



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE PİRİNÇ LEVHALARIN SÜRTÜNME
KARIŞTIRMA KAYNAĞI YÖNTEMİYLE BİNDİRME KAYNAĞI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

DENİZ MALTA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ANTAKYA
OCAK- 2006**

Mustafa Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Prof. Dr. Gürel ÇAM danışmanlığında, Deniz MALTA tarafından hazırlanan bu çalışma 27/01/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Gürel ÇAM	İmza.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali Naci ÇELİK	İmza.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR	İmza.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Kod No:

İmza
27/01/2005
Prof. Dr. Abdurrahman YİĞİT
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı.....	3
2.2. Kaynak Metalurjisi.....	5
2.3. Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri.....	7
2.3.1. Katı Eriyik Sertleşmesi Yapılmış Al-Alaşımlarında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri.....	8
2.3.2. Yaşlandırma Sertleşmesi Yapılmış Al-Alaşımlarında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Kullanılan Malzeme.....	16
3.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak Uçları.....	16
3.3. Kaynaklanacak Levhaların Tezgaha Sabitlenmesi.....	18
3.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Freze Tezgahı.....	18
3.6. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılması.....	19
3.7. Kaynak Bölgesinde Oluşan İç Yapının İncelenmesi.....	20
3.8. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.....	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Kaynak Bölgesinin İç Yapısı ve Kaynak Kalitesi.....	21
4.2. Kaynak Performansı.....	22
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	27
5.1. Sonuçlar.....	27
5.2. Öneriler.....	27
KAYNAKLAR.....	28
ÖZGEÇMİŞ.....	31

ÖZET

ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE PİRİNÇ LEVHALARIN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI YÖNTEMİYLE BİNDİRME KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmanın amacı, 3 mm kalınlığındaki Al-alaşımı ve pirinç (70Cu-30Zn) levhaların sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı yapılabirliğini araştırmaktır. Al-alaşımı levhaların bindirme sürtünme karıştırma kaynağında 1.3207 malzeme numaralı %10 Co içeren yüksek hız çeliğinden imal edilmiş batıcı uç kullanılırken, daha yüksek ergime derecesine sahip pirinç levhaların kaynağında 1.2365 malzeme numaralı X32CrMo3 3 sıcak iş çeliğinden imal edilmiş batıcı uç kullanılmıştır.

Tüm levhaların sürtünme karıştırma kaynağı işlemi dik freze tezgahı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kaynak sistemi geliştirilmeye ve otomasyona çok uygundur. Elde edilen sonuçlar, Al-alaşımı ve pirinç levhaların uygun malzemedan imal edilmiş batıcı uç kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı yapılabildiğini göstermiştir. Elde edilen kaynak kaliteleri yüzey oksit tabakasının giderilmesi ile daha da geliştirilebilir.

2006, 31 sayfa

Anahtar Kelimeler: Al-alaşimleri, pirinç, bindirme kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak performansı.

ABSTRACT**OVERLAP-JOINING OF ALUMINUM ALLOY AND BRASS PLATES
BY FRICTION STIR WELDING AND INVESTIGATIONS
ON THEIR MECHANICAL PROPERTIES**

The aim of this study is to determine friction stir weldability of 3 mm thick Al5754 (AlMg3) alloy and brass (70Cu-30Zn) plates in the overlapping configuration. While a welding tool made of high speed steel (material number being 1.3207) was used in the joining of Al-alloy plates, a welding tool made of hot working steel X32CrMo3 3 (material number being 1.2364) was employed in the welding of brass plates.

Friction stir welding of these plates was conducted using a vertical-spindle type milling machine. The welding system used in this study can be developed further and is very convenient for automation. The findings of the present work indicate that using the present welding system both plates were successfully friction stir welded in the overlapping configuration provided that a suitable stirring tool was employed. The joint quality obtained in this study will further be improved by removing the surface oxide layers on the mating surfaces prior to welding.

2006, 31 pages

Keywords: Al-alloys, brass, overlap welding, friction stir welding, welding performance.

ÖNSÖZ

Sürtünme karıştırma kaynağı Türkiye’de ve dünyada geliştirilmeye müsait yeni bir kaynak yöntemidir. Getirdiği yenilikler nedeniyle bu metodun geliştirmesi ve ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması önemlidir. Al-alışımları ve pirinçlerin ark kaynağı gibi diğer kaynak metotlarıyla kaynak edilmesi oldukça zordur. Özellikle Al-alışımları ve pirinçlerin sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynak edilebilirliklerinin araştırılması, elde edilen gözlemlerin ve deneylerin değerlendirilerek uygulamaya aktarılması gerekmektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağı ile Al-alışımları ve pirinç gibi malzemelerin birleştirilmesinde diğer kaynak metotlarındaki dezavantajların olmaması ve aynı zamanda ülkemizde bu konuda yeterli düzeyde çalışma (özellikle pirinçlerde) yapılmamış olması bizi bu kaynak metodu ile çalışmaya sevk etmiştir. Bu sürtünme karıştırma kaynağı çalışmasında Al-alışımı ve pirinçlerin bindirme kaynağı yapılabilirliği araştırılmıştır.

Yüksek Lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr.Gürel ÇAM’ a (Mustafa Kemal Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi) ve deneysel çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde yardımlarını gördüğüm başta Sayın Ahmet ÇAKAN, Öğr. Gör. Halit ATAÖĞLU ve Ar.Gör. Tarık SERİNDAĞ olmak üzere herkese teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

- Çizelge 2.1. Otojen elektron kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımlarının ve baz malzemelerin çekme deneyi sonuçları 10
- Çizelge 2.2. Otojen elektron kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımlarının kaynak edilmiş durumda kırılma tokluğu değerleri 12

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Lineer sürtünme kaynağının şematik gösterimi.....	3
Şekil 2.2. Sürtünme karıştırma kaynağı	5
Şekil 2.3. Sürtünme karıştırma kaynağında batıcı pimin eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi	6
Şekil 2.4. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü. A: ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB).....	6
Şekil 2.5. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımının kaynak bölgesinin kesiti	8
Şekil 2.6. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış 5005 ve 6061 Al-alaşımının sertlik profilleri.....	11
Şekil 2.7. Elektron hüzmeli kaynağı yapılmış 5005 ve 6061 Al-alaşımının sertlik profilleri.....	14
Şekil 3.1. Kaynak işleminde kullanılan ucu yuvarlatılmış konik batıcı uç.....	17
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağı işleminin yapıldığı dik freze tezgahı.	19
Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağı işleminin yapıldığı tezgahın detay görünümü .	19
Şekil 4.1. Sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı yapılmış Al-alaşımı levhaların kaynak bölgesinin kesit görünüşü.	21
Şekil 4.2. Sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı yapılmış 70-30 pirinç levhaların kaynak bölgesinin kesit görünüşü.	21
Şekil 4.3. Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı iç ve dışa gelecek şekilde yapılan 90° bükme numuneleri	23
Şekil 4.4. Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe gelecek şekilde yapılan 180° bükme numuneleri	23
Şekil 4.5. Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı dışa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numuneleri.....	24
Şekil 4.6. Pirinç levhalarda kaynak dikişinin tabanı iç ve dışa gelecek şekilde yapılan 90° bükme numuneleri	25
Şekil 4.7. Pirinç levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe gelecek şekilde yapılan 180° bükme numuneleri.	25
Şekil 4.8. Pirinç levhalarda kaynak dikişinin tabanı dışa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numuneleri.	26

1. GİRİŞ

Bir malzemenin kaynak edilebilirliği, o malzemenin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayan ve o malzemeden parça üretim yönteminin tayin edilmesinde önemli rol oynayan bir özelliğidir. Yeni geliştirilmiş malzemeler genellikle modern birleştirme tekniklerine ihtiyaç duyarlar. Son yirmi yılda alaşımların geliştirilmesinde bu malzemelerin kaynağı ile ilgili büyük ilerlemeler olmuştur. Lazer teknolojisindeki yeni ilerlemeler bir çok malzemenin kaynak edilebilmesine olanak sağlamıştır. 1990'ların başında geliştirilen ve bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı (friction stir welding), geleneksel sıvı hal kaynak işlemleriyle kaynağı güç olan özellikle yaşlandırma sertleştirmesine tabi tutulmuş Al-alaşımlarının kaynağında başarıyla kullanılmıştır.

Birleştirme işlemi, kaynak, lehimleme, yapıştırma, difüzyon kaynağı ve mekanik bağlantı gibi pek çok işlemi kapsayan genel bir terimdir. Bu işlemlerin bir veya daha fazlası basit ürünlerin imalatında kullanılır (Örnek; mutfak bıçaklarının tahta saplarının kesici kısma metal bağlantılarla tutturulması). Birleştirmenin rolü, otomobil ve uçaklar gibi pek çok farklı birleştirme işlemleriyle montaj edildiği daha kompleks parçaların üretiminde daha önemlidir.

Birleştirme işlemleri, birleştirmede kullanılan dolgu malzemesine, dışarıdan uygulanan ısı ve basınca ve birleştirilecek malzemelerin durumuna göre sınıflandırılabilir. Katı hal birleştirme (basınç kaynağı) işlemlerinde dolgu malzemesi kullanılmaz. Birleştirme difüzyon kaynağındaki gibi dışarıdan uygulanan basınç ve ısı kaynağı veya sürtünme kaynağındaki gibi işlem esnasında oluşan sürtünmeyle sağlanır. Oksi-asetilen, ark ve direnç kaynağı gibi sıvı hal (ergitme kaynağı) işlemleri birleştirilecek malzemelerin kısmen erimesini içerir. Bu işlemler oksi-asetilen ve ark kaynağındaki gibi ısı ve/veya basınç uygulamalarına ihtiyaç duyarlar. Isı kaynağı kimyasal, elektriksel veya optik (lazer gibi) olabilir.

Son yıllarda lazer teknolojisi ve sürtünme karıştırma kaynağı ile ilgili yapılan yeni çalışmalar, levhaların üst üste bindirmeye gerek kalmadan alın altına birleştirilmesi ile parçaların toplam ağırlıklarında önemli oranda azalma sağlar. Bu da ulaşım ve uzay endüstrisinde yakıt tüketiminde önemli tasarruflar sağlamaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı, difüzyon kaynağı gibi bir katı hal birleştirme kaynağı olup, birleştirme bölgesinde iç yapıyı önemli oranda değiştirmedeğinden, ergitme kaynağı güç olan Al-

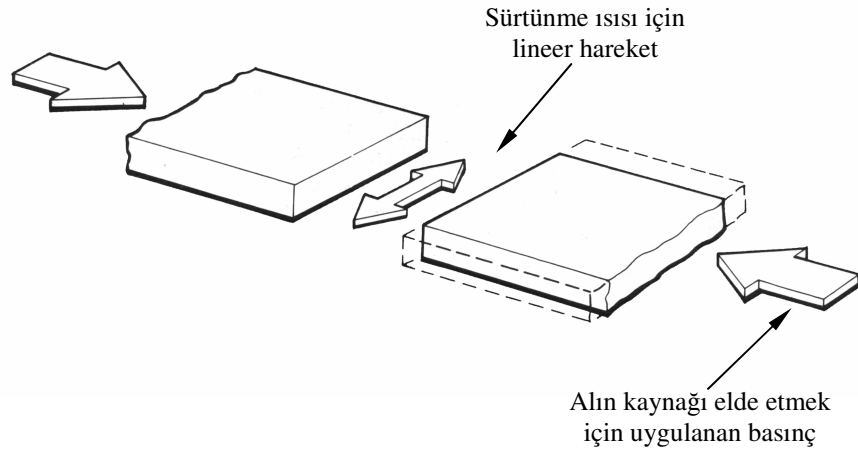
alaşımların uc uca birleştirilmesinde başarıyla kullanılır. Bu Şekilde elde edilen birleştirmeler, ergitme kaynak yontemleri ile uturetilenlere oranla daha iyi mekanik ozelliklere sahiptir. Aynı Şekilde Al-alaşımı ve pirinç levhaların bindirme kaynağı da bu yontem ile başarılı bir Şekilde gerçekteştirilebilir.

Hatasız birleştirme, yeni bir malzeme iwin araştırma ve geliştirmede bir kilometre taşı olarak dűřunulmektedir. Bununla birlikte yeni malzemelerin yaygın kullanımları iwin kaynak birleştirmelerinin iwi yapı-mekanik ozellikler ilişkileri iyi anlaşılmalıdır. Bu çalışmanın amacı, sűrtűnme karıştırma kaynağı yonteminin Al-alaşımı ve pirinç levhalarda bindirme kaynağı işleminde kullanılabilirliğini tespit etmektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Klasik sürtünme kaynağı kullanımı, enerji iletilmesinin doğasından dolayı katı veya boru şeklinde silindirik kesitlerle sınırlıdır. Silindirik olmayan kesitler yani levhalar için lineer sürtünme kaynak işlemi geliştirilmiş ve bazı sınırlı uygulamalarda kullanılmıştır (Şekil 2.1) (NICHOLAS, 1991). Son yıllarda, bu yöntemin yeni bir versiyonunun geliştirilmesiyle sürtünme kaynağının endüstriyel uygulamaları artmıştır. The Welding Institute (TWI) tarafından 1991’de İngiltere’de geliştirilip patenti alınan bu yöntemin adı sürtünme karıştırma kaynağı olup, levhalar alın altına ilave tel kullanılmadan birleştirilebilmektedir (DAWES,1995; THOMAS,1999; ÇAM, 2001; 2002; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001).



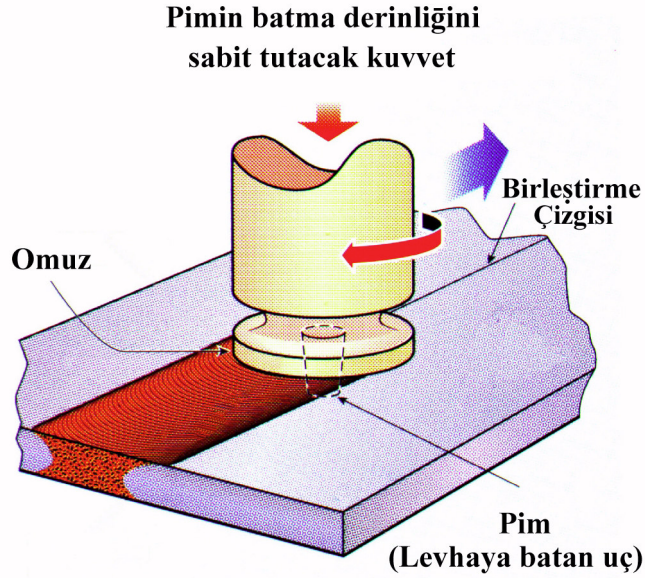
Şekil 2.1. Lineer sürtünme kaynağının şematik gösterimi (NICHOLAS, 1991).

Kaynak işlemi süresince tatbik edilen yüksek yükleme hızı ve yüksek sıcaklık deformasyonu, klasik ve lineer sürtünme kaynağında kaynak dikişinde malzemenin metalürjik ve mekanik özelliklerini değiştirmektedir (NORTH ve ark., 1999).

Sürtünme kaynağı yaklaşık 50 yıldan beri bilinmesine rağmen imalat sektörü tarafından yeterli desteği alamamıştır. Pek çok teknik personel, ya sürtünme kaynağından haberdar değildir; ya da imalat sektöründe kullanılabilirliği ispatlanmamış

yeni bir teknoloji olarak bilinmektedir. Son yıllarda metal ve malzeme biliminde büyük gelişmelerin sağlanması ile birlikte, metalik malzemelerin birleştirilmesi büyük önem kazanmıştır. Özellikle yeni ve özellikleri geliştirilmiş malzemelerin üretilmesi ve bu malzemelerin mevcut ergitme kaynak yöntemleri ile kaynağından doğan problemler, sürtünme kaynağı için geniş bir uygulama alanı sağlamıştır. Ergitme kaynak yöntemlerinin cüruf kalıntısı, porozite gibi kaynak hatalarına açık bir yöntem olması ve soğuma nedenli makro düzeyde iç gerilmelerin oluşması bu yöntemlerin diğer dezavantajlarını oluşturmakta olup kaynağın mukavemetini düşürmektedir. Dolayısıyla, bu malzemeler için çatlama riskini ortadan kaldıracak ve iç yapıda en az değişikliğe yol açacak birleştirme yöntemleri kullanılması zorunludur. Aynı veya farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde eğer boyutları ve şekilleri uygun ise, ergitme olayının olmaması veya sınırlı oluşu, çok daha az kaynak hatası içermesi ve kaynak sonrası minimum iç gerilmeler oluşturması nedeniyle katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynağı için büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Son yıllarda geliştirilen sürtünme karıştırma kaynağı, genel olarak levhaların birleştirilmesinde kullanılmakta olup, diğer sürtünme kaynaklarına göre prensip olarak bazı farklılıklar gösterir. Yöntem, karıştırma pimi olarak adlandırılan ve yüksek devirlerde dönen omuzlu bir pimin, kaynak edilecek parçalar yan yana getirildikten sonra, bu parçaların içine daldırılarak ilerletilmesi ve ilerlerken sürtünmeden dolayı meydana gelen ısının tesiri ile parçaları yumuşatması, yumuşayarak çamurumsu bir kıvam alan malzemenin pimin omuz kısmı tarafından sıvanması yoluyla, parçaların birleştirildiği bir sürtünme kaynağı yöntemidir. Yöntemin uygulama şekli Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilmiştir (ÇAM, 2001; 2002; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001, ATAÖĞLU; 2002).



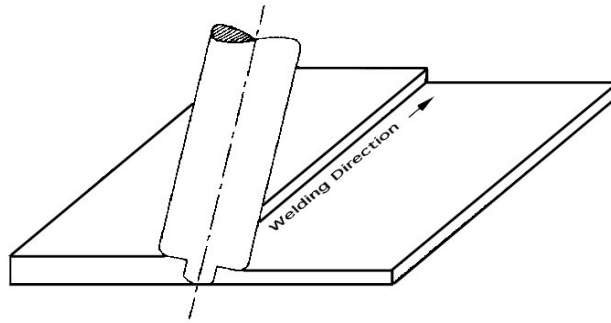
Şekil 2.2. Sürtünme karıştırma kaynağı (ÇAM, 2001; 2002; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001).

2.2. Kaynak Metalurjisi

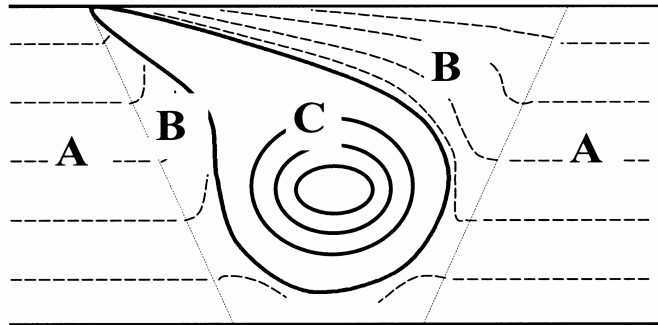
Sürtünme karıştırma kaynağı otomatik çekilebilir pimlerin geliştirilmesiyle pimin işlem sonunda levhadan geri çekildiği yerde delik oluşmaması sonucu dairesel (çevresel) kaynak işlemlerinde pimin eğik daldırılması sonucu farklı kalınlıklardaki levhaların kaynak işlemlerinde de kullanılabilir (DING ve OELGOETZ, 1999). Farklı kalınlıklardaki Al-Li alaşımı 2195 levhaların birleştirme işlemlerinde eğik pim daldırma yöntemi ile umut verici sonuçlar elde edilmiştir (DING ve OELGOETZ, 1999). Eğik pim daldırma yöntemi Şekil 2.3' de şematik olarak gösterilmektedir (ÇAM, 2001; ÇAM ve YAVUZ, 2001; KALLEE ve MISTRY, 1999). Son yıllarda otomotiv endüstrisinde konstrüksiyona hazır levhaların (tailored blanks) kaynak işleminde sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin kullanılması büyük bir ilgi çekmektedir. Pimin farklı kalınlıklardaki levhalara açılı daldırılması ile lazer kaynağında elde edilenden daha düzgün bir yüzey elde edilebilmektedir.

Şekil 2.4' te sürtünme karıştırma kaynağında oluşan simetrik olmayan kaynak dikişinin kesitindeki tipik bir iç yapı şematik olarak gösterilmiştir (ÇAM, 2001; ÇAM, 2002; ÇAM ve YAVUZ, 2001; DONG ve ark., 1999; ÇAM ve KOÇAK, 2002). Tipik olarak soğan halkaları veya ağaçlardaki yaş halkaları gibi pek çok konsantrik halkalar

oluşmaktadır (DONG ve ark., 1999; ANDERSSON ve ark., 1997). Kaynak bölgesindeki iç yapı tipik olarak üç farklı bölgeden oluşur. Bu bölgeler, A: ark kaynağındaki ITAB' a benzer dikişten uzakta ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: dikişe bitişik termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge (TEB) ve C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) olarak adlandırılmaktadır (ÇAM, 2001; ÇAM ve YAVUZ, 2001; DONG ve ark., 1999; THREADGILL, 1997). Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgenin dinamik toparlanma (dynamic recovery) sonucu oluştuğu kabul edilmektedir (ÇAM, 2001; 2002; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001).



Şekil 2.3. Sürtünme karıştırma kaynağında batıcı pimin eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi (ÇAM, 2001; ÇAM ve YAVUZ, 2001; KALLEE ve MISTRY, 1999).

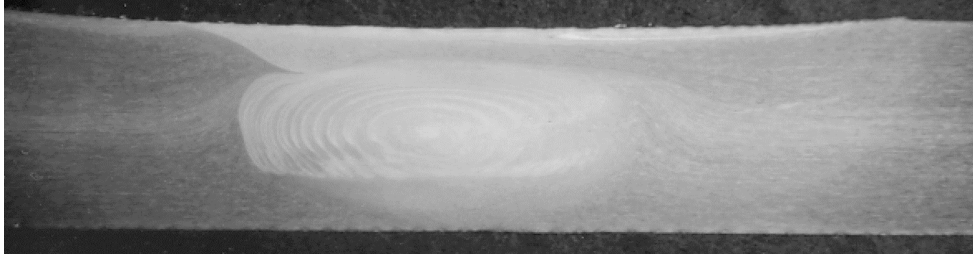


Şekil 2.4. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü. A: ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) (ÇAM, 2001; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001; DONG ve ark., 1999)

Herhangi bir pim geometrisi için, sürtünme karıştırma kaynağını etkileyen üç temel parametre vardır. Bunlar, pimin dönme hızı, pimin ilerleme hızı ve pimin batma derinliğidir (LOFTUS ve ark., 1999). Bunlardan ilk ikisi, dönme ilerleme hızları kontrol edilebilir ve sabit pim geometrisi ile yapılan kaynaklarda kaynak sırasında önemli oranda değişmezler. Fakat, pimin batma derinliği kritik ve kontrol edilmesi güç bir parametredir. Kaynak işleminde iyi bir nüfuziyet elde etmek için, pimin ucunu arka yüzeye yaklaşık olarak 0,508 mm mesafede sabit tutulması gerektiği deneysel olarak gösterilmiştir (LOFTUS ve ark., 1999). Pimin ucu ile iş parçasının arka yüzeyi arasındaki mesafe “nüfuz etme mesafesi” olarak bilinmektedir. Bundan dolayı sürtünme karıştırma kaynağında, yüzey hazırlama klasik ve lineer sürtünme kaynaklarından daha kritiktir. Kaynak işlemi süresince nüfuz etme mesafesini sabit tutmak için malzeme kalınlığındaki değişimler minimum düzeyde olmalıdır. Pim ölçüsü, düşük ısı girdisi ve küçük kaynak dikişi sağladığı ve dolayısıyla büzülme azalttığı için mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.

2.3. Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri

Ergitme kaynakları ile karşılaştırıldığında, sürtünme karıştırma kaynaklı Al-alışımli birleştirmeler iyi bir kaynak profiline, düzgün ve temiz bir yüzeye sahiptir. Pimin omzunun dönmesi sonucu, bu metot ile elde edilen kaynağın üst yüzeyleri makine ile işlenmiş gibidir ki bu da yorulma ömrünü arttırmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile optimum kaynak parametreleri kullanarak Al-alışımli kaynak dikişi elde edilebilir. Şekil 2.5, bu yöntem ile elde edilmiş hata içermeyen bir Al-alışımli kaynak dikişinin kesitini göstermektedir (ÇAM, 2001; ÇAM ve YAVUZ, 2001; VON STROMBECK ve ark., 1999). Bu kaynak yöntemi ile kaynak edilmiş Al-alışımli kaynaklarında elde edilen kaynağın tipik özelliği, özellikle yaşlandırma sertleşmesi yapılmış alışımli kaynak bölgesinde sertlik ve mukavemet düşüştür (strength undermatching). Fakat, kaynak bölgesinde mukavemet kaybı tüm ergitme kaynak yöntemlerinde bu yöntemden daha fazladır.



Şekil 2.5. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımının kaynak bölgesinin kesiti (ÇAM, 2001; ÇAM ve YAVUZ, 2001; VON STROMBECK ve ark., 1999)

2.3.1. Katı Eriyik Sertleşmesi Yapılmış Al-Alaşımalarında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri

Katı eriyik sertleşmesi yapılmış 5XXX serisi Al-alaşımaları, kaynak dikişinde mukavemetlendirici partiküllerinin çözeltiye alınması ve ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) aşırı yaşlanma olmamasından dolayı sürtünme karıştırma kaynağı yapıldıklarında kaynak bölgesinde marjinal mukavemet kaybı gösterirler. Örneğin, sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış 5083-0 Al-alaşımının kaynak bölgesinde sertlikte önemli bir değişim gözlenmemiştir ve birleştirmeler tavlanmış baz malzemeninki ile kıyaslanabilir mukavemet göstermiştir (KARLSSON ve ark., 1999).

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde, kaynak parametresi olarak adlandırılan pimin dönme hızı/pimin ilerleme hızı (R_t/v) oranının kaynak performansını etkileyen önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir (HASHIMOTO ve ark., 1999). Fakat, 4 mm kalınlıktaki 5083-0 Al-alaşımı için bu parametre penceresinin oldukça geniş olduğu ve bu yöntem ile elde edilen kaynakların esas malzeme ile karşılaştırılabilir, çekme mukavemeti sergiledikleri tespit edilmiştir (302 MPa) (HASHIMOTO ve ark., 1999).

3,9 mm kalınlıktaki 5454-0 Al-alaşımında da bu metot ile elde edilen kaynaklarda sertlik ve mukavemet kaybı gözlenmemiş ve baz malzemeninkine benzer çekme özellikleri gözlenmiştir (REYNOLDS, 1999). Fakat, farklı kalınlıklardaki sacların kaynağında tungsten inert gaz ark (TİG) kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağından daha iyi sonuç vermiştir. Aynı alaşım temperlenmiş (H32) durumda sürtünme karıştırma kaynağı yapıldığında önemli oranda mukavemet kaybı gözlenmiştir (Çizelge 2.1). Benzer şekilde, 3 mm kalınlığındaki 5005-H14 Al-alaşımında sürtünme karıştırma kaynağı sonucu kaynak bölgesinde önemli oranda sertlik kaybı (Şekil 2.6). ve

mukavemet düşüşü kaydedilmiştir (Çizelge 2.2). %75 düzeyinde bir kaynak mukavemet verimi (joint efficiency) elde edilebilmiştir (VON STROMBECK ve ark., 1999). Bu sonuçlar, temperlemenin kaynak performansını önemli oranda etkilediğini, dolayısıyla yüksek mukavemetli alaşımlarda kaynak bölgesinde mukavemet kaybının daha yüksek olduğunu göstermektedir.

2.3.2. Yaşlandırma Sertleşmesi Yapılmış Al-Alaşımlarında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri

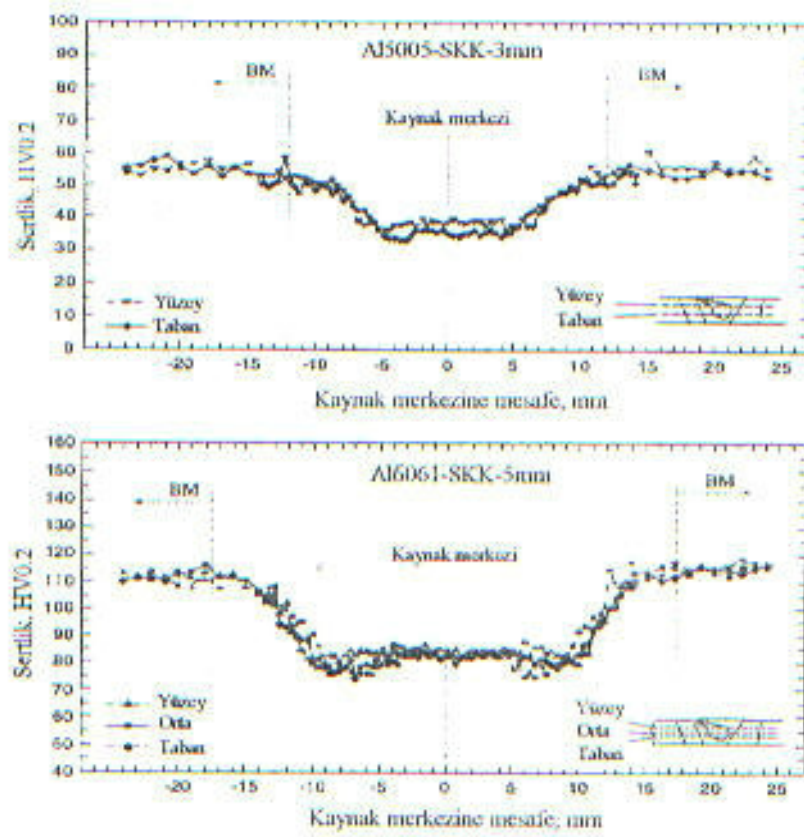
Kaynak bölgesindeki mukavemet kaybı, bu bölgede mevcut dislokasyonların azalması ve mukavemetlendirici çökeltilerin kaybından dolayı yaşlandırma sertleşmesi yapılmış Al-alaşımlarda daha yüksektir. Fakat, sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış 2024-T3 Al-alaşımının kaynak dikişinde mukavemetlendirici çökeltilerin çözünmesi sonucu malzemenin yumuşamasına rağmen ince taneli bir mikroyapı oluşmasından dolayı bir miktar sertlik düşüşü gözlenmiştir (BIALLAS ve ark., 1999). Sertlik, bu alaşımın kaynak bölgesinde mukavemetlendirici çökelti partiküllerinin irileşerek sertleştirici etkilerin yok olduğu kaynak dikişi dışındaki aşırı yaşlanma bölgesinde en düşüktür. Bu kaynak işleminde simetrik olmayan bir kaynak dikişi elde edildiği için kaynak dikişinin her iki tarafındaki sertlik minimum olduğu bölgeler kaynak dikişine eşit mesafede değildir. Ayrıca, kaynak dikişinin her iki tarafında kaynak merkezinden ± 15 mm mesafede, yapay yaşlandırma sonucu S' fazının (Al_2CuMg) çökmesiyle sertliğin maksimum olduğu bölgeler mevcuttur. Yüksek dönme ve ilerleme hızı kullanıldığında kaynak bölgesinde sertlik düşüşü daha az olmaktadır. Bunun sebebi, yüksek hızda yapılan kaynaklardaki yüksek soğuma hızlarından dolayı mukavemetlendirici partiküllerin kısmen tekrar çökmesidir (RHODES ve ark., 1997; BIALLAS ve ark., 1999). Düşük kaynak hızı kullanılarak yapılan birleştirmelerde kaynak bölgesinde sertlik düşüşünün daha yüksek olduğu deneysel olarak gösterilmiştir (BIALLAS ve ark., 1999). Bu kaynaklarda, sertlik kaynak dikişinde ITAB' den biraz yüksektir ve minimum sertlik termo-mekanik olarak etkilenen bölge civarındaki ITAB' dendir.

Çizelge 2.1. Otojen elektron kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al alaşımlarının ve baz malzemelerin çekme deneyi sonuçları (ÇAM ve KOÇAK, 2002)

Alaşım ve temper durumu	Kaynak Prosesi	Dönme Hızı (rpm)	İlerleme Hızı (mm.min ⁻¹)	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	uzama (%)	Kaynak Performansı	
							Muk. (%)	uzama (%)
2195-T8	BM+	--	--	--	610	--	--	--
2195-T8	SKK+	--	--	--	410	--	67.2	--
5005-H14	BM†	--	--	147	158	7.0	--	--
5005-H14	EK†	--	--	96	125	5.4	79.1	77.1
5050-H14	SKK†	--	--	73	118	7.0	74.7	100
5454-O	BM‡	--	--	106	235	25.0	--	--
5454-O	SKK‡	9.7	4.2	108	230	24.0	97.9	96.0
5454-O	SKK‡	12.5	4.2	106	236	26.5	100	106
5454-O	SKK‡	25.3	12.7	107	234	25.0	99.6	100
5454-H32	BM‡	--	--	230	360	14.0	--	--
5454-H32	SKK‡	9.7	1.4	123	258	20.4	71.7	146
5454-H32	SKK‡	9.7	4.2	126	258	19.2	71.7	137
5454-H32	SKK‡	12.5	4.2	124	257	17.3	71.4	124
5454-H32	SKK‡	25.3	12.7	126	254	14.6	70.6	104
2024-T351	BM*	--	--	350	493	19.0	--	--
2024-T351	EK*	--	--	312	348	1.2	70.6	6.3
2024-T351	SKK*	--	--	268	410	5.1	83.2	26.8
2024-T3	BM§	--	--	424	497	14.9	--	--
2024-T3	SKK§	800	80	279	408	6.6	82.0	44.3
2024-T3	SKK§	1000	100	296	423	8.1	85.0	54.4
2024-T3	SKK§	1250	125	304	432	7.6	87.0	51.0
2024-T3	BM#	--	--	325	472	21.0	--	--
2024-T3	SKK#	1200	120	301	424	6.3	90.0	30.0
2024-T3	SKK#	1800	180	315	434	6.9	92.0	32.9
2024-T3	SKK#	2400	240	325	461	11.0	98.0	52.4
6061-T6	BM*	--	--	281	319	15.6	--	--
6061-T6	EK*	--	--	182	255	3.0	80.0	19.2
6061-T6	SKK*	--	--	162	252	7.2	79.0	46.2
7020-T6	BM*	--	--	326	385	13.6	--	--
7020-T6	EK*	--	--	262	343	3.7	89.1	27.2
7020-T6	SKK*	--	--	242	325	4.5	84.4	33.1

+ levha kalınlığı=8.1 mm; † levha kalınlığı =3 mm; ‡ levha kalınlığı =3.9 mm;

* levha kalınlığı =5 mm; § levha kalınlığı =4 mm; # levha kalınlığı =1.6 mm



Şekil 2.6. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış 5005 ve 6061 Al-alaşımalarının sertlik profilleri (VON STROMBECK ve ark., 1999).

Aynı kaynak parametreleri kullanıldığında ince sacların kaynak dikişinde kalın sacların kaynak dikişine oranla daha düşük mukavemet kaybı olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış 6,35 mm kalınlığında 2014-T6 Al-alaşımında kaynak bölgesinde önemli bir sertlik kaybı olmadığı, minimum sertliğin kaynak bölgesinden uzakta ITAB' de olduğu ve kaynak merkezinin sertliğinin baz malzemeden yüksek olduğu gözlenmiştir (STRANGWOOD ve ark., 1999). Kaynak sonrası 160 °C' de yapılan yaşlandırma işleminin ITAB' de sertliği arttırmadığı, ancak yaşlandırma işlemi öncesi yapılan 505 °C' de çözeltiye alma işlemi ile ITAB ve kaynak dikişinde baz malzemenin sertlik değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış 5 mm kalınlığındaki 2024-T351 Al-alaşımında kaynak bölgesinde yüksek sertlik kaybı gözlenmiştir (MAHONEY ve ark., 1998; BUSSU ve IRVING, 1999).

Çizelge 2.2. Otojen elektron kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımlarının kaynak edilmiş durumda kırılma tokluğu değerleri (3 mm kalınlığındaki 5005 alaşımı hariç diğer levhaların kalınlıkları 5 mm' dir) (ÇAM ve KOÇAK, 2002).

Alaşım	Kaynak Prosesi	CTOD (δ_5) _m [mm]		
		Baz Malzeme (BM)	Ergime Bölgesi Veya Kaynak Dikişi	ITAB/TEB
Al5005-H14	EK	0.43; 0.34; 0.29*	1.43; 1.37; 1.20	---
Al5005-H14	SKK	0.43; 0.34; 0.29	1.62; 1.68; 1.41	1.47; 1.52; 1.20
Al2024-T351	EK	0.31; 0.29; 0.29	0.20; 0.19; 0.17	0.14; 0.13; 0.11
Al2024-T351	SKK	0.31; 0.29; 0.29	0.23; 0.23; 0.21	0.21; 0.18
Al6061-T6	EK	0.28; 0.31; 0.24	0.62; 0.60; 0.57	0.43; 0.42; 0.41
Al6061-T6	SKK	0.28; 0.31; 0.24	1.01; 0.95; 0.92	0.62; 0.66; 0.61
Al7020-T6	EK	0.41; 0.39; 0.39	0.55; 0.50; 0.44	0.51; 0.55; 0.49
Al7020-T6	SKK	0.41; 0.39; 0.39	0.52; 0.44	---

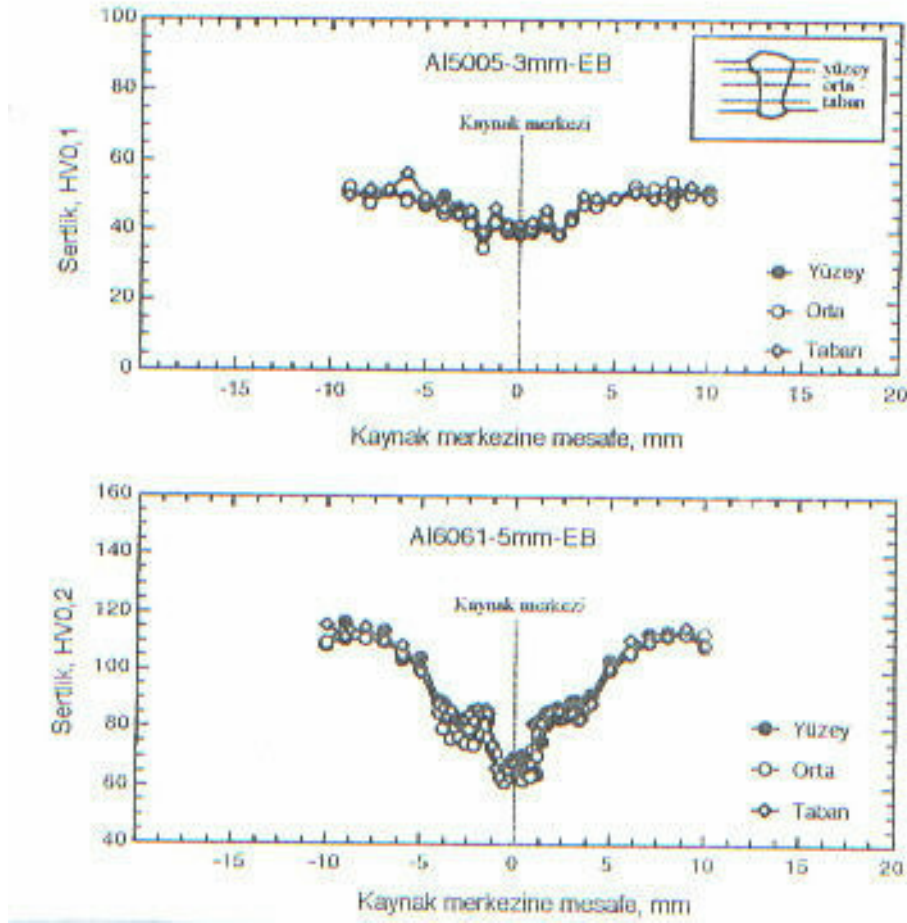
- Koyu değerler ölçülen en düşük değerlerdir.

5 mm kalınlığındaki 2024 Al-alaşımında sürtünme karıştırma kaynağı ile elde edilen kaynak performansı (%83) (VON STROMBECK ve ark., 1999), otojen elektron kaynağından (%70.6) (ÇAM ve ark., 1999; ÇAM ve ark., 2000) daha yüksektir, Şekil 2.6 ve 2.7. Benzer şekilde, başka bir çalışmada 800 devir/dak dönme hızı ve 80 mm/dak ilerleme hızı kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı yapılan 2024-T3 Al-alaşımında %83' lük bir kaynak performansı elde edilmiştir (BIALLAS ve ark., 1999). Daha yüksek hızlar kullanılarak (kaynak parametresi = dönme hızı (R_t) / ilerleme hızı (v) = 10) sürtünme karıştırma kaynağı yapılan 4 mm ve 1,6 mm kalınlığındaki levhalarda sırasıyla %87 ve %98' lik bir kaynak performansına ulaşılmıştır (KARLSSON ve ark., 1999).

4 mm kalınlıktaki 2024-T6 Al-alaşımı için kaynak parametre aralığını bulmak amacıyla yapılan bir çalışmada, aralığın biraz dar olduğu (örnek $R_t/v = 3-5$) gözlenmiştir (HASHIMOTO ve ark., 1999), ki bu her zaman için geçerli değildir (BIALLAS ve ark., 1999). Bir başka çalışmada, sürtünme karıştırma kaynaklı 2024-T351 Al-alaşımının çekme ve yorulma özellikleri incelenmiştir (PEDWEL ve ark.,

1999). Çekme deneyi sonuçları, kaynak bölgesinde baz malzemeye oranla çekme mukavemetinde %10'luk bir düşüş olduğunu göstermiştir. Yorulma deneyleri de, sürtünme karıştırma kaynaklı numunelerin yorulma özelliklerinin baz malzeme kadar iyi olmadığını göstermiştir (BUSSU ve IRVING, 1999; PEDWEL ve ark., 1999). Fakat sürtünme karıştırma kaynağının yorulma performansı uçaklarda şu anda kullanılan perçinli birleştirmelerle karşılaştırıldığında yorulma ömrünün sürtünme karıştırma kaynağında 100 kat fazla olduğu görülmektedir (PEDWEL ve ark., 1999). Buna ilaveten, yüksek dönme ve ilerleme hızları ile sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerin yorulma mukavemeti artmaktadır (BIALLAS ve ark., 1999). Genel olarak, sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerin üst yüzeylerinde pim omzunun etkisi ile oluşan profil çentik etkisi yaparak yorulma ömrünü azaltmaktadır. Dolayısıyla, kaynağın yorulma performansını geliştirmek için kaynak sonrası yüzey işlenmelidir (BUSSU ve IRVING, 1999). Yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi ile, sürtünme karıştırma kaynaklı 2024-T351 Al-alaşımının yorulma ömrünün baz malzeme düzeyine çıkarılabildiği deneysel olarak gösterilmiştir (BUSSU ve IRVING, 1999). Ayrıca, değişik kaynak yöntemleri arasında (SKK, ergitme kaynağı ve perçinleme) yorulma dayanımını en az olumsuz yönde etkileyen yöntem sürtünme karıştırma kaynağıdır.

8,1 mm kalınlığındaki 2195-T8 Al-Li alaşımının sürtünme karıştırma kaynak sonucunda kaynak dikişinin çekme mukavemetinde büyük bir düşüş olduğu ve kaynak performansının %67,2 olduğu kaydedilmiştir (REYNOLDS ve ark., 1999). Fakat, sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen bu %67,2' lik kaynak performansı aynı levha için değişken kutup plazma ark (variable polarity plasma arc) kaynağında ulaşılan performanstan önemli oranda yüksektir. Benzer şekilde, sürtünme karıştırma kaynaklı 8,1 mm kalınlıktaki 2195-T8 alaşımı oda sıcaklığında ve çok düşük sıcaklıklarda yapılan çekme testlerinde klasik ergitme kaynaklarından çok daha iyi sonuç vermiştir (KINCHEN ve ark., 1999). Ayrıca, sürtünme karıştırma kaynaklı 2195 alaşımı hem oda sıcaklığında hem de çok düşük sıcaklıklarda ergitme kaynaklarından daha yüksek süneklik göstermiştir (LOFTUS ve ark., 1999).



Şekil 2.7. Elektron hüzmesi kaynağı yapılmış 5005 ve 6061 Al-alaşımlarının sertlik profilleri (ÇAM ve ark., 1999; ÇAM ve ark., 2000).

Bu kaynak yöntemi ile 75 mm kalınlığındaki Al-alaşımı levhalar çift taraftan başarı ile kaynak edilmiştir. Bu şekilde elde edilen birleştirmeler oldukça iyi mekanik özellikler göstermişlerdir. Bükme deneyinde (180° lik bükme sonucunda) herhangi bir çatlama tespit edilmemiştir. Literatürde, yumuşak çelik (6,35 mm kalınlık) (THOMAS ve ark., 1999; LIENERT ve GOULD, 1999), bakır (3-50 mm kalınlık) (ANDERSSON ve ANDREWS, 1999) gibi başka malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı için de umut verici sonuçlar rapor edilmiştir. Buna ilaveten, 12 mm kalınlığında %12 Cr çeliği SKK ile bir metre uzunluğunda çift taraftan kaynak edilmiş ve ayrıca %12 Cr çeliği ile düşük karbonlu çelik bu yöntemle başarıyla kaynak edilmiştir (THOMAS, 1999).

Sürtünme karıştırma kaynak metodu, diğer kaynak işlemleriyle birleştirilmesi kolay olmayan Al-alaşımlarını kolaylıkla kaynak yapma imkanı sağlar. Bu alın kaynak işleminin lazer alın kaynağı ile birlikte yeni yapısal uygulamalarda minimum ağırlık

birleştirme metotları olarak üst üste bindirme gerektiren perçinlemenin yerine geçmeleri beklenmektedir. Bazı alanlarda başarıyla uygulanmasına rağmen bu kaynak işleminin endüstriyel uygulamasının artması için özellikle işlem parametrelerinin ve birleştirme performansının daha iyi anlaşılması araştırılmalıdır.

Katı hal kaynak yöntemi olmasına rağmen sürtünme karıştırma kaynağında, ergitme kaynak yöntemlerindeki katılaşmadan kaynaklanan kusurlar oluşmazken, uygun işlem parametreleri seçilmediği takdirde boşluk oluşumu ve kaynak hataları (kissing bond veya orta kalınlık kusuru) gibi sorunlar ortaya çıkar. Fabrikasyondan oluşan kaynak kusurlarının ve kullanım sırasında oluşan çatlakların yapısal önemini (yapının performansına etkisini) değerlendirmek için kritik uygulamalarda kırılma mekaniği analizlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulur. Bu birleştirmelerin kırılma tokluğu davranışları (R-eğrisi vs.) ve küçük ve büyük ölçekli (örnek; geniş plakalar) kırılma mekaniği testlerinden elde edilen deformasyon ve kırılma davranışı hakkında çok sınırlı data mevcut olup (VON STROMBECK ve ark., 1999; BIALLAS ve ark., 1999; ARBEGAST ve ark., 1999), daha detaylı verilere ihtiyaç vardır.

Buna ilaveten, kaynak dikişi ve ısıdan etkilenmiş bölge bu kaynak yönteminde de mevcuttur ve bu bölgelerdeki iç yapı gradyanı (homojen olmayan iç yapı) kaçınılmazdır. Örneğin, uzay endüstrisinde kullanılan Al-alaşımlarda iç yapı, baz malzemedeki soğuk şekil verilmiş ve yaşlandırılmış yapıdan sürtünme karıştırma kaynak dikişindeki tamamen yeniden kristalize olmuş ve çözeltiye alma tavlama yapılmış iç yapıya değişir. Tane büyüklüğü de kaynak kalınlığına değişir, dolayısıyla kaynak bölgesinde mekanik uyumsuzluk söz konusudur. İç yapının ve tane büyüklüğünün homojen olmayışı sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerin korozyon davranışını orijinal levhadan önemli oranda farklı kılar (LI ve ark., 1999). Son olarak, kaynak yüzeyindeki pürüzlülük ve pim omzunun bıraktığı izler çentik etkisi yapar. Bu faktörler, birleştirmenin yorulma ömründe azalmaya neden olabilir. Fakat, değişik kaynak yöntemleri arasında (sürtünme karıştırma kaynağı, ergitme kaynağı ve perçinleme) yorulma dayanımını en az olumsuz yönde etkileyen yöntem sürtünme karıştırma kaynağıdır (PEDWELL ve ark., 1999; HORI ve ark., 1999).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Al-alaşımı ve pirinç levhalar kullanılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan Al-alaşımı levha ASAŞ Alüminyum Fabrikaları'ndan temin edilmiştir. Al-alaşımının fabrika kodu E53-H18 ve TSE kodu EN AW-5754 [AlMg3]'dir. Bu çalışmada kullanılan pirinç levha MS-70 kodlu 70Cu-30Zn alaşımı olup, Özer Metal San. A.Ş., İstanbul'dan temin edilmiştir. 3 mm kalınlığındaki TSE EN AW 5754 [AlMg3] Al-alaşımı ve pirinç (70Cu-30Zn) levhaların sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile bindirme kaynağı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, bindirme kaynak işlemleri 2000 dev/dak devir hızı ve 210 mm/dak ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Bu birleştirme işleminde kullanılan cihaz ve sistemler aşağıda verilmektedir. Ayrıca birleştirme işleminin nasıl yapıldığı, hangi safhalardan oluştuğu ve kaynak bölgesinde oluşan iç yapının incelenmesi ile mekanik özelliklerinin nasıl belirlendiği bu bölümde açıklanacaktır.

3.1. Kullanılan Malzeme

Bu çalışmada kullanılan 3 mm kalınlığındaki Al-alaşımı, TSE Alüminyum EN AW-5754 [AlMg3] alaşımıdır. Aynı şekilde, çalışmada kullanılan diğer malzeme 3 mm kalınlığında %70Cu-%30Zn pirinç levhadır (bu malzeme kovan pirinci olarak bilinir).

Bu çalışmada kullanılan Al-alaşımı tanklar, treyler, basınçlı kaplar ve deniz ortamında kullanılan parçaların imalinde kullanılırken 70-30 pirinç mermi kovanları ve tesisat parçaları (boru, conta, vs.) gibi ürünlerde kullanılmaktadır.

3.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak Uçları

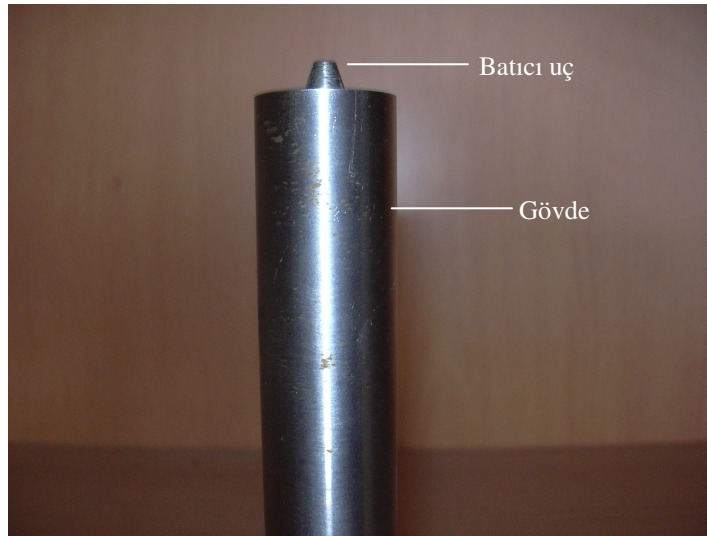
Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynaklarını yapmak için gerekli kaynak uçları (baticı uçlar) Al-alaşımı levhaların kaynağı için 1.3207 malzeme numaralı % 10 Co içeren yüksek devirli kesici takımlarda kullanılan yüksek hız çeliğinden ve pirinç levhaların kaynağı için 1.2365 malzeme numaralı enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplarında kullanılan X32CrMo3 3 sıcak iş çeliğinden yapılmıştır. Baticı uçlardan Al-alaşımı levhaların kaynağında kullanılan uca M5 vida dişi açılmış ve ucu yuvarlatılmıştır (Şekil 3.1). Diğer taraftan, pirinç levhaların bindirme kaynağında kullanılan uca standart dışı

helisel kanal açılmış ve ucu yuvarlatılmıştır. Batıcı uçlar konik olup, tabandaki çapı 4 mm iken uç çapı yaklaşık 3 mm'dir.

Kaynak uçları iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

1. Dik frezenin başlığına bağlanan ve ucun omuz kısmı: Batıcı ucun tezgah başlığına kolay bağlanması için çapı piyasadan temin edildiği gibi seçilmiştir. Çap 22 mm, boyu 110 mm'dir. Batıcı ucun boyu tezgah başlığının kavrayacağı büyüklükte olmalıdır. Bu kısmın ölçüleri kaynak ucu için çok kritik değildir.

2. Konik sürtünme karıştırma kaynak ucu: Çapı ve boyu sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak levhanın kalınlığına bağlıdır. Alüminyum levhaların kaynağında kullanılan yüksek hız çeliği batıcı uçlar üzerine M5 vida dişi açılmış ve ucu yuvarlatılmıştır. Pirinçlerin kaynağında kullanılan sıcak iş çeliği batıcı ucun üzerine standart dışı helisel diş açılmış ve ucu yuvarlatılmıştır. Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak levhaların et kalınlığı 3 mm olduğundan, her iki farklı kaynak ucunun uzunluğu bindirme kaynağında 4.5 mm seçilmiştir. Diğer bir deyişle batıcı ucun alttaki levhaya 1.5 mm batması sağlanmıştır.



Şekil 3.1. Kaynak işleminde kullanılan ucu yuvarlatılmış konik batıcı uç.

3.3. Kaynaklanacak Levhaların Tezgaha Sabitlenmesi

Üniversal dik freze tezgahında, sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak levhaların tablaya bağlanarak kaynak yapılabilmesi için, öncelikle levhaların sabitleneceği freze tablasına uygun sıkıştırma aparatları imal edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan üniversal freze tezgahının tabla boyutları ve dizaynı kullanılan levhaların ebatlarına uygun olmadığından freze tablasının üzerine platinadan (et kalınlığı 20 mm' den fazla olan çelik sac) imal edilen bir blok yerleştirilmiş ve kaynağı yapılacak levhalar bu blok üzerine yerleştirilmiştir. Kaynak esnasında sabit kalması gereken levhalar daha sonra blok üzerine yerleştirilen her bir levhanın üzerine ayrı birer blok konularak pabuçlar ile sabitlenmiştir.

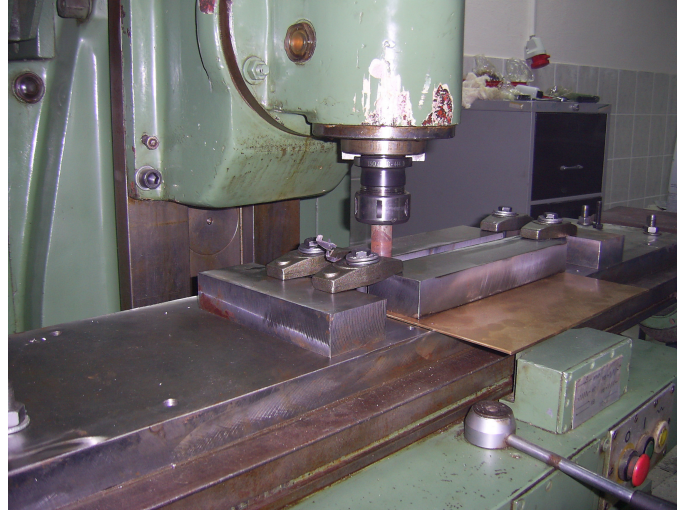
3.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Freze Tezgahı

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı işlemleri üniversal dik freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2 ve 3.3 kullanılan dik freze tezgahını göstermektedir. Dik freze tezgahı maksimum 2000 dev/dk ve 5.5 - 260 mm/dk ilerleme hızı aralığında çalışabilmekte ve X ekseninde tabla hareket mesafesi (kurs boyu) yaklaşık 1100 mm'dir. Diğer bir deyişle uygun bağlama tertibatı kullanıldığında bu tezgahta yaklaşık 1100 mm uzunluğunda levhalar kaynaklanabilir. Freze elektrik motoru ile çalışmakta, motordan aldığı dönme hareketini kasnak kayışı vasıtasıyla frezenin düşey başlığı içerisindeki freze başlık miline aktarmakta ve yağ soğutmalıdır. Düşük hızda tezgahın ilerletilebilmesi için redüktör ve elektrik motorları kullanılarak tabla hareketi yavaşlatılmıştır.

Sürtünme karıştırma kaynağı yapacak olan dik freze tezgahının, kaynağa başlamadan önce kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Bu kontroller, kaliteli bir kaynak için şarttır. Aksi takdirde, tezgahtan kaynaklanan kaynak hataları meydana gelmektedir.



Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağı işleminin yapıldığı dik freze tezgahı.



Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağı işleminin yapıldığı tezgahın detay görünümü.

3.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılması

Kaynak işlemi, pimin dönme hareketi, pimin malzemeye batması ve levhaların bağlı olduğu tablanın ilerleme hareketi olmak üzere üç temel safhadan oluşur. Pime dönme hareketini freze başlığı içerisindeki freze başlık mili verir. Batma hareketi tablanın yukarı hareketi ile sağlanır. İlerleme hareketi ise tablanın ucuna takılan ve tezgahın yanında bir kontrol paneli olan elektrik motoru sayesinde otomatik olarak sağlanır. Bu işlemlerin sonunda, tablaya özel bir aparatla bağlanmış olan ve üst üste

bindirilen 2 parça halindeki levhalar bindirme kaynağı yapılır. Bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar birisi pimin saat yönünün tersi yönde dönüş hareketi yapmasıdır. Bu dönüş yönü, matkaplarda delme işlemindeki dönme yönünün tersidir. Bunun amacı ise pimle temas halinde bulunan çamur kıvamındaki malzemenin uç yüzeyindeki kanallar vasıtasıyla yüzeyden aşağıya doğru basılmasının gerekliliğidir. Diğer hususlar ise, batıcı uç omzunun levha yüzeyine oturana kadar kaynak ucunun levhalara kademeli olarak batırılması (bu işlemlerin hepsi mevcut sistemde el ile yapılmıştır) ve otomatik ilerleme verilmesidir. Kaynaklama işlemi sürekli gözle kontrol edilir.

3.6. Kaynak Bölgesinde Oluşan İç Yapının İncelenmesi

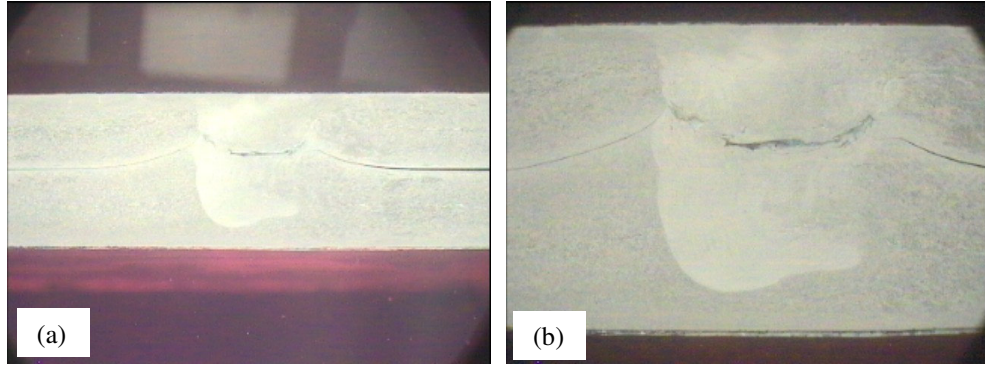
Kaynak bölgesinde oluşan içyapıyı incelemek amacıyla kaynaklı levhalardan metalografi numuneleri kesilmiştir. Daha sonra kesilen bu parçalar kaynak kesiti yüzeyde olacak şekilde oda sıcaklığında katılaştıran polimer (polyester) esaslı kalıp malzemesi kullanılarak kalıplanmıştır. Bu kalıplar tabanlarının düzgün olması için parmak frezede düzeltilmiştir. Daha sonra sırasıyla 240, 400, 800 ve 1200 grit zımpara kağıtlarında zımparalanmış ve 1 µm ve 0,3 µm tane boyutunda SiO₂ solüsyonu kullanılarak parlatma disklerinde parlatılmıştır. Hazırlanan bu numuneler üzerinde kaynak bölgesinde oluşan mikroyapı ve herhangi bir kaynak hatasının olup olmadığının belirlenmesi için optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır.

3.7. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

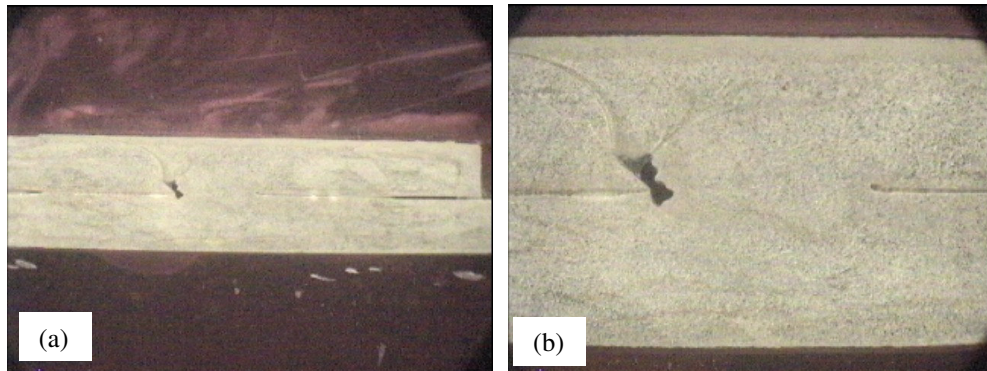
Kaynak kalitesinin tespit edilmesi için ayrıca baz malzemedan ve bindirme kaynaklı levhalardan çıkarılan 20 mm eninde ve 200 mm boyunda bükme numuneleri 180 dereceye kadar bükülmüş ve bükme esnasında kaynak bölgesinde çatlama olup olmadığı tespit edilmiştir. Bükme deneylerinde kullanılmak üzere malzeme yetersizliğinden dolayı standart dışı ince dikdörtgen şeklinde (kaynak bölgesi ortada olacak şekilde) numuneler hazırlanmıştır. Ayrıca, elde edilen kaynaklardan çıkarılan bu standart dışı numuneler kaynak tabanı içe ve dışa gelecek şekilde 180 °'ya kadar bükülmüştür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Al-alışımı levhaların ve pirinç levhaların bindirme kaynağı sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı yapılmış Al-alışımı levhaların kaynak bölgesinin kesit görünüşü. (a) Genel görünüm ve (b) detay görünüm.



Şekil 4.2. Sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı yapılmış 70-30 pirinç levhaların kaynak bölgesinin kesit görünüşü. (a) Genel görünüm ve (b) detay görünüm.

4.1. Kaynak Bölgesinin İç Yapısı ve Kaynak Kalitesi

Sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı yapılan Al-alışımı ve pirinç numunelerin birleştirme bölgelerinde herhangi bir kaynak hatası olup olmadığı optik mikroskop ile detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen birleştirmelerin kaynak bölgelerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de verilmiştir. Her iki şekilden de görüleceği üzere, özellikle bindirme kaynağı yapılmış Al-alışımı levhaların kaynak bölgesinde kaynak hatası bulunmaktadır. Bu hata Al-alışımı malzemelerin

kararlı yüzey oksit tabakasından kaynaklanmaktadır. Pirinç levhaların yüzey oksit tabakası kaynak esnasında kırılmış, ancak kaynak dikişi kenarında birikmiştir (Şekil 4.2). Her iki malzemede de levhaların ara yüzeylerindeki oksit tabakasının mekanik veya kimyasal yollarla kaynak öncesi giderilmesiyle bu sorun ortadan kaldırılabilir.

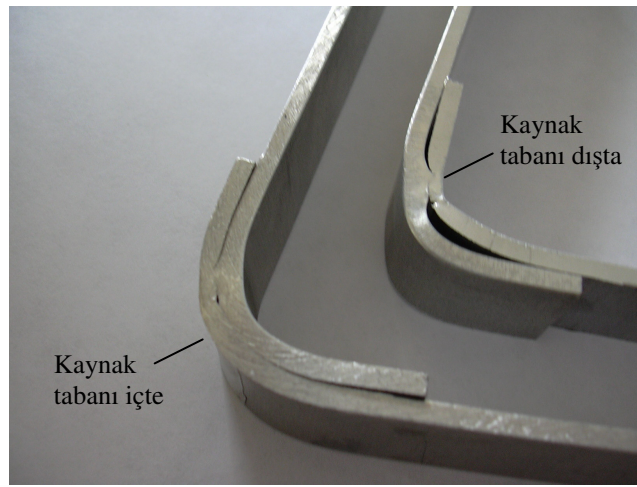
Kaynak bölgesinde porozite oluşumu malzemenin omuz kısmından kaybı sonucu oluşurken, kaynak dikişinde tabana yakın kısımda soğuk birleşme oluşması düşük devir hızı dolayısıyla yeterli hidrostatik basınç elde edilememesinden kaynaklanmaktadır (ÇAM, 2001; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001). Her iki şekilden görüldüğü üzere bu çalışmada bindirme kaynağı yapılan her iki levhanın kaynak dikişinin içerisinde porozite veya kaynak tabanına yakın soğuk birleşme gibi kaynak hatalarına rastlanmamıştır. Bu sonuçlar, çalışmada kullanılan devir hızının (2000 dev/dak) gerçekleştirilen kaynak işlemleri için uygun olduğunu göstermektedir. Yüzey oksitlerinin kaynak öncesi giderilmesiyle hatasız kaynak elde edilmesi mümkün olacaktır.

4.2. Kaynak Performansı

Bindirme kaynaklı levhaların kaynak performanslarını ve kaynak kalitesini belirlemek amacıyla bu birleştirmelerden kesilen numuneler üzerinde endüstriyel bükme deneyleri (90° ve 180°) yapılmıştır. Bu deneylerde kaynaklı levhaların kaynak bölgelerinin bükmeye karşı dayanımını belirlemek ve numunelerde çatlak oluşup oluşmadığını gözlemek amacıyla standart dışı 20 mm eninde ve 200 mm boyunda bükme deneyi numuneleri hazırlanmıştır. Kaynak dikişinin üst kısmı içe ve dışa gelecek şekilde her iki kaynaklı levhalardan (Al-alaşımı ve pirinç) toplam ikişer numune 90° ve 180° bükme deneyine tabi tutulmuştur.

Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe ve dışa gelecek şekilde yapılan 90° bükme deneylerinde, kaynak dikişinin içinde çatlama tespit edilememiştir (Şekil 4.3). Kaynak tabanı dışa gelen 90° bükmede herhangi bir hasar henüz başlamamışken, kaynak tabanı içe gelen 90° bükmede kaynak dikişinin hemen dışında ITAB bölgesinde çatlak başlangıcı tespit edilmiştir.

Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe gelecek şekilde yapılan 180° bükme deneyi numuneleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Kaynak tabanı içe gelen 180° bükmede, kaynak dikişinin hemen dışında ITAB bölgesinde çatlak başlangıcı hariç, herhangi bir belirgin hasar gözlenmemiştir. Bu sonuç kaynak tabanı içte bükmede kaynak bölgesi korunduğu için normaldir. Ayrıca, bu bükme işlemlerinde kuvvet uygulaması kaynak dikişinin merkezinde gerçekleşmemiştir, diğer bir deyişle eksen kaçıklığı deney esnasında gerçekleşmiştir. Fakat, bu durum kaynak tabanı içte bükmede kaynak dikişinin korunmasını aşırı etkilememektedir.

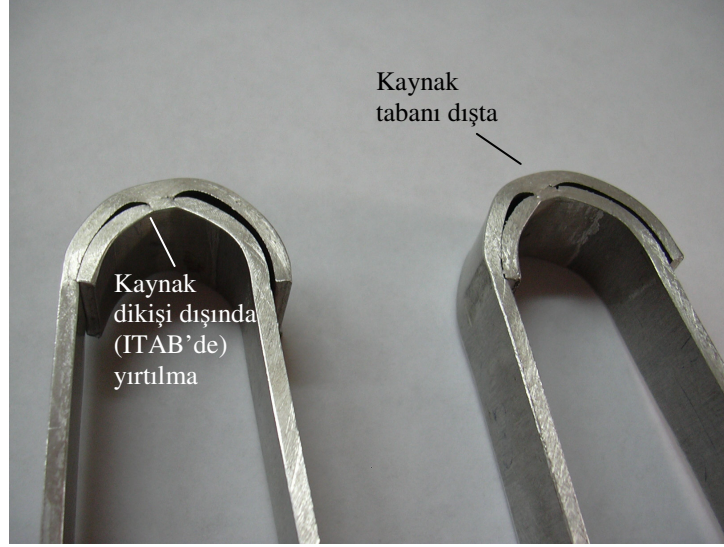


Şekil 4.3. Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe ve dışa gelecek şekilde yapılan 90° bükme numuneleri.



Şekil 4.4. Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe gelecek şekilde yapılan 180° bükme numuneleri.

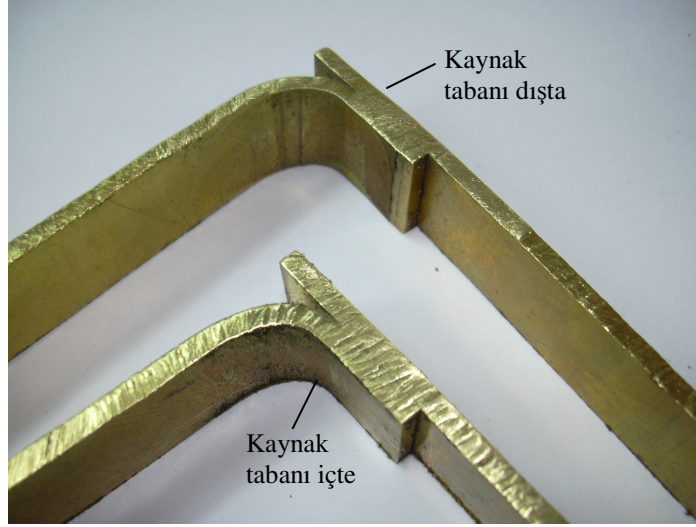
Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı dışa gelecek şekilde yapılan 180° bükme deneyi numuneleri Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Kaynak tabanı dışa gelen 180° bükmede, kaynak dikişinin hemen dışında ITAB bölgesinde çatlak oluşumu ve numune kesiti boyunca bu bölgede çatlama tespit edilmiştir. Kaynak tabanı içe bükmenin aksine bu bükme işleminde çatlama normaldir. Ayrıca, bu sonuç kaynak dikişi içerisinde hasar olmadığından bu bölgenin hata içermediğini doğrulamaktadır.



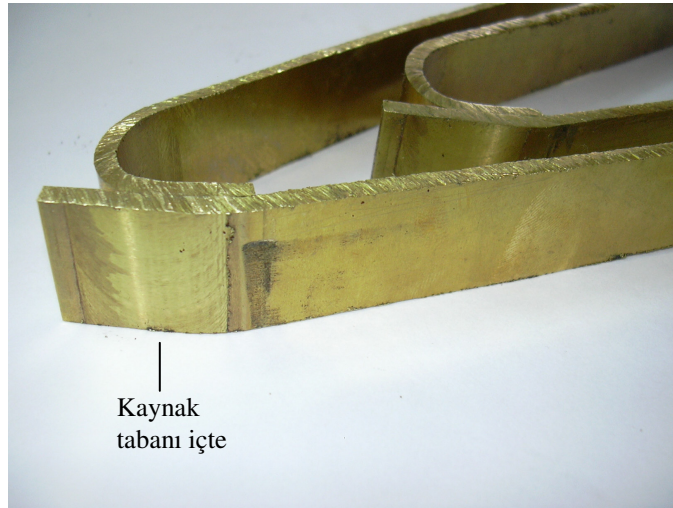
Şekil 4.5. Al-levhalarda kaynak dikişinin tabanı dışa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numuneleri.

Pirinç (70Cu-30Zn) levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe ve dışa gelecek şekilde yapılan 90° bükmelerde, kaynak dikişinin içinde herhangi bir çatlama veya hasar tespit edilememiştir (Şekil 4.6).

Pirinç levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe gelecek şekilde yapılan 180° bükme deneyi numuneleri Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Kaynak tabanı içe gelen 180° bükmede, herhangi bir belirgin hasar gözlenmemiştir. Bu sonuç kaynak tabanı içte bükmede kaynak bölgesi korunduğu için normaldir. Ayrıca, bu bükme işlemlerinde kuvvet uygulaması kaynak dikişinin merkezinde gerçekleşmemiştir, diğer bir deyişle eksen kaçıklığı deney esnasında gerçekleşmiştir. Fakat, bu durum kaynak tabanı içte bükmede kaynak dikişinin korunmasını aşırı etkilememektedir.

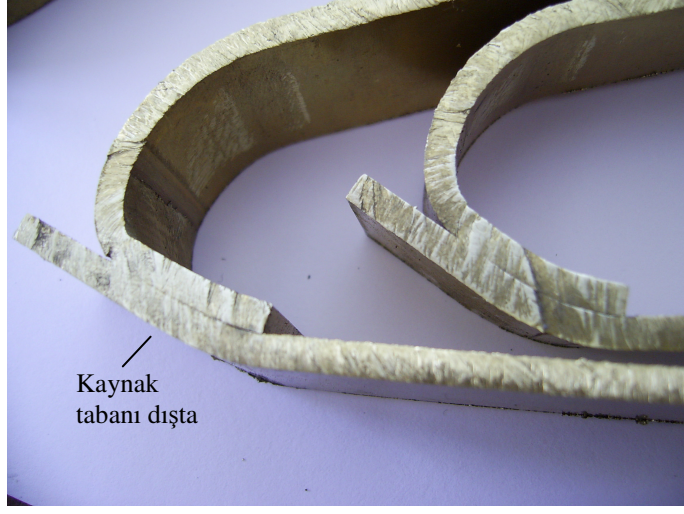


Şekil 4.6. Pirinç levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe ve dışa gelecek şekilde yapılan 90° bükme numuneleri.



Şekil 4.7. Piriñ levhalarda kaynak dikişinin tabanı içe gelecek şekilde yapılan 180° bükme numuneleri.

Pirinç levhalarda kaynak dikişinin tabanı dışa gelecek şekilde yapılan 180° bükme deneyi numuneleri Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Kaynak tabanı dışa gelen 180° bükmede de kaynak tabanı içe gelen bükmede olduğu gibi herhangi bir hasar tespit edilememiştir. Bu sonuç kaynak dikişi içerisinde hasar olmadığından bu bölgenin hata içermediğini doğrulamaktadır.



şekil 4.8. Piriğ levhalarda kaynak dikişinin tabanı dışa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numuneleri.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Al-alışımı ve pirinç levhalar (3 mm kalınlığında) sürtünme karıştırma kaynağı ile başarılı bir şekilde bindirme kaynağı yapılabilir. Özellikle Al-alışımı bindirme kaynağında yüzey oksitlerinin kaynak öncesi temizlenmesi kaynak kalitesini daha da artırabilir.
- Al-alışımı levhaların sürtünme karıştırma kaynağı yüksek hız çeliği batıcı uç ile gerçekleştirilebilirken, pirinç levhaların kaynağında sıcak iş çeliğinden yapılan batıcı uçlar gerekmektedir.
- Bindirme kaynaklı levhaların kaynak bölgelerinde oksit kalıntılarına rastlanmıştır. Kaynak öncesi yüzeyler temizlenerek ve kaynak parametreleri optimize edilerek bu sorunlar da ortadan kaldırılabilir.
- Kaynaklı levhaların 180°'ye kadar bükme deneylerinde (kaynak tabanı içte veya dışta) kaynak dikişi içerisinde yırtılma gerçekleşmemekte ve çatlama kaynak dikişi dışında hemen dikişin yanında ITAB'de oluşmaktadır. Hasarın kaynak dikişi içerisinde gerçekleşmemesi kaynak dikişinde kaynak kusuru olmadığı bulgusunu desteklemektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışma sonucunda aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Bu çalışmada yapılan bükme deneyleri standart yuvarlak kesitli ürünlerin bükme deneyinde kullanılan kalıplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, bazı bükme deneylerinde numune kaydığı için bükme kuvvetinin uygulandığı noktada eksen kaçıklığı sorunu ile karşılaşmıştır. Yassı numune için uygun kalıplar hazırlanarak bükme deneyleri yapılarak bu sorun giderilebilir.
- Bu çalışma kapsamında, sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı yapılmış Al-alışımı ve pirinç levhaların kaynak performansını tespit etmek için bükme deneyi dışında başka deney yapılmamıştır. Bu kaynaklı levhalardan çekme numunesi çıkarılarak çekme-makaslama mukavemetlerinin tayininin yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ANDERSSON, C.G. ve ark., 1997.** Proc. of IBEC'97, Advanced Technologies & Processes, pp. 105-110
- ANDERSSON, C.G. ve ANDREWS, R.E., 1999.** Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June, Thousand Oaks, CA, USA.
- APPEL, F. ve WAGNER R., 1998. Mater. Sci. Eng. R**, Vol. 22, p.187
- , **ve ark., 2000.** Recent Progress in the Development of Gamma Titanium Aluminum Alloys. **Adv. Eng. Mater.**, Vol. 2 (No. 11), pp. 699-720
- ARBEGAST, W.J. ve ark., 1999.** Proc. of the 5th Int. Conf. on Trends in Welding Research, 1-5 June 1998, Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, Georgia, USA, eds.: J.M. Vitek et al., ASM, Metals Park, OH, USA, pp. 558-562
- ATAOĞLU, H., 2002.** Sürtünme Karıştırma Kaynaklı Alüminyum Alaşımlarının İç Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 2002
- BIALLAS, G. ve ark., 1999.** Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June, Thousand Oaks, CA, USA.
- BUSSU, G. ve IRVING,P.E., 1999.** Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June, Thousand Oaks, CA, USA.
- ÇAM, G. ve KOÇAK, M., 1998** "Progress in joining of advanced materials", **Int. Mater. Rev.**, Vol. 43, No. 1, pp. 1-44
- **ve ark, 1999.** Characterisation of Electron Beam Welded Aluminium Alloys, **Science and Technology of Joining and Welding**, Vol. 4, No. 5, pp. 317-323
- **ve ark, 2000.** Characterization of Laser and Electron Beam Welded Al-Alloys, **Practical Metallography**, Vol. 37, Iss. 2, pp. 59-89
- **ve YAVUZ, H, 2001,** Yeni bir kaynak teknolojisi : Sürtünme karıştırma kaynağı. **Endüstri ve Otomasyon**, Sayı 51, S. 18-20
- , **2001.** Al-alaşımları için geliştirilen yeni kaynak yöntemleri, TMMOB Makina Mühendisleri Odası "Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi, 19-21 Ekim, S. 267-277, İstanbul.
- , **2002.** Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Uygulamaları. 9. Denizli Malzeme Sempozyumu, 8-10 Mayıs, Denizli, S. 450-458
- **ve KOÇAK, M., 2002.** Joining of advanced materials. UNESCO-EOLSS (Encyclopedia of Life Support Systems), Area 6: Materials Science and Engineering, Topic 6.36.4: Materials Processing and Manufacturing Technologies, 2002.
- , **2003.** Sürtünme karıştırma kaynağındaki gelişmeler, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 24-25 Ekim, 47-64, Kocaeli.
- , **2005a.** Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): Al-alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi, **Mühendis ve Makine**, Cilt 46, Sayı 541, Şubat 2005, S. 30-39
- , **2005b.** Kaynak teknolojisindeki gelişmeler, Kaynak Teknolojisi V. Ulusal Kongre Bildiriler Kitabı, 11-12 Kasım, 87-97, Kocaeli.
- DAWES, C.J., 1995. Welding and Metal Fabrication**, pp. 13-16.
- DAWES, C.J. ve THOMAS, W.M., 1995.** Friction stir joining of aluminium alloys, TWI Bulletin (6), Nov. 1995

- DAWES, C.J. ve THOMAS, W.M., 1996. *Welding Journal*, Vol. 75, No. 3, pp. 41-45.**
- DING, R.J. ve OELGOETZ, A. 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June, Thousand Oaks, CA, USA.**
- DONG, P. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.**
- FRIGAARD, O. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.**
- HASHIMOTO, T. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.**
- HORI, H. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.**
- KALLEE, S. ve MISTRY, A., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.**
- KARLSSON, L. ve ark., 1999. Proc. of the 5th Int. Conf. 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA. on Trends in Welding Research, 1-5 June. Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, eds.: J.M. Vitek et al., ASM, Metals park, OH, pp. 574-579. Georgia, USA**
- KINCHEN, D.G. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June, Thousand Oaks, CA, USA**
- KNIPSTROM, K.E. ve PEKKARI, B., 1997. *Welding Journal*, Vol. 76, No. 9, pp. 55-57**
- LI, Z.X. ve ark., 1999. Proc. of the 5th Int. Conf. on Trends in Welding Research, 1-5 June 1998, Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, Georgia, USA, eds.: J.M. Vitek et al., ASM, Metals Park, OH, USA, pp. 580-584**
- LIENERT, T.J. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June 1999, Thousand Oaks, CA, USA**
- LIENERT, T.J. ve GOULD J.E., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA**
- LOFTUS, Z. ve ark., 1999. Proc. of the 5th Int. Conf. on Trends in Welding Research, 1-5 June 1998. Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, Georgia, USA., eds.: J.M. Vitek et al., ASM, Metals park, OH, USA, pp. 580-584**
- LOFTUS, Z. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June, Thousand Oaks, CA, USA**
- LUMSDEN III, J. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA**
- MAHONEY, M.W. ve ark., 1998. *Metall. Mater. Trans. A*, Vol. 29A, pp. 1955-1964**
- NICHOLAS, D., 1991. TWI Bulletin 6, Nov./Dec. 1991, Vol. 32, pp. 124-127**
- NORTH T.H. ve ark., 1997. *Metall. Trans. A*, Vol. 28A, No. 11, pp. 2371-2384**
- NORTH, T.H., ve ark., 1999. Proc. of the 5th Int. Conf. on Trends in Welding Research, 1-5 June 1998, Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, Georgia, USA., eds.: J. M. Vitek et al., ASM, Metals park, OH, USA, pp. 533-540**
- PEDWELL, R. ve ark., 1999. Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA**
- REYNOLDS, A.P., 1999. Proc. of the 5th Int. Conf. on Trends in Welding Research, 1-5 June 1998, Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, Georgia, USA, eds.: J.M. Vitek et al., ASM, Metals Park, pp. 563-567**

- REYNOLDS, A.P. ve ark., 1999.** Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June , Thousand Oaks, CA, USA
- RHODES, C.G. ve ark., 1997.** *Scripta Mater.*, Vol. 36, Iss. 1, pp. 69-75
- STRANGWOOD, M. ve ark., 1999,** Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA
- SVENSSON, L.E. ve KARLSSON, L., 1999.** Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA
- THOMAS, W.M. ve ark., 1999.** *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 4, No. 6, pp. 365-372
- THOMAS, W.M., 1999.** Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA
- THREADGILL, P.L., 1997.** Friction stir welds in aluminium alloys - preliminary microstructure assessment. TWI Bulletin, March/April 1997.
- VON STROMBECK, A. ve ark., 1999.** Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Hatay'ın Samandağ ilçesinde doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi bu ilçede tamamladım.1990 yılında Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği bölümüne girdim. 1994 yılında fakülte ismi değiştiğinden Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. 1995 yılında Nurmetal Demirçelik San.ve Tic A.Ş. şirketinde işe başladım. Halen aynı şirkette (şirket ismi Mega Demir Mamülleri San.ve Tic. A.Ş.olarak değişmiştir) çalışmaktayım.