2	1280	
AW 5754-3	1370	

Tablo 7.2: Yüzeyi zımparalanarak pürüzlendirilmiş numunelere ait kesme makaslama yükü değişimi (RSW-2)

Malzeme	Kesme Makaslama Yükü (N)	Ortalama Kesme Makaslama Yükü (N)
AW 5754-1	1480	1580
AW 5754-2	1540	
AW 5754-3	1720	

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulamasında ise 1,4 mm pim yüksekliğine sahip takımla ve 1,5 mm pim yüksekliğine sahip takımla sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılmış alüminyum alaşımı numunelere ait kaynak bağlantılarının mukavemet değerlerindeki değişimi gösteren kesme makaslama yükü sonuçları Tablo 7.3 ve Tablo 7.4’de gösterilmiştir.

Tablo 7.3: 1,4 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağına ait kesme makaslama yükü değişimi (FSSW-1)

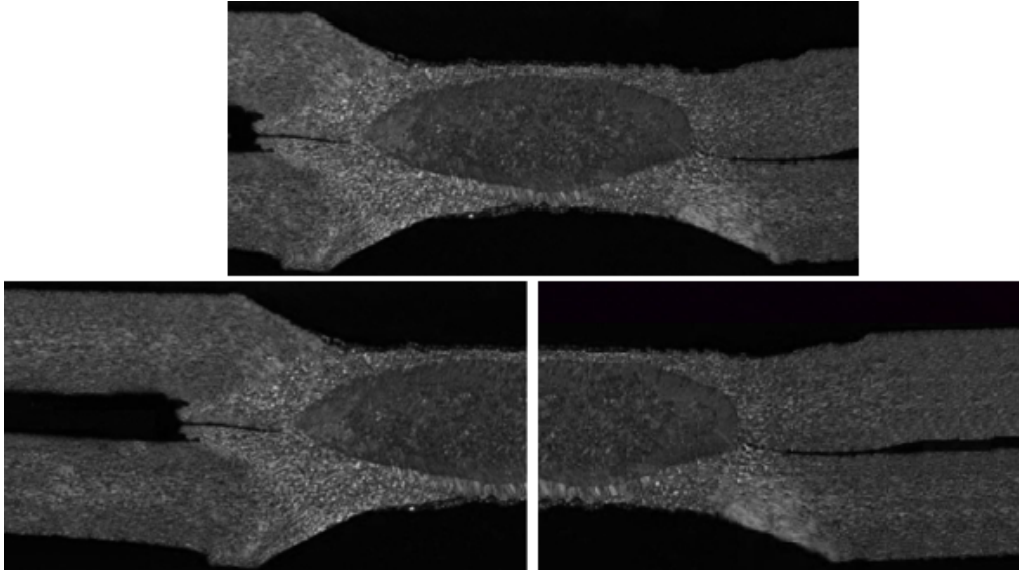
Malzeme	Kesme Makaslama Yükü (N)	Ortalama Kesme Makaslama Yükü (N)	Pim Yüksekliği
AW 5754-1	2360	2450	1,4 mm
AW 5754-2	2480		
AW 5754-3	2530		

Tablo 7.4: 1,5 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağına ait kesme makaslama yükü değişimi (FSSW-2)

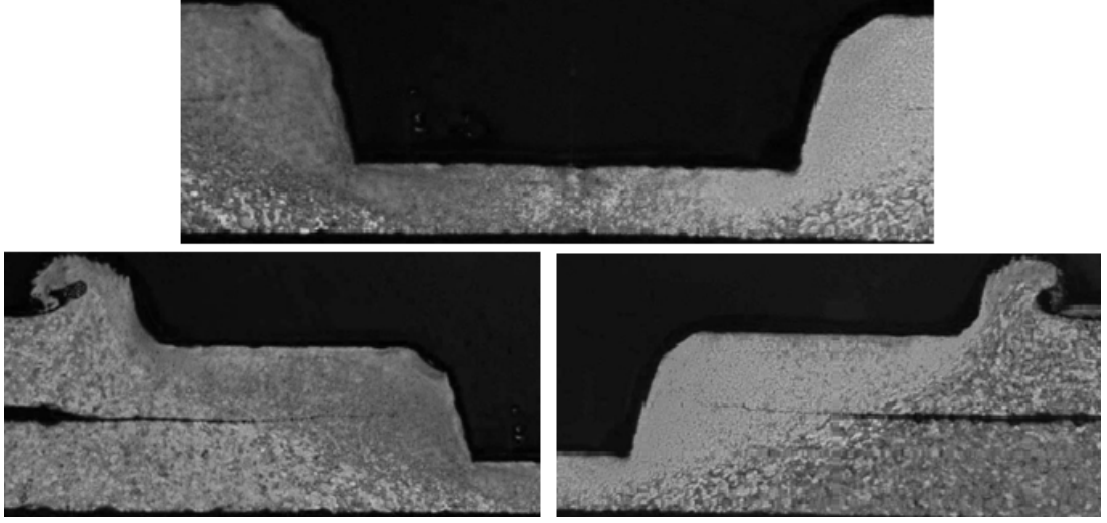
Malzeme	Kesme Makaslama Yüğü (N)	Ortalama Kesme Makaslama Yüğü (N)	Pim Yüksekliği
AW 5754-1	2470	2750	1,5 mm
AW 5754-2	2620		
AW 5754-3	3170		

7.3. Metalografik İnceleme Sonuçları

Her iki kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bağlantılardan alınan numuneler üzerinde kaynak bölgeleri metalografik olarak detaylı bir biçimde incelenmiştir. Makro yapı incelemeleri ayrı ayrı yapılmış olup elektrik direnç nokta kaynağına ve sürtünme karıştırma nokta kaynağına ait makro yapı görüntüleri Şekil 7.1’de ve Şekil 7.2’de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 7.1: Elektrik direnç nokta kaynağı uygulanmış AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere ait makro yapı görünüşü

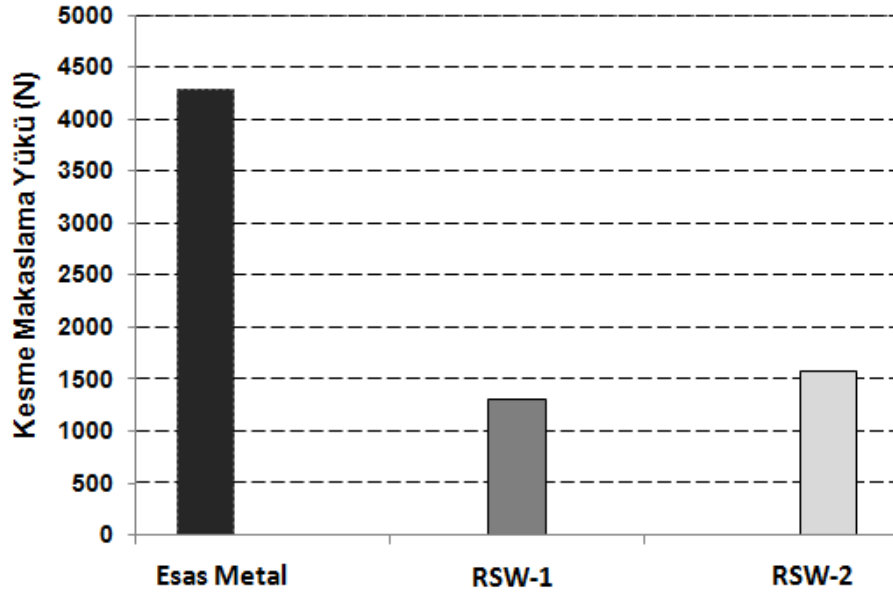


Şekil 7.2: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulanmış AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere ait makro yapı görünüşü

7.4. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

7.4.1. Çekme deney sonuçlarının irdelenmesi

Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonuçları incelendiğinde (Tablo 7.1 ve Tablo 7.2) kaynaklı bağlantıların mukavemet değerlerinden, yüzeyi zımparalanarak pürüzlendirilmiş alüminyum alaşımı numunelere ait kesme makaslama yükü değerleri (RSW-2) hiçbir işlem görmemiş (piyasa durumunda) alüminyum alaşımı numunelere ait kesme makaslama yükü değerlerine (RSW-1) göre daha yüksek olduğu görülmektedir. RSW-1 ve RSW-2'nin kesme makaslama yükü değerinin esas metale göre değişimi Şekil 7.3'de görülmektedir.



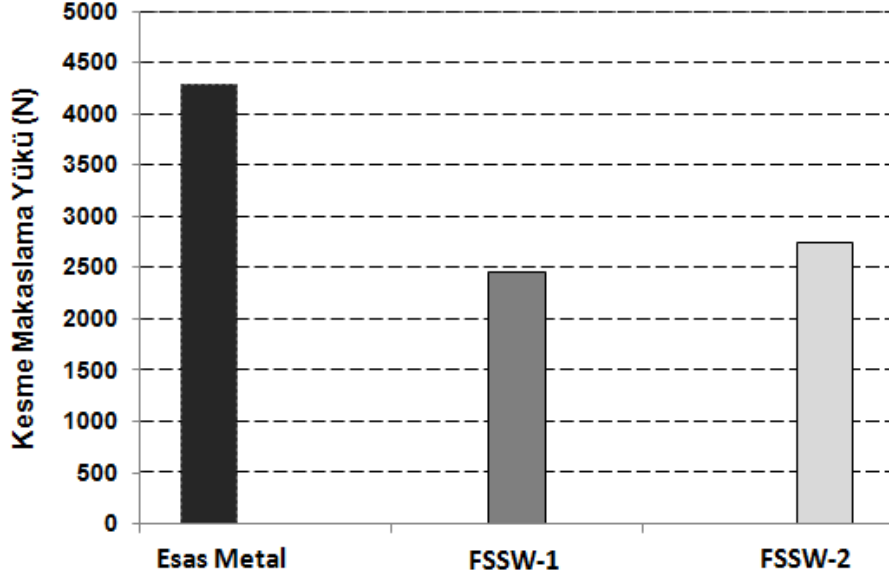
Şekil 7.3: Esas metal, RSW-1 ve RSW-2'nin kesme makaslama yüğü değişimi

Artan pürüzlülük ile ara yüzeyler arasındaki temas direnci ve buna bağlı olarak ısı üretimi artmaktadır. Artan ısı üretiminin akım yoğunluğunun yükselmesine neden olmasıyla birlikte kaynak noktası daha büyük çaplı oluşmakta ve kaynak dikişinin mukavemeti de artmaktadır. Bu durum direnç nokta kaynağı konusunda daha önce yapılmış çalışmalar ile uyumlu bir sonuçtur (Kurşungöz, 1986).

Sürtünme karıştırma nokta kaynaklı bağlantıların çekme deneyi sonuçları incelendiğinde ise (Tablo 7.3 ve Tablo 7.4) kaynaklı bağlantıların mukavemet değerlerinden, 1,5 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan alüminyum alaşımı numunelere ait kesme makaslama yüğü değerleri 1,4 mm pim yüksekliğine sahip takımla yapılan alüminyum alaşımı numunelere ait kesme makaslama yüğü değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

FSSW-1 ve FSSW-2'nin kesme makaslama yüğü değerinin esas metale göre değişimi Şekil 7.4'de görülmektedir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulaması için elde edilen kesme makaslama yüğü sonuçlarına bakıldığında devir sayısı sabitken (1000 devir/dk) takım pim yüksekliğinin artması dalma derinliğinin artmasını sağlamış ve böylece kaynakta yük taşıyan kesitin büyümesi ile birlikte bağlantı mukavemetinin artmasına neden olmuştur.

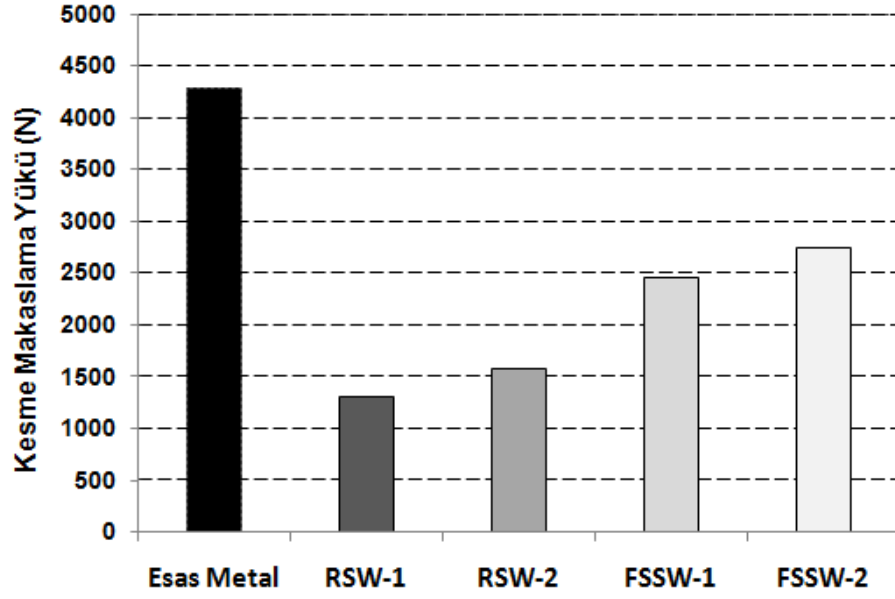
Bu durum, bu tür kaynaklı bağlantılarda genel mukavemet kuralları açısından değerlendirmede normal bir sonuçtur. Bu durum sürtünme karıştırma nokta kaynağı konusunda daha önce yapılmış çalışmaların sonuçları ile uyumludur (Badarinarayan ve diğ, 2007; Pan, 2007).



Şekil 7.4: Esas metal, FSSW-1 ve FSSW-2'nin kesme makaslama yükü deęiŐimini

Sürtünme karıştırma nokta kaynaklı alüminyum alaşımı numunelerin mukavemet değerleri elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarla karşılaştırıldığında başarılı sonuçların ortaya çıktığı ve sürtünme karıştırma nokta kaynaklı numunelerin kesme makaslama yükü değerlerinin, elektrik direnç nokta kaynaklı numunelerin kesme makaslama yükü değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 7.5'de esas metal, RSW-1, RSW-2, FSSW-1 ve FSSW-2 kesme makaslama yükü değişimleri toplu olarak görülmektedir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağıyla kaynak edilen numunelerin kesme makaslama yükü değeri esas metalin %65'i kadardır.

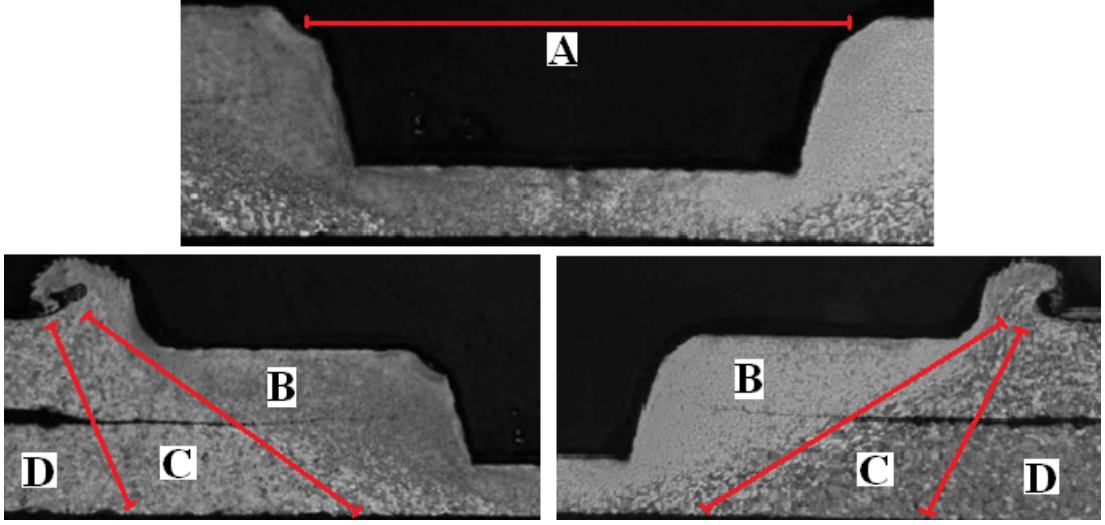


Şekil 7.5: Esas metal, RSW-1, RSW-2, FSSW-1 ve FSSW-2 kaynak bağlantılarının kesme makaslama yüğü değişimi

Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere alüminyum ve alüminyum alaşımları için endüstride en çok kullanılan ve bindirme türü birleştirmelere uygun olan basınç esaslı (katı faz) kaynak yöntemlerinden elektrik direnç nokta kaynağının yanı sıra yeni bir katı faz kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma nokta kaynağı da kullanılmaya başlanmıştır (Badarinarayan ve diğ., 2007).

7.4.2. Bağlantıların makro yapılarının incelenmesi

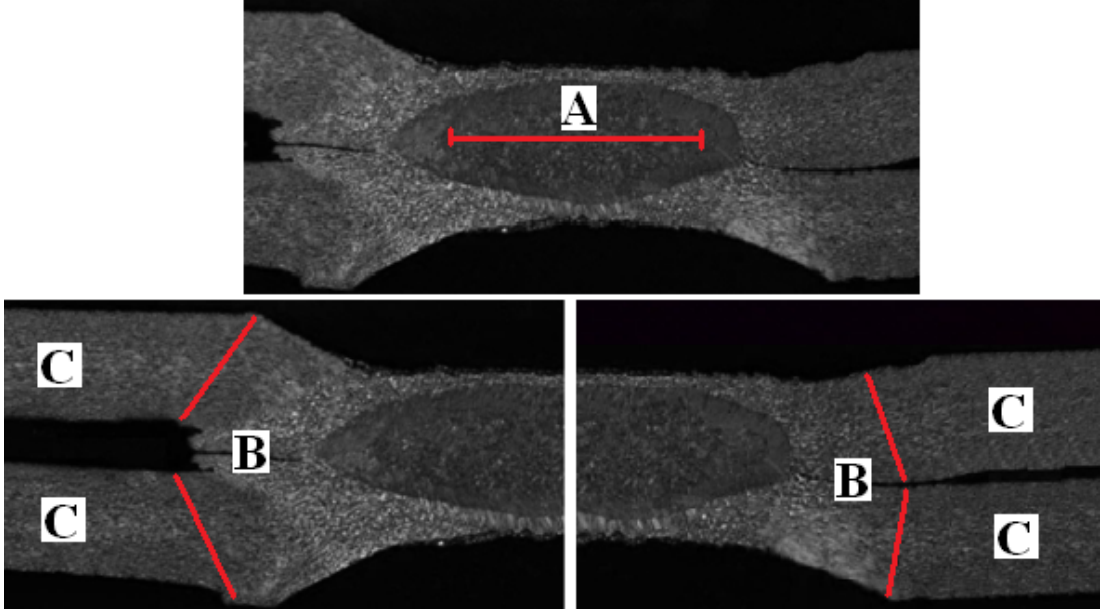
Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile elde edilmiş bağlantının kesiti ve kaynak bölgesinin metalografik görüntüsü Şekil 7.6'da verilmiştir. Bu görüntüde D harfi ile gösterilen bölge esas metal bölgesidir. Bu bölge ne ışıdan ne de mekanik deformatsiyondan etkilenmemiş olup ana metalin kendisidir. C harfiyle gösterilen bölge ışıdan etkilenmiş bölgedir. Bu bölgede mekanik deformatsiyon yoktur ancak kaynak sırasında ortaya çıkan ışı malzeme özelliklerini etkilemiştir. B harfi ile gösterilen bölge termomekanik etkilenmiş bölgedir. Bu bölge takımın etkisiyle plastik deformatsiyona uğramış ve kaynak ışısından etkilenmiştir. A harfiyle gösterilen bölge kaynak metali bölgesidir. Bu bölge kaynak metalinin kendisidir.



Şekil 7.6: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı kesiti ve kaynak bölgesi
A-) Kaynak metali, B-) Termomekanik etkilenmiş bölge, C-) Isıdan etkilenmiş bölge
D-) Esas metal

Sürtünme karıştırma nokta kaynağında oluşan kaynak metali kullanılan takım piminin yapısına benzemektedir. Takımın omuzu dalma sırasında üst yüzeydeki malzemeyi kenarlara doğru fıskırtarak çapak oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda da bu şekilde olduğundan ve üst malzeme yüzeyinde bir miktar çökmeye müsade edildiğinden literatürdeki çalışmalarla uyumludur (Badarinarayan ve diğ 2007; Pan, 2007).

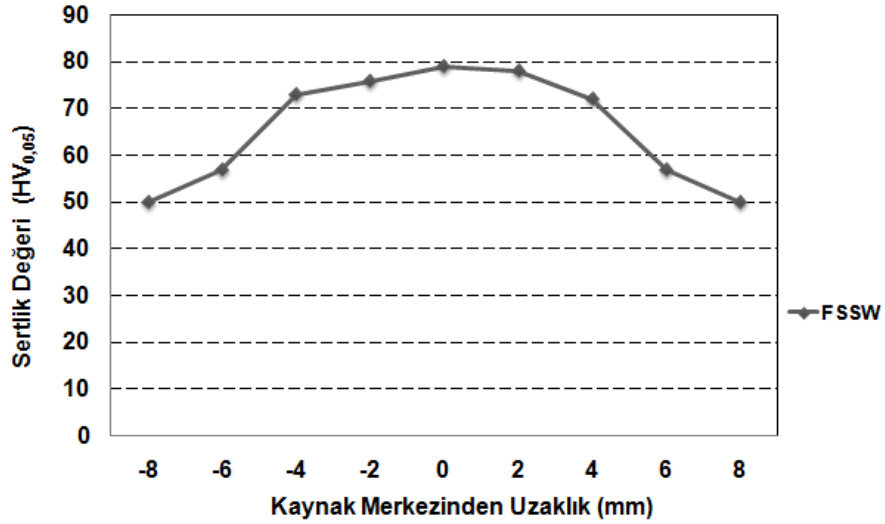
Elektrik direnç nokta kaynağı ile elde edilmiş bağlantının kesiti ve kaynak bölgesinin metalografik görüntüsü Şekil 7.7’de verilmiştir. Bu görüntüde C harfi ile gösterilen bölge esas metal bölgesidir. Bu bölge ısıdan etkilenmemiş olup ana metalin kendisidir. B harfiyle gösterilen bölge ısıdan etkilenmiş bölgedir. Bu bölgede kaynak sırasında ortaya çıkan ısı malzeme özelliklerini etkilemiştir. A harfiyle gösterilen bölge kaynak metali bölgesidir. Bu bölge kaynak metalinin kendisidir.



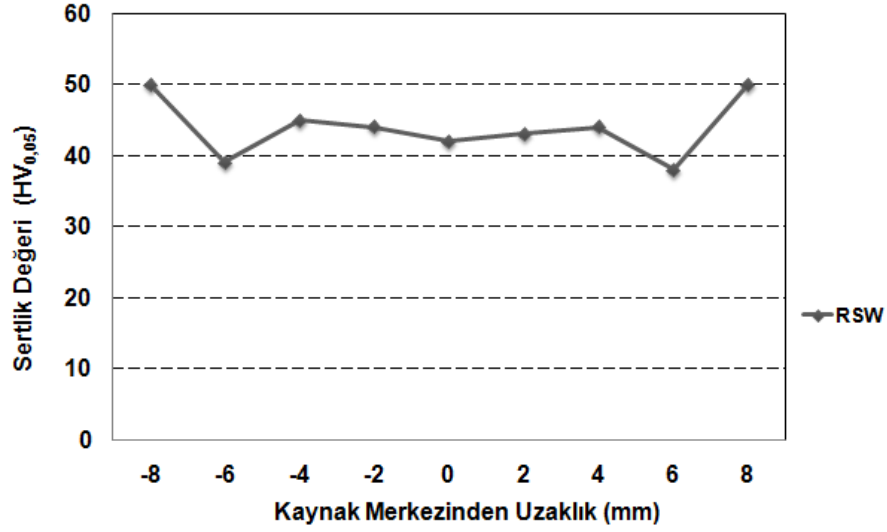
Şekil 7.7: Elektrik direnç nokta kaynağı kesiti ve kaynak bölgesi
A-) Kaynak metali, B-) Isıdan etkilenmiş bölge C-) Esas metal

7.4.3. Mikro sertlik inceleme sonuçlarının irdelenmesi

Vickers sertlik taramasında 50 gr (HV 0,05) deney yükü uygulanarak esas metal, (TMEB – sürtünme karıştırma nokta kaynaklı numunelerde) IEB ve kaynak metali esas alınarak hat biçiminde 2 mm aralıklarla kaynak merkezinden sağa ve sola doğru gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.8: AW 5754 Alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma nokta kaynağına ait sertlik tarama sonuçları



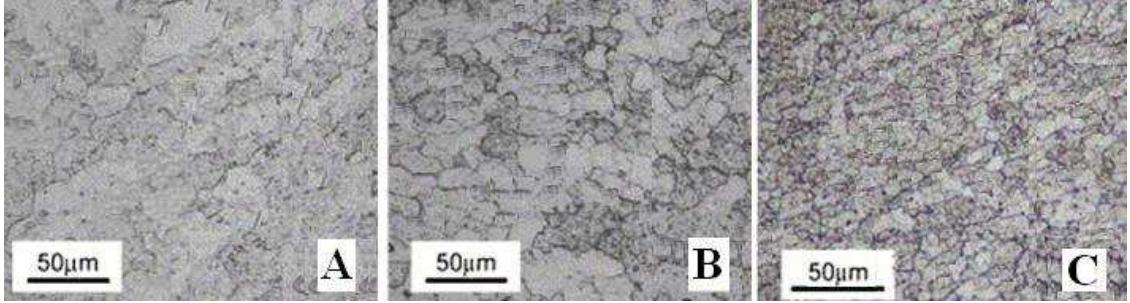
Şekil 7.9: AW 5754 Alüminyum alaşımının elektrik direnç nokta kaynağına ait sertlik tarama sonuçları

FSSW kaynaklı bağlantıların Vickers sertlik taraması sonuçlarında esas metalin sertliğinin 50 HV olduğu görülmektedir. Kaynak metaline yaklaştıkça sertlik değeri yükselmekte ve yaklaşık olarak 78 HV'ye çıkmaktadır. Direnç nokta kaynağında ise FSSW kaynağına göre tersine bir durum ortaya çıkmaktadır. Esas metalin sertlik değeri 50 HV iken kaynak bölgesine doğru sertlik değeri 44 HV'ye düşmektedir. Her iki tür bağlantının sertlik deney sonuçları incelendiğinde FSSW bağlantılarında kesme makaslama kuvvetinin daha iyi sonuçlar verdiği bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Zira FSSW bağlantılarında kaynak metali sertliği ortalama olarak $HV_{0,05} = 80$ iken RSW bağlantılarda $HV_{0,05} = 45$ olmaktadır ki bu durum FSSW bağlantılarının nerede ise RSW bağlantılarına göre iki kat mukavemete sahip olacakları kanaatini doğurmaktadır.

7.4.4. Mikro yapı inceleme sonuçlarının irdelenmesi

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı ve direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kaynak kesitlerine optik mikroskop kullanılarak 200 büyütme yapılmış ve kaynak bölgelerinin esas metal, IEB (Sürtünme karıştırma nokta kaynağı için TMEB) ve kaynak noktası görüntüleri elde edilmiştir.

AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulamasında esas metalin, termomekanik etkilenmiş bölgenin ve kaynak metalinin mikroyapı görüntüsü Şekil 7.10. da verilmiştir.



Şekil 7.10: FSSW uygulanmış numunenin mikro yapı görüntüsü
A-) Esas metal, B-) Termomekanik etkilenmiş bölge,
C-) Kaynak metali etkilenmiş bölge

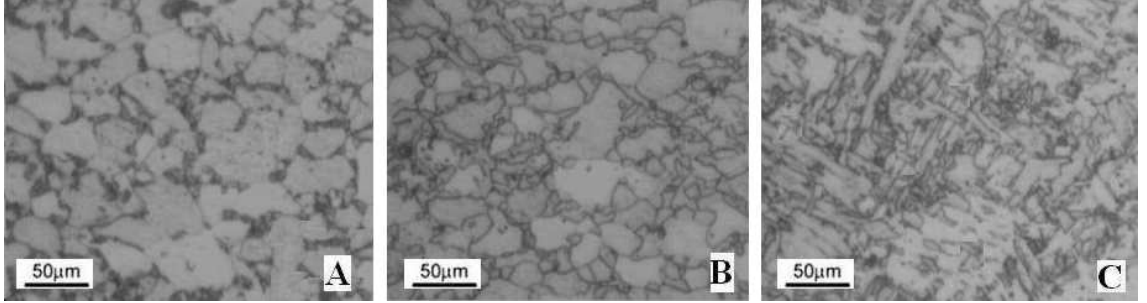
Sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulamasında esas metalin mikroyapısının ince taneli homojen çökelti dağılımlı olduğu, termomekanik etkilenmiş bölgede ise çökeltilerin daha sıklaşarak oluştuğu ve bölgenin kaynak metaline göre daha açık renkte olduğu saptanmıştır. Bu durum sürtünme karıştırma nokta kaynağı konusunda daha önce yapılmış çalışmaların sonuçları ile uyumludur (Badarinarayan ve diğ, 2007; Pan, 2007; Gerlich ve diğ, 2007).

FSSW bağlantılarda çökeltiler esas metalden kaynak metaline doğru gidildikçe sıklaşmakta ve bu durum bağlantının mukavemetini arttırmaktadır. Bu durum takım omzunun ısıtma etkisinin yanında malzemenin plastik şekil değişiminin ortaya çıkardığı bir sonuçtur.

Yapılan sertlik taramasında da sertlik değeri esas metalden kaynak metaline doğru artmaktadır. Sertlik dağılımı homojene yakın bir dağılım göstermiştir.

Ayrıca sürtünme karıştırma nokta kaynaklı bağlantılarda kaynak metali oldukça simetrik bir kaynak dikişi meydana getirmiştir. Bu nedenle FSSW yöntemi ile yapılan kaynak bağlantıları direnç nokta kaynağına göre daha yüksek kesme makaslama yükü ile sonuçlanmasının diğer bir nedenidir.

AW 5754 alüminyum alaşımı numunelere direnç nokta kaynağı uygulamasında esas metalin, ısıdan etkilenmiş bölgenin ve kaynak metalinin mikroyapı görüntüsü Şekil 7.11’de verilmiştir.



Şekil 7.11: RSW uygulanmış numunenin mikro yapı görüntüsü
A-) Esas metal, B-) Isıdan etkilenmiş bölge C-) Kaynak metali

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı düşük enerji sarfiyatı, donanım ve ekipmanlarının maliyetinin düşük olması ve birleşme özelliklerinin daha iyi olmasından dolayı elektrik direnç nokta kaynağına göre üstünlük sağlamaktadır. FSSW yöntemi bu üstün özellikleri nedeniyle otomotiv endüstrisinde alüminyum ve alüminyum alaşımlarından üretilen kapı yan panelleri, motor kapağı, bagaj kapağı gibi birçok uygulama alanına sahiptir.

ISO/DIS 14273 standardına uygun olarak hazırlanan AW 5754 alüminyum alaşımı numuneler sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) ve elektrik direnç nokta kaynağı (RSW) yöntemi ile kaynak yapılmış ve bu numuneler çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney sonucunda piyasa durumunda hiçbir işlem görmemiş RSW uygulanmış numunelerde 1300 N, yüzeyi pürüzlendirilerek kaynak edilmiş numunelerde ise 1580 N kesme-makaslama yükleri elde edilmiştir. 1,4 mm pim yüksekliğine sahip takımla sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılan numunelerde 2450 N, 1,5 mm pim yüksekliğine sahip takımla sürtünme karıştırma nokta kaynağı yapılan numunelerde ise 2750 N kesme-makaslama yükleri elde edilmiştir.

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı gibi sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) uygulaması, elektrik direnç nokta kaynağı yöntemine göre daha iyi kesme makaslama yükü değerleri vermiştir. Ayrıca AW 5754 alüminyum alaşımı malzemenin sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi ile kaynak edilmesi sonucunda elde edilen kesme makaslama yükü değeri, esas metalin %65'i düzeyindedir.

Bu çalışmada yapılan sürtünme karıştırma nokta kaynağı uygulamasında kaynak süresinin 1,5 sn ile 2 sn arasında değiştiği görülmüştür. Bu süre direnç nokta kaynağı gibi çok kısa sürede gerçekleştirilen bağlantılara göre oldukça uzun bir süre olmasına karşın bağlantılardan beklenen mekanik özellikler ve FSSW

yöntemli kaynak bağlantılarındaki mikroyapısal özelliklerde esas alındığında bu tür bağlantıların hem mekanik özellikleri, hem metalurjik özellikleri, hem de enerji tasarrufu açısından daha üstün özelliklere sahiptir.

FSSW yönteminin uygulanması aşamasında birleştirmenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu düşünce ışığında kaynak parametreleri değiştirilerek birleştirme özellikleri geliştirilebilir. Bu kapsamda en önemli parametrelerden biri olan takım geometrisi iyileştirilerek birleşme bölgeleri değiştirilebilir. Özellikle pim yüksekliğinin birleştirmenin kesme-makaslama yükü açısından çok önemli bir parametre olduğu 1,5 mm yüksekliğindeki pimin 1,4 mm yüksekliğindeki diğer pimle karşılaştırıldığında kesme-makaslama yükü değerinin daha yüksek olmasından açıkça anlaşılmaktadır. Bunun dışında takımın ömrünü arttırmak ve birleştirme nüfuziyetini iyileştirmek adına pim geometrisinde koniklik kesinlikle olmalıdır. Burada oluşturulacak konikliğin değeri konusunda araştırma ve çalışmalar yapılarak birleştirmeler daha da iyileştirilebilir.

Uygulamaya en çok etki eden parametrelerden bir diğeri olan takım malzemesinin kullanım ömrü açısından geliştirilmesidir. Böylece aynı takım ile daha çok nokta bağlantısı gerçekleştirilebilir. Birim kaynak başına düşen takım gider maliyetleri minimuma indirilebilir.

Yaklaşık son on yıldır sürtünme karıştırma nokta kaynağının birçok uygulamada potansiyel birleştirme tekniği olarak kullanılmasına karşın maalesef çok yaygın endüstriyel bir uygulama değildir. Dolayısı ile sürtünme karıştırma nokta kaynağıyla ilgili endüstriyel ve akademik çalışmalara devam edilmektedir. Önümüzdeki yıllarda bu birleştirme tekniğinin üretim sektöründe bazı üstünlüklerinden ötürü daha sık kullanılan tekniklerden birisi olacağı kanaati yaygındır.

KAYNAKLAR

ANIK, S., “Kaynak Tekniği El Kitabı”, Elektrik Direnç Kaynağı, *Gedik Holding*, 124-125, İstanbul, (1991).

ANIK, S., ÖREN, T., Dövme (Hadde) Alüminyum Alaşımının Elektrik Direnç Kaynağı”, *Türk Kaynak Cemiyeti Yayınları*, 16, 27-32, (1964)

ASLANLAR, S., “Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kaynak Yöntemleri Ders Notları”, Elektrik Direnç Nokta Kaynağı, *Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitim Bölümü*, 10-12, (2007)

BADARINARAYAN, H., HUNT, F., OKAMOTO, K., “Friction Stir Welding and Processing”, R.S. Mishra, M.W. Mahoney, Friction Stir Spot Welding, *American Society for Metals*, 235-250, (2007), Amerika.

ÇAM, G., “Kaynak Teknolojisi VI.Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı”, Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulamalarında Son Gelişmeler, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, E/2007/449, 42, (2007).

DEMİRKESEN, İ., “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelik ve Alüminyum Alaşımı Sacların Nokta Kaynağı ve Yapıştırma İle Kombinasyon Bağlantıları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 76-90, (1997).

ERYÜREK, B., “Elektrik direnç kaynağı”, *Mühendis ve Makina*, 24, 22-27, (1982).

GERLICH, A., YAMAMOTO, M., NORTH, T. H., “Local Melting and Cracking in Al 7075-T6 and Al 2024-T3 Friction Stir Spot Welds, *Science and Technology of Welding and Joining*, 12, 6, 474-475, (2007)

GÜLTEKİN, N., “Kaynak Tekniği”, *Yıldız Üniversitesi*, İstanbul, 184, 25-27, (1991)

SEDERSTORM, J.H., “Spot Friction Welding of Ultra High-Strength Automotive Sheet Steel”, *School of Technology Brigham Young University*, April (2007).

KALUÇ, E., TABAN, E., “İleri Kaynak Teknolojisi Ders Notları”, Elektrik Direnç Kaynak Yöntemleri, *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 138, 56-61, (2004).

KALUÇ, E., TABAN, E., “Alüminyum ve Alüminyum Alaşımının Ark Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilmesi”, *Metal Dünyası*, 174, 130-140, (2007a).

KALUÇ, E., TABAN, E., “Otomotiv Endüstrisinde Direnç Nokta Kaynağına Alternatif Bir Yöntem: Sürtünen Elemanla Nokta Kaynağı (FSSW)”, *Kaynak Teknolojisi VI.Ulusal Kongresi ve Sergisi*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 449, 51-59 Ankara, 9-10 Kasım, (2007b)

KALUÇ, E., TABAN, E., Sürtünen Eleman İle Kaynak (FSW) Yöntemi, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, 460, 60-77, (2007c).

KURŞUNGÖZ, N., “Alüminyum Esaslı Malzemenin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Temas Direncinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi*, Eskişehir, 19-30, (1986)

MATHERS, G., “The Welding of Aluminium and Aluminium Alloys”, *Introduction to the Welding of Aluminium*, Cambridge, UK. 7-23, (2002)

METALS HANDBOOK., Resistance Welding of Aluminum Alloys, *American Society for Metals*, Vol:6, 535-544, (1983).

PAN, T.Y., “Friction Stir Spot Welding (FSSW)”, *A Literature Review, SAE Technical Paper Series*, 2007-01-1702, 1-10, (2007).

SAKANO, R., MURAKAMİ, K., YAMASHİTA, K., HYOE, T., FUJİMOTO, M., INUZUKA, M., NAGAO, Y., KASHİKİ, H., “Development of Spot FSW Robot System for Automobile Body Members”, *Proceedings of the Third International Symposium of Friction Stir Welding*, (Kobe, Japan), TWI, 27-28 Eylül, (2001).

TABAN, E., “5xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının TIG, MIG, ve Sürtünen Eleman İle Birleştirme Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 8-27 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Barbaros Kahraman, 1981 Ankara doğumlu olup ilköğrenimini takiben orta öğrenimini Kocaeli 19 Mayıs Süper Lisesinde tamamlamış ve 2001 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun olmuştur. Lisans öğrenimi sonunda 2005 yılında Tabosan A.Ş çelik konstrüksiyon fabrikasında proje mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2006-2007 öğretim yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Prof. Dr. Erdiñç KALUÇ danışmanlığında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Halen Tabosan A.Ş firmasında proje mühendisi olarak çalışmaktadır.