



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PIRİNÇ LEVHALARIN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI
YÖNTEMİYLE ALIN KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

HÜSEYİN TARIK SERİNDAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA

MAYIS 2006

Mustafa Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Prof. Dr. Gürel ÇAM danışmanlığında, Hüseyin Tarık SERİNDAĞ tarafından hazırlanan bu çalışma 23/05/2006 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 : Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN	İmza.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Kod No:

İmza
23/05/2006
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. Sürtünme Karıştırma Kaynağı	3
2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Takımlar	6
2.3. Kaynak Metalurjisi.....	12
2.4. Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri.....	15
2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Uygulama Alanları.....	16
2.6. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	19
2.7. Pirinç Malzemeler ve Özellikleri	20
2.8. Pirinçlerin Kullanım Yerleri	22
2.9. Pirinçlerin Kaynak Edilebilirliği.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Kullanılan Malzeme	27
3.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak Uçları.....	27
3.3. Kaynaklanacak Levhaların Tezgaha Sabitlenmesi	28
3.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Freze Tezgahı.....	29
3.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılması	30
3.6. Kaynak Bölgesinde Oluşan İç Yapının İncelenmesi.....	31
3.7. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	36
4.1. Kaynak Bölgesinin İç Yapısı ve Kaynak Kalitesi.....	37
4.2. Sertlik Profili.....	38
4.3. Kaynak Performansı.....	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51

KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ÖZET**PIRİNÇ LEVHALARIN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI
YÖNTEMİYLE ALIN KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN
İNCELENMESİ**

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağının %90Cu-%10Zn ve %70Cu-30Zn pirinçlere uygulanabilirliği araştırılmış ve sabit devir hızında farklı ilerleme hızlarının kaynak performansına etkisi incelenmiştir. Yüksek ergime derecesine sahip pirinç levhaların kaynağında 1.2365 malzeme numaralı X32CrMo3 3 sıcak iş çeliğinden imal edilmiş batıcı uç kullanılmıştır. Kaynak kalitesi, içyapı incelemesi, mikrosertlik ölçümleri ve çekme deneyi yapmak suretiyle belirlenmiştir. Kaynak ilerleme hızına bağlı olarak kaynak bölgesinde mikroyapıdaki değişimler incelenmiş ve bu değişimlerin kaynak performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Her iki pirinç levhanın sürtünme karıştırma kaynağında da bu çalışmada kullanılan farklı ilerleme hızları ile elde edilen birleştirmelerden en iyi kaynak performansları 210 mm/dak ilerleme hızında elde edilmiştir.

Tüm levhaların sürtünme karıştırma kaynağı işlemi dik freze tezgahı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kaynak sistemi geliştirilmeye ve otomasyona çok uygundur. Elde edilen sonuçlar, pirinç levhaların uygun malzemeden imal edilmiş batıcı uç kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı ile alın kaynağı yapılabildiğini göstermiştir. Elde edilen kaynak kaliteleri kaynak parametreleri optimize edilerek daha da geliştirilebilir.

2006, 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Pirinç malzeme, alın kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak performansı.

ABSTRACT**BUTT WELDING OF BRASS PLATES WITH FRICTION STIR WELDING
AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE JOINTS**

In this study, the applicability of friction stir welding to brasses, namely 90%Cu-10%Zn and 70%Cu-30%Zn alloys, has been investigated. A welding tool made of hot working steel X32CrMo3 3 (material number being 1.2364) was employed in the welding of brass plates. The joint performance was determined by conducting optical microscopy, microhardness measurements and mechanical testing (e.g. tensile and bend tests). The effect of welding speed at a given rotational speed of the stirring pin (i.e. 2000 rpm) was also determined for both alloys. The highest joint performances were obtained at a welding speed of 210 mm/min for both alloys at the rotational speed of 2000 rpm used in this study.

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 butting configuration provided that a suitable stirring tool was employed. The joint quality obtained in this study will further be improved by optimizing welding parameters.

2006, 55 pages

Keywords: Brass materials, butt 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-alışmaları ve pirinçlerin ark kaynağı gibi diğer kaynak metotlarıyla kaynak edilmesi oldukça zordur. Özellikle pirinçlerin sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynak edilebilirliklerinin araştırılması, elde edilen gözlemlerin ve deneylerin değerlendirilerek uygulamaya aktarılması gerekmektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağı ile 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 çalışmada sürtünme karıştırma kaynağı ile pirinçlerin alın kaynağı yapılabirliği 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 Yük. Müh. Ahmet ÇAKAN, Öğr. Gör. Halit ATAÖĞLU olmak üzere, Dr. Volkan KOVAN’a (Pamukkale Üniversitesi), HAZ Şirketler Grubu Yönetici ve Çalışanlarına, YETİŞEN Plastik Eşya İmalat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. Yönetici ve Çalışanlarına, FNNS Savunma Sistemleri A.Ş. den Melih ŞAHİN ve Özgür AKÇAM’a, Ekmekçi Makina A.Ş.’den Volkan EKMEKÇİ’ye, çalışma arkadaşlarım Yakup KUTLU, Ahmet GÖKÇEN, Serkan GÜLER, Murat FURAT’a ve bana destek olan herkese teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan pirinç levhaların temininde yardımlarını esirgemeyen Özer Metal A.Ş., İstanbul, Yönetici ve Teknik Personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi katkılarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. EN 895' e göre çekme numunesi boyutları	35
Çizelge 4.1. 90/10 pirinç baz malzemeden ve kaynaklı levhalardan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonuçları	43
Çizelge 4.2. 70/30 pirinç baz malzemeden ve kaynaklı levhalardan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonuçları	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma kaynağının (friction stir welding) şematik gösterimi.....	3
Şekil 2.2. Lineer sürtünme kaynağının şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.3. Özel tasarlanmış M5 vida adımlı probe (batıcı uç).....	6
Şekil 2.4. Çeşitli Whorl™ takım konfigürasyonları	8
Şekil 2.5. 75mm kalınlığındaki AA6082T6 alaşımının kaynağında Whorl™ takımının kullanılması, kaynağın bitmiş hali ve kaynak dikişinin görüntüsü.....	8
Şekil 2.6. MX Triflute™ takımın resim ve şematik çalışma şekli	9
Şekil 2.7. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ takım dizaynları.....	9
Şekil 2.8. Flared Triflute takım ile yapılmış olan bindirme kaynağında kaynak arayüzeyinin görünümü	10
Şekil 2.9. Skew-Stir takımın çalışma prensibi ve A-Skew takımın resmi.....	11
Şekil 2.10. Whorl™ ve MX Triflute™ takımlarının omuz profilleri	11
Şekil 2.11. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü	13
Şekil 2.12. Sürtünme karıştırma kaynağında batıcı ucun eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi	15
Şekil 2.13. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımının kaynak bölgesinin kesiti	16
Şekil 2.14. Yüksek hız feribotlarında kullanılan alüminyum ekstrüzyon panellerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile birleştirilmesi	18
Şekil 2.15. Space Shuttle External Tank projesi ve Marshall Space Flight Center laboratuvarındaki Sürtünme Karıştırma Kaynak sistemlerinden görüntüler.....	19
Şekil 2.16. Düşük kaynak hızı ve yüksek akımda kaynak dikişinin görünümü.....	25
Şekil 3.1. Kaynak işleminde kullanılan ucu yuvarlatılmış konik batıcı uçlu takım.....	28
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağı işleminin yapıldığı dik freze tezgahı	30
Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağı işleminin yapıldığı tezgahın detay görünümü .	30
Şekil 3.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapılışının şematik gösterimi	32
Şekil 3.5. Baz malzemelerden çıkarılan çekme numuneleri (ÇN)	33
Şekil 3.6. Kaynaklı 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan çekme (ÇN) ve bükme numuneleri (BN)	33

Şekil 3.7. Kaynaklı 90/10 pirinç levhalardan çıkarılan çekme (ÇN) ve bükme numuneleri (BN)	34
Şekil 3.8. Bu çalışmada kullanılan standart çekme numunesinin şematik görünümü.....	34
Şekil 4.1. 70/30 pirinç levhada 260 mm/dk ilerleme hızında elde edilen birleştirmenin kaynak bölgesi: a) genel görünüm (x10) ve b) detay görünüm (x20).....	36
Şekil 4.2. 70/30 pirinç levhada 210 mm/dk ilerleme hızında elde edilen birleştirmenin kaynak bölgesi: a) genel görünüm (x10) ve b) detay görünüm (x20).....	36
Şekil 4.3. 90/10 pirinç levhada 210 mm/dk ilerleme hızında elde edilen birleştirmenin kaynak bölgesi: a) genel görünüm (x10) ve b) detay görünüm (x20).....	37
Şekil 4.4. Üç farklı ilerleme hızında kaynakları yapılmış 70/30 pirinç numunelerin mikrosertlik dağılımı	38
Şekil 4.5. Üç farklı ilerleme hızında kaynakları yapılmış 90/10 pirinç numunelerin mikrosertlik dağılımı	39
Şekil 4.6. 160 mm/dk ilerleme hızıyla kaynak edilen 90/10 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması	40
Şekil 4.7. 210 mm/dk ilerleme hızıyla kaynak edilen 90/10 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması	41
Şekil 4.8. 260 mm/dk ilerleme hızıyla kaynak edilen 90/10 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması	41
Şekil 4.9. 160 mm/dk ilerleme hızıyla kaynak edilen 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması	42
Şekil 4.10. 210 mm/dk ilerleme hızıyla kaynak edilen 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması	42
Şekil 4.11. 260 mm/dk ilerleme hızıyla kaynak edilen 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması	43

Şekil 4.12. 160 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 70/30 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi.....	45
Şekil 4.13. 160 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 70/30 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi	46
Şekil 4.14. 210 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 70/30 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi.....	46
Şekil 4.15. 210 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 70/30 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi	47
Şekil 4.16. 160 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi.....	47
Şekil 4.17. 160 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi	48
Şekil 4.18. 210 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi.....	48
Şekil 4.19. 210 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi	49
Şekil 4.20. 260 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi.....	49
Şekil 4.21. 260 mm/dk ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi	50

1. GİRİŞ

Herhangi bir malzemenin başka bir malzeme ile birleştirilmesi veya kaynaklanması mühendislik uygulamalarında daima ihtiyaç duyulan işlemlerden biridir. Bir malzemenin kaynak edilebilirliği, o malzemenin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayan ve o malzemedan parça üretim yönteminin tayin edilmesinde önemli rol oynayan bir özelliğidir. Yeni geliştirilmiş malzemeler genellikle modern birleştirme tekniklerine ihtiyaç duyarlar. Son yıllarda alaşımların geliştirilmesiyle birlikte bu malzemelerin kaynağı ile ilgili olarak büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Lazer teknolojisindeki yeni ilerlemeler ile birlikte de özellikle kaynağı zor olan birçok malzemenin kaynak edilebilme sorunu ortadan kalkmıştır (ÇAM ve KOÇAK, 1998).

Birleştirme işlemi, kaynak, lehimleme, yapıştırma 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 edilen 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 veya sürtünme kaynağındaki gibi işlem esnasında oluşan sürtünme ısı ve basınç ile 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 direnç kaynağındaki gibi ısı ve basınç uygulamalarına ihtiyaç duyarlar. Isı kaynağı kimyasal, elektriksel veya optik (lazer gibi) olabilir.

Son yıllarda geliştirilen bir katı hal (basınç) kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemi, difüzyon kaynağı gibi bir katı hal birleştirme kaynağı olup, birleştirme bölgesinde iç yapıyı önemli oranda değiştirmedeğinden, ergitme kaynağı güç olan Al-alaşımların alın birleştirilmesinde başarıyla kullanılmış ve Al-alaşımı levhaların alın ve bindirme kaynağında sıvı hal (ergitme) kaynak metodlarından daha iyi sonuçlar alınmıştır. Bu kaynak yönteminde kaynaklanan

malzemelerde ergime söz konusu değildir. Aynı şekilde pirinç levhaların bindirme ve alın kaynağı da bu yöntem ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu yöntem, Mg-alaşimleri ve yumuşak çelikler gibi malzemelerin kaynağında kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

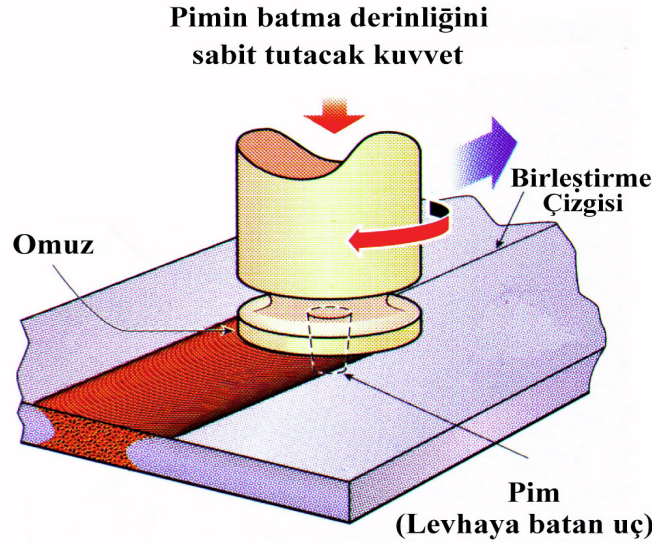
Ayrıca lazer teknolojisi ve sürtünme karıştırma kaynağı ile ilgili yapılan yeni çalışmalar, levhaların üst üste bindirmeye gerek kalmadan alın altına birleştirilmesi ile parçaların toplam ağırlıklarında önemli oranda azalma sağlar. Bu da ulaşım ve uzay endüstrisinde yakıt tüketiminde önemli tasarruflar sağlamaktadır.

Hatasız birleştirme, yeni bir malzeme için araştırma ve geliştirmede bir kilometre taşı olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte yeni malzemelerin yaygın kullanımları için kaynak birleştirmelerinin içyapı-mekanik özellikler ilişkileri iyi anlaşılmalıdır. Bu çalışmanın amacı, sürtünme karıştırma kaynağı yönteminin pirinç levhaların kaynağı işleminde kullanılabilirliğini tespit etmektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

İngiltere’de The Welding Institute (TWI) tarafından geliştirilen ve 1990’lı yılların başında patentlenen sürtünme karıştırma kaynağı (friction stir welding), genel olarak levhaların alın kaynağında kullanılmakta olup, diğer sürtünme kaynaklarına göre prensip olarak bazı farklılıklar gösterir (THOMAS, 1991; ÇAM, 2003; 2005a). Diğer sürtünme kaynaklarında kaynaklanacak parçalar birbiri üzerinde hareket ettirilirken, bu yöntemde tablaya alın altına sabitlenmiş parçalar birbirine sürtünmezler. Yöntem, karıştırıcı (baticı) uç olarak adlandırılan ve yüksek devirlerde dönen omuzlu bir takımın, kaynak edilecek parçalar bir tabla üzerinde alın altına getirilip sabitlendikten sonra, bu parçaların içine daldırılarak sürtünmeden dolayı meydana gelen ısının tesiri ile parçaları yumuşatması ve çamurumsu bir kıvama gelen malzemenin karıştırılması ve takımın omuz kısmı tarafından sıvanması yoluyla, kaynak yapılacak parçalar boyunca ilerletilmesi suretiyle parçaların birleştirildiği bir sürtünme kaynağı yöntemidir (Şekil 2.1) (ÇAM, 2005a).



Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma kaynağının (friction stir welding) şematik gösterimi (ÇAM, 2001; 2002; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001)

iv) Farklı metalik malzemelerin kaynağında kırılğan intermetalik fazların oluşması.

v) Al ve Mg esaslı kompozit malzemelerin kaynağında mukavemetlendirici partiküllerin kırılması (NORTH ve ark., 1997); Fe-bazlı süper alaşım MA956'nın sürtünme kaynağında partikül aglomerasyonu (salkımlanması) (KANG ve ark., 1996).

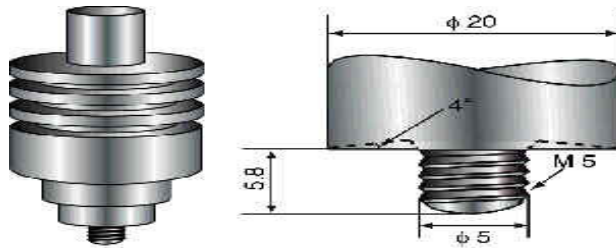
Sürtünme kaynağı yaklaşık 50 yıldan beri bilinmesine rağmen imalat sektörü tarafından yeterli desteği alamamıştır. Pek çok teknik personel, ya sürtünme kaynağından haberdar değildir; ya da imalat sektöründe kullanabilirliği ispatlanmamış yeni bir teknoloji olarak bilinmektedir. Son yıllarda metal ve 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 kaynağının yeni versiyonu olan sürtünme karıştırma 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 karıştırma kaynağı için büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Sürtünme karıştırma kaynağı, uzay, otomotiv, gemi imalatı ve askeri imalat gibi önemli endüstri dallarında geniş uygulama potansiyeline sahip, son yıllarda geliştirilen değişik bir kaynak tekniğidir. Yöntemin uygulaması şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir (ÇAM, 2001; 2002; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001, ATAÖĞLU; 2002). Birleştirilecek parçalar, arkalarına bir plaka konularak, alın altına aralarında boşluk olmayacak şekilde sabitlenir. Geniş silindirik omuzlu, delme yapabilecek tipte bir takım (batıcı uç), freze tezgahı ekipmanları ve arka tutucular kullanılarak yüksek devirde döndürülür, kaynak yapılacak levhalara daldırılır ve kaynak yapılacak uzunluk boyunca ilerletilir. Takım etrafındaki malzeme sürtünmeyle ısınır

yumuşayarak takım ucundan arka yüzeye doğru karıştırılır ve karıştırılan malzeme katılır ve hidrostatik basınç koşullarında soğur (THOMAS ve ark., 1999; RHODES ve ark., 1997). Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ark kaynağına oranla, işlem kolaylığı, dolgu malzemesi ve koruyucu gaz kullanımına ihtiyaç duyulmaması, kaynak dikişinde ince taneli yapı oluşumu, mekanik özellik kaybı olmaması sayesinde yüksek performans gösteren birleştirme edilmesi, hatasız kaynak dikişi elde edilmesi ve düşük distorsiyon ve düşük kalıntı gerilmeleri oluşması gibi avantajları olan bir kaynak usulüdür (THOMAS ve ark., 1999; RHODES ve ark., 1997). Bu birleştirme yöntemiyle yüksek performanslı hatasız birleştirmeler elde edilmesi, her malzeme ve farklı levha kalınlıkları için uygun bir işlem parametre aralığı bulunmasını gerektirir. Kalınlıkları 1,2 mm'den 75 mm'ye kadar olan Al-alışımı levhalar tek ve çift taraftan sürtünme kaynağı yapılarak birleştirilebilir.

2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Takımlar

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ilk geliştirildiği yıllarda kullanılan batıcı uçlar yüzeyine helisel diş açılmış uzunluğu kaynak edilecek levha kalınlığından biraz kısa silindirik takımlardı. Fakat son yıllarda sürtünmeden açığa çıkan ısı ile akıcı kıvama gelen malzemenin kaynak bölgesinde kalmasını geliştirmek için çok değişik takım dizaynları geliştirilmiştir (ÇAM, 2003).



Şekil 2.3. Özel tasarlanmış M5 vida adımlı probe (batıcı uç) (NAGASAWA ve OTSUKA, 1999)

Kaynağı zor veya daha kalın malzemelerde, plastik şekil değiştiren kısmın, karıştırıcı uç kısmı etrafındaki akışı, göz önünde tutulması gereken önemli bir noktadır. Eğer, oldukça geniş çapta karıştırıcı uç kısımlar gerekli ise çok geniş hacimli malzeme

hareketi olacaktır. Takımlar, plastik şekil değiştirebilen malzemenin, karıştırıcı uç kısım etrafındaki akışını arttıracak şekilde geliştirilmelidir (THOMAS ve NICHOLAS, 1996; MERT ve KALUÇ, 2003).

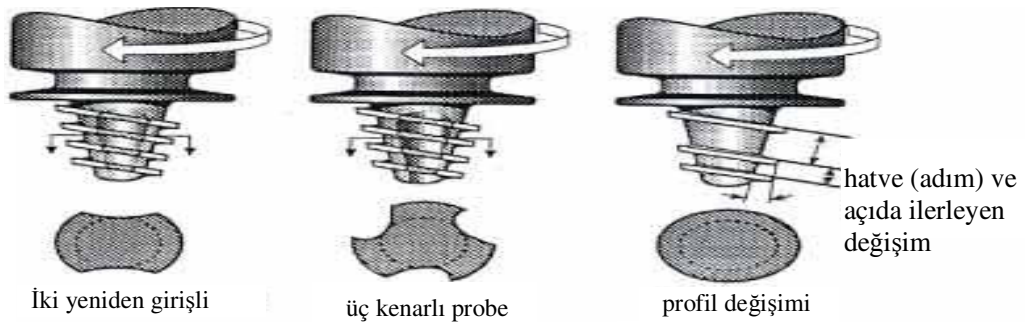
Mikser tipi içi boş karıştırıcı uç kısma sahip takım, plastik şekil değiştiren malzemenin, karıştırıcı uç kısmın içinden geçmesine olanak sağlar. Benzer çaptaki dolu takımlar ile karşılaştırıldığında, daha az miktarda malzeme yer değiştirir. Bu sayede, sürtünme etkisinde kalan bölge, yer değiştiren hacimden daha büyüktür (THOMAS ve NICHOLAS, 1996; MERT ve KALUÇ, 2003).

Sürtünme karıştırma kaynağında, özellikle kalın levhaların birleştirme işlemlerinde kaynak bölgesinde boşluk oluşumunu gidermede veya azaltmada ve işlem verimliliğini yükseltmede önemli bir faktör dinamik süpürme hacminin (karıştırıcı ucun dönmesi sırasındaki hacminin) statik hacme oranıdır. Bu oran batıcı uç yüzeyine değişik profiller işlenerek arttırılabilir, dolayısıyla batıcı uç etrafında ve altında malzeme akış yolları genişletilerek malzemenin kaynak dikişi içerisinde kalması desteklenir. Bu amaçla, kalın levhaların kaynağında ince levhalar için geliştirilmiş olan geleneksel silindirik karıştırıcı ucun yerine hacminin yaklaşık %60-70'i boşaltılmış olan konik uç kullanılmaktadır (Şekil 2.4, 2.5, 2.6 ve 2.7) (SMITH ve ark., 2001; THOMAS ve DOLBY, 2002; ÇAM, 2005a). Bu sayede kaynak esnasında gerekli kuvvet de azaltılmış olur. Batıcı ucun geometrisi (profilleri) ve ebatı kaynaklanacak levhaların kalınlığına ve kaynağın türüne (alın veya bindirme) bağlıdır. Günümüzde levhaların gerek alın gerekse daha geniş kaynak bölgesi istenen bindirme kaynağı için ayrı ayrı özel batıcı uçlar üretilmektedir (THOMAS VE DOLBY, 2002; ÇAM, 2005a).

Silindirik uç yerine üzerine spiral diş açılmış konik bir uç kullanılabileceği düşünülerek WhorlTM, TrifluteTM ve Skew-StirTM serisi özel profilli sürtünme karıştırma kaynağı takımları dizayn edilmiş ve geliştirilmiştir. Bu takımlar ile 25-40 mm kalınlığındaki AA6082 T6 levhalar tek pasoda, 40-75 mm kalınlığındaki levhalar da çift taraftan kaynak yapılabilmektedir (ÇAM, 2003).

Denemeler sonunda, değişik WhorlTM konfigürasyonları belirlenmiştir (Şekil 2.4). Kesik koni şeklindeki WhorlTM takım (probe), plastik akışa uğrayan metali aşağıya doğru yönlendirmek için helisel sırtlı profiller ihtiva etmektedir (SMITH ve ark., 2001; ÇAM, 2003).

Whorl™ konsepti dairesel olmayan probe kesitleri sağlar. Bu nedenle, malzemenin daha kolay akmasına imkan vermek için takımın yer değiştirme miktarı, dönme miktarından daha az olması gerekmektedir. Şekil 2.5’de 75 mm kalınlığındaki AA 6082-T6 alaşımının içine geçmiş Whorl™ serisi takım görülmektedir ve buradan da TEB ile takım profilinin ilişkisi açıkça görülmektedir. Takım etrafındaki malzemenin daha etkili akması için her bir helisel sırt arasındaki uzaklığın sırt kalınlığından daha büyük olması gerekir. Takım ucunun helisel sırtlarla paralel olması kritik bir husus değildir (KALLE ve ark., 2001; ÇAM, 2003).



Şekil 2.4. Çeşitli Whorl™ takım konfigürasyonları (SMITH ve ark., 2001; ÇAM, 2001; 2003; 2005a)



Şekil 2.5. 75 mm kalınlığındaki AA6082T6 alaşımının kaynağında Whorl™ takımının kullanılması, kaynağın bitmiş hali ve kaynak dikişinin görüntüsü (THOMAS, 1998; SMITH ve ark., 2001; ÇAM, 2003; 2005a; 2005b)

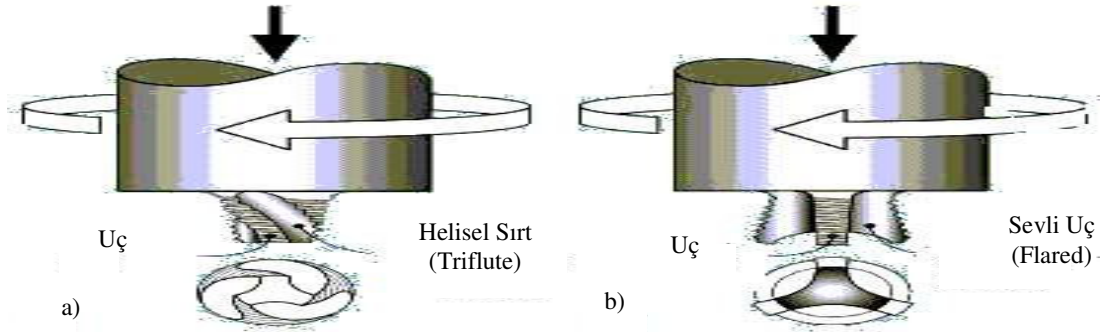
Multi-Helix takımların (MX Triflute™) yivlerinin çevresinde helisel sırtların bulunması takımın hacmini düşürmekle beraber malzeme akışına yardım eder ve yüzeydeki oksitleri dağıtır (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7).

Alın kaynağında kullanılan Whorl™ ve Triflute™ takımları kesik piramit şeklindedir ve yüzeylerinde aşağıya doğru delme etkisini kolaylaştırmak amacıyla kaba

işlenmiş helisel oluklar bulunmaktadır. Bu girintili köşe şekilleri ucun hacmini azaltır ve statik hacim oranı için uygun olan karıştırma hacmini sağlar. Daha iyi bir hacim oranı ile malzemenin akış yolu daha iyi olur ve böylece takım daha etkili çalışır. Ayrıca özellikle ucun etrafındaki kaba işlenmiş helisel sırtlarda bulunan girintili köşe özellikleri kaynak bölgesindeki yüzey oksitlerinin parçalanmasına ve dağıtılmasına yardımcı olur (ÇAM, 2003).



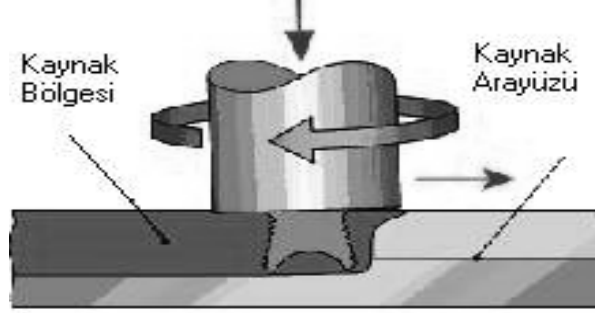
Şekil 2.6. MX Triflute™ takımın resim ve şematik çalışma şekli (THOMAS, 1998; SMITH ve ark., 2001; ÇAM, 2003; 2005a) (MX Triflute™ takımın esin kaynağı deniz kabuklarıdır)



Şekil 2.7. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ takım dizaynları (THOMAS ve DOLBY, 2002; ÇAM, 2003; 2005a)

Bindirme kaynağında ise takım (batıcı uç), daha geniş kaynak bölgesi sağlamak ve kaynak yapılan ara yüzelerde daha büyük levha kalınlıklarından dolayı oluşabilecek problemleri önlemek amacıyla daha farklı dizayn edilmiştir (Şekil 2.8). Bindirme kaynağında takım yüzeyi kaynak ara yüzeyine zorunlu olarak diktir ve alttaki levhaya yeteri kadar nüfuz edebilmesi ana amaçtır. Kaynak ara yüzeyinin üst yüzeyden mesafesi ve takımın girintilerinin kaynağın kenarı ile kesiştiği açı çok önemlidir. Bu özellik, yorulma ile doğrudan bağlantılıdır. Bu takımın karakteristiği, süpürme hacmi ile statik

hacim arasındaki farkın artmasıyla ucun etrafındaki ve aşağısındaki akış yolunun büyümesidir (ÇAM, 2003).



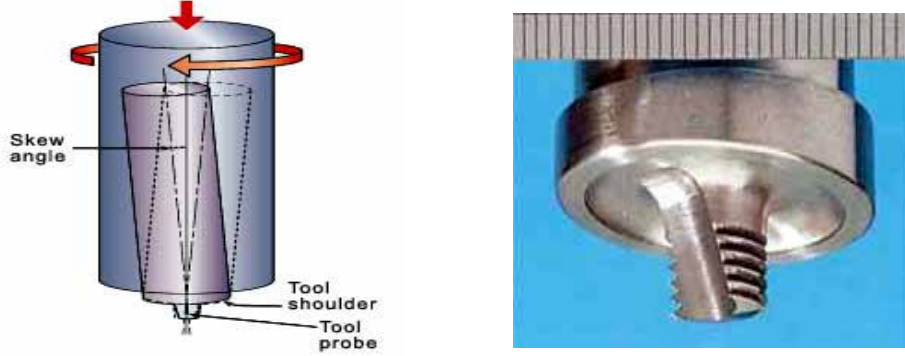
Şekil 2.8. Flared Triflute takım ile yapılmış olan bindirme kaynağında kaynak arayüzünün görünümü (THOMAS ve DOLBY, 2002; ÇAM, 2003; 2005a)

Karıştırıcı takımın uç kısmındaki sürekli spiral kısmın eğimi, kaynak edilecek malzemeye uygun bir şekilde tasarlanıp üretilebilir. Spiral kenarın eğimindeki değişim, plastik şekil değiştiren malzemenin aşağı doğru hareketine ve karıştırılmasına olanak sağlar. Whorl™ ve Triflute™ takımlar dönme sırasında saat ibresi yönünde spiral hareketi sayesinde plastik şekil değiştiren malzemeye aşağı yönde itme kuvveti uygular. Ayrıca, her iki takımın diğer geleneksel takımlardan önemli bir üstünlüğü (özellikle kalın parçaların kaynağında) karıştırıcı ucun dönmesi sırasındaki hacminin (dinamik süpürme hacmi), kendi hacmine (statik hacim) oranının yüksek olmasıdır. Çünkü bu kaynak sırasında yeterli akışın sağlanmasında oldukça büyük bir öneme sahiptir (DOLBY ve ark., 2001; THOMAS ve ark., 2001; NICHOLAS ve KALLE, 2001; KALLE ve ark., 2001; MERT ve KALUÇ, 2003).

Sürtünme karıştırma kaynağı uygulaması için geliştirilen Skew-Stir™ serisi takım, takım eksenine iş mili eksenine göre biraz eğim verilmesi ile diğer takımlardan ayrılır. Skew-Stir™ serisi takımlar, dinamik süpürme hacmi ile statik hacim arasındaki oranı takımın eğik hareketi ile artırılabilir. Bu oran, boşluk oluşumunu gidermede veya azaltmada ve işlem verimliliğini yükseltmede önemli bir faktördür.

Şekil 2.9 da görüleceği üzere, omuz yüzeyi, eğik takım eksenine belirli bir eğim oluşturmaktadır. Omuz yüzeyi ise, plakanın üst kısmına bağlı olarak sabit durmaktadır. Omuz, iş parçası üzerinde iken dairesel hareket yapar. Takımın odak noktası, iş parçası yüzeyine veya iş parçasının herhangi bir noktası üzerine geldiğinde, omuzun temas

yüzeyi eksen dışı bir yörüngede hareket eder. Ayrıca, omuzun bu yörünge hareketi, omuzun eğrilik açısına ve odak noktası ile levhanın üst yüzeyi arasındaki mesafeye bağlıdır. Eğrilik açısı ve aradaki mesafe arttıkça, omuzun hareket sahası da artacaktır.



Şekil 2.9. Skew-Stir takımının çalışma prensibi ve A-Skew takımının resmi (KALLEE ve ark., 2002; ÇAM, 2003)

Yeni jenerasyon Whorl™ ve Triflute™ takımlarının omuzları (shoulder) da özel profillere sahiptir. Omuz profilleri, omuz ile iş parçası arasında daha iyi bir temas yüzeyi sağlamak amacıyla kullanılır. Sürtünme ısısı ile akıcı hale gelen malzemenin kaynak bölgesinden ayrılması önlenmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Whorl™ ve MX Triflute™ takımlarının omuz profilleri (SMITH ve ark., 2001; ÇAM, 2003)

Tek parça takım kullanıldığında kaynak sonunda ucun çekilmesi sonucunda boşluk (delik) kalır. Bu hata, özellikle depolama tankları ve boruların kaynağında olduğu çevresel kaynaklarda kabul edilemez. Bu takımların bir başka dezavantajı ise farklı kalınlıklardaki levhaların kaynağı için farklı uzunluklara sahip ayrı ayrı uçlara gereksinim olmasıdır. Bu sorunu gidermek için bilgisayar ile otomatik kontrol edilebilen ve batıcı ucu geri çekilebilen özel takımlar geliştirilmiştir. Kaynak sonunda

bu otomatik geri çekilebilir uçlar dönme hareketi devam ederken yavaş yavaş çekilerek boşluk kalmadan kaynak işlemi tamamlanır. Takımlar, takım çeliği, sıcak iş çeliği veya yüksek hız çeliklerinden imal edilmektedir (ÇAM, 2005a).

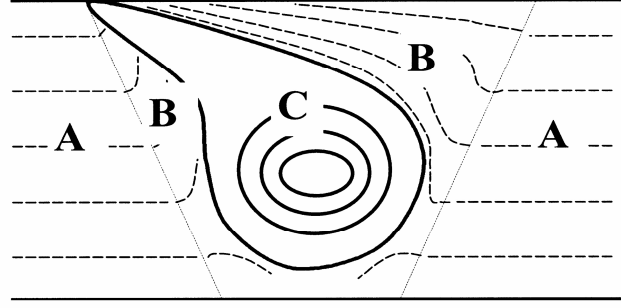
Omuzun yüzeyine açılan yivler (kanallar), kaynak sırasında dışarı çıkmaya çalışan malzemeyi tutar. Bu sırada takım bağlantı hattı boyunca yol alır. Takımın omuz kısmına açılan bu yivlerin sağladığı mekanik üstünlük ise takımın uç kısmında sıkıştırmayı artırır. Bu gelişme 6 mm kalınlığındaki 5083 Al-alaşımı üzerinde test edilmiş ve omuzda kanallar olmayan takımlara göre iki kat hızda yüksek kaliteli kaynaklar gerçekleştirilmiştir. Normalde 1-3° arasında takıma eğim verilirken, bu gelişme sayesinde, takımın 0° lik eğimli pozisyonda, kullanımına olanak sağlanmıştır. Ortaya çıkan bu sadelik ve kolaylıklar, kaynağın x ve y eksenleri yönünde yapılmasını kolaylaştırmıştır (THOMAS ve ark., 2001; MERT ve KALUÇ, 2003).

Yöntemde, yüksek sıcaklıklarda aşınma direncine sahip malzemelerden üretilen, değişik takımlardaki, tükenmeyen döner takımlar kullanılır. Örneğin, Amerikan Deniz Kuvvetleri'nde ani saldırı ve hücum amaçlı ileri amfibik (hem karada hem suda kullanılan) aracın kaynak bağlantılarında H13 (X40 CrMoV 5 1) takım çeliğinden tek parça takımlar ve karıştırıcı uç kısmın malzemesi olarak yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyan MP159 malzemesinden ve omuz kısmı ise H13 takım çeliğinden imal edilmiş ve iki parçalı olan takımlar kullanılmıştır. Ayrıca bu konudaki gelişmeler de hızla devam etmektedir (NICHOLAS ve KALLEE, 2000; KALLEE ve ark., 2001; COLLIGAN ve ark., 2003; MERT ve KALUÇ, 2003; ÇAM, 2005a).

2.3. Kaynak Metalurjisi

Şekil 2.11' de sürtünme karıştırma kaynağında oluşan simetrik olmayan kaynak dikişinin kesitindeki tipik bir iç yapı şematik olarak gösterilmiştir (ÇAM, 2001; 2002; 2005a; 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 (YANG, 1998).



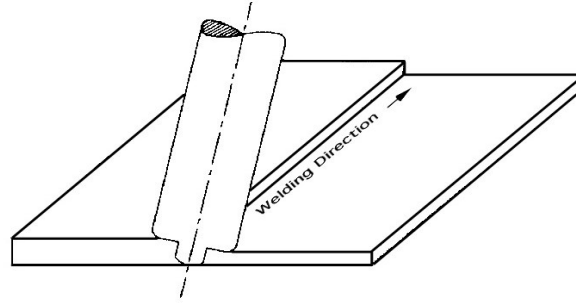
Şekil 2.11. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü. A: ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), B: termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) (ÇAM,2001; 2003; 2005a; ÇAM ve YAVUZ, 2001; DONG ve ark., 1999)

Belirli bir takım geometrisi kullanılarak yapılan sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen birleştirme karakteristiklerini belirleyen üç temel parametre vardır. Bunlar, takımın devir hızı, ilerleme hızı ve batma derinliğidir (LOFTUS ve ark., 1999). Bunlardan ilk ikisi, devir ve ilerleme hızları kontrol edilebilir ve sabit takım geometrisi ile yapılan kaynaklarda kaynak sırasında önemli oranda değişmezler. Fakat, takımın batma derinliği kritik ve kontrol edilmesi güç bir parametredir. Batma derinliğinin kaynak işlemi süresince sabit kalması gerekmektedir. Fakat özellikle uzun levhaların birleştirme işlemlerinde yüzeylerin çok düzgün olmaması durumunda bunu sağlamak mümkün olmayabilir. Bu yüzden kaynak öncesi yüzey hazırlama oldukça kritik olup, bu hususta özen gösterilmesi gerekmektedir (ÇAM, 2005a). Kaynak işleminde iyi bir nüfuziyet elde etmek için, takım ucunun arka yüzeye yaklaşık olarak 0,508 mm mesafede sabit tutulması gerektiği deneysel olarak gösterilmiştir (LOFTUS ve ark., 1999). Takımın ucu ile iş parçasının arka yüzeyi arasındaki mesafe “nüfuz etme mesafesi” olarak bilinmektedir. Bundan dolayı sürtünme karıştırma kaynağında, yüzey hazırlama klasik ve lineer sürtünme kaynaklarındakinden daha kritiktir. Kaynak işlemi süresince nüfuz etme mesafesini sabit tutmak için malzeme kalınlığındaki değişimler

minimum düzeyde olmalıdır. Takım ölçüsü, düşük ısı girdisi ve küçük kaynak dikişi sağladığı ve dolayısıyla büzülme azalttığı için mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir husus, yeterli hidrostatik basınç elde edilemez ise, kaynaklanan levhaların tabana yakın kısmında soğuk birleşme (yetersiz nüfuziyet) oluşumudur (ÇAM ve KOÇAK, 2000; ÇAM, 2003; ÇAM, 2005). Bu sorun yukarı doğru hareket etme eğilimindeki çamur kıvamındaki malzemenin aşağıya doğru hareketini kolaylaştırıp kaynak dikişinde kalmasını sağlayabilecek optimum batıcı uç ve omuz dizaynı yapılması, devir hızının artırılması gibi önlemler ile ortadan kaldırılabilir. Bu bağlamda, karıştırıcı uç üzerine verilen profiller (spiral dişler) sayesinde aşağı doğru itme hareketi sağlanarak malzemenin yukarı doğru akması önlenir. Bu önlemler aynı zamanda kaynak bölgesindeki malzemenin omuz altından kaybı sonucu kaynak dikişi içerisinde oluşan tünel şeklinde porozite (boşluk) probleminin de giderilmesini sağlar (ÇAM ve KOÇAK, 2000; ÇAM, 2003; ÇAM, 2005).

Sürtünme karıştırma kaynağı, otomatik çekilebilir takımların geliştirilmesiyle batıcı ucun işlem sonunda levhadan geri çekildiği yerde delik oluşmaması sonucu dairesel (çevresel) kaynak işlemlerinde ve takımın eğik daldırılması sonucu farklı kalınlıklardaki levhaların kaynak işlemlerinde de kullanılabilir (DING ve OELGOETZ, 1999). Farklı kalınlıklardaki Al-Li alaşımı 2195 levhaların birleştirme işlemlerinde eğik takım daldırma yöntemi ile umut verici sonuçlar elde edilmiştir (DING ve OELGOETZ, 1999). Eğik takım daldırma yöntemi Şekil 2.12' 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.



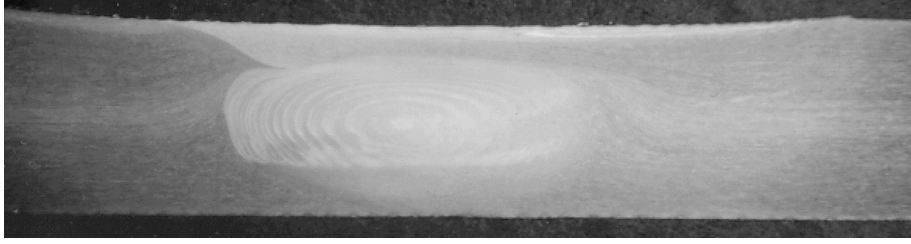
Şekil 2.12. Sürtünme karıştırma kaynağında batıcı ucun eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi (ÇAM, 2001; ÇAM ve YAVUZ, 2001; KALLEE ve MISTRY, 1999)

Takım omuzu özellikle ince levhalarda sürtünme işlemini dolayısıyla gerekli ısının büyük bir kısmını sağlar. Takım omuzları önceleri 1-2° eğik yapılırken, daha sonraları omuz profilleri, yani yüzeylerinde yivler (kanallar) bulunan omuzlu takımlar geliştirilmiştir. Omuz yüzeyindeki bu kanallar kaynak sırasında dışarı kaçmaya çalışan malzemeyi engeller, ayrıca takım ucundaki sıkıştırmayı (hidrostatik basıncı) artırır. Dolayısıyla, omuz profili bulunan takımlar kullanılarak daha yüksek hızda kaynak işlemi gerçekleştirilebilir.

2.4. Kaynak Bölgesinin Mekanik Özellikleri

Ergitme esaslı kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında, sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan birleştirilmeler daha ideal bir kaynak profili ve daha pürüzsüz bir yüzey kalitesi gösterirler. Kaynak işleminin uygun yapılması ve optimum kaynak parametrelerinin kullanılması ile kusursuz kaynak elde etmek mümkündür. Batıcı ucun istikrarsız hareketi ve parametrelerin uygun olmaması durumunda sırasıyla yüzey pürüzlülüğü ve daha önce bahsedildiği gibi kaynak dikişinin tabana yakın kısmında soğuk birleşme gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Bu yöntemde oluşabilecek bir başka kaynak hatası da kaynak dikişinde tünel şeklinde boşluk (porozite) kalmasıdır. Bu hatanın nedeni takım tasarımındaki hatadan dolayı çamur kıvamına gelen malzemenin omuz altından dışarı taşmasıdır. Karıştırıcı uç üzerine ve omuz üzerine uygun profillerin işlenmesi ile bu sorun ortadan kaldırılabilir (ÇAM, 2005a). Takım 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 yukarıda bahsedilen hususlar dikkate alınarak Al-alaşımında hatasız kaynak dikişi elde edilebilir. Şekil 2.5’de bu yöntem ile elde edilmiş hata içermeyen bir Al-alaşımında kaynak dikişinin kesiti gösterilmektedir (ÇAM, 2001; ÇAM ve YAVUZ, 2001; VON STROMBECK ve ark., 1999). Bu kaynak yöntemi ile kaynak edilmiş Al-alaşımında elde edilen kaynağın tipik özelliği, özellikle yaşlandırma sertleşmesi yapılmış alaşımlarda, kaynak bölgesinde sertlik ve mukavemet düşüştür (strength undermatching). Fakat, kaynak bölgesinde mukavemet kaybı tüm ergitme kaynak yöntemlerinde bu yöntemden daha fazladır.



Şekil 2.13. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımının kaynak bölgesinin kesiti (ÇAM, 2001; ÇAM ve YAVUZ, 2001; VON STROMBECK ve ark., 1999)

2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Uygulama Alanları

Bu kaynak yönteminin uygulaması konvansiyonel dik freze tezgahlarda özel takım kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ticari olarak üretilmiş değişik ebatlarda sürtünme karıştırma kaynak cihazları mevcut olup, maliyetleri 1 milyon \$’a kadar çıkmaktadır. Yöntem Al-alaşımının kaynağına yönelik özel olarak geliştirilmiş olmakla birlikte klasik ergitme kaynak yöntemleri ile kaynağı mümkün olmayan veya güç olan bazı alaşımların kaynağında başarılı sonuçlar vermiştir. Bu yöntemle Al-alaşımının tek pasoda 50 mm ve çift taraftan kaynak yapmak suretiyle 100 mm kalınlığa kadar levhaların alın kaynağı yapılabilir (ÇAM ve KOÇAK, 2000; ÇAM, 2003; ÇAM, 2005a).

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin Al-alaşımında uygulanabilirliği üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır (ÇAM ve KOÇAK, 2002; ÇAM, 2003). Bu araştırma sonuçları göstermektedir ki, bu yöntem gerek yaşlandırma sertleşmesi yapılan

gerakse yaşlandırma sertleşmesi yapılamayan (1xxx ve 5xxx gibi ısıl işleme duyarlı olmayan) Al-alaşımlarında başarı ile kullanılabilmektedir. Bu yontemle elde edilen birleştirmelerin hem yuzey kalitesi hem de kaynak performansı klasik ergitme kaynaklarına nazaran daha iyidir (ÇAM ve KOÇAK, 2002; ÇAM, 2002; 2003; KALLE ve MISTRY, 1999). Ayrıca sirtünme karıştırma kaynağında takım ilerleme hızını arttırarak bu mukavemet düşüşünün daha da azaltılması ve batıcı uç çapının küçük seçilmesi ile mekanik özelliklerin etkilendiğı bölgenin eninin küçültülmesi mümkündür. Buna ilaveten, bu yöntem ile kaynak edilen 5454 alaşımının korozyon performansının da oldukça iyi olduğı tespit edilmiştir. Hatta geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağı çok güç olan 7075 alaşım bile bu yöntem ile başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve elde edilen birleştirmeler oldukça iyi mekanik özelliklere göstermiştir (ÇAM, 2003).

Al-alaşımlarının dışında, ergitme kaynak yöntemleri ile kaynağı mümkün olmayan veya güç olan Al-Li gibi bazı alaşımlar ve 0.8 mm kalınlığındaki çinko sacların kaynağında bu yöntem başarı ile uygulanmıştır. Ayrıca, düşük karbonlu yumuşak çeliklerin, Mg-alaşımlarının, Ti-alaşımlarının, saf Cu ve pirinç gibi Cu-alaşımlarının, düşük sertlikteki östenitik paslanmaz çeliklerin ve ergime derecesi birbirine yakın farklı iki malzemenin kaynağında da bu yöntem başarı ile uygulanabilir. Özel amaçlı sirtünme karıştırma kaynağı makinelerinde 50 mm kalınlığındaki saf bakır levha 100 mm/dak kaynak hızında mükemmel kalitede kaynak edilmiştir (ÇAM, 2003).

Sirtünme karıştırma kaynağı, en az çinko ve kurşun levhalarda olduğı kadar magnezyum alaşımlarında da başarı ile uygulanabilmektedir. İngiliz Kaynak Enstitüsünde (TWI) 9.5 mm kalınlığındaki magnezyum AZ61A alaşımında yapılan ilk deneyler başarı ile sonuçlanmıştır. Japonya da yapılan bir çalışmada da, 6 mm kalınlığındaki AZ31 magnezyum alaşımı üzerinde yapılan ileri laboratuvar deneylerinde, kaynak esnasında ince yeniden kristalleşmiş tane yapısının oluşmasından dolayı, numunelerin mukavemeti ile baz malzemenin mukavemet değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğı tespit edilmiştir (ÇAM, 2003).

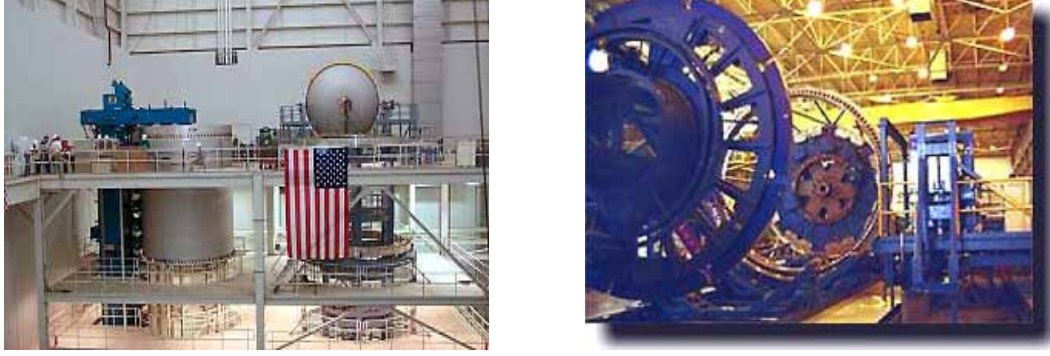
Uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılan titanyum alaşımlarında sirtünme karıştırma kaynağı denemeleri ilk olarak Ti-6Al-4V alaşımında başarı ile gerçeleştirilmiş ve diğer alaşımlar üzerinde çalışmalar başlatılmıştır. Yüksek korozyon dayanımından dolayı petrol boru hattı şebekeleri ve su üstü platformlarında rakipsiz

olan bu alaşımın bu tür uygulamalarında sürtünme karıştırma kaynağının kullanabilirliği konusunda araştırmalar sürdürülmektedir (ÇAM, 2003).

Bu kaynak tekniği günümüzde ticari olarak gemi inşaati, hızlı tren imalatı, havacılık gibi değişik alanlarda uygulanmaktadır. Yüksek hız feribotlarında kullanılan standart boydaki alüminyum ekstrüzyon panelleri sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmektedir (şekil 2.14). Ergitme kaynaklarına kıyasla ısı girdisinin düşük olması panellerdeki distorsiyon ve kalıntı gerilmelerini minimum düzeyde olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu yöntem Al-Li 2195 alaşımından üretilen uzay mekiklerinin yakıt tanklarının son kubbe kısımlarının kaynağında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (şekil 2.15). Sürtünme karıştırma kaynağı yolcu uçakları gibi hafif alüminyum iskeletli yapılar da büyük potansiyel arz etmektedir ve bu konuda araştırmalar yoğun olarak sürdürülmektedir. Buna ilaveten, özellikle Japonya da hızlı trenlerin vagonlarının üretiminde, alüminyum ekstrzyonlardan kaynak konstrüksiyonla petek panellerin imalatında bu kaynak yöntemi uygulanmaktadır (ÇAM, 2005a).



şekil 2.14. Yüksek hız feribotlarında kullanılan alüminyum ekstrüzyon panellerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile birleştirilmesi (ÇAM, 2003; 2005a; KALLE ve ark.,2001)



Şekil 2.15. Space Shuttle External Tank projesi ve Marshall Space Flight Center laboratuvarındaki Sürtünme Karıştırma Kaynak sistemlerinden görüntüler (ÇAM, 2003; 2005a; KALLE ve ark.,2001)

Sürtünme karıştırma kaynağı, gemi, uçak ve uzay aracı, tren ve kara taşıtlarının imalatı gibi çok geniş bir uygulama alanı yelpazesine sahiptir. Bu uygulamalarda, bu yeni kaynak teknolojisi sınırlı da olsa ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Robotik sürtünme karıştırma kaynağı ile Al- ve Mg-alaşımlarının kaynağında katedilecek aşamalar daha hafif taşımacılık sistemlerinin seri üretimini mümkün kılacak ve bu şekilde araçlarının yakıt tüketiminde de önemli tasarruflar sağlanacaktır. Bu yeni kaynak yönteminin özellikle gemi inşaatında, uçak ve uzay endüstrisinde, otomotiv sektöründe ve diğer imalat sektörlerinde kullanımının her geçen gün artacağı beklenmektedir (ÇAM, 2005a).

2.6. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Sürtünme karıştırma kaynağının üstünlükleri şunlardır.

- 1) Ergitme kaynağı zor olan 2XXX ve 7XXX serisi Al-alaşımları ve Al-Li alaşımları kaynak edilebilir.
- 2) Kaynak esnasındaki toplam ısı girdisi düşüktür, dolayısıyla mekanik özelliklerdeki kayıp minimumdur.
- 3) Özellikle ince levhalarda büzülme, distorsiyon ve kalıntı gerilmeler çok düşüktür.
- 4) Kaynak öncesi yüzey hazırlama aşırı kritik değildir, yüzeyde ince oksit filmleri tolere edilebilir.

- 5) Katı hal kaynağı olduğu için çatlak ve porozite oluşumu gibi ergitme kaynaklarında karşılaşılan problemler söz konusu değildir.
- 6) Dolgu malzemesine gereksinim yoktur.
- 7) Kaynak sonrası kaynak yüzeyi talaş alınmış gibi düzgündür ve yüzey işleme gerektirmez.
- 8) Alın ve bindirme kaynağı yapılabilir.
- 9) Aynı takım ile tipik olarak 1000 m kaynak yapılabilir.
- 10) Yöntemin doğası gereği ark, kıvılcım, gaz ve toz söz konusu olmadığından çok temiz ve çevreci bir kaynak yöntemidir.
- 11) Enerji verimliliği yüksek bir kaynak yöntemidir.
- 12) Otomasyona ve robotik uygulamaya çok uygundur.

Yöntemin dezavantajları ise şunlardır:

- 1) Her malzemenin kaynağı mümkün değildir. Yalnızca mukavemeti düşük ve özellikle düşük ergime dereceli malzemelerin kaynağına uygundur.
- 2) Kaynaklanacak parçaların çok sıkı tespit edilmesi şarttır.
- 3) Kaynak hızı bazı ergitme kaynaklarından düşüktür (tipik olarak 5 mm kalınlığındaki 6XXX serisi Al-alaşımı levhalarda 750 mm/dak civarında).
- 4) Tek parçalı takım kullanıldığında kaynak sonunda delik oluşur.
- 5) Özellikle kalın levhaların kaynağı için çok güçlü tezgahlara ihtiyaç vardır (ÇAM, 2005a).

2.7. Pirinç Malzemeler ve Özellikleri

Pirinç, yüzyıllardan beri mühendislik uygulamalarında çok sık olarak kullanılan mühendislik malzemelerindendir. Günümüzde pirinç malzemeler için imalat ve yeniden kullanılabilme teknolojisi, kullanıcılarının ihtiyacını karşılayacak kadar ilerlemiş durumdadır.

Uygun kimyasal bileşimdeki bakır ve çinko alaşımının yani pirincin seçilmesi ile istenilen mukavemet, süneklik, sertlik, iletkenlik, şekillendirilebilirlik, aşınma dayanımı, renk ve korozyon dayanımı özelliklerine sahip malzemeler elde edilebilir.

Pirinç malzemeler kolayca kalıba dökülerek, ekstrüzyonla, haddelemeyle, çekerek, sıcak ve soğuk şekillendirme ile üretilebilirler. Bunun yanında pirinçler maliyet açısından ucuz malzemelerdendir. Çok geniş bir alanda uygulama şansına sahiptir.

Pirinç malzemeler, saf bakır ve çinkonun oluşturmuş olduğu alaşımlardır. Çeşitli pirinç alaşımlarında az miktarda kurşun, silisyum, mangan, nikel ve alüminyum gibi alaşım elementlerini de görmek mümkündür. Alaşım elementleri alaşım özelliklerini değiştirir. Örneğin az miktardaki alüminyum (%1 veya %2) alaşımın deniz korozyonuna karşı dayanımını, kurşun ilavesi ise talaşlı işlenebilirliğini artırır (VERNON, 1993; MERAN, 2003).

Pirinçler eşsiz mekanik ve kimyasal özellikleri sayesinde birçok parçanın imalatında kullanılabilen malzemelerdendir. İyi olan mukavemet ve süneklik çok iyi olan korozyon ve işlenebilirlik ile birleşince vazgeçilmez bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Pirinç malzemenin seçilmesinin nedenleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunlar;

- Mükemmel işlenebilirliğe sahiptir.
- İyi bir ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir.
- Özelliklerini kaybetmeden geri dönüşümü mümkündür.
- Sünektir ve dövülebilir.
- Kıvılcım çıkarmaz.
- İyi bir şekilde kaplanabilir.
- Bir çok boyutlarda temin edilebilmesi mümkündür.
- İyi bir korozyon dayanımı vardır.
- Mukavemeti iyidir, bakırdan daha mukavemetlidir.
- İyi bir darbe dayanımı vardır
- Güzel bir rengi vardır.
- Aşınma dayanımı iyidir.
- 200 °C nin altında birçok fiziksel özelliğini kaybetmez.
- Güneş ışığından zarar görmez.
- Fiyatı oldukça uygun olup bakırdan daha ucuzdur.

Pirinç malzemeler yumuşatılmış durumda sünek ve mukavemeti iyidir, haddeleme veya çekme gibi soğuk şekillendirme teknikleri ile sertleştirildiği zaman mukavemetleri önemli derecede artar.

Pirinçlerin özellikleri alaşımdaki çinko miktarına bağlıdır. Pirinçlerin mukavemeti alaşımdaki çinko miktarının artması ile yükselir ve maksimum değere yaklaşık %40 çinko oranında ulaşır. Diğer taraftan pirinçlerin korozyon dayanımı ve sünekliği artan çinko miktarı ile azalır. Çinko oranının yaklaşık %35 olduğu noktada mukavemet ve sünekliğin kombinasyonunun en iyi olduğu değere ulaşılır (OĞUZ, 1990; MERAN, 2001).

İçermiş olduğu bakır oranı %63'den fazla olan pirinçler büyük ölçüde oda sıcaklığında şekillendirilebildiğinden presleme, derin çekme ve diğer soğuk şekillendirme yöntemleriyle karmaşık parçaların imalatında kullanılırlar. Eğer bakır oranı %63 ün altında ise ve diğer alaşım elementlerini içermiyorsa oda sıcaklığındaki süneklik düşer fakat bu tip alaşımlar büyük ölçüde haddeleme, ekstrüzyon, dövme ve presleme yöntemleri ile sıcak olarak şekillendirilebilirler.

2.8. Pirinçlerin Kullanım Yerleri

Çok sayıda çeşidi bulunan pirinçler, yüksek mukavemeti, iyi bir atmosfer ve deniz korozyonu dayanımı yanında yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine de sahiptirler. Bu özelliklerin, güzel görünüşün ve kolay işlenebilirliğin gerekli olduğu birçok endüstriyel yerlerde kullanılırlar.

Pirinç malzemeler; metal para, madalya, mermi kovanı; süs eşyası, bilgisayar vs. soketleri, yangın söndürme aksamı, çeşitli radyatörler, eşanjör boruları, pil kapsülleri, müzik aletleri, ışıklandırma aksesuarları, dekoratif eşyalar, pimler, perçinler, pompa gövde ve kanatları, hassa cihazlar tekniği, saat aksamları, elektrik bağlantı elemanları, genel amaçlı vidalı küçük parçalar yapımında vb. kullanılır. Ayrıca alüminyum ve silisyum içerenleri yatak malzemesi olarak kullanılabilir.

2.9. Pirinçlerin Kaynak Edilebilirliği

Malzemenin kaynak esnasındaki davranışları sadece malzemenin özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda kullanılan kaynak yöntemine ve kaynak konstrüksiyonuna da bağlıdır.

Bir malzemenin kaynağa uygun olabilmesi için seçilen malzemenin kaynak sonrası özelliklerinde önemli değişikliklerin olmaması gerekir. Bir metal veya alaşım

bir kaynak yönteminde iyi bir şekilde kaynak edilirken bir başka yöntemde kaynak edilemeyebilir. Bu nedenle kaynağa uygunluk kavramı uygulanacak yöntem ile birlikte düşünülmelidir. Kaynağa uygunluk aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

1. Kimyasal bileşim,
2. Üretim koşullarına bağlı metalürjik koşullar,
3. Fiziksel özellikler.

Metalik malzemelerin kimyasal bileşimi malzemenin mekanik özelliklerinin yanında sertleşme eğilimini, yaşlanma eğilimini, gevrek kırılma eğilimini, sıcak çatlama eğilimini, içyapısını, gazların çözünürlüğünü ve difüzyonunu, ergimiş haldeki kaynak banyosunun davranışını etkiler.

Üretim yöntemi, dezoksidasyon şekli, sıcak ve soğuk şekil verme, kaynak sonrası ısıl işlemlerde malzeme özelliklerine tesir eder. Isıl genleşme katsayısı, ısı iletim kabiliyeti, elektrik iletkenliği, alaşımların katılma aralığı gibi fiziksel özelliklerde kaynağa uygunluğu etkiler.

Bir kaynağın kaliteli kabul edilebilmesi için kaynak metali ile esas metal arasında iyi bir birleşme ve bu birleşmenin bağlantı boyunca sürekli olması gerekir. Bir başka deyişle, kaynağın mukavemetinin tam olması için bağlantının tüm uzunluğu boyunca her noktada birleşme sağlanmalıdır. Bu ise ısı girdisinin, söz konusu parça kalınlığı için gerekli minimum ısı girdisi değerinin üzerinde olacak şekilde daima kontrol edilmesi gerektiği anlamına gelir.

Bakır-çinko alaşımları ve bu alaşımlara Ni, Mn, Al, Si ilaveleri ile elde edilen alaşımlara ergitme kaynağı uygulanabilir. Ancak bu alaşımların kaynak edilebilirliği prensipte kötü olup uygulanabilirliği bazı şartlara bağlıdır.

Düşük çinkolu (çinko oranı %20'den daha az) pirinçler çok iyi kaynak edilebilir. Yüksek çinkolu pirinçler (%20'den daha fazla çinko içeren) kötü olmayan kaynak kabiliyetine sahiptir. Kurşun içeren pirinçler kaynak edilemezler. Bu tür malzemeler lehimleme ile birleştirilirler (MERAN, 2001).

Kaynak sıcaklığı ve kaynak zamanı pirinçlerin kaynağında çok önemli parametrelerdir. Buradan pirinç malzemelerin kaynak işleminin karakteristiğini düşük ısı girişi ve kısa kaynak süresi olarak tanımlayabiliriz.

Alaşımı oluşturan hem bakırın hem de çinkonun ergime sıcaklığı, kaynama noktası, yoğunluğu, iletkenlikleri gibi fiziksel özellikleri farklıdır.

Pirinçlerin kaynağını yapmak zordur. Kaynağını zorlaştıran kaynak sırasında çinkonun buharlaşmasıdır. Kaynak sonrasında kaynak dikişi gözenekli oluşmaktadır. Ayrıca alaşımdaki çinko miktarı buharlaşma nedeniyle azaldığı için pirinç malzeme normalde sahip olduğu özelliklerini kaybetmektedir ve aynı zamanda Zn buharlaşması nedeniyle kaynak bölgesinde kırmızı bir renk ortaya çıkar (Şekil 2.16).

Örneğin; TIG kaynağında katot da ulaşılan sıcaklık yaklaşık 4200 °C ve anotta ulaşılan sıcaklık yaklaşık 3600 °C'dir. Bu sıcaklıklar gerek Cu'nun gerekse Zn'nin ergime ve kaynama sıcaklıklarının üzerindedir (OHRIG, 1988; MERAN, 2001). Bu ise Cu ve Zn'nin buharlaşmasına neden olmaktadır. Oran olarak düşünüldüğünde Zn'nin buharlaşması Cu'nun buharlaşmasından daha fazla olmaktadır.

Bu alaşımlarda azalan çinko miktarı ile birlikte buharlaşma miktarı azalmakta ve ergitme kaynağa uygunluğu iyileşmektedir (MERAN, 2001).

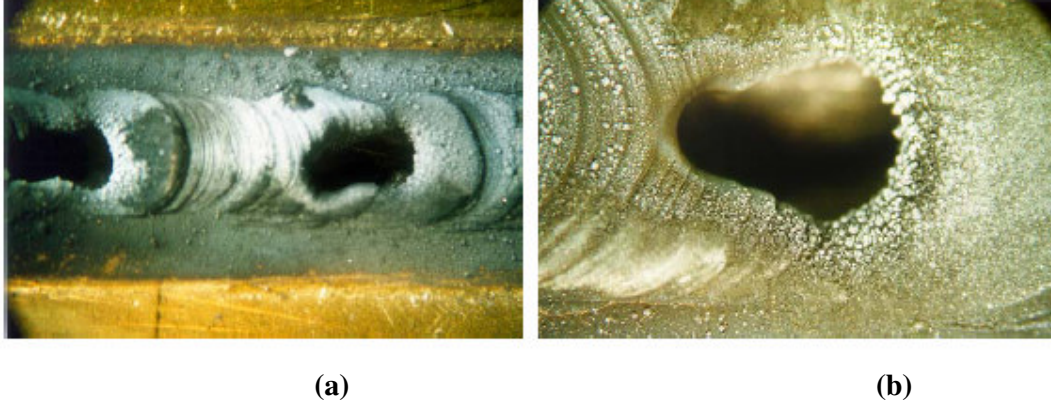
Ayrıca dikkate değer diğer bir noktada, pirincin yüksek ısı iletkenliği, yüksek ısıl genişleme katsayısıdır. Bunun sonucunda kaynak sonrası içyapıda çeki/bası iç gerilmeleri ortaya çıkar ki buna dikkat edilmesi gerekir.

Çoğunlukla ilave edilen alaşım elementleri kaynak banyosu üzerinde yüksek sıcaklıklarda ergiyen oksitler oluşturur. Bu oksitler çinkonun buharlaşmasını ve oran olarak azalmasını önler. Bu amaçla genellikle Al ve Si ilavesi gerekir (JACOBI, 1997; MERAN, 2001).

Örtülü elektrotlarla yapılan kaynak ve MIG kaynağı çinko buharlaşması nedeniyle uygun değildir. Çinko buharlaşması TIG yönteminin kullanılmasını da zorlaştırmaktadır. Burada bir ön ısıtma işlemi uygulanarak daha zayıf kaynak arkı ve dolayısıyla düşük ısı girdisiyle çinko buharlaşması azaltılabilir. Aynı anda temizleme etkisi de olduğu için alternatif akım kullanımı daha uygun olabilir. Alternatif akımla yapılan kaynakta doğru akıma nazaran daha az gözenek meydana gelmektedir. TIG kaynağının seçimindeki amaç, gereksiz şekilde kaynak banyosunun aşırı ısınmasını ve yüksek sıcaklıklara çıkmasını önlemektir (MERAN, 2001).

Kaynaklı birleştirmeyi en iyi şekilde yapmak için ısı girişinin mümkün olduğunca küçük tutulması gerekir. Bu durum kaynak işleminde çok küçük bir ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) oluşmasına ve de kaynak bölgesini kendisini çevreleyen ortama karşı korumaya yardımcı olacaktır. Bu amaçla TIG kaynak işlemi birçok kaynak uygulamasında tercih edilir. Çünkü kaynak enerjisinin konsantrasyonu düşüktür

(CARY, 1998; MERAN, 2001). Pirinç malzemelerin kaynağı konusunda yapılmış çalışmalar oldukça azdır. Bunun en büyük nedeni de kaynağın yapılmasının çok güç olmasıdır. Pirinç malzemelerin kaynak edilebilirliği üzerine yeterli bilgilerin bulunması da zordur. Konuyu işleyen birçok kitapta genel ifadelerle karşılaşılmaktadır. Bu genel ifadelerde pirinç malzemelerin kaynağının, alaşımın çinko içermesinden dolayı zor olduğu, kaynak esnasında alaşımdaki çinkonun buharlaşmasından bahsedilmektedir. Bu buharlaşma sonucunda kaynak dikişinde gözeneklerin oluştuğu vurgulanmıştır. Ayrıca piyasada sık sık sarı kaynak (pirinç kaynağı) ifadesi geçer. Burada bahsedilen gerçekte kaynak işlemi olmayıp, yapılan sert lehimleme işlemidir.



Şekil 2.16. Düşük kaynak hızı ve yüksek akımda kaynak dikişinin görünümü

- a) Kaynak dikişi üzerinde oluşan ZnO ve delikler
- b) Oluşan delik bölgesinin daha detaylı bir görünümü (MERAN, 2001)

Kovacevic ve arkadaşları 1996 yılında yapılan bir çalışmada kaynak banyosu üzerinde kaynak akımının ve kaynak hızının etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda kaynak akımı ve kaynak hızının kaynak banyosu geometrisi üzerinde çok etkili bir parametre olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca daha sonra pirinçlerin kaynağında ortaya çıkan çinko buharlaşmasının, kaynak hızını artırılması ile azaltılabileceği öne sürülmüştür. Shirali ve Mills tarafından 1993 yılında yapılan bir çalışmada kaynak hızı ve ark boyunun artırılması ile nüfuziyetin azaldığı tespit edilmiştir. Nilsson ve arkadaşları 1993 yılında 70/30 (70Cu-30Zn) pirincin lazer kaynağı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yüksek kaynak hızlarında daha iyi kaynak

dikişleri elde etmişlerdir. Yapılan deneyler kaynak edilebilirlik üzerinde kaynak akımı, kaynak hızı ve ark boyunun çok etkili parametreler olduğunu göstermiştir.

İyi bir kaynak dikişinin oluşabilmesi için belirli bir enerji yoğunluğunun ortaya çıkması gerekmektedir. Yüksek bir kaynak hızında yüksek bir kaynak akımı kullanmak gerekirken, düşük bir kaynak hızında düşük bir kaynak akımının kullanılması gerekmektedir. Aksi takdirde enerji yığılması sonucu kaynak bölgesi delinebilir veya bazı alaşım elementleri buharlaşabilir. Yüksek kaynak hızında çalışmak hem uygulama hem de alınan sonuçlar bakımından tercih edilebilir.

Kaynak sıcaklığı ve kaynak süresi pirinçlerin kaynağında çok önemli parametrelerdir. Pirinç malzemelerin kaynağında, kaynak banyosuna ısı girişi mümkün olduğu kadar düşük tutulmalı ve kısa sürede kaynak banyosuna uygulanmalıdır. Alaşım içindeki çinko miktarı ne kadar az olursa buharlaşma miktarı o kadar az olmakta ve ergitme kaynağının kalitesi o kadar artmaktadır. Çünkü çinkonun buharlaşma hızı sıcaklıktan doğrudan etkilenmekte olup, ergitme kaynağında çinkonun buharlaşma hızı $10 \text{ g/cm}^2.\text{s}$ olarak gerçekleşmektedir (JACOBI, 1997).

Nilsson ve arkadaşları 1993 yılında 70/30 pirinç malzemesinden lazer kaynağı ile boru imalatı üzerine çalışma yapmışlardır. İyi bir kaynaklı birleştirmenin sağlanmasında birleştirme yeri geometrisinin önemli olduğunu vurgulamışlardır. Kaynak banyosuna olan enerji girişine karşılık uygulanması gereken kaynak hızı üzerine bir dizi deneyler yapmışlardır ve sonuçta kaynak hızı arttıkça daha iyi kaynak dikişleri elde etmişlerdir (MERAN, 2001).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı yapılan pirinç levhalar Özer Metal Sanayi A.Ş. İstanbul'dan temin edilmiştir. Pirinç levhalar 90/10 (%90 Cu-%10 Zn) ve 70/30 (%70 Cu-%30 Zn) olmak üzere iki çeşittir. 3 mm kalınlığındaki 70/30 ve 90/10 pirinç levhaların sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile alın kaynağı gerçekleştirilmiştir. Bu kaynak işleminde kullanılan levhalar 297 mm boy, 210 mm en ve 3 mm kalınlığa sahiptir. Bu çalışmada, alın kaynak işlemleri 2000 dev/dak. devir hızı ve 260 mm/dak, 210 mm/dak, 160 mm/dak olmak üzere üç farklı ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Bu birleştirme işleminde kullanılan cihaz ve sistemler aşağıda verilmektedir. Ayrıca birleştirme işleminin nasıl yapıldığı, hangi safhalardan oluştuğu ve kaynak bölgesinde oluşan içyapının incelenmesi ile mekanik özelliklerinin nasıl belirlendiği bu bölümde açıklanacaktır.

3.1. Kullanılan Malzeme

Bu çalışmada kullanılan malzeme 3 mm kalınlığındaki MS70 olarak adlandırılan %70 Cu-%30 Zn (70/30) pirinç levhadır (bu malzeme kovan pirinci olarak bilinir) ve 70/30 pirinç, mermi kovanları ve tesisat parçaları (boru, conta, vs.) tanklar ve lamba tespitleri gibi ürünlerde kullanılmaktadır. Kaynak işlemi gerçekleştirilen diğer malzeme olan 3 mm kalınlığındaki MS90 olarak adlandırılan %90 Cu-%10 Zn (90/10) pirinç levhalar ise radyatör göbekleri ve tankları, kilitler, menteşeler, cephane parçaları, tesisat aksesuarları ve perçinlerin yapımında kullanılmaktadır.

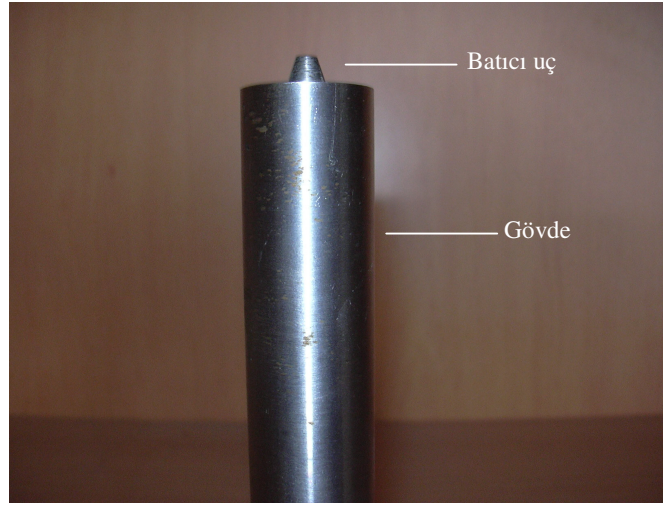
3.2. Sürtünme Karıştırma Kaynak Uçları

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynaklarını yapmak için gerekli takımlar (batıcı uçlar) 1.2365 malzeme numaralı enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplarında kullanılan X32CrMo3 3 sıcak iş çeliğinden yapılmıştır. Batıcı uçlarda 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. Üniversal frezenin başlığına bağlanan takımın 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. Pirinç levhaların 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, kaynak ucunun uzunluğu alın kaynağında 2.8 mm seçilmiştir. Diğer bir deyişle batıcı uçla taban arasında 0.2 mm mesafe bırakılmıştır. Bunun sebebi, kaynak işlemi süresince kaynak ucunun alttan çıkmaması ve levhaların bağlandığı kalıba temas etmemesidir.



Şekil 3.1. Kaynak işleminde kullanılan ucu yuvarlatılmış konik batıcı uçlu takım

3.3. Kaynaklanacak Levhaların Tezgaha Sabitlenmesi

Üniversal 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.

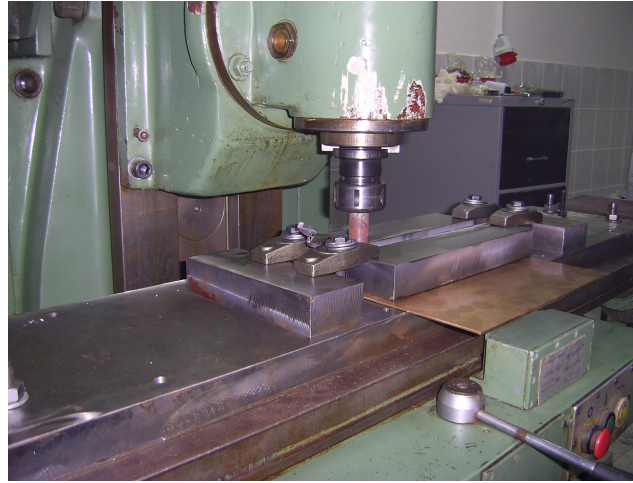
3.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Freze Tezgahı

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı işlemleri üniversal freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2 ve 3.3 kullanılan üniversal freze tezgahını göstermektedir. Dik freze tezgahı maksimum 2000 dev/dak ve 5.5-260 mm/dak. 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 kaynağının yapıldığı üniversal 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

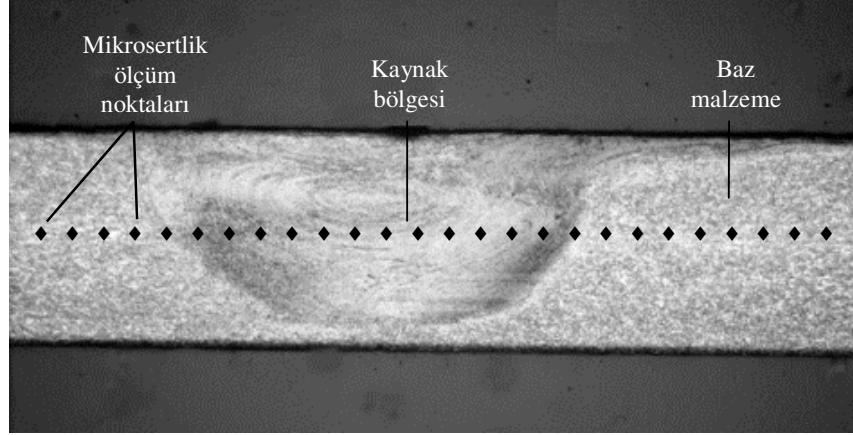
3.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılması

Kaynak işlemi, takımın dönme hareketi, takımın malzemeye batması ve levhaların bağlı olduğu tablanın ilerleme hareketi olmak üzere üç temel safhadan oluşur. Takıma 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 alın altına bağlanmış olan ve

üst üste bindirilen 2 parça halindeki levhaların alın veya bindirme kaynağı yapılır. Bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar birisi takımın saat yönünün tersi yönde dönüş hareketi yapmasıdır. Bu dönüş yönü, matkaplarda delme işlemindeki dönme yönünün tersidir. Bunun amacı ise takımla temas halinde bulunan çamur kıvamındaki malzemenin uç yüzeyindeki kanallar vasıtasıyla yüzeyden aşağıya doğru basılmasının gerekliliğidir. Diğer hususlar ise, takım 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

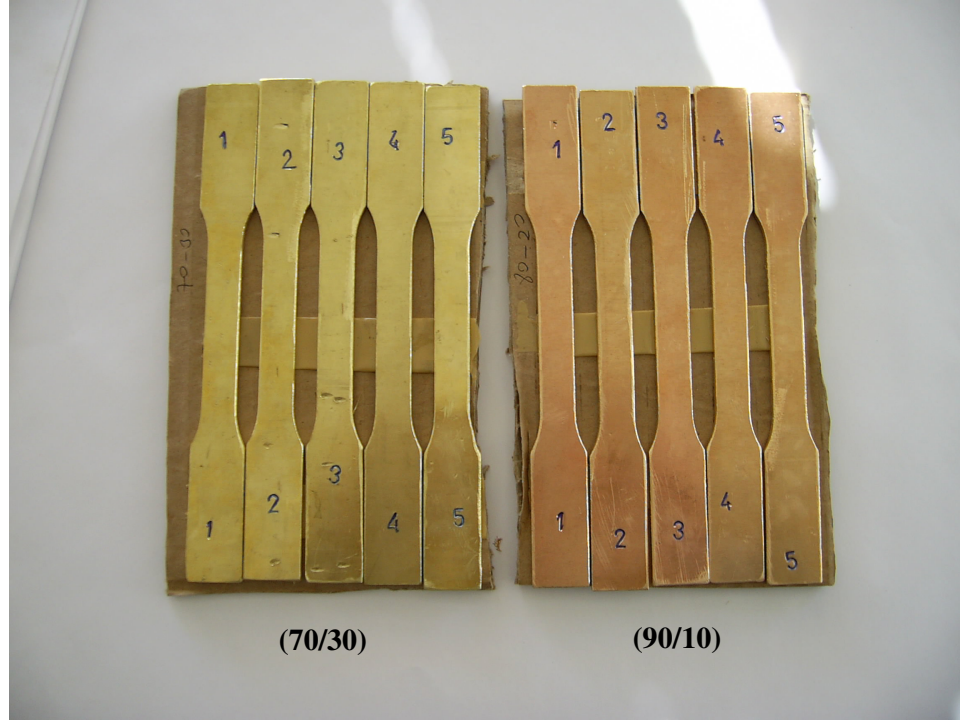
Kaynak bölgesinde oluşan iç yapıyı incelemek amacıyla kaynaklı levhalardan metalografi numuneleri kesilmiştir. Daha sonra kesilen bu parçalar kaynak kesiti yüzeyde olacak şekilde oda sıcaklığında katılaştıran polimer (polyester) esaslı kalıp malzemesi kullanılarak kalıplanmıştır. Bu kalıplar tabanlarının düzgün olması için parmak frezede düzeltilmiştir. Daha sonra sırasıyla 240, 400, 800, 1000 ve 1200 grid zımpara kâğıtlarında zımparalanmış, 1 µm ve 0.3 µm tane boyutunda Al₂O₃ (Alümina) solüsyonu kullanılarak parlatma disklerinde parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra hazırlanan bu numuneler 50 ml HNO₃ (%65'lik) ve 50 ml saf sudan oluşan solüsyon kullanılarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiş, hazırlanan bu numuneler üzerinde son olarak kaynak bölgesinde oluşan mikroyapı ve herhangi bir kaynak hatasının olup olmadığının belirlenmesi için optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca, bu numuneler üzerinde mikrosertlik ölçümleri yapılarak sertlik profilleri belirlenmiştir (Şekil 3.4).



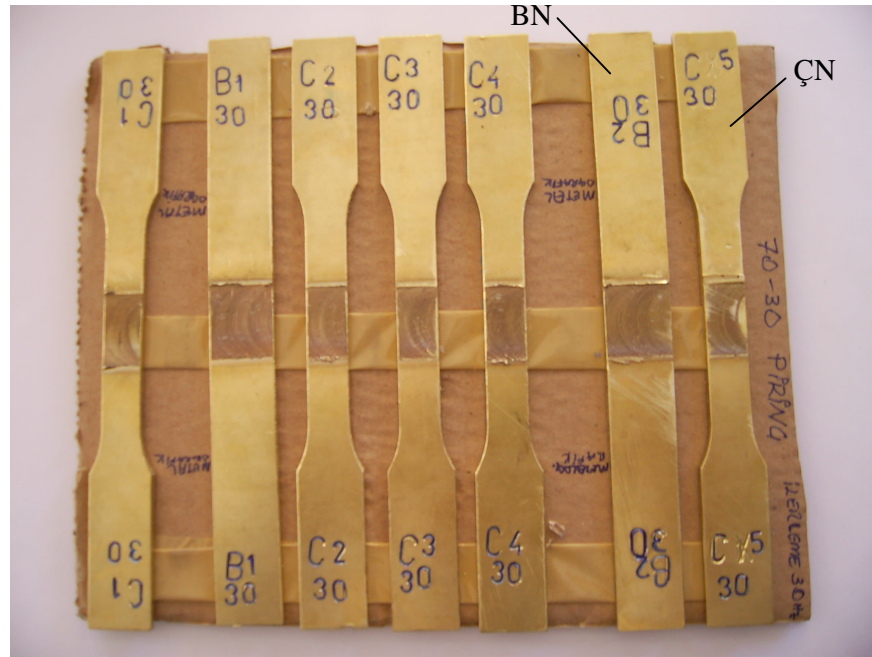
Şekil 3.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapılarının şematik gösterimi

3.7. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

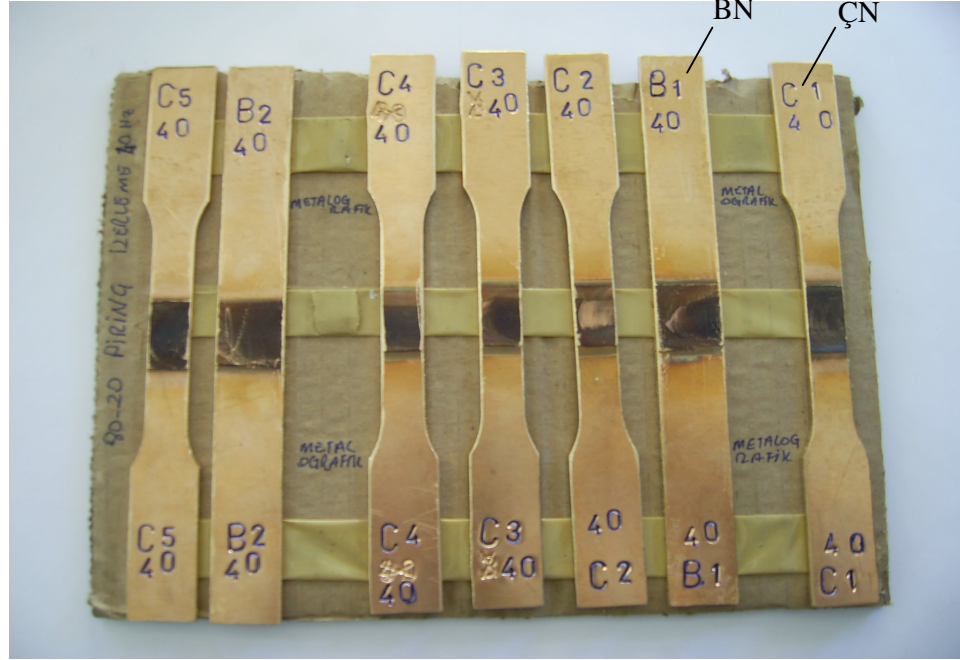
Kaynak kalitesinin tespit edilmesi için Şekil 3.5-3.8’de görünümü ve Çizelge 3.1 de ölçüleri verilmiş EN 895 standardına göre 3 farklı ilerleme hızında kaynakları yapılan levhaların her birinden ve baz malzemeden 5 adet olmak üzere çekme numuneleri çıkarılmış ve bunlar 10 mm/dak. çekme hızında test edilmiştir. Ayrıca baz malzemeden ve kaynaklı levhalardan 2 adet olmak üzere 20 mm eninde ve 180 mm boyunda standart dışı bükme numuneleri çıkarılmış (Şekil 3.6 ve 3.7) ve bu numuneler 180 dereceye kadar bükülerek 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 numunelerin biri kaynak tabanı içe ve diğeri dışa gelecek şekilde 180 dereceye kadar bükülmüştür.



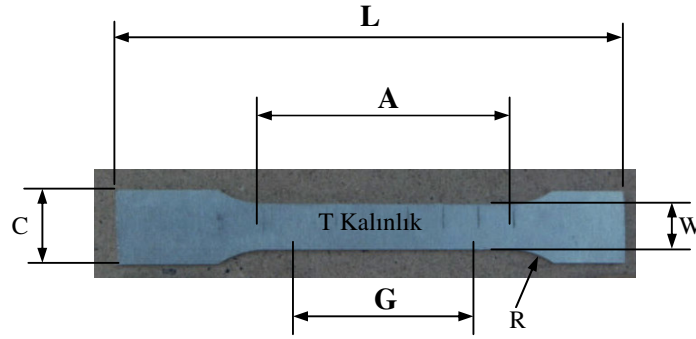
Şekil 3.5. Baz malzemelerden çıkarılan çekme numuneleri (ÇN)



Şekil 3.6. Kaynaklı 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan çekme (ÇN) ve bükme numuneleri (BN)



Şekil 3.7. Kaynaklı 90/10 pirinç levhalardan çıkarılan çekme (ÇN) ve bükme numuneleri (BN)



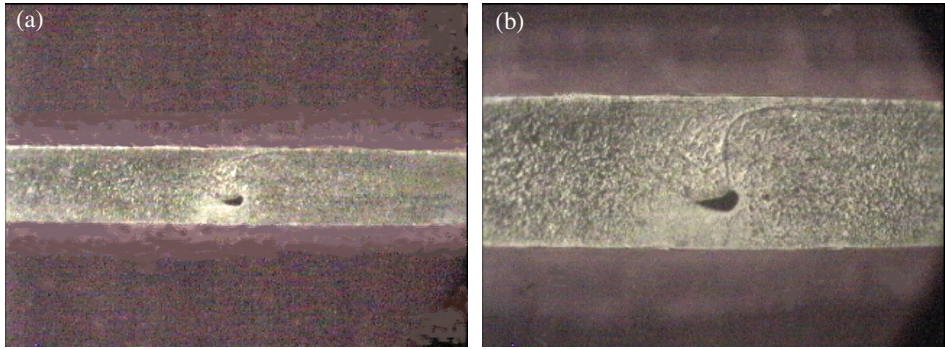
Şekil 3.8. Bu çalışmada kullanılan standart çekme numunesinin şematik görünümü

Çizelge 3.1. EN 895' e göre çekme numunesi boyutları

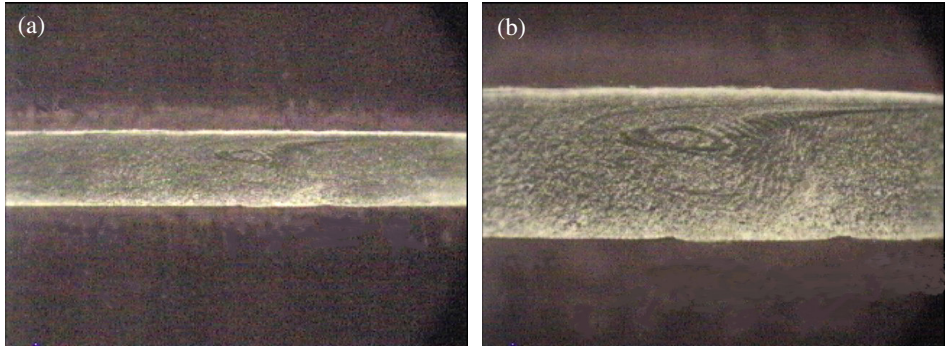
	[mm]
Anma Genişliği	12,5
Ölçü uzunluğu, G	50,0
Genişlik, W	12,5 ± 0,10
Kalınlık, T	Malzeme kalınlığı
Yuvarlatma yarı çapı (mm), R	12,5
Toplam uzunluk (mm), L	180
Gövde uzunluğu (mm), A	60
Kavrama genişliği (yaklaşık) (mm), C	20

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

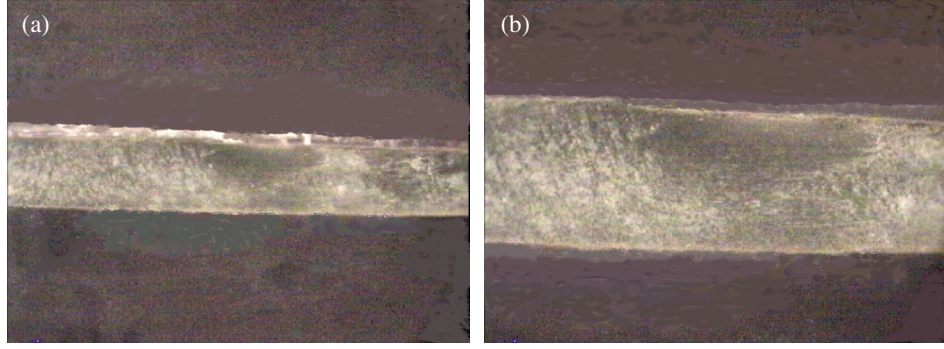
70/30 ve 90/10 pirinç levhaların alın kaynağı sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3). Bu şekillerden görüleceği üzere sadece 160 ve 210 mm/dak ilerleme hızları ile kaynak edilen 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerde boşluk (porozite) gözlenmiştir (Şekil 4.1). Diğer kaynaklı levhalarda porozite tipi kaynak kusuruna rastlanmamıştır (Şekil 4.2 ve 4.3).



Şekil 4.1. 70/30 pirinç levhada 260 mm/dk ilerleme hızında elde edilen birleştirmenin kaynak bölgesi: a) genel görünüm (x10) ve b) detay görünüm (x20)



Şekil 4.2. 70/30 pirinç levhada 210 mm/dk ilerleme hızında elde edilen birleştirmenin kaynak bölgesi: a) genel görünüm (x10) ve b) detay görünüm (x20)



Şekil 4.3. 90/10 pirinç levhada 210 mm/dk ilerleme hızında elde edilen birleştirmenin kaynak bölgesi: a) genel görünüm (x10) ve b) detay görünüm (x20)

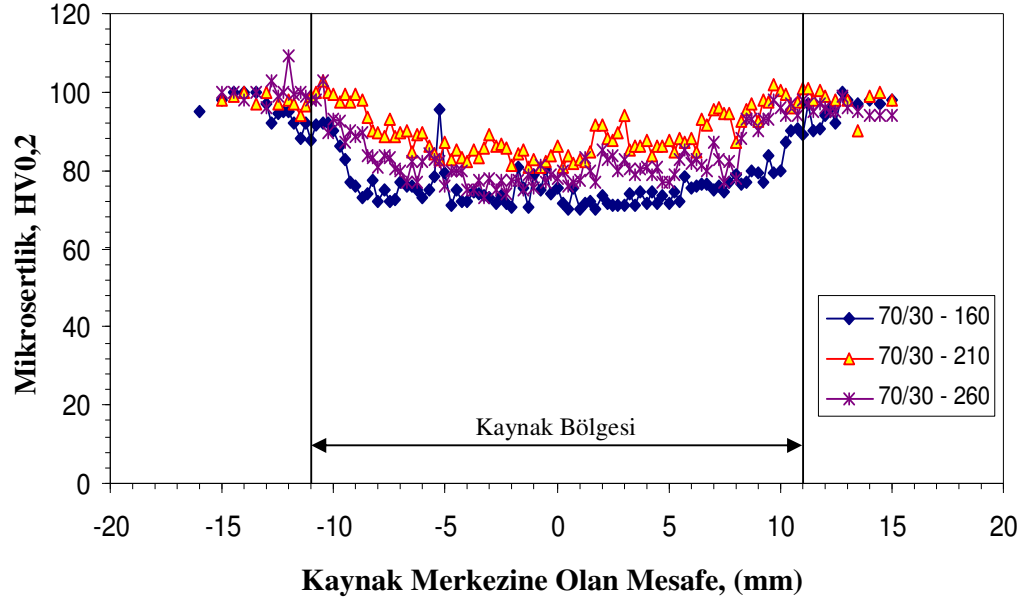
4.1. Kaynak Bölgesinin İç Yapısı ve Kaynak Kalitesi

Sürtünme karıştırma kaynağı ile alın kaynağı yapılan pirinç numunelerin kaynak sonrasında birleştirme bölgelerinde herhangi bir kaynak hatası olup olmadığı optik mikroskop ile detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen birleştirmelerin kaynak bölgelerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilmiştir. Şekil 4.2’ de görüleceği üzere, Bölüm 2’ de bahsedildiği gibi, sürtünme karıştırma kaynağında gözlenen üç farklı bölgeden oluşan bir iç yapı gözlenmiştir.

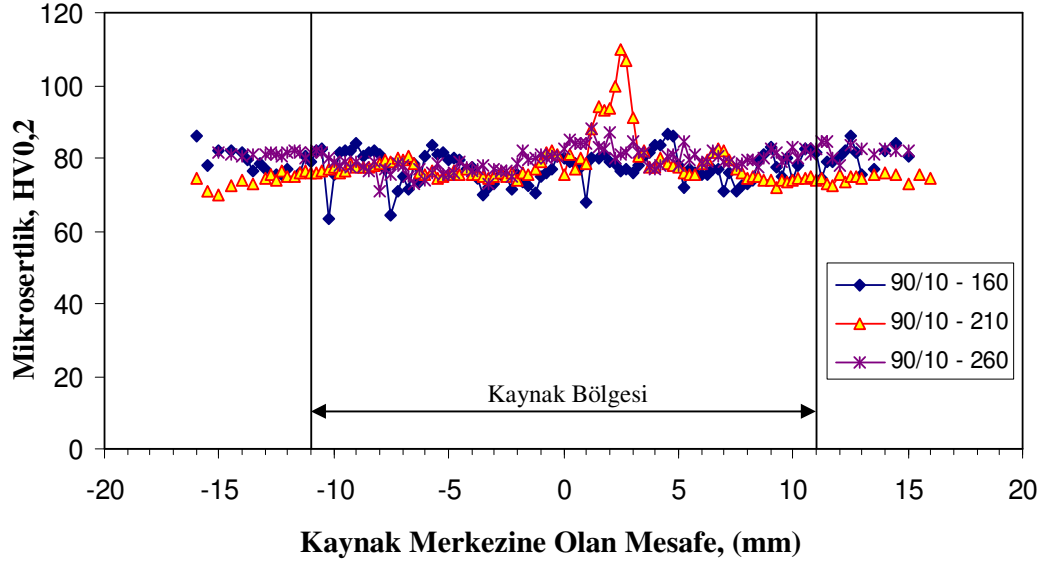
Kaynak bölgesinde porozite oluşumu malzemenin omuz kısmından kaybi sonucu oluşurken, kaynak dikişinde tabana yakın kısımda soğuk birleşme oluşması düşük devir hızı dolayısıyla yeterli hidrostatik basınç elde edilememesinden kaynaklanmaktadır (ÇAM, 2001; 2003; 2005a; 2005b; ÇAM ve YAVUZ, 2001). Kaynaklı levhalar üzerinde yapılan optik mikroskop çalışmalarında sadece 70/30 pirinç levhada en yüksek hızda (260 mm/dak) yapılan birleştirmelerin kaynak dikişinde dikkate değer oranda porozite olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Benzer şekilde 160 mm/dk ilerleme hızında elde edilen birleştirmede de kaynak dikişi içerisinde porozite tespit edilmiştir. Bu durum kaynak dikişi içerisinde metalurjik bağ oluşumu için yeterli ısının elde edilemediğini, dolayısıyla kaynak hızının aşırı düşük veya yüksek olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan 210 mm/dak ilerleme hızında elde edilen birleştirmede dikkate değer porozite tespit edilmemiştir (Şekil 4.2). Daha düşük Zn oranına, dolayısıyla daha düşük mukavemete sahip 90/10 pirinç levhalarda çalışılan tüm kaynak hızlarında (260 mm/dak dahil) kaynak bölgesinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır (Şekil 4.3).

4.2. Sertlik Profili

Üç farklı ilerleme hızı ile kaynaklanmış olan piriç malzemelerden çıkarılan numuneler mikroskop ile mikroyapı incelemesi yapıldıktan sonra aynı numuneler üzerinde mikrosertlik ölçümleri yapılmış ve yapılan ölçümler sonucunda Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’deki sertlik dağılımı elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Üç farklı ilerleme hızında kaynakları yapılmış 70/30 piriç numunelerin mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.5. Üç farklı ilerleme hızında kaynakları yapılmış 90/10 piriç numunelerin mikrosertlik dağılımı

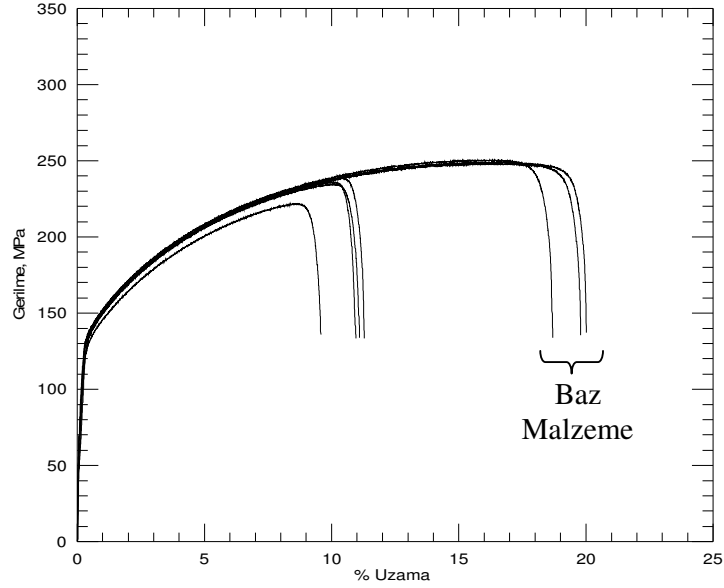
Yukarıda 70/30 piriç alaşımının mikrosertlik dağılımı incelendiğinde, tüm hızlarda elde edilen birleştirmelerde kaynak bölgesinde mukavemet düşüşü gerçekleşmiş olup, en iyi sonucun 210 mm/dak ilerleme hızıyla elde edildiği (en düşük mukavemet kaybı) tespit edilmiştir. Dolayısıyla ortaya çıkan bu sonuçlar çekme deneyinde elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir. Bununla beraber 90/10 piriç alaşımının mikrosertlik dağılımı incelendiğinde ise farklı hızlarda kaynaklanan levhaların sertlik dağılımlarında çok fazla farklılık olmadığı görülmektedir, yine aynı şekilde bu da çekme deneyi sonuçları ile karşılaştırıldığında birbirlerini destekledikleri ortaya çıkmaktadır.

4.3. Kaynak Performansı

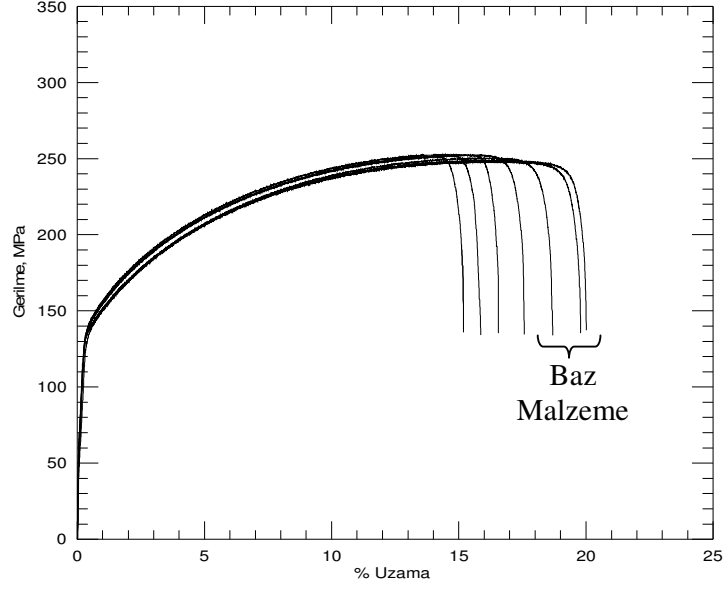
Üç farklı ilerleme hızı ile alın alına kaynaklanmış piriç levhaların kaynak performanslarını ve kaynak kalitesini belirlemek amacıyla bu birleştirmelerden kesilen numuneler üzerinde standart çekme ve standart dışı endüstriyel bükme deneyleri (180°) yapılmıştır. Kaynaklı numunelerin çekme deneyindeki performanslarını belirlemek amacıyla baz malzemeden 5, farklı ilerleme hızları ile kaynağı yapılmış levhaların her

birinden de 5 adet olmak üzere standart çekme numuneleri çıkarılmış ve bunlardan en az üç tanesi oda sıcaklığında çekme deneyine tabi tutulmuştur.

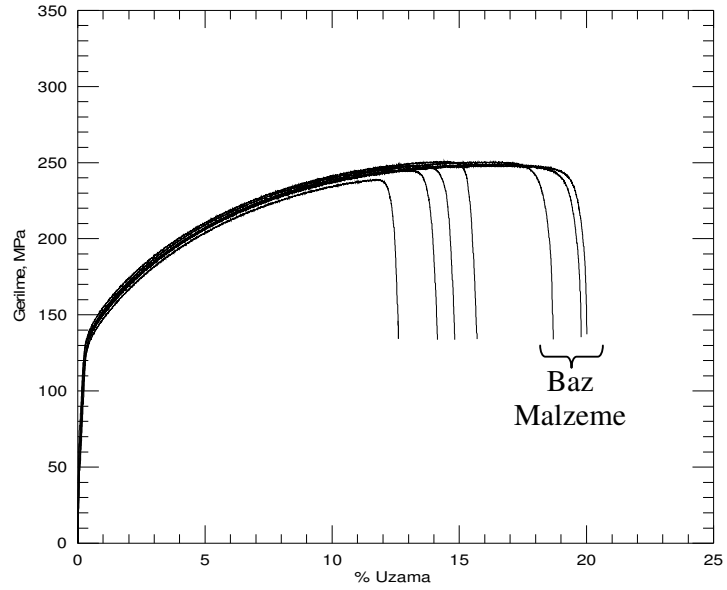
Kaynak performanslarının tespiti için baz malzeme ve kaynaklı levhalardan çıkarılan numunelerle yapılan çekme deneylerinin sonuçları Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmektedir. Ayrıca, farklı ilerleme hızları ile kaynaklanmış levhalardan çıkarılan numunelerden elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile mukayesesi Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.



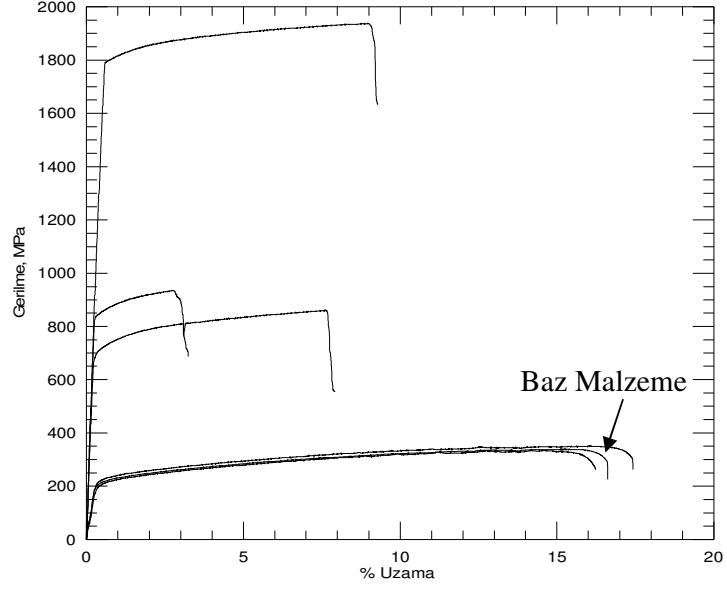
Şekil 4.6. 160 mm/dak ilerleme hızıyla kaynak edilen 90/10 piriç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması



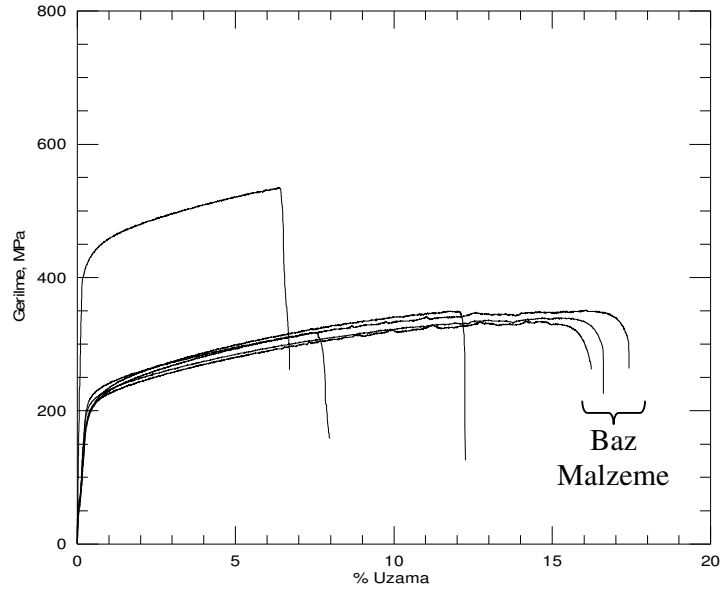
Şekil 4.7. 210 mm/dak ilerleme hızıyla kaynak edilen 90/10 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması



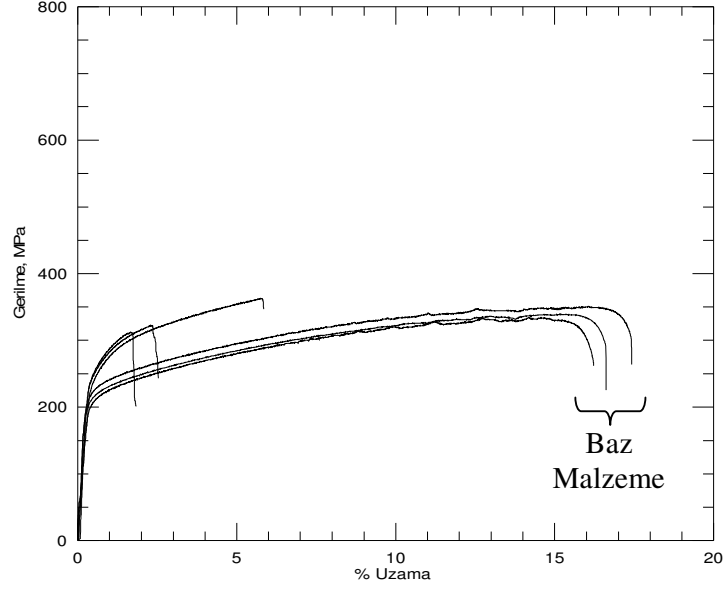
Şekil 4.8. 260 mm/dak ilerleme hızıyla kaynak edilen 90/10 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 4.9. 160 mm/dak ilerleme hızıyla kaynak edilen 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 4.10. 210 mm/dak ilerleme hızıyla kaynak edilen 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 4.11. 260 mm/dak ilerleme hızıyla kaynak edilen 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme - % uzama eğrilerinin baz malzeme sonuçları ile karşılaştırılması

Çizelge 4.1. 90/10 pirinç baz malzemedan ve kaynaklı levhalardan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonuçları

Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Mukavemet Performansı (%)	Süneklik Performansı (%)
Baz malzeme	250; 249 248 (Ort.: 249)	18,3; 19,6 19,3 (Ort.: 19,0)	--	--
2000 dev/dk, 160 mm/dk ilerleme	239; 236 235; 222 (Ort.: 233)	10,9; 10,6 10,6; 9,2 (Ort.: 10,3)	96; 95 94; 89 (Ort.: 94)	57; 56 56; 48 (Ort.: 54)
2000 dev/dk, 210 mm/dk ilerleme	251; 252 252; 253 (Ort.: 252)	14,9; 16,3 17,2; 15,5 (Ort.: 16,0)	101; 101 101; 102 (Ort.: 101)	78; 86 91; 82 (Ort.: 84)
2000 dev/dk, 260 mm/dk ilerleme	251; 248 245; 239 (Ort.: 246)	15,4; 14,5 13,8; 12,2 (Ort.: 14,0)	101; 100 98; 96 (Ort.: 99)	81; 76 73; 64 (Ort.: 74)

Çizelge 4.2. 70/30 pirinç baz malzemenin ve kaynaklı levhalardan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonuçları

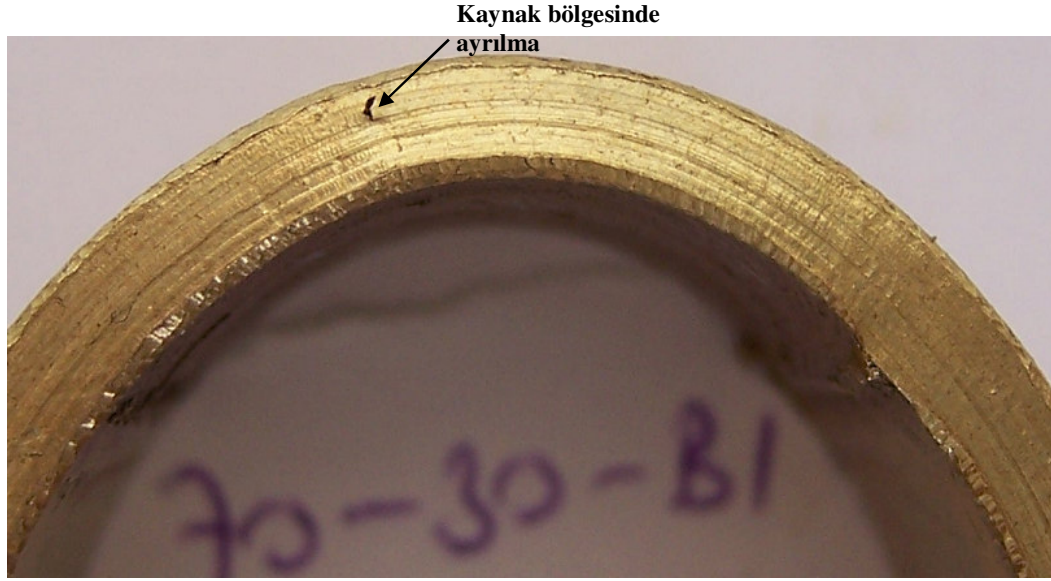
Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Mukavemet Performansı (%)	Süneklik Performansı (%)
Baz malzeme	339, 334 351 (Ort.: 341)	16,5; 15,9 17,4 (Ort.: 16,6)	--	--
2000 dev/dk, 160 mm/dk ilerleme	934, 859 1937 (Ort.: 1243)	3,1; 7,7 9,2 (Ort.: 6,7)	274; 252 568 (Ort.: 365)	19; 46 55 (Ort.: 40)
2000 dev/dk, 210 mm/dk ilerleme	349, 317 535 (Ort.: 400)	12,2; 7,8 6,5 (Ort.: 8,8)	102; 93 157 (Ort.: 117)	74; 47 39 (Ort.: 53)
2000 dev/dk, 260 mm/dk ilerleme	312, 363 323 (Ort.: 333)	1,8; 5,8 2,4 (Ort.: 3,3)	91; 106 95 (Ort.: 97)	11; 35 15 (Ort.: 20)

Bu eğriler incelendiğinde 90/10 pirinç levha için en iyi sonuçlar 210 mm/dk ilerleme hızı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir (Şekil 4.7 ve Çizelge 4.1). Bu birleştirmeden çıkarılan numunelerin çekme deneyinde kopma kaynak dikişi dışında baz malzemede gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar 90/10 pirinç levhada kullanılan tüm kaynak hızlarında hatasız ve kabul edilebilir kaynak kalitesi elde edildiğini göstermektedir. Ancak, en iyi sonuçlar 210 mm/dk ilerleme hızında elde edilmiştir. Bu ilerleme hızı ile elde edilen kaynaklı 90/10 pirinç levhadan çıkarılan numunelerin mukavemet performansı %101, süneklik performansı da %85 civarındadır. Süneklik performansının %100'den düşük çıkmasının nedeni kaynak bölgesinde mukavemet değişimi nedeniyle deney esnasında uzamanın homojen olmamasıdır. Bu değerler oldukça yüksek olup, kaynağın kabul edilebilir kalitede olduğunu göstermektedir. Diğer ilerleme hızlarında elde edilen kaynakların da çekme deneyi sonuçları kabul edilebilir düzeydedir.

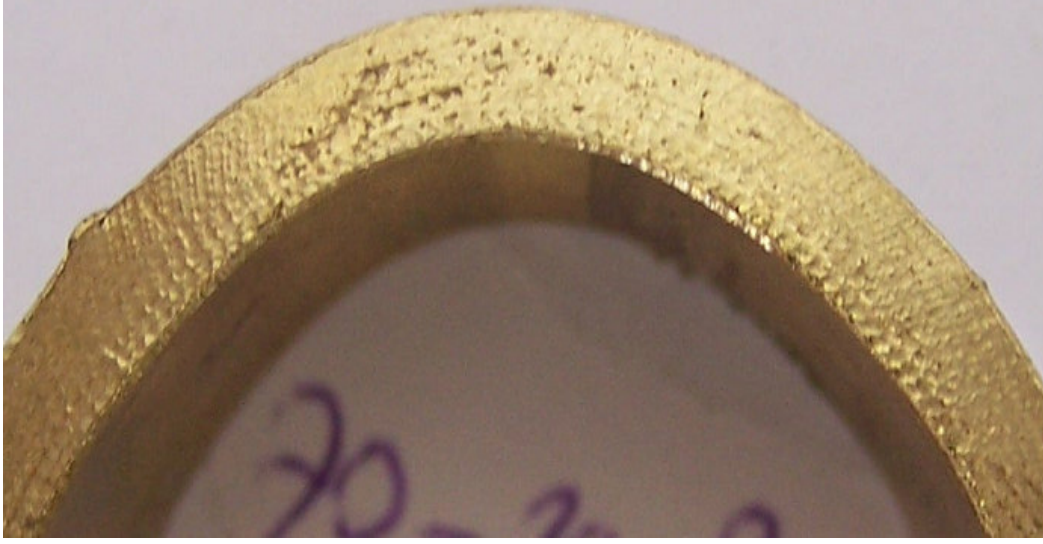
Diğer taraftan, 70/30 pirinç levhada da en iyi çekme deneyi sonuçları 210 mm/dk ilerleme hızı ile elde edilmiştir (Şekil 4.10 ve Çizelge 4.2). Bu malzemede mukavemet performansı 90/10 pirinç levhadan yüksek olup %120 civarında iken, süneklik performansı daha düşük seviyelerdedir (%55 civarında). Süneklik performansının düşük olmasının nedeni kaynak bölgesinde mukavemet kaybı

olmasından dolayı deney esnasında uzmanın gerçekleştirdiği numune boyunun homojen baz malzeme numune boyundan çok küçük olmasıdır. Fakat, bu malzemede süneklik performansının 90/10 pirinç levhadan daha düşük olmasının nedeni kaynak bölgesinde mukavemet düşüştür. Bu levhada 260 mm/dak ilerleme hızı ile elde edilen birleştirmeden çıkarılan numunelerin çekme deneyi sonuçları (özellikle % uzama değerleri) kabul edilemeyecek düzeydedir (Şekil 4.11 ve Çizelge 4.2). Bunun nedeni ise, 160 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanan levhada olduğu gibi, kaynak bölgesinde porozite oluşumudur (Şekil 4.1). Sonuç olarak, 70/30 pirinç için daha düşük devir hızlarında daha iyi sonuçlar elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

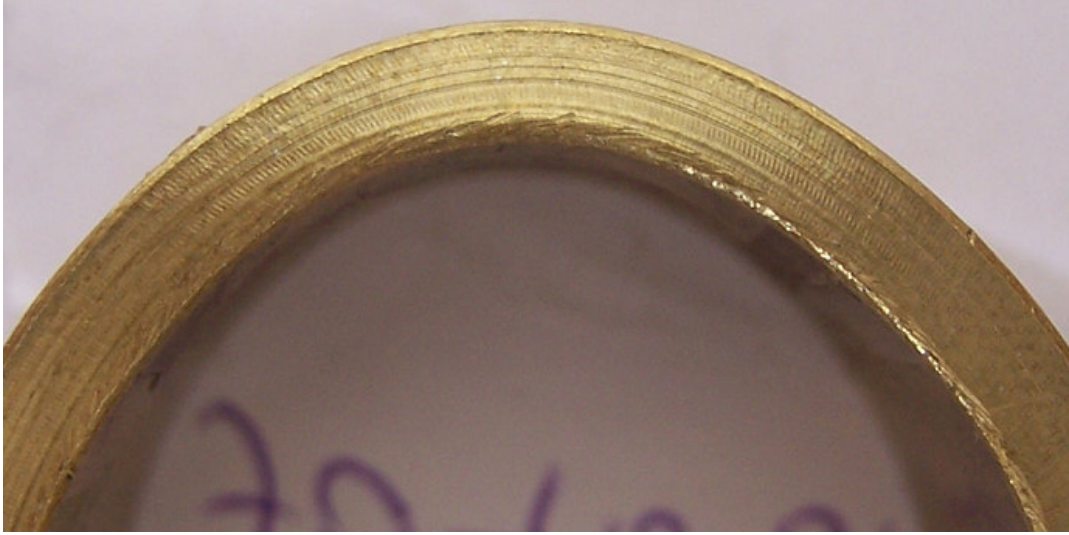
Ayrıca yapılacak bükme deneyi için, kaynaklı levhaların kaynak bölgelerinin bükmeye karşı dayanımını belirlemek ve numunelerde çatlak oluşup oluşmadığını gözlemlenmek amacıyla standart dışı 20 mm eninde ve 180 mm boyunda bükme deneyi numuneleri hazırlanmıştır. Kaynak tabanı içe ve dışa gelecek şekilde her bir kaynaklı levhadan toplam ikişer numune 180° bükme deneyine tabi tutulmuştur.



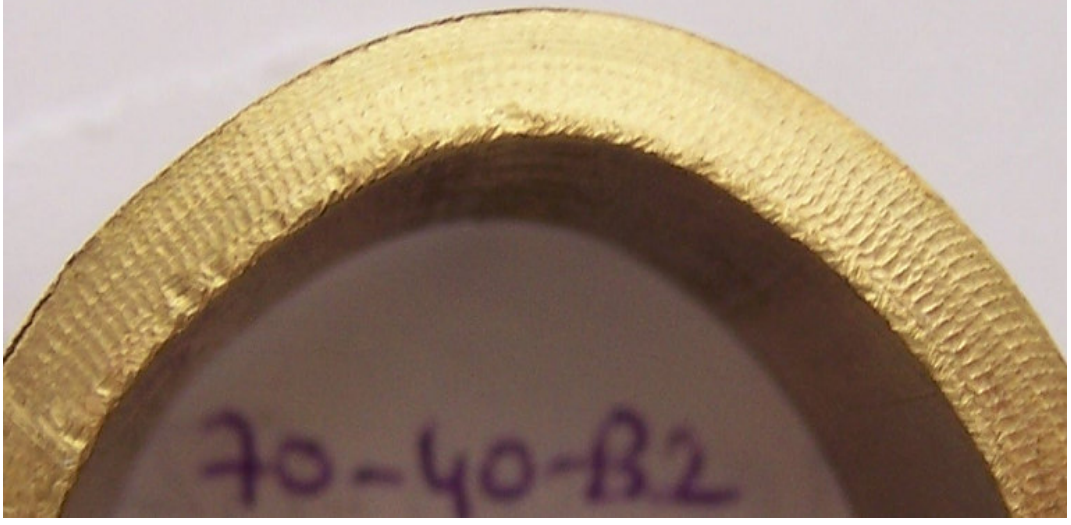
Şekil 4.12. 160 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 70/30 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



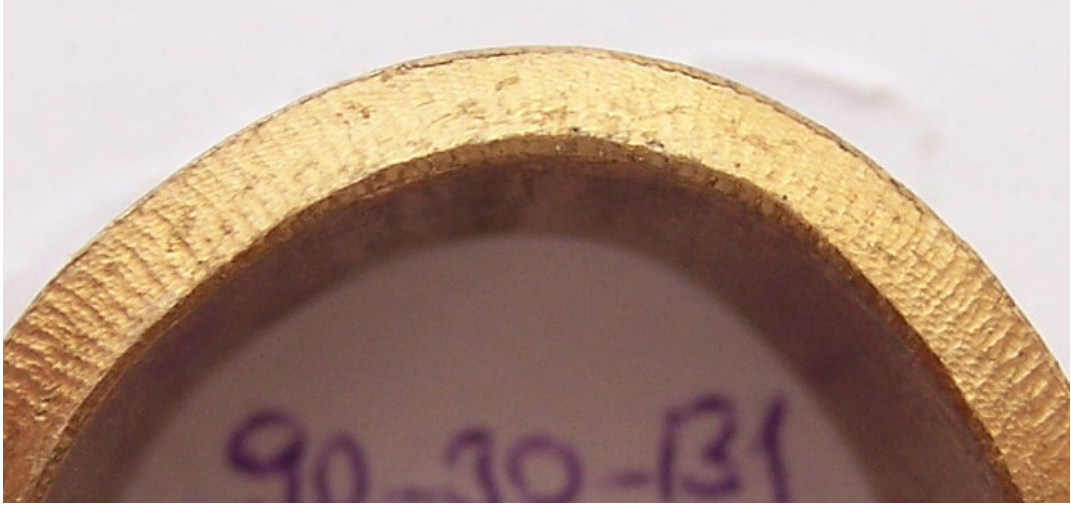
Şekil 4.13. 160 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 70/30 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



Şekil 4.14. 210 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 70/30 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



Şekil 4.15. 210 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 70/30 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



Şekil 4.16. 160 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



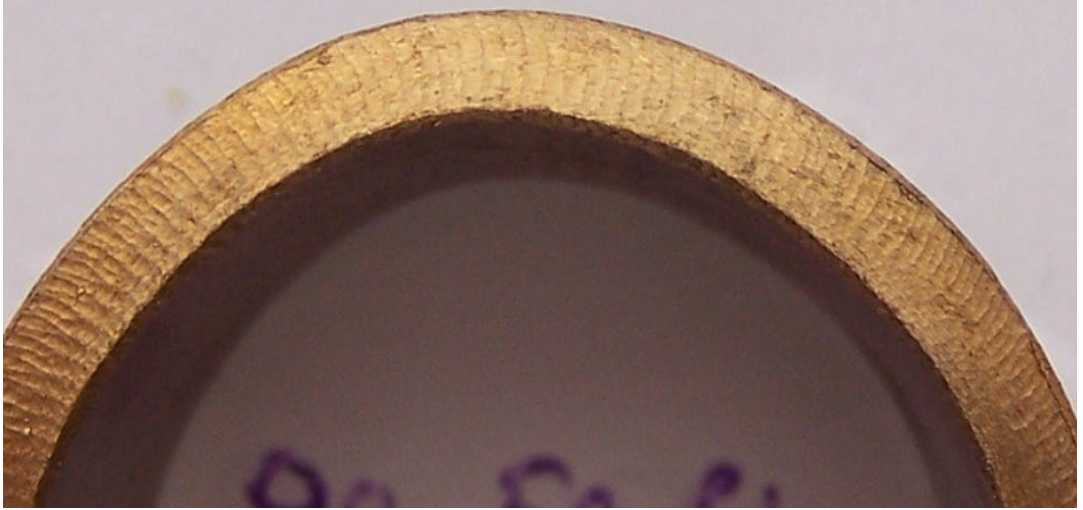
Şekil 4.17. 160 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



Şekil 4.18. 210 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



Şekil 4.19. 210 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



Şekil 4.20. 260 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi



Şekil 4.21. 260 mm/dak ilerleme hızı ile kaynaklanmış 90/10 pirinç levhada kaynak tabanı iç tarafa gelecek şekilde yapılan 180° bükme numunesi

Yukarıdaki şekillerde (Şekil 4.12-4.21) üç farklı ilerleme hızı ile yapılmış 90/10 ve 70/30 pirinç levhalardan çıkarılmış olan bükme numunelerinin bükme deneyi sonucu oluşan şekilleri görülmektedir. Bu şekillerden görüldüğü üzere sadece 70/30 pirinç levhadan çıkarılan, 160 mm/dak ve 260 mm/dak ilerleme hızları ile kaynak edilen ve kaynak dikişi tabanı dış tarafa gelecek şekilde bükme deneyine tabi tutulan numunelerde çatlak tespit edilmiştir. Bunun nedeni, bu kaynaklı levhaların kaynak bölgelerinde porozite oluşumudur (Şekil 4.1). Diğer kaynaklı levhalardan çıkarılan numunelerde yapılan inceleme sonucu hiçbirinde kaynak bölgesinde herhangi bir çatlak veya hasar tespit edilememiştir. Bu sonuç, diğer kaynaklı levhalarda kaynak dikişi içerisinde hasar olmadığından bu bölgenin hata içermediğini doğrulamaktadır

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir

3 mm kalınlığındaki 90/10 ve 70/30 pirinç levhaların sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile alın kaynağının başarılı bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda pirinç levhaların kaynağında dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan birinin de takım malzemesi seçimi olduğu ortaya çıkmıştır. Pirinç alaşımların kaynağı zordur bu yüzden dayanımı yüksek sıcak iş çeliğinden yapılan ve ısıl işlem uygulanmış takım kullanılmıştır.

Yapılan inceleme sonucunda 70/30 pirinç levhalarda özellikle 260 mm ve 160 mm ilerleme hızı ile kaynak edilmiş olan numunelerde porozite belirlenmiş ancak 210 mm ilerleme hızı ile kaynak edilmiş olan numunede kayda değer bir porozite tespit edilmemiştir. Ayrıca yine aynı şekilde üç farklı ilerleme hızıyla kaynaklanmış 90/10 pirinç levhalardan çıkarılan numunelerin hiçbirinde poroziteye rastlanılmamıştır.

Yukarıda bahsedilen porozite oluşumu gibi sorunların kaynak öncesi yüzeyler temizlenerek ve devir hızının değiştirilmesi gibi kaynak parametreleri optimize edilerek ortadan kaldırılabileceği kanısına varılmıştır.

Bu kaynak işlemlerinde batıcı ucun devri 2000 dev/dak'dır. Bu devir hızında başarılı bir kaynak yapmak için kullanılacak ilerleme hızı aralığı 90/10 pirinç levhada daha geniştir. 70/30 pirinç levhalarda yalnızca 210 mm/dak ilerleme hızı ile elde edilen birleştirmelerin kaynak kalitesi kabul edilebilir düzeydedir. 70/30 pirinç levhada daha düşük devir hızlarında daha iyi sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, artan Zn oranının kaynağı güçleştirdiği bu sonuçlardan görülmektedir.

En iyi sonuçlar (mukavemet ve sünekliğin en iyi kombinasyonu) her iki levhada da 210 mm/dak ilerleme hızında elde edilmiştir. En yüksek mukavemet performansı 90/10 pirinç için %101 iken, 70/30 pirinç için %365'tir. Diğer taraftan en yüksek süneklik performansı 90/10 pirinç için %85 iken, 70/30 pirinç için %55'tir.

90/10 pirinç için mukavemet performansı %101 olmasının nedeni kaynak bölgesinde hata bulunmaması ve sertlik değerinin aşırı değişmemesi, süneklik performansının %100 den düşük olmasının sebebi ise kaynak bölgesinde mukavemet değişimi nedeniyle uzamanın çekme numunesi boyunca homojen olmamasıdır.

70/30 pirinç için mukavemet performansının %120 iken, süneklik performansının %55 gibi düşük bir oranda çıkmasının sebebi ise, kaynak bölgesinde mukavemet kaybı olmasından dolayı deney esnasında uzamanın gerçekleştiği numune boyunun homojen baz malzeme numune boyundan çok küçük olmasıdır.

Kaynaklı levhalardan çıkarılan bükme numuneleri üzerinde kaynak tabanı içe ve dış tarafa gelecek şekilde 180° endüstriyel bükme deneyleri yapılmış ve deneyler sonucunda sadece 160 ve 210 mm/dk ilerleme hızları ile kaynak yapılmış 70/30 pirinç levhalardan çıkarılan ve kaynak tabanı dış tarafa gelecek şekilde bükme deneyine tabi tutulan numunede çatlak tespit edilmiş, diğer numunelerde (taban içte ve dışta) herhangi bir çatlama ve açılma tespit edilmemiştir.

Öneriler;

Bu çalışmada, 2000 dev/dak sabit devir hızında, üç farklı ilerleme hızı kullanılarak pirinçlerin alın kaynağı yapılabirliği araştırılmıştır. Ayrıca değişik devir hızları kullanılarak bu parametrenin de kaynak edilebilirliğe etkisi araştırılabilir. Örneğin, özellikle 70/30 pirinç alaşımın bu kaynak yöntemiyle kaynağında daha düşük bir devir hızı değerinin kullanılmasının daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Ayrıca bu çalışmada 160 mm/dak ilerleme hızıyla kaynağı yapılmış 70/30 pirinç alaşımından çıkarılan numunelerden elde edilen mekanik sonuçların fazla yüksek çıkmasından dolayı doğru sonuçlar ortaya koymadığı dolayısıyla aynı alaşımın aynı ilerleme hızında yeniden kaynak edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

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.
- 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.
- COLLIGAN, K. J. Ve ark., 2003. **"Friction Stir Welding Demonstrated for Combat Vehicle Construction"**, Welding Journal, Vol. 82, pp. 34-40.
- CARY, H. B., 1998. **"Modern Welding Technology"**, pp. 518, New Jersey, 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.
- ve KOÇAK, M., 2001. **"Joining of Advanced Materials"**, Area 6: Material Science and Engineering, Topic 6.36.4: Materials Processing and Manufacturing Technologies, Edited by Rees D. Rawling, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed Under The Auspices of The UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, (online), Available: <http://www.eolss.net/>.
- , 2001. **"Al-Alaşımları İçin 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.
- , 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 İçin 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.
- DING, R.J. ve OELGOETZ, A. 1999. **Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding**, 14-16 June , Thousand Oaks, CA, USA.

- DOLBY, R. ve ark., 2001. “**Recent Developments&Applications in Electron Beam and Friction Technologies**”, 7th International Aachen Welding Conference, 3-4 May.
- DONG, P. ve ark, 1999. **Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding**, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.
- JACOBI, M., 1997. “**Problems in Brass Metal Welding of Thin Sheets**”, 7. Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, pp. 577-580, Denizli.
- KALLEE, S. ve MISTRY, A., 1999. **Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding**, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.
- ve ark., 2001. **Friction Stir Welding, Invention, Innovations and Applications**”, 8th International Conference on Joints in Aluminium, 16 S., Munich, Germany, 28-30 March.
- ve ark., 2002. “**Seminar 'Rührreischweißen (FSW) - ein modernes Fügeverfahren' (Friction welding - a modern joining process) at Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt (SLV)**”, 18 Sayfa Berlin-Brandenburg, 20 March.
- KOVACEVIC, R. ve ark., 1996. “**Role of Welding Parameters in Determining the geometrical Appearance of Weld Pool**”, Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 118, pp. 589-596.
- KANG ve ark.,1996. **Metal. Trans.**, Vol. 27A, No. 12, 4019-4029.
- 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**, Thousand Oaks, CA, USA, 14-16 June.
- MERAN, C., 2001. “**Pirinç Malzemelerin Kaynak Edilebilirliği ve Uygun Kaynak Parametrelerinin Tespiti**”, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- MERT, Ş. ve KALUÇ, E., 2003. “**Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Takımlardaki Gelişmeler**”, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 24-25 Ekim, s. 103-115, Kocaeli.
- MIDLING, O.T. ve GRONG, O., 1994. **Acta Metall Material**, Vol. 42, 1595-1609.
- NAGASAWA, T. ve OTSUKA, M., 1999. “**Structure and Mechanical Properties of Friction Stir Weld Joints of Magnesium Alloy AZ31**”, <http://www.mc.mat.shibaura-it.ac.jp/master/abstract/298110.html>
- NICHOLAS, E. D., 1991. **TWI Bulletin 6**, Nov./Dec. 1991, Vol. 32, pp. 124-127.
- NICHOLAS, E. D. ve KALLE, S. W., 2000. “**Friction Stir Welding – A Decade On**”, IIW Asian Pasific International Congress, Sydney.
- NILSSON, K. Ve ark., 1993. “**Laser Welding, a Method for Welding New Designed Brass Tubes**”, 26st Int. Symp. on Automotive Industries, pp. 73-79.
- NORTH T.H. ve ark., 1997. **Metal. Trans. A**, Vol. 28A, No. 11, pp. 2371-2384.
- NORTH, T.H., ve ark., 1998. **Proc. of the 5th Int. Conf. on Trends in Welding Research**, Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, eds.: J. M. Vitek et al., ASM, Metals park, pp. 533-540, 1-5 June, Georgia, USA.
- OĞUZ, B., 1990. “**Demir Dışı Metallerin Kaynağı**”, s. 120, Erdini Basım ve Yayınevi, İstanbul.
- OHRIG, N., 1988. “**Schweissen dünner Messingbleche im Stumpfstoss ohne Zusatzwerkstoff**”, Diplomarbeit, FH-Regensburg.

- PAN, C., HU J., LI, Z., NORTH ,T.H., 1996. **Journal of Material Science**, Vol. 31, 3667-3674.
- 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.
- SMITH, S.D. ve ark., 2001. **“Friction Stir Welding Tool Developments”**, Aluminum Joining Symposium. USA.
- SHIRALI, A. A. ve MILLS, K. C., 1993. **“The Effects of Welding Parameters in Penetration in GTA Welds”**, Welding Journal, Vol. 72, pp. 347-353.
- THOMAS, W.M ve ark., 1991. **“Friction Butt Welding”**, International Patent Appl. No. PCT/GB92/0220 and GB Patent Appl. No. 9125978.8, US Patent No. 5,460,317, December.
- ve ark., 1999. **Science and Technology of Welding and Joining**, Vol. 4, No. 6, pp. 365-372.
- , 1999. **Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding**, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.
- , NICHOLAS, E. D., 1996. **“Emerging Friction Joining Technology for Stainless Steel and Aluminium”**, IIW. Asian Pasific Welding Congress, Auckland, New Zealand, February.
- ve ark., 2001. **“Friction Stir Welding – Tool Developments”**, Aluminium Joining Symposium, TMS Annual Meeting, 11-15 February, New Orleans, Louisiana, USA.
- , DOLBY R.E., 2002. **6th International Conference on Trends in Welding Research**, 15 - 19 April 2002, Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, Georgia, USA.
- THREADGILL, P.L., 1997. **“Friction Stir Welds in Aluminium Alloys - Preliminary Microstructure Assessment”**, TWI Bulletin, March/April 1997.
- VERNON, J., 1993. **“Introduction to Engineering Materials”**, pp. 203-205, Macmillan Pres Ltd., Hong Kong.
- VON STROMBECK, A. ve ark., 1999. **Proc. of the 1st Int. Symp. on Friction Stir Welding**, 14-16 June. Thousand Oaks, CA, USA.
- YANG, H.S., 1998. **“Aluminum Alloys”**, Proclaim of ICAA-6 ,Vol. 3, pp. 1483-1488

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Gaziantep' te doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimi Gaziantep' te tamamladım. 1997 yılında Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandım. 2001 yılında aynı bölümden mezun oldum. 2002 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım ve halen bu görevimi sürdürmekteyim.