

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK TEKNİĞİ İLE
CuZn30 LEVHALARININ BİRLEŞTİRİLMESİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğretmen Ramazan ÖZBEKMEZ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin UZUN

Haziran 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK TEKNİĞİ İLE
CuZn30 LEVHALARININ BİRLEŞTİRİLMESİ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğretmen Ramazan ÖZBEKMEZ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 22 / 06 / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Doç.Dr. Hüseyin UZUN
Jüri Başkanı**

**Prof.Dr. Fehim FINDIK
Jüri Üyesi**

**Yrd.Doç.Dr. Sakıp KÖKSAL
Jüri Üyesi**

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmamın yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında fikir ve önerileri ile destek olan danışman hocam sayın Doç.Dr. Hüseyin UZUN'a teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarımı gerçekleŐtirdiĐim SAÜ Teknik EĞitim Fakültesi Metal EĞitimi Bölümü öğretim elemanlarına, Mekanik deneylerimi yaptığım SAÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarı çalıŐanlarına, Geyve Mesleki ve Teknik EĞitim Merkezi Metal işleri bölümü öğretimlerine teşekkür ederim.

DeneySEL çalıŐmalarımda imkanlarından yararlandığım YETKİN MAKİNE sahibi Yetkin BERK'e ve ÖZKAN KALIB sahibi Mustafa ÖZKAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca çalıŐmalarım sırasında bana destek olan sevgili eşime ve oğluma teşekkür ederim.

Ramazan ÖZBEKMEZ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xviii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK TEKNİĞİ	3
2.1. Giriş	3
2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Çalışma Prensibi	6
2.2.1. Parçaların sabitlenmesi	7
2.2.2. Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızı	8
2.2.3. Karıştırıcı ucun batma derinliği	9
2.2.4. Karıştırıcı ucun geometrik şekli ve omuz çıkıntısı	10
2.2.5. Kaynak bölgesi ve mikro yapısı	15
2.3. Kaynak Pozisyonu ve Birleştirme Türleri	16
2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Malzemeler ve Birleştirme Özellikleri	18
2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynak Bağlantılarında Mekanik Özellikler	19
2.6. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Malzemelerde Oluşan Hatalar	21
2.7. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniğinin Uygulama Alanları	23

2.7.1. Gemi endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları	24
2.7.2. Uçak ve uzay endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları	26
2.7.3. Otomotiv endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları	28
2.7.4. Hızlı tren üretiminde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları	30
2.7.5. İnşaat endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları	32
2.7.6. Elektrik sanayinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları	33
2.7.7. Sürtünme karıştırma kaynağının diğer uygulama alanları	33
2.8. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniğinin Avantajları	34
2.9. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniğinin Dezavantajları	35

BÖLÜM 3.

Cu-Zn ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK KABİLİYETİ	37
3.1. Cu-Zn Alaşımlarının Faz Diyagramı ve Kafes Sistemi	37
3.2. Cu-Zn Alaşımlarının Özellikleri	40
3.2.1. Mukavemet	42
3.2.2. Elektrik ve ısı özellikleri	44
3.2.3. Süneklik ve biçimlendirilebilirlik	44
3.2.4. Aşınma dayanımı	45
3.2.5. Talaşlı işlenebilirlik	45
3.2.6. Korozyon dayanımı	46
3.2.7. Maliyeti	46
3.3. Cu-Zn Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti	46
3.4. Cu-Zn Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri	48
3.4.1. Elektrik ark kaynağı	48
3.4.2. Oksi-gaz kaynağı	52
3.4.3. Cu-Zn alaşımlarının MIG kaynağı	53
3.4.4. Cu-Zn alaşımlarının TIG kaynağı	55
3.4.5. Cu-Zn alaşımlarının direnç kaynağı	58

BÖLÜM 4.

Cu-Zn ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI	59
4.1. Giriş	59
4.2. Cu-Zn Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı	60
4.2.1. Birleştirilecek levhaların sabitlenmesi	60
4.2.2. Karıştırıcı uç formunun etkisi	63
4.2.3. Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızının etkisi	64
4.2.4. Karışım bölgesindeki kimyasal bileşim	68
4.2.5. Kaynak bölgesinin mikroyapısı	70
4.3. Sonuç Değerlendirmesi	71

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	72
5.1. Kullanılan Malzeme	72
5.2. CuZn30 Levhasal Malzemelerin Birleştirilmesi	72
5.2.1. Sürtünme karıştırma kaynak işlemi	72
5.2.2. Kaynak parametreleri	79
5.3. CuZn30 Pirinç Levhaların Elektrik Ark Kaynağı	79
5.3.1. Elektrik ark kaynağının yapılması	80
5.3.2. Kaynak parametreleri	80
5.4. Mekanik Deneyler	80
5.4.1. Çekme deneyi	80
5.4.2. Eğme deneyi	81
5.4.3. Mikro sertlik ölçümü	82
5.4.4. Mikroyapı çalışmaları	83
5.4.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elementer analiz incelemesi	84

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME	85
6.1. Kaynak Dikişi Yüzey ve Kesit Görünümleri	85
6.1.1. Elektrik ark kaynak dikişleri	85
6.1.2. Sürtünme karıştırma kaynak dikişleri	86

6.2. Çekme Deneyi Sonuçları	88
6.3. Eğme Deneyi Sonuçları	92
6.4. Mikro Sertlik Sonuçları	96
6.5. Mikroyapı İncelemeleri	97
6.5.1. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen CuZn30 Levhaların mikroyapısı	97
6.5.2. Elektrik ark tekniği ile birleştirilen CuZn30 levhaların mikroyapısı	100
6.6. Karışım Bölgesi ve Kaynak Bölgesindeki Elementer Analiz İncelemesi	101
6.6.1. SKK ile birleştirilen CuZn30 levhaların elementer analiz incelemesi	102
6.6.2. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen CuZn30 levhaların elementer analiz incelemesi	104
6.7. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen CuZn30 Levhalarda Karşılaşılan Hatalar	105
6.7.1. Birleştirilecek parçaların iyi sabitlenememesi nedeniyle oluşan hatalar	106
6.7.2. Birleştirme yüzeylerinin temas zayıflığı	107
6.7.3. Kaynak yüzey kalitesinin düşük olması	107
6.7.4. Kaynak dikişinde tünel şeklinde gözenek oluşması	108
6.7.5. Karıştırıcı uç deliği	108
6.8. Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilen Malzemelerde Karşılaşılan Hatalar	109
6.8.1. Kenar yenmeleri	109
6.8.2. Başlangıç ve bitim yerleri	110
6.8.3. Kaynak hızı	110
6.8.4. Curuf kalıntısı	111

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112
7.1. Sonuçlar	113
7.2. Öneriler	114

KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

D	: Piramit ucun battığı alan ölçüsü
D ₁	: Piramit ucun bıraktığı iz ölçüsü
D ₂	: Piramit ucun bıraktığı iz ölçüsü
F	: Kuvvet
HV	: Vickers sertlik
DGATA	: Deniz Kuvvetlerinin Amfibrik Taarruz Araçları
DATK	: Doğru Akım Ters Kutup
FSW	: Friction Stir Welding (Sürtünme Karıştırma Kaynağı)
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MAG	: Metal Active Gas
MIG	: Metal Inert Gas
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SKK	: Sürtünme Karıştırma Kaynağı
SZ	: Karıştırılmış Bölge
TIG	: Tungsten Inert Gas
TMAZ	: Termo- Mekanik Olarak Etkilenmiş Bölge
TWI	: The Welding Institute

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin çalışma prensibi	6
Şekil 2.2. Sürtünme karıştırma kaynağında iş parçaların baskı pabuçları ile sabitlenmesi	7
Şekil 2.3. Sürtünme karıştırma kaynağında batıcı ucun eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi	9
Şekil 2.4. Al-levhaların birleştirilmesinde sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılmış bir karıştırıcı uç dizaynı ve ebatları	10
Şekil 2.5. Whorl ticari markalı karıştırıcı uç çeşitleri	11
Şekil 2.6. Whorl ticari markalı karıştırıcı ucun malzeme içerisine daldırılmış haldeki gösterilişi	12
Şekil 2.7. MX Triflute ve Flaret-Triflute uç dizaynları	12
Şekil 2.8. Otomatik olarak çalışan ve geri çekilebilen takım	15
Şekil 2.9. Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan iç yapının şematik olarak görünümü. A: ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), B: Termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB)	15
Şekil 2.10. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulanarak gerçekleştirilen birleştirmeler. a) Küt alın birleştirme b) Birleştirilmiş ek ve bindirme birleştirme c) Bindirme d) Çoklu bindirme e) İki pasolu T-köşe birleştirme f) Tek pasolu T-köşe birleştirme g) Dış köşe birleştirme h) İç köşe birleştirme	16
Şekil 2.11. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen alüminyum panelin dizayn şekli ve birleştirme sonrası kaynak bölgesi mikroyapısı	17
Şekil 2.12. Tren gövdesinde kullanılan alüminyum panellerin birleştirilmesinde kullanılan ek parçanın sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirme aşamaları	18

Şekil 2.13. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi için gerilim - % birim uzama diyagramı	19
Şekil.2.14. Çift taraftan sürtünme karıştırma kaynağı yapılarak birleştirilmiş 75 mm kalınlığındaki 60820 Al – alaşımı levhalar	20
Şekil 2.15. Çift taraftan sürtünme karıştırma kaynağı yapılarak birleştirilmiş 75 mm kalınlığındaki 6082 Al – alaşımı levhalardan çıkarılmış numunelerin çekme ve 180° eğme deneyi sonuçları	20
Şekil 2.16. Sürtünme karıştırma kaynağında sertlik dağılımı	21
Şekil 2.17. Sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen kaynak yüzey kaliteleri. a) İstikrarlı karıştırıcı uç ilerlemesi ve b)İstikrarsız karıştırıcı uç ilerlemesi	21
Şekil.2.18. Sürtünme karıştırma kaynağında düz yüzeyli karıştırıcı uç kullanımından dolayı oluşan tünel şeklindeki porozite ve batma derinliğinin iyi ayarlanmamasından kaynaklanan karıştırılmamış bölge. a) Kaynak dikişinin kesit görünüşü ve b) hataların detaylı görünüşü	22
Şekil 2.19. SKK ile alın kaynağı yapılmış 25 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımı	22
Şekil 2.20. Boeing yapımında SKK yönteminin kullanılması	24
Şekil 2.21. Boeing’de SKK yönteminin kullanılması	24
Şekil 2.22. SKK yöntemi kullanılan yüksek hızlı kataraman türü deniz taşıtı .	25
Şekil 2.23. Alüminyum ekstrüzyon panellerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi	25
Şekil 2.24. Space Shuttle External tank projesi ve Marshall Space Flight Center laboratuvarlarındaki sürtünme karıştırma kaynak sistemlerinden görüntüler	26
Şekil 2.25. Prototip bir yakıt tankının TWI’de ve SKK yöntemi ile birleştirilmesi	27
Şekil 2.26. SKK yöntemi ile birleştirilen Al-alaşımı prototip otomobil jantı ...	29
Şekil 2.27. SKK yöntemi ile üretilmiş bağlantı parçası örneği	29
Şekil 2.28. Hitachi tarafından yapılan, tek taraftan tüm uzunluk boyunca sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış olan bir tren	31

Şekil 2.29. Hitachi tarafından yapılan, çift taraftan tüm uzunluk boyunca sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış olan bir hızlı tren	31
Şekil 2.30. Japonya’da taban panellerinin kaynağının SKK yöntemi ile Sumitomo hafif metal firmasında yapılan Shinkansen tipi 700 standard yüksek hızlı bir tren	31
Şekil 2.31. Saatte 170 mil hız yapabilen E3 türü yüksek hızlı tren	32
Şekil 2.32. SKK yöntemi kullanılarak kaynak edilmiş alüminyum panel görüntüsü	32
Şekil 2.33. SKK tekniği kullanılarak boyuna ve çevresel kaynakları yapılmış cryogenik bir tankın görünüşü	33
Şekil 2.34. SKK tekniği kullanılarak bazı kısımları kaynak edilmiş zırlı taşıt	33
Şekil 3.1. Bakır-çinko alaşımı diyagramı	38
Şekil 3.2. α -pirincinin iç yapı görünümü ve kristal kafes yapısı	39
Şekil 3.3. β -pirincinin iç yapı görünümü ve kristal kafes yapısı	40
Şekil 3.4. γ -pirincinin iç yapı görünümü ve kristal kafes yapısı	40
Şekil 3.5. Cu-Zn alaşımı malzemelerin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerinin artan çinko miktarı ile değişimi	43
Şekil 3.6. Cu-Zn alaşım malzemelerin elastisite ve kayma modülünün artan çinko miktarı ile değişimi	43
Şekil 3.7. Cu-Zn alaşım malzemelerin elektrik direnci ile ısı iletiminin artan çinko miktarı ile değişimi	44
Şekil 3.8. Cu-Zn alaşım malzemelerin şekillendirilebilirliği üzerine bakır ve kurşunun etkisi	45
Şekil 3.9. Artan ark gerilimi ile kaynak dikişi nüfuziyetinin değişimi	54
Şekil 3.10. Ark gerilimi ile nüfuziyetin değişmesi	54
Şekil 3.11. Bir kaynak arkında ısının dağılımı	56
Şekil 4.1. 2050 dev/dak. dönme hızında ve farklı ilerleme hızlarında CuZn30'un çekme ve eğme dayanımı test sonuçları verilmiştir. (*karıştırılmış bölgede çatlak, ** Isıdan etkilenmiş bölgede çatlak olarak gösterilmiştir)	61

Şekil 4.2. 1000 dev/dak ve 2000 mm/dak.'da uygulanmış kaynakların arka yüzeyi yakınında meydana gelen yetersiz birleşme bölgesini gösteren optik mikro yapılar küçük ve büyük büyümede	62
Şekil 4.4. Karıştırıcı uç geometrisi ve boyutları	64
Şekil 4.5. Kaynaklanmış levhalarda en iyi kaynak şartları	65
Şekil 4.6. Kaynakların X ışın radyografisi ve yüzey görüntüleri	65
Şekil 4.7. Değişik kaynak şartlarında uygulanmış kaynakların kesitlerin alınmış tipik makro yapı görünüşleri	66
Şekil 4.8.1000 dev/dak dönme hızıyla, farklı kaynak hızlarında yapılmış birleştirmelerin kaynak yönüne çaprazlama dayanım özellikleri	67
Şekil 4.9.1000 dev/dak dönme hızı ve değişken kaynak hızları için karıştırılmış bölgede sertlik değişimi	67
Şekil 4.10. 1000 dev/dak. dönme hızıyla, farklı kaynak hızlarında kaynakların kesitinden alınmış sertlik profili	68
Şekil 4.11. 2050 devir/dak. dönme hızı ve 112 mm/dak. ilerleme hızında kaynakların kesitlerindeki sertlik değerleri	68
Şekil 4.12. Kaynak bölgesine ait SEM mikro yapısı (a) Karışım bölgesi, (b) Isıdan etkilenmiş bölge, (c) Ana metal (2050 devir/dak dönme hızı ve 112 mm/dak. kaynak hızında)	69
Şekil 4.13. 2050 devir/dak. dönme hızı ve 112 mm/dak. ilerleme hızında yapılmış kaynakların kesitlerindeki optik mikroyapılar	70
Şekil 4.14. 1000 devir/dak. dönme hızında ve 500 mm/dak. ilerleme hızında yapılmış kaynakların kesitinde optik makro ve mikroyapılar	70
Şekil 5.1. Çalışmada kullanılan uç formu a) Kullanılan ucun gövde kısmı b) Yanlardan sabitleyici (M5x10) setskur c) Üstten uç mesafesini ayarlamak için kullanılan setskur d) Çift tarafı 10° konik, elips şeklinde dış açılmış ayarlanabilir uç kısmı	73
Şekil 5.2. Bu çalışmada kullanılan kaynak ucu	75
Şekil 5.3. Levhaların bağlandığı kalıp ve pabuçlar	76
Şekil 5.4. Sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılan üniversal dikey freze	77
Şekil 5.5. Sürtünme karıştırma kaynak işleminde uygulama aşamaları	78
Şekil 5.6. Çekme deneyi numunesi	81

Şekil 5.7. Eğme deneyi numunesi	82
Şekil 5.8. Mikro sertliklerin alındığı bölge düzlemlerinin gösterilmesi	83
Şekil 5.9. Bakalite alınan temsili numunelerin resmi	84
Şekil 6.1. Çekme numunesinin kopan bölümünün kesiti	90
Şekil 6.2. Sabit ilerleme hızı ve farklı dönme hızlarında sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhadan alınan ve çekme deneyi uygulanan numunelerin gerilim-birim uzama eğrisi	90
Şekil 6.3. Elektrik ark kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve çekme deneyi uygulanan numunelerin gerilim-birim uzama eğrisi	91
Şekil 6.4. Eğme deneyi yapılan numuneler a) Elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş levhadan alına numune b) Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş levhadan alınan numune c) Eğme deneyi uygulanmış SKK (1600 dev/dak ve 12,5 mm/dak) numunesi (çatlama ve açılma var)	93
Şekil 6.5. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve eğme deneyi uygulanan numunelerin yük-mesafe eğrisi	94
Şekil 6.6. Elektrik ark kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve eğme deneyi uygulanan numunelerin yük-mesafe eğrisi..	95
Şekil 6.7. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen CuZn30 levhanın üst ve orta kısmından alınmış mikro sertlik değer dağılımları	96
Şekil 6.8. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen CuZn30 levhaların orta kısmından alınmış mikro sertlik dağılımları	97
Şekil 6.9. SKK ile birleştirilen kaynak bölgesine ait çeşitli bölgelerin mikroyapısı	98
Şekil 6.10. Elektrik ark kaynak tekniği ile birleştirilen CuZn30 levhaların kaynak bölgesine ait mikro yapı fotoğrafları	101
Şekil 6.11. SKK ile birleştirilmiş CuZn30 levhaların elementer analizi	103
Şekil 6.12. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş CuZn30 levhaların elementer analizi	105
Şekil 6.13. Sabitleme hatası sonucu oluşan etersiz karışım problemi ile ilgili kaynak fotoğrafı.....	106

Şekil 6.14. Basit bir kalıpta baskı pabuçları ile sabitlenip kaynak işlemine hazırlanmış parçalar	106
Şekil 6.15. İyi ve kötü yüzey kalitesine sahip kaynak dikişi	107
Şekil 6.16. Karıştırıcı ucun yüzey çıkıntısının kaynak işleminin yapılması esnasında malzeme yüzeyinden kaldırdığı çapaklar	108
Şekil 6.17. Kaynak dikişinin sonunda meydana gelen delik hatası	109
Şekil 6.18. Elektrik ark kaynağı ile birleştirme işlemi sonucunda kaynak yüzeyinde oluşan sıçramalar	109
Şekil 6.19. Kaynak dikişi kenarlarında oluşan kenar yenmeleri	110
Şekil 6.20. Kaynak dikişinin başlangıç ve bitim yerleri	110
Şekil 6.21. Kaynak dikişi içerisinde oluşan curuf kalıntısı	111

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen malzemeler ve birleştirme parametreleri	8
Tablo 2.2. SKK kaynak yönteminin başlıca uygulama alanları	23
Tablo 3.1. Cu-Zn alaşımlarının ergime sıcaklığının artan çinko miktarı ile değişimi	39
Tablo 3.2. Saf bakır, saf çinko ve CuZn30 alaşımının bazı fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması	42
Tablo 3.3. Bakır alaşımlarına kaynak yöntemlerinin uygulanabilirliği	48
Tablo 3.4. Kurşunsuz 60/40 pirinç sacların nokta kaynağı için tip koşullar	58
Tablo 4.1. Pirincin kimyasal bileşimi (CuZn30 (CW508L) (EN 1652))	60
Tablo 4.2. Ana malzemenin mekanik özellikleri	60
Tablo 4.3. Sürtünme karıştırma kaynağı için parametreler	64
Tablo 5.1. CuZn 30 pirincin kimyasal bileşimi	72
Tablo 5.2. Birleştirmelerde kullanılan ilerleme ve dönme hızları	79
Tablo 5.3. Örtülü elektrotla birleştirmede kullanılan parametreler	80
Tablo 5.4. TS EN 485-1'e göre çekme deneyi numunesi boyutları	81
Tablo 6.1. Elektrik ark kaynağı ile birleştirmede elde edilen kaynak kesitleri ve yüzey görünüşleri	85
Tablo 6.2. Farklı dönme hızlarında SKK ile yapılan birleştirmelerde meydana gelen dikiş yüzey kalitesi	86
Tablo 6.3. Değişik dönme hızlarına ait SKK ile birleştirilen CuZn30 levhalarına ait kaynak dikişlerinin kesit görünüşleri	88
Tablo 6.4. Çekme deneyi sonucu kopan SKK kaynak numuneleri	89
Tablo 6.5. Çekme deneyi sonucu kopan elektrik ark kaynak numuneleri	90
Tablo 6.6. Çekme deneyi sonuçları	92

Tablo 6.7. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş %99 saflıktaki elektrolitik bakır levhalardan alınan numunelere uygulanmış çekme deneyi sonuçları	92
Tablo 6.8. Eğme deneyi sonuçları	94
Tablo 6.9. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş %99 saflıktaki elektrolitik bakır levhalardan alınan numunelere uygulanmış eğme deneyi sonuçları	94
Tablo 6.10. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve eğme deneyi uygulanan numunelerin eğme deneyi sonuçları	95

ÖZET

Anahtar kelimeler: Cu-Zn alaşımları, CuZn30, Sürtünme karıştırma kaynağı.

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile farklı kaynak parametreleri kullanılarak CuZn30 alaşımı levhalar birleştirilmiştir. Ayrıca birleştirme sonuçlarının değerlendirilmesi bakımından faydalı olabileceği kanaatiyle CuZn30 levhalar, elektrik ark kaynak tekniği ile de birleştirilmiştir. Birleştirilen levhaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen levhalardan alınan numunelere çekme deneyi, eğme deneyi uygulanmış ve mikro sertlik ölçümleri alınarak sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. SKK ile birleştirilen Cu-Zn alaşımı levhalarda, karıştırıcı ucun ilerleme hızı sabit tutularak dönme hızının birleştirme özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca SKK ve elektrik ark kaynağı ile elde edilen birleştirmelerde oluşan kaynak hataları ve sebepleri araştırılarak, kaynak bölgesine ait mikro yapı karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, CuZn30 alaşımı levhaların SKK ile birleştirilmesinde ideal sonuç alınabilecek kaynak parametreleri tespit edilmiştir. Karıştırıcı uç ilerleme hızı 12,5 mm/dak olarak sabit tutulduğunda, dönme hızı 500, 630 ve 1000 dev/dak ayarlandığında, kaynak hatasına rastlanmamıştır. Elde edilen birleştirmelerde karıştırıcı ucun dönme hızının artmasıyla kaynak dikiş yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. SKK tekniği ile birleştirilen levhaların mukavemet değerleri, elektrik ark kaynak tekniği ile birleştirilenlerden daha yüksek çıkmıştır.

Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak CuZn30 alaşımı levhaların alın alına birleştirilmesinde bazı kaynak hataları oluşmuştur. Kaynak dikişinde iyi bir yüzey kalitesi elde edilememiştir. Kaynak işlemi sırasında oluşan çinko buharlaşması birleştirme bölgesinde malzeme kaybına yol açmıştır. Buda kaynak dikişinin mukavemet değerlerini düşürmüştür.

Bütün bu çalışmaların sonucunda CuZn30 alaşımı levhaların elektrik ark kaynak tekniği ile seri üretimi için yetersiz olabileceği, fakat tamir bakım için uygun olabileceği kanaatine varılmıştır. CuZn30 alaşımı levhaların bir katı hal kaynak tekniği olan SKK tekniği ile seri üretim amaçlı birleştirilmesinin oldukça iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

SUMMARY

Keywords: Cu-Zn alloys, CuZn30, Friction Stir Welding

The aim of this work is to demonstrate the feasibility of friction stir welding for joining of CuZn30 alloy sheets. In this work, the joining of CuZn30 alloy sheets was carried out using friction stir welding technique. It was employed different tool rotational speeds with a constant travel speed. The welding defects and reasons of welded copper alloy sheets were investigated. It was evaluated the microstructure and microhardness changes on the welding zone. Tensile and bending tests have been performed to evaluate the effects of welding parameters on mechanical properties. In addition, CuZn30 alloy plates were welded by electrical arc welding technique for comparison purposes. The mechanical properties of CuZn30 alloys welded by electrical arc were compared to the properties of CuZn30 alloys welded by FSW.

The results show that friction stir welding can be used the joining of CuZn30 alloys. Four different zones of the microstructure in the welding are reported as follows: (1) parent materials (2) heat affected zone (HAZ), (3) thermo-mechanically affected zone (TMAZ) and (4) weld nugget. A good correlation between the hardness distribution and the welding zones are observed. As the rotational speed increase at a constant traveling speed, it was observed lack of stirring in the weld nugget. It was observed that if it is used the proper welding parameters with proper tool design it can be obtained good mechanical properties of welded copper alloy sheets. The mechanical properties of CuZn30 welded by FSW were higher than welded by electrical arc process due to the zinc fume in welds which are likely to be porous. It was not observed zinc fume in FSW weld.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

CuZn alaşımları yüksek mukavemetliliği, korozyona karşı dayanıklılığı, kolay şekillendirilebilirliği, iyi elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olmaları ve estetikliliği nedeniyle, gıda, elektrik, elektroteknik ve kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu alaşımların kullanım alanlarının daha da yaygınlaşabilmesi için en önemli faktörlerden biride kaliteli bir şekilde birleştirilebilmeleridir. Dolayısıyla Cu-Zn alaşımlarının kaynak kabiliyeti ve değişik kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi daima araştırmacıların gündeminde olmuştur.

Günümüzde Cu-Zn alaşımlarının birleştirilmesi işleminde ergitme kaynak teknikleri yaygın olarak kullanılmıştır. Fakat ergitme kaynak tekniklerinin bazı dezavantajları nedeniyle pirinçlerin birleştirilerek kullanılmasını engellemiştir. Cu-Zn alaşımlarının ergitme kaynağında karşılaşılan en önemli problem, çinkonun buharlaşarak alaşım içerisindeki oranının azalmasıdır. Diğer bir problem ise bu alaşımların ısı iletkenliklerinin yüksek olması sebebiyle verilen kaynak ısısının hızlı bir şekilde yayılmasıdır. Bu durum kaynak öncesi ön tavlama gerektirir. Ayrıca yüksek ısı genleşmeden dolayı ise ısı girdi miktarına bağlı olarak malzeme şekil değişimine sebep olmaktadır. Diğer bir problem ise ergimiş banyonun hidrojen gazı absorbe etme hassasiyeti olup hidrojen gevrekliğine sebep olabilmesidir. Cu-Zn alaşımlarının ergitme teknikleri ile birleştirildiğinde karşılaşılabilecek bu olumsuz etkenleri önlemek için genellikle birleştirme işleminde katı hal kaynak teknikleri önerilmektedir.

Son yıllarda keşfedilen katı hal kaynak tekniği özelliğine sahip sürtünme karıştırma kaynak (SKK) yöntemi, Cu-Zn alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılabilecek önemli bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem, geleneksel ergitme kaynak tekniklerinde karşılaşılan kaynak problemlerinin çözümünde en etkili kaynak tekniğidir. Katı hal kaynak tekniği olarak adlandırılan sürtünme karıştırma kaynak yönteminde, ön

tavlamaya gerek yoktur. Ergime olmadığından dolayı çinko buharlaşması problemi ile karşılaşılmaz. İlave metal ihtiyacı söz konusu değildir. Koruyucu gaza gerek yoktur. Her pozisyonda birleştirme işlemi gerçekleştirilebilir. İnsan sağlığını olumsuz olarak etkileyen metal buharları, duman veya zararlı ışınlarla karşılaşılmaz.

Literatür incelemelerinde SKK yöntemi ile birleştirilen Al ve alaşımları hakkında oldukça fazla bilgiye rastlanmasına rağmen, SKK ile birleştirilen Cu-Zn alaşımları hakkında yeterli bir bilgi birikiminin olmadığı görülmüştür. Gerek kaynak parametreleri, gerekse karıştırıcı uç formu hakkında detaylı bilgilere ulaşılamamaktadır. Bu nedenle Cu-Zn alaşımlarının SKK ile birleştirilebilirliği ve tekrarlanabilir kaynak parametrelerinin tespiti oldukça büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada CuZn30 alaşımı levhalar, SKK ile alın altına ve yatay pozisyonda birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ergitme kaynak yöntemleri ile karşılaşılan problemlerin çözümünde SKK'nın etkin olduğunu gösterebilmek için, CuZn30 alaşımı levhalar elektrik ark kaynak yöntemi ile de birleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. SKK yöntemi ile birleştirme işleminde kaynak parametresi olarak değerlendirdiğimiz karıştırıcı ucun ilerleme hızı sabit tutularak, dönme hızı ise değiştirilmiştir. Dolayısıyla karıştırıcı ucun dönme hızının birleştirmeye etkisi incelenmiştir. SKK ve elektrik ark kaynak yöntemleri ile birleştirilen CuZn30 levhalarının çekme, eğme ve mikro sertlik özellikleri, mikro yapı karakterizasyonu yapılmış ve sonuçlar birbirleri ile hem de literatür bulguları ile karşılaştırılmıştır. CuZn30 alaşımının SKK ile birleştirilmesinde optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK TEKNİĞİ

2.1. Giriş

Sürtünme karıştırma kaynağı, 1991 yılında İngiltere’de The Welding Institute (TWI) tarafından bulunarak patenti alınan bir kaynak yöntemidir [1]. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi geniş uygulama alanlarına sahip olup farklı geometrilerde kaynak imkanı sağlayan ve geliştirilmeye devam edilen bir katı faz kaynak yöntemidir.

Ayrıca günümüzde uçak, tren, roket, otomobil, gemi ve helikopter gibi araçların imalatında hafif olmasına rağmen, mekanik özellikleri çok iyi olan alüminyum alaşımlar büyük oranda kullanılmaktadır. Ancak alüminyum ve alaşımlarının ergitme kaynak teknikleri hem problemlili olup hem de zordur. Bu amaçla sürtünme karıştırma kaynağı, alüminyum alaşımlarının problemsiz ve kolay bir şekilde birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş ve endüstrideki uygulamalarına başlanmış bir birleştirme tekniğidir.

Bugüne kadar İngiliz Kaynak Enstitüsü’nde alüminyum ve alüminyum alaşımları için bu kaynak yöntemi uygulanmış ve oluşturulan birleştirmeler üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışma sonuçları gerek yaşlandırma sertleştirilmesi uygulanabilen gerekse yaşlandırma sertleştirilmesi yapılamayan (1xxx ve 5xxx serisi gibi) alüminyum ve alaşımlarında başarılı ve güvenli bağlantıların ortaya çıktığını göstermiştir. Ayrıca bakır, bakır alaşımları, titanyum, titanyum alaşımları, magnezyum, magnezyum alaşımları ve metal matrisli alüminyum kompozitlerde de bu yöntemin uygulanmasına başlanmıştır [2-3].

İleri teknolojinin uygulandığı gelişmiş makine elemanlarının kaynaklı birleştirmelerinde faz dönüşümleri ve plastik deformasyon istenmeyen durumlardır. Bu olumsuzlukları gidermek, ancak malzemenin mekanik ve metalurjik özelliklerini etkilemeyecek kadar düşük sıcaklıklarda yapılan birleştirme işlemleri ile

mümkündür. Bu birleştirme işlemlerinin gerçekleştirilmesi ileri teknoloji ve bilgi gerektiren katı hal kaynak teknikleri ile mümkündür. Katı hal kaynak teknikleri:

- (1) Difüzyon kaynağı
- (2) Ultrasonik kaynak
- (3) Sürtünme kaynağı
- (4) Sürtünme karıştırma kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır.

(1) Difüzyon kaynağı: Birbirleri ile temasta olan yüzeyler arasında minimum makroskobik deformasyon ile belirli bir süre ısı ve basınç uygulayarak kontrollü difüzyonla oluşturulan katı hal kaynağıdır. Difüzyon kaynağı özellikle uzay ve nükleer enerji alanında kullanılmaktadır.

Bir difüzyon kaynak donanımı, birleştirme için gerekli basınç sağlayacak bir pres (mekanik veya hidrolik) ve baskı ünitesi, parçaların bölgesel veya tamamen ısınmasını sağlayacak yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma veya direkt direnç ısıtma ünitesi, vakum veya koruyucu gaz ortamı ve parçanın birleştirme işleminin gerçekleştirildiği bir kaynak kamarasından oluşur. Difüzyon kaynağında sıcaklık, zaman ve basınç önemli kaynak parametreleridir. Çok yüksek basınç kullanıldığında, fazla deformasyondan ötürü yüzey bozulmalarına neden olmakta ve pahalı donanımlara gerek duyulmaktadır.

Birleştirilecek yüzeylerdeki bütün pislikler, yağlar ve oksitler bir ön hazırlık işleminden geçirilerek temizlenmelidir. Yüzeylerin ısınma esnasında artan ortam şartlarından etkilenmemesi için vakumdan soygaz veya redükleyici bir ortamda çalışılmalıdır. Kaliteli bir yüzeyin sağlanması için taşlama yapılabilir ve çok hassas yüzeylerde maliyeti arttırır. Kaynak işleminin yavaş oluşu, büyük parçalara uygulanmasının zorluğu ve tahribatsız kontrol olanağının olmaması yöntemin kullanımını önemli ölçüde sınırlamaktadır [4].

(2) Ultrasonik kaynak: Bu yöntemde parçalar ultrasonik alandaki mekanik titreşimler ve hafif bir basınç yardımı ile birleştirilir. Bu amaçla bir elektro-akustik dönüştürücüden yararlanır. Bu dönüştürücüde değişken bir elektrik akımı bir nikel

alaşımının manyeto-striktif etkisi yardımı ile aynı frekanstaki boyuna mekanik titreşimlere çevrilir.

Ultrasonik kaynak ile, ince sacların (alüminyum, altın), folyoların veya tellerin (kalınlık 0,03 – 2 mm), daha kalın çelik, demir dışı metaller, cam veya seramik gibi malzemeler üzerine kaynağı yapılır. Folye haddehanelerinde alüminyum folye bobinleri birbirleriyle ultrasonik dikiş kaynağı yardımıyla birleştirilerek kesintisiz bantlar elde edilir [5].

(3) Sürtünme kaynağı: Elektrik enerjisi veya diğer kaynaklardan ısı enerjisi uygulanmadan iş parçasının yüzeyleri arasındaki mekanik dönme hareketinin ısı enerjisine dönüşmesiyle kaynak için gerekli ısının elde edilerek yapıldığı bir katı hal kaynak tekniğidir. Sürtünme kaynağı ara yüzey kaynak sıcaklığına ulaşana kadar sabit bir iş parçasıyla dönen bir iş parçasının sabit veya belirli olarak artan basınç altında yapılır ve sonunda dönme durdurularak kaynak tamamlanır. [6-7]

Sürtünme kaynağı işlemi esnasında sıcaklık arttığında kaynatılmakta olan malzemenin akma mukavemeti düşer. Sürtünme kaynağında yüzey tabakaları kırılıp atıldığında önemli bir plastik akma olur. Ayrıca bölgesel olarak ergimenin başladığı sıcaklıklara ulaşıldığı için de kalıntı gerilmelerinin üretilmesine sebep olmaktadır [8].

(4) Sürtünme karıştırma kaynağı: Difüzyon kaynağı gibi bir katı hal birleştirme kaynağı olup, birleştirme bölgesinde iç yapıyı önemli ölçüde değiştirmez. Bununla beraber pahalı bir donanıma ve koruyucu gaza ihtiyaç yoktur. Sürtünme karıştırma kaynağında; difüzyon kaynağında olduğu gibi kaynak işlemi yavaş olmayıp, kalın kesitli büyük parçalara da kolaylıkla uygulanabilmektedir.

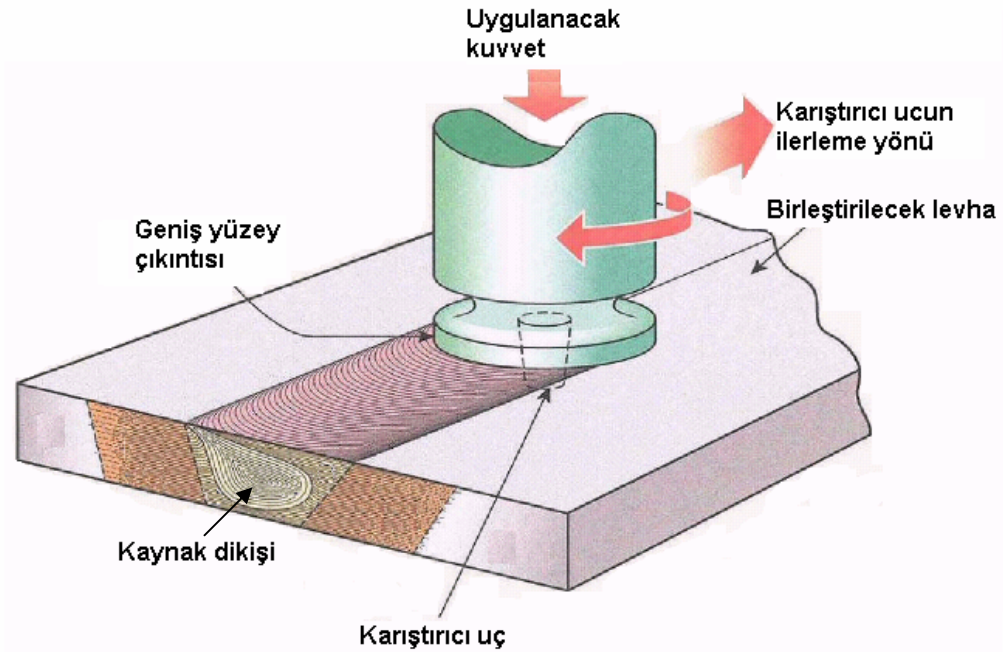
Ultrasonik kaynakta ısınma çok dar bir alanda gerçekleştiği için, sürtünme karıştırma kaynağın da olduğu gibi kalın levhasal parçaların kaynağı mümkün değildir, kaynak işlemi daha çok ince kesitlerde uygulanmaktadır [5].

Sürtünme karıştırma kaynağının uygulama alanları sürtünme kaynağında olduğu gibi sadece dairesel kesitli parçalarla sınırlı olmayıp, levhasal parçalarda da uygulamaya imkan tanımaktadır.

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde pahalı ekipmana, ilave tel kullanımına, koruyucu gaza ihtiyaç duyulmaması, temiz ve çevreci bir kaynak yöntemi olması da yöntemin uygulama alanını genişletmektedir. İşlemin radyasyon, toksin gazlar gibi olumsuz sonuçlar içermemesi de önemli tercih sebeplerindendir [2].

2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Çalışma Prensibi

Sürtünme karıştırma kaynağı alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen omuzlu bir ucun daldırılarak kaynak yapılacak istenilen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir (Şekil 2.1). Karıştırıcı uç, malzemelere temas ettiğinde temas noktasında sürtünmeden dolayı oluşan ısı hızla artar ve malzemelerin plastik değişimine neden olur. Bu değişim malzemelerin akışını sağlar ve birleşme olayı gerçekleşir [9-10-2].



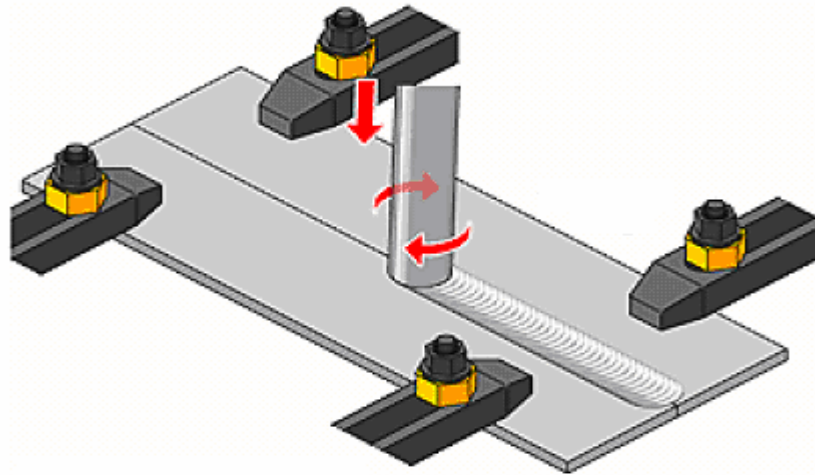
Şekil 2.1 Sürtünme Karıştırma Kaynak Yönteminin Çalışma Prensibi [11]

Ucu özel olarak imal edilmiş silindirik kademeli bir karıştırıcı ucun dönmekte olan bir karıştırıcısı yavaşça birleşme hattı üzerine bastırılır. Karıştırıcı ucun boyu istenilen kaynak derinliği ile aynıdır. Dönen karıştırıcının ucu işlenen yüzeye temas ettiği zaman oluşan sürtünme, karıştırıcı ucun temas ettiği noktayı aniden ısıtır ve böylece malzemenin mekanik direncini azaltır. Uygulanan kuvvet altında karıştırıcı uç malzemeyi, karıştırıcı uç omuzu da izlenen yüzeye temas edinceye kadar karıştırıcı uç ve onun hareket ettiği yönde zorlamakta ve yerinden oynatmaktadır. Bu işlemde dönen karıştırıcı ucun meydana getirdiği sürtünme ısı, karıştırıcı ucun etrafında ve karıştırıcı ucun omuzu altında yumuşamış bir metal tabakası oluşturur. Kaynaklanacak parçaların veya karıştırıcının ileriye veya geriye hareket etmesi halinde, yumuşamış olan metal karıştırıcı ucun ön yüzü tarafından kaldırılır ve karıştırıcı ucun mekaniksel dönüşü yönünde ve bastırma hareketi ile karıştırıcı ucun arkasından dönerek sürüklenir [12]

Sonuç olarak karıştırıcı uç birleşme hattı içine girdikçe oluşan sürtünme birleşme yüzeylerini ısıtarak metali yumuşak hale çevirmekte, takiben birleşme hattını ezerek oksit filmi kırmakta, yumuşak metali karıştırarak birbirine birleştirmekte ve ileriye doğru hareketi ile geride kalan birleşim soğuyarak katı hal kaynağı oluşturmaktadır. Tüm bunlar alaşımın ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta meydana gelir [13].

2.2.1. Parçaların sabitlenmesi

Bir sürtünme karıştırma kaynağı yapmak için birleştirilecek olan parçaların, kaynak işlemi sırasında yanlara, aşağıya, yukarıya ve ileriye hareket etmelerini önlemek için, bir destek parçasının üzerine sıkıca bağlanması ve sabitlenmesi gerekmektedir. Çünkü birleştirme esnasında iş parçaları yukarıya doğru kalkmaya, yana doğru kaymaya, aşağıya doğru esnemeye ve ileriye doğru itilmeye çalışılacaktır. Bu sabitleme işlemi çeşitli hidrolik baskı pabuçları ile de yapılabilir. Ayrıca birleştirme hattında geometrik bozuklukların önüne geçilebilmek için, karıştırıcı ucun her iki yanında ve önünde baskı bilyesi kullanmakta mümkündür.



Şekil 2.2 Sürtünme karıştırma kaynağında parçaların baskı pabuçları ile sabitlenmesi [14].

2.2.2. Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızı

Sürtünme karıştırma kaynağını etkileyen en önemli üç parametreden ikisidir. Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızı kontrol edilebilir olup, kontrol edilmesi oldukça kolaydır. Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızı birleştirilecek malzemenin cinsine ve kimyasal içeriğine göre değişiklik arz etmektedir [15]. Tablo 2.1’de sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen malzemeler ve birleştirme parametreleri verilmiştir.

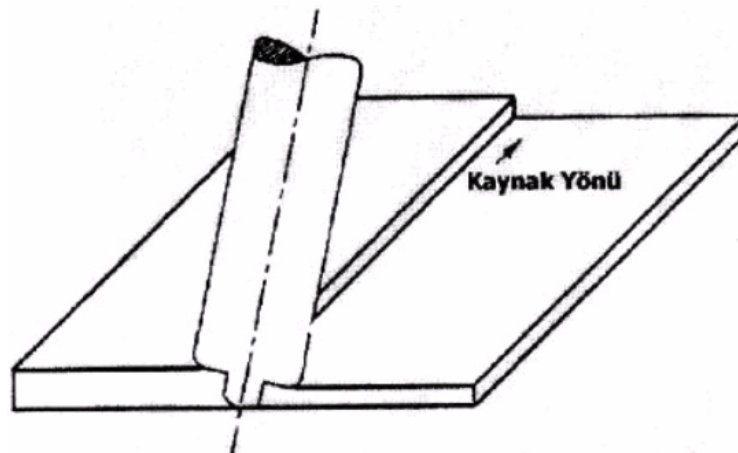
Tablo 2.1. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen malzemeler ve birleştirme parametreleri

Malzemeler	Karıştırıcı ucun dönme hızı (dev/dak)	Karıştırıcı ucun ilerleme hızı (mm/dak)	Referanslar
Ticari Safılıktaki Alüminyum	500,800,1000,1250,1600	6,10,16,20	[13]
A 356	1600	87-267	[16]
EN AW 5083 Al alaşımı EN AW 5086 Al alaşımı	1600	12,5	[16]
AA 1050 Al alaşımı	1000,1500,2500	120	[17]
CuZn30	2050	20, 40, 56, 80, 112, 140	[18]
%60Cu-%40Zn Alaşımı	500, 100, 1500	500, 1000, 1500, 2000	[19]
EN AW 2014 Al alaşımı	800, 1000, 1200, 1400, 1600	40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140	[20]

2.2.3. Karıştırıcı ucun batma derinliği

Sürtünme karıştırma kaynağını etkileyen en önemli parametrelerden üçüncüsüdür. Karıştırıcı ucun batma derinliği önemli bir kritik nokta olup, kontrol edilmesi güçtür [15]. Kaynak işleminde iyi bir nüfuziyet elde etmek için, karıştırıcı ucun arka yüzeye yaklaşık olarak 0,5-0,8 mm mesafede sabit tutulması gerektiği deneysel olarak gösterilmiştir. Karıştırıcı uç ile iş parçasının arka yüzeyi arasındaki mesafe “nüfuz etme mesafesi” olarak bilinmektedir. Bu yüzden sürtünme karıştırma kaynağında, yüzey hazırlama klasik ve lineer sürtünme kaynağındakinden daha kritiktir. Kaynak işlemi süresince nüfuz etme mesafesini sabit tutmak için malzeme kalınlığındaki değişimler minimum düzeyde olmalıdır. Karıştırıcı uç ölçüsü, düşük ısı girdisi ve küçük kaynak dikişi sağladığından ve dolayısıyla büzülmei azalttığı için mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır [15].

Sürtünme karıştırma kaynağı, karıştırıcı ucun eğik daldırılması sonucu farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi işlemlerinde de kullanılmaktadır [21]. Farklı kalınlıklardaki Al-Li alaşımı 2195 levhaların birleştirme işlemlerinde eğik karıştırıcı uç daldırma yöntemi ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Eğik karıştırıcı uç daldırma Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilmektedir. Pimin farklı kalınlıklardaki levhalara açılı daldırılması ile lazer kaynağında elde edilenden daha düzgün bir yüzey elde edilebilmektedir [22-23].

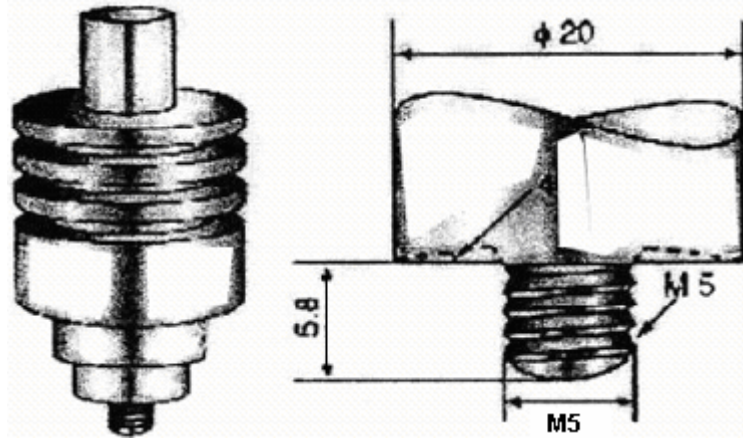


Şekil 2.3. Sürtünme karıştırma kaynağında batıcı ucun eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi [23]

2.2.4. Karıştırıcı ucun geometrik şekli ve omuz çıkıntısı

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde kullanılan karıştırıcı ucun iki bölgesi vardır: (1) Karıştırma işleminin yapıldığı helisel bir diş şekline sahip uç kısmı ve (2) bu uç kısmının üstünde bulunan ve birleştirilecek parçalara temas ettirilen geniş yüzey omuz çıkıntısıdır (Şekil 2.4).

Malzeme özelliklerine göre karıştırıcı uç dizayn şekli seçilir. Birleştirilecek parçaların kalınlığına göre ucun uzunluğu belirlenir. Genellikle karıştırıcı uç boyu malzeme kalınlığından 0,2 mm daha küçük olacak şekilde seçilir. Örneğin 6 mm kalınlığındaki bir alüminyum levha için karıştırıcı uç boyu 5,8 mm olabilir.



Şekil 2.4. Al-levhaların birleştirilmesinde sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılmış bir karıştırıcı uç dizaynı ve ebatları [24]

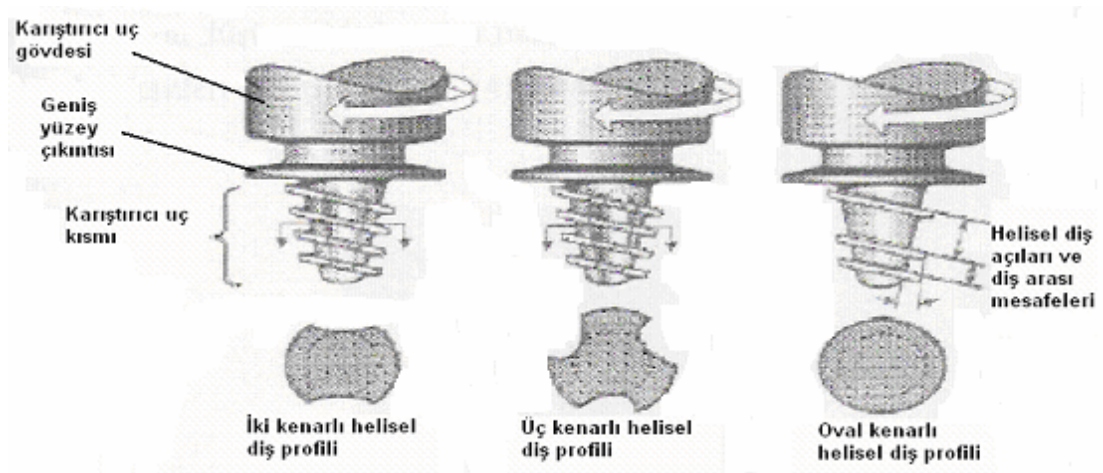
Karıştırıcı ucun uç kısmı ve geniş yüzey çıkıntı kısmı, gelişigüzel dizayn edilemezler. Düzgün bir kaynak işlemi elde edilebilecek dizayn ve profil kesitleri kullanılmalıdır. Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde, birleştirme kalitesini etkileyen en önemli faktör, karıştırıcı ucun dizayn profili ve diş formudur. Bu faktörlere bağlı olarak birleştirme kalitesi de değişmektedir. Bu nedenle en uygun ideal sonuçları verecek özelliklere sahip karıştırıcı ucu seçmek oldukça önemlidir.

Günümüz endüstrisinde, İngiliz Kaynak Enstitüsü (TWI) tarafından gerçekleştirilen farklı dizayn profili ve diş formuna sahip birkaç tane karıştırıcı uç yaygın olarak kullanılmaktadır. Whorl ticari adı piyasada satılan üç farklı dizayn profili ve diş

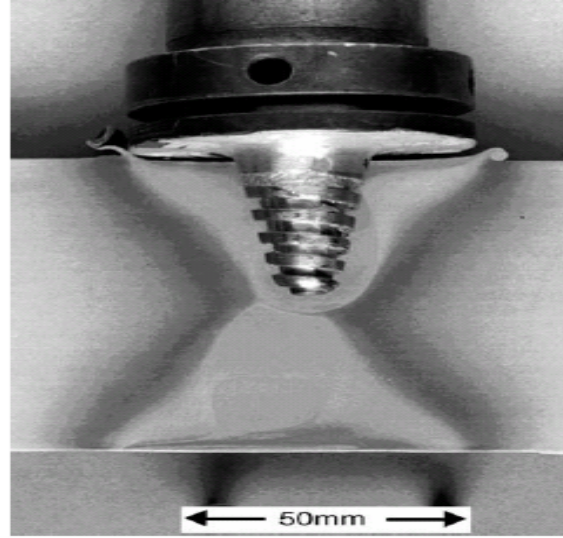
formuna sahip karıştırma uçları, Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Whorl ticari markalı karıştırıcı uçlar, 25-40 mm arasındaki kalınlığa sahip alüminyum alaşımı levhaların tek pasolu kaynak işlemi için kullanılabilirler. Karıştırıcı ucun profil dizaynı, kaynak bölgesindeki metal akış yolunu kolaylaştıracak bir dizayn şekli düşünülerek yapılmalıdır. Karıştırıcı uç helisel bir vida diş formuna sahip olup, uç profil kesiti değişik şekillerde tasarlanabilmektedir. Örneğin; üç kenarlı helisel diş profiline sahip, karıştırıcı uçlar geliştirilmiştir (Şekil 2.5). Helisel dişlerin arasındaki mesafe, diş kalınlığı ve diş açısı kaynak kalitesini etkilemektedir.

Whorl karıştırıcı uçlarında, dairesel olmayan uç profil dizaynı kullanılmıştır. Bu profil sayesinde, karıştırıcı ucun az bir ilerlemesiyle, oldukça fazla metal karıştırma imkanı sağlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca karıştırma ile hamurumsu hale gelen metalin kolayca akışı bu profil dizaynı ile temin edilebilmektedir. Whorl karıştırıcı uç ile yapılan ve ucun henüz kaynak bölgesinden çıkartılmadığı bir durum, Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Şekilde karıştırıcı ucun diş formu, karıştırma bölgesi ve karıştırma sonucu etkilenen termo-mekanik bölgenin büyüklükleri gösterilmektedir.

Alüminyum alaşımları için, bu karıştırıcı ucun oldukça uygun olduğunu kaynak bölgesine bakarak söylemek mümkündür.

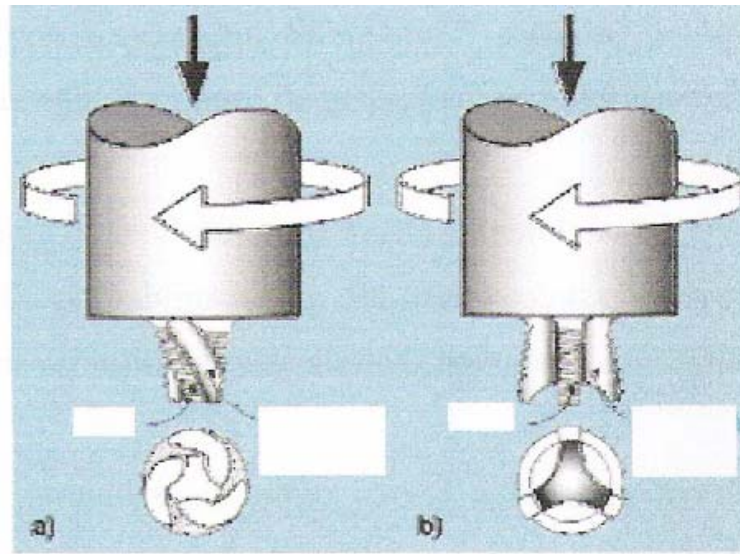


Şekil 2.5. Whorl ticari markalı karıştırıcı uç çeşitleri [25]



Şekil 2.6. Whorl ticari markalı karıştırıcı ucun malzeme içerisine daldırılmış haldeki gösterilişi [24]

Karıştırıcı ucun helisel dişleri arasındaki mesafe, dişlerin kalınlığından daha büyük olması halinde, karıştırma esnasında şekil değiştiren malzemenin helisel diş aralıklarından daha kolay aktığı tespit edilmiştir. Helisel dişlerin yüzeysel alanı, malzeme özelliklerine göre farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle en uygun malzeme akışını sağlayacak helisel diş formu daima tercih edilmelidir. Şekil 2.7’de iki farklı karıştırıcı uç geometrisi gösterilmektedir [26].



Şekil 2.7. MX Triflute ve Flaret-Triflute uç dizaynları [24].

MX Triflute karıştırıcı uç, helisel çok dişli olup, dik açılı kanallara sahiptir. Geniş helisel diş yüzeyleri mevcuttur. Bu dizayn şekline sahip karıştırıcı uç sayesinde, karıştırma esnasındaki malzeme akışı rahat olup, karıştırılan malzemenin yüzey oksitlerini parçalamak mümkün olmaktadır. Alüminyum alaşımları için oldukça uygun bir karıştırıcı uçtur.

Karıştırıcı ucun üst kısmındaki geniş yüzey çıkıntısının iç profil şekli, iş parçası ile en iyi temas sağlayacak ve karıştırıcı uç ile parçayı en iyi şekilde sıkıştırabilecek bir tarzda seçilmelidir. Bu geniş yüzey çıkıntısı iş parçası ile öyle temas etmeli ki, karıştırma sonucu hamurumsu hale gelen ve dışarıya doğru çıkmak isteyen metalin kaçışını önleyebilsin. Metal kaçışını önlemek amacıyla, çıkıntının iş parçasıyla temas edecek yüzeylerine, spiral veya aynı merkezli dairesel oyuklar açılmıştır. Aynı merkezli dairesel oyuklar sayesinde, karıştırıcı uç iş parçası üzerinde daha rahat hareket eder. Bu oyuklar, kaynak metali üzerinde sürekli birbirini takip eden yarım ay şekilleri meydana getirirler. Bu yarım ayların önüne geçebilmek için, karıştırıcı uca 1°'lik bir eğim verilebilir.

Yüksek kaliteli küt alın kaynak dikişi elde edebilmek için, karıştırıcı uç birleştirilebilecek iki levhanın kaynak aralığını tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmalıdır. Metali karıştırmaya başlayan karıştırıcı uç sayesinde birleşme bölgesindeki malzeme, sürtünme ile ısınır ve malzeme plastik şekil değiştirerek hamurumsu bir hale gelir. Fakat ergime olmaz. Karıştırıcı uç ilerledikçe arkada kalan karışım bölgesi soğuyarak birleşme gerçekleşir.

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde; kullanılan karıştırıcı uç, işlem esnasında ergimemeli ve aşınmamalıdır. Özel bir diş formuna sahip olan bu karıştırıcı uç, birleştirme esnasında deforme olmamalı ve diş formu bozulmamalıdır. Dolayısıyla karıştırıcı uç; yüksek sıcaklıklarda iyi dinamik ve statik özelliklere sahip, aşınmaya dayanıklı, oldukça sert bir malzemedan imal edilmelidir. Örneğin ekonomik olacak bir karıştırıcı uç; 5 mm kalınlığında ve 1000 metre uzunluğundaki bir alüminyum levhanın birleştirilmesine imkan verecek, herhangi bir şekil değişimine ve aşınmaya sebep olmayacak özelliğe sahip olabilmelidir.

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde, son zamanlarda bilgisayar ile kumanda edilebilen ve otomatik olarak geri çekilebilen takımlar geliştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde tek parça takım kullanılması güven açısından oldukça önemli bir sınırlamadır. Yüksek hızda dönen ve iki malzeme arasında kaynak işlemini gerçekleştiren takım ucu, yavaş bir şekilde birleştirilecek bölgeye daldırılır. Kaynak işlemi sonunda tek parça olan takım ucu geri çekilir; ancak bir anahtar deliği bırakılmış olur. Bu durum depolama tankları, borular ve davul biçimindeki ve silindirik biçimli parçaların kaynağı gibi 360° lik çevresel kaynak yapılacağı zaman kabul edilemez bir hatadır. Diğer sınırlama ise, değişik kalınlıklardaki malzemelerin kaynağı yapılacağı zaman, farklı uzunluklardaki takım uçları gerekmesidir [27].

Bu sınırlamaları önlemek için NASA'nın Marshall Uzay Uçuş Merkezi'nde çalışan bir kaynak mühendisi tarafından otomatik olarak çalışan, bilgisayar ile kontrol edilen ve geri çekilebilen bir takım ucu tasarlanmıştır (Şekil 2.8).

Geri çekilebilir takım ile başlangıç noktasına tekrar gelindiğinde, motor karıştırıcı uç kısmını yavaş yavaş omuzun içine otomatik olarak çekmeye başlar. Bu sırada karıştırıcı uç daha az olan nüfuziyetteki kaynağı, anahtar deliği kapanana kadar kaynak eder. Omuzda bu sırada dönme devam ettiği için anahtar deliği oluşumu engellenir Bu durum iki parçalı takımın önemli bir üstünlüğüdür. Ayrıca, bu takım tasarımı değişik malzeme kalınlıkları için takım ucunun ayarlanmasına olanak sağlar. Kullanımı maliyet açısından rekabeti sağladığı gibi verimli ve çok yönlüdür. Teknolojik olarak mükemmel kaynak sağlar ve alüminyum alaşımlarındaki performansı oldukça yüksektir. Malzemenin çarpılmasını en aza indirmede önemli bir üstünlük sağlamıştır. Bu yeni takım tasarımı ile sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, uzay ve diğer bir çok endüstri alanında yeni pazar alanları bulmuş ve ek iş ilişkileri sağlamıştır [27].



Şekil 2.8. Otomatik olarak çalışan ve geri çekilebilen takım [27]

2.2.5. Kaynak bölgesi ve mikro yapısı

Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan simetrik olmayan kaynak dikişinin kesitindeki tipik iç yapı şematik olarak Şekil 2.9’da gösterilmektedir. Kaynak bölgesindeki iç yapı 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 (TMAZ) ve (C) karışım bölgesi (SZ) olarak adlandırılmaktadır. Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgenin dinamik toparlanma sonucu oluştuğu kabul edilmektedir [28-29].



Şekil 2.9. Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan iç yapının şematik olarak görünümü. A: ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), B: Termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TMAZ), C: Karışım bölgesi (SZ) [30]

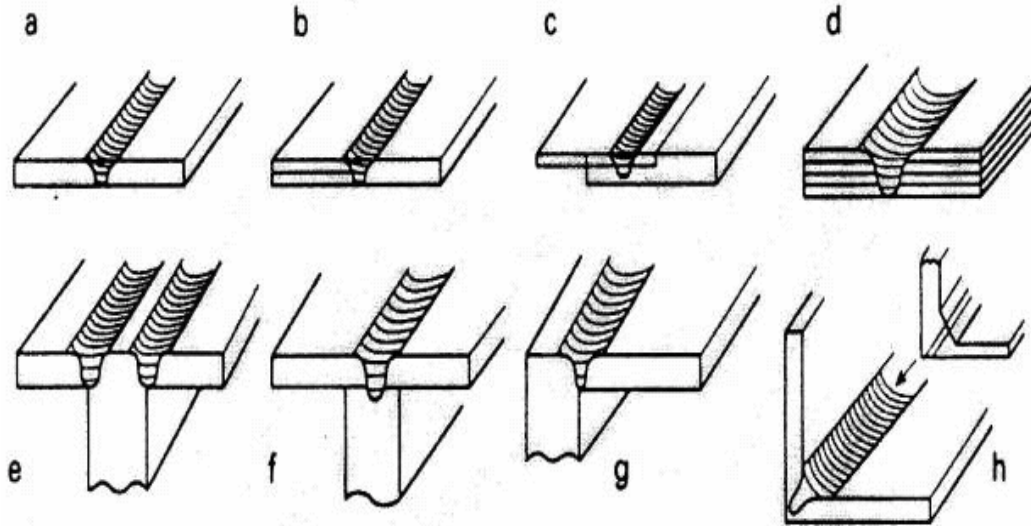
Sürtünme karıştırma kaynak bağlantılarında oluşan kaynak bölgesinde tipik bir soğan halkası veya bir ağacın yaş halkaları biçimine rastlanmaktadır ve kaynak metalinin biçimi çok değişken oluşmaktadır. Bu biçim kaynak edilen alaşımın türüne ve

kaynak işlem parametrelerine bağlıdır. Karmaşık biçimli kaynak metalinin uzantısı, kaynağın üst yüzeyine doğru olup çok sık ortaya çıkar, omuzlu takımın kenarlarına doğru uzar. Kaynak metalinin çapı, takım ucunda bulunan karıştırıcı ucun çapından bir hayli dar olarak oluşur. Oluşan kaynak nüfuziyetlidir. Ancak bu parça kalınlığına ve karıştırıcı uç batma derinliğine bağlı olarak değişir [10].

2.3. Kaynak Pozisyonu ve Birleştirme Türleri

Sürtünme Karıştırma kaynak tekniği günümüzde 1,2-75 mm kalınlıklardaki tüm alüminyum levhalarda ve 25 mm kalınlığına kadar titanyum ve çeliklerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu teknik ile 5 mm kalınlığına kadar olan alüminyum parçalarda %100 nüfuziyet elde etmek mümkündür [20].

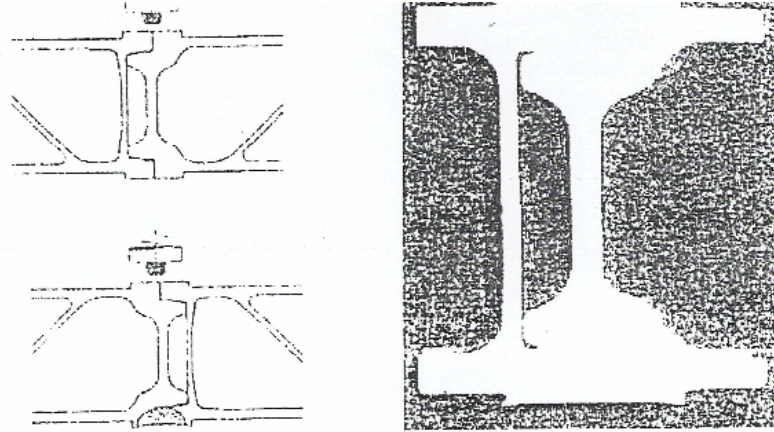
Sürtünme karıştırma kaynağında uygulanabilir birleştirme türleri; küt alın, bindirme, T köşe, dış ve iç köşe, boyuna ve çevresel birleştirmelerdir. Ayrıca bu yöntem yerçekiminin etkisi olmadığından (sıvı metal akışı olmayacağı için) tüm pozisyonlarda rahatlıkla uygulanabilir [31].



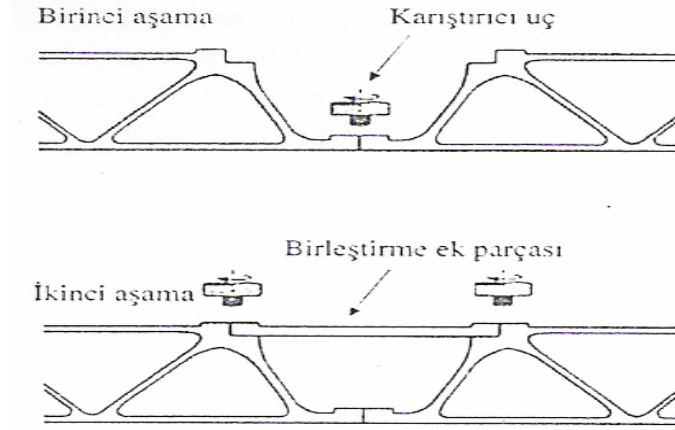
Şekil 2.10. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulanarak gerçekleştirilen birleştirmeler. a) Küt alın birleştirme b) Birleştirilmiş ek ve bindirme birleştirme c) Bindirme d) Çoklu bindirme e) İki pasolu T- köşe birleştirme f) Tek pasolu T- köşe birleştirme g) Dış köşe birleştirme h) İç köşe birleştirme [32]

Merkezi İngiltere’de bulunan TWI hem doğrusal hem de dairesel hareket edebilen sürtünme karıştırma kaynak aparatları geliştirmiştir. Geliştirilen büyük kaynak aparatları ise iki veya üç kaynak kafası bulunacak şekilde yapılmışlardır. Bununla birlikte kafa sayısı artırılabilir sistemlerde geliştirilmiştir.

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde daha kuvvetli dikişler elde etmek mümkün olmakla birlikte kaynak ağzı açma problemi de yoktur. Şekil 2.11’de sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen alüminyum panelin dizayn şekli ve birleştirme sonrası kaynak bölgesi makro yapısı gösterilmektedir. Şekil 2.12’de tren gövdesinde kullanılan alüminyum panellerin birleştirilmesinde kullanılan ek parçanın sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirme aşamaları gösterilmektedir. Birinci aşamada karıştırıcı ucun girebileceği bölgeden panelin alt kısmı içten birleştirilmiştir. İkinci aşamada ise, ek bir parça kullanılarak her iki uçtan birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir [25].



Şekil 2.11. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen alüminyum panelin dizayn şekli ve birleştirme sonrası kaynak bölgesi mikro yapısı [25].



Şekil 2.12. Tren gövdesinde kullanılan alüminyum panellerin birleştirilmesinde kullanılan ek parçanın sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirme aşamaları [25].

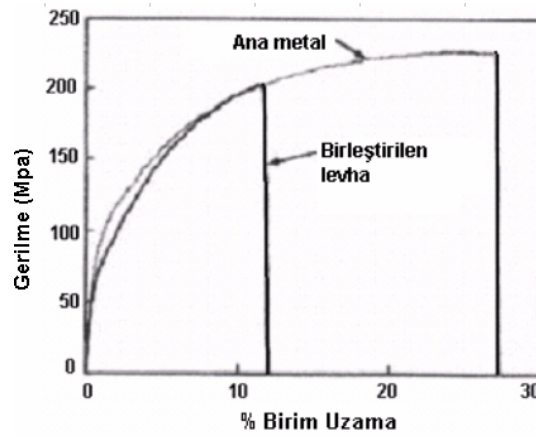
2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Malzemeler ve Birleştirme Özellikleri

Döküm-döküm alüminyum alaşımlarında, döküm-dövme alüminyum alaşımlarında, sıvı hal kaynak yöntemleri ile kaynağı güç olan 0,8 mm kalınlığındaki çinko saçların kaynağında, düşük karbonlu çeliklerde, orta karbonlu çeliklerde, metal matrisli kompozitlerde, plastiklerde, farklı iki malzemenin kaynaklarında, bakır alaşımlarında, kurşun titanyum ve çinko alaşımlarında bu yöntem başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen malzemeler ve birleştirme parametreleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Ayrıca zırh kaliteli alüminyum saçların sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği üzerine mekanik testler yapılmıştır. Dayanıklılığı yüksek ve üstün balistik performansı olduğu bilinen zırh kaliteli alüminyum alaşımlı halen deniz kuvvetlerinin gelişmiş Amfibrik Taarruz araçlarında (DGATA) kullanılmaktadır. Geleneksel MIG/MAG ve TIG kaynağı ile yapılan belirli 2519 kaynak tipleri maalesef gerekli balistik eleme testlerinden geçememişlerdir. Testten geçememek, birçok kaynaklı birleştirme tasarımının araç yapımında kullanılmasını engellemektedir. Balistik eleme sırasında 2519’un kusuru diğer alüminyum zırhları ile kıyaslandığında nispeten düşük genleşilme özelliğine atfedilmiştir.

2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynak Bağlantılarında Mekanik Özellikler

6 mm kalınlığında %3 Al, %0,9 Zn, %0,3 Mn, %0,003 Fe, %0,002 Ni, %0,002 Cu, %0,2 Si içeren magnezyum alaşımı AZ31'in sürtünen eleman ile birleştirme kaynağı üzerine yapılmış bir çalışmada oluşturulan bağlantının mekanik özellikler incelenmiş ve gerilim uzama değişimi Şekil 2.13'de verilmiştir. Diyagramda başlangıçta her iki gerilim hemen hemen aynı değerlerde olmaktadır. Kaynaklı bağlantının %12'lik uzamasına karşın esas metalin daha fazla uzama gösterdiği ortaya çıkmaktadır [9].



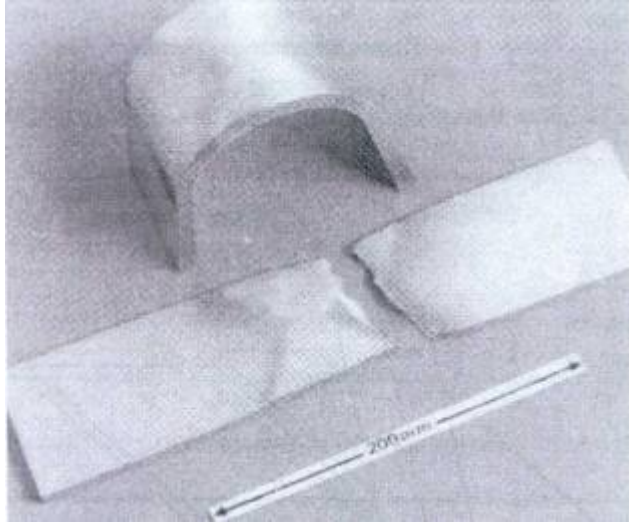
Şekil 2.13. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi için gerilim - % birim uzama diyagramı [9]

Uygun kaynak koşullarında gerçekleştirilen kaynak metali, tümüyle boşluk ve çatlaklardan arındırılmış haldedir. Sürtünme karıştırma kaynağı eğritme kaynağı ile kıyaslandığı zaman bazı üstünlükleri olduğu görülmektedir. Kaynak edilen malzemelerin ısıdan etkilenmesi dolayısıyla mekanik özelliklerdeki kayıp minimumdur. Sürtünme karıştırma kaynağı katı hal kaynak yöntemi olduğu için çatlak ve gözenek oluşumu gibi ergitme kaynağında karşılaşılan problemlere rastlanmamaktadır. Alaşım elementi yanması olmadığından kaynak metalinde alaşım elementi kaybı da yoktur. Bu yüzden alaşım bileşimi korunmuş olur. Takımın ezme, karıştırma ve dövme hareketleri sayesinde, ince taneli bir kaynak metali ve IEB (Isıdan Etkilenmiş Bölge) elde etmek olanağı vardır. Ayrıca çift taraftan kaynak yaparak kalın parçalarında birleştirilebilmeleri mümkündür. Bu şekilde 75 mm kalınlığındaki 6082 Al – alaşımı levhalar başarı ile çift taraftan kaynak edilmişlerdir. Çekme deneyinde bu yöntem ile elde edilen kaynak numunesi ergitme kaynağından

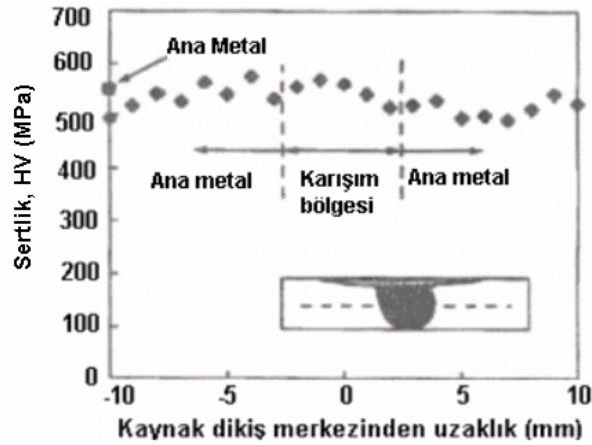
daha iyi performans göstermiştir, arıca 180° bükme deneyinde her hangi bir çatlama tespit edilmemiştir [31].



Şekil.2.14. Çift taraftan sürtünme karıştırma kaynağı yapılarak birleştirilmiş 75 mm kalınlığındaki 6082 Al – alaşımı levhalar [31]



Şekil.2.15. Çift taraftan sürtünme karıştırma kaynağı yapılarak birleştirilmiş 75 mm kalınlığındaki 6082 Al – alaşımı levhalardan çıkarılmış numunelerin çekme ve 180° eğme deneyi sonuçları [31]



Şekil.2.16. Sürtünme karıştırma kaynağında sertlik dağılımı [31]

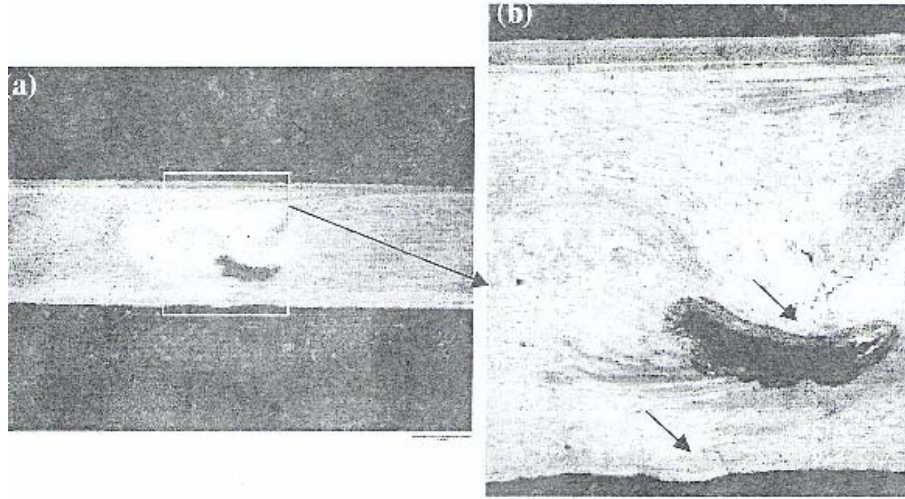
2.6. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Malzemelerde Oluşan Hatalar

Sürtünme karıştırma kaynağında genellikle üç tip kaynak hatası karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki kaynak yüzey kalitesinin düşük olmasıdır (Şekil 2.17). Bu kusur kaynak yapılacak levhaya karıştırıcı ucun uygun bir şekilde daldırılmaması ve pim omzunun yüzeye temasının düzgün yapılamamasından dolayı kaynak hattı boyunca karıştırıcı ucun hareketinin istikrarsız olmasından kaynaklanmaktadır [33].



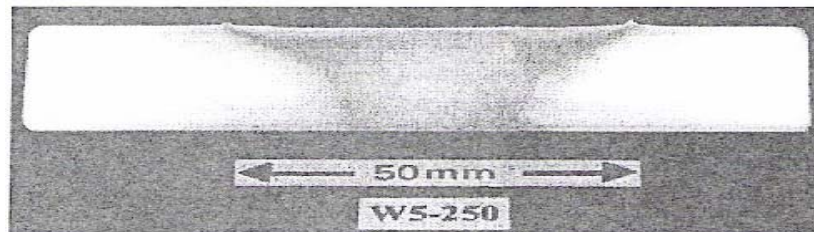
Şekil 2.17. Sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen kaynak yüzey kaliteleri. a) İstikrarlı karıştırıcı uç ilerlemesi ve b) İstikrarsız karıştırıcı uç ilerlemesi [33].

Sık karşılaşılan ikinci kusur, karıştırıcı ucun batma derinliğinin yetersizliğinden dolayı tabana yakın kısımda karıştırılmamış bölge (yetersiz nüfuziyet) kalmasıdır (Şekil 2.18). Sürtünme karıştırma kaynağında karşılaşılan sonuncu fakat en önemli kaynak kusuru kaynak dikişinde tünel şeklinde porozite oluşmasıdır



Şekil 2.18. Sürtünme karıştırma kaynağında düz yüzeyli karıştırıcı uç kullanımından dolayı oluşan tünel şeklindeki porozite ve batma derinliğinin iyi ayarlanmamasından kaynaklanan karıştırılmamış bölge. a) Kaynak dikişinin kesit görünüşü ve b) hataların detaylı görünüşü [33].

Bu hatanın nedeni, karıştırıcı uç yüzeyinin düzgün olması, yani karıştırıcı uç yüzeyine helisel diş açılmamasıdır. Yüzeyinde diş açılmamış karıştırıcı uç kullanıldığında, sürtünmeden açığa çıkan ısı ile akıcı çamur kıvamına gelen malzeme aşağıya doğru bastırılmakta, dolayısıyla bu sorun söz konusu olmaktadır. Dikkat edilecek olursa, kaynak kusurunun nedeni karıştırıcı uç dizaynı ve proses parametrelerinin düzgün seçilmeyişidir. İyi bir karıştırıcı uç dizaynı, karıştırıcı ucun kaynak yapılacak levhaya daldırılma işleminin iyi kontrol edilmesi ve batma derinliğinin kaynak boyunca iyi ayarlanıp sabit tutulması ile kaynak kusurları elimine edilerek kusursuz bir kaynak elde edilebilir.



Şekil 2.19. SKK ile alın kaynağı yapılmış 25 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımı [33].

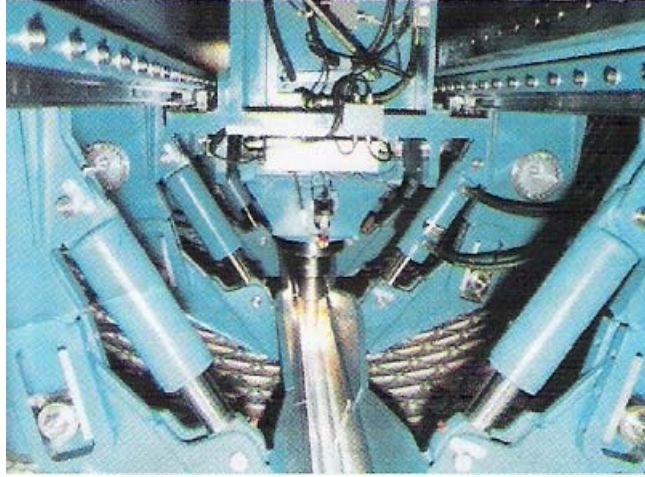
2.7. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniğinin Uygulama Alanları

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, bulunmasını takiben, ilk olarak endüstriyel anlamda İsveç ve Norveç gemi yapım endüstrilerinde kullanılan 6xxx serisi alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde, daha sonra da Avustralya, İsveç ve Norveç otomotiv endüstrilerinde kullanılmıştır. Burada da kullanılan alaşımlar 6xxx serisi alüminyum alaşımları olmuştur.

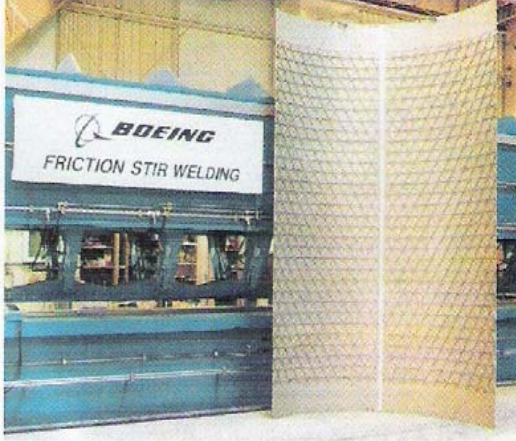
Tablo 2.2. SKK kaynak yönteminin başlıca uygulama alanları [12].

Endüstri Kolu	Uygulama Alanları
Uzay ve Havacılık	Yakıt tankları, uzay aracı omurga parçaları, kanatlar, gövdeler ve kuyruk takımları, uçak yakıtı tankları, askeri veya özel roketler, helikopter iniş platformları, özel alaşımlı gövde yüzey destekleri, hatalı MIG kaynağı yapılan yerlerin onarımı.
Zırhlı Taşıt Yapımı	Zırhlı taşıt alüminyum yan panellerin kaynağı.
Alüminyum Parça Üretimi	Büyük boyutlu ekstrüzyon elemanları, dikişli alüminyum boru üretimi
Otomotiv	Otobüs ve kamyon şaseleri, jantlar, tanker depoları
Konstrüksiyon	Köprüler, denizüstü petrol platformlarının elemanları, pencere çerçeveleri, fabrika bacaları.
Gıda	Alüminyum bira varilleri.
Raylı Taşıt Yapımı	Lokomotif ve vagon şaseleri, yüksek hızlı trenlerin yüzey sacları ve diğer biçimlendirilmiş parçaları.
Soğutma	Sıfırlı sıcaklıklarda çalışan borular ve ısı esanjörü parçaları.
Gemi Yapımı	Gemi yan panelleri, güverte elemanları, ağırlıktan tasarruf için üretilmiş hafif yapı elemanlarının kaynağı.
Basınçlı Kap ve Kazan Üretimi	Sıvılaştırılmış gaz taşıma tankları, alüminyum reaktör parçaları.

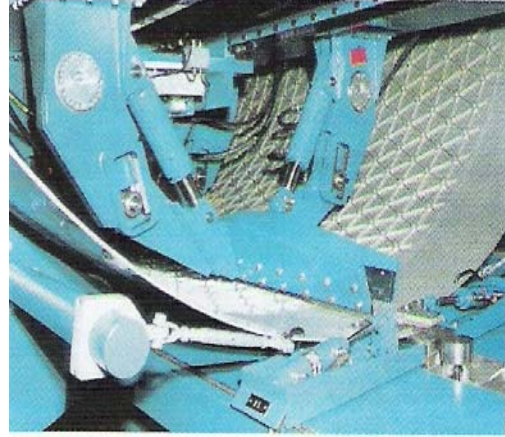
Yöntem daha sonra, havacılık ve uzay teknolojilerinde Amerika'da Boeing tarafından üretilen Delta II ve Delta III roketlerinin kaynağında kullanılmıştır (Şekil 2.20 ve 2.21). 2500 mm çapındaki yakıt tanklarının çevresel kaynak dikişleri SKK yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.20. Boeing yapımında SKK yönteminin kullanılması [12]



a) Boeing'de tasarlanan SKK kaynaklı ilk tam boyut tankın bir kısmı



b) Delta II,III'ün SKK kaynaklarının iç kısımdan yatay pozisyonda yapılması

Şekil 2.21. Boeing'de SKK yönteminin kullanılması [12]

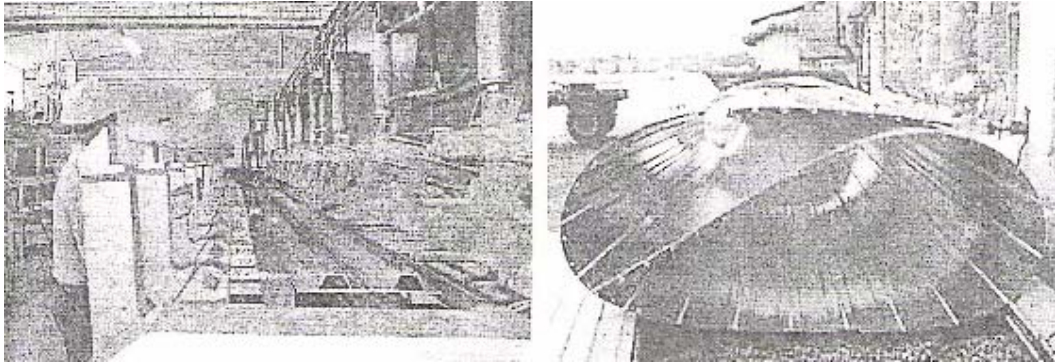
2.7.1. Gemi endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları

Sürtünme karıştırma kaynağı ile ilgili ilk ticari uygulama, balıkçı gemilerinin derin dondurucularının oluklu alüminyum panellerinde kullanılmıştır. Bu kaynak yöntemindeki minimum distorsiyon ve yüksek verimlilik, teknik ve ekonomik yönden sert panel üretiminde bu prosesi cazip kılmaktadır. Bu yöntem ile, Japonya'da alüminyum petek paneller ve deniz suyunun korozyon etkisine dayanıklı panellerin üretimi yapılmaktadır. Yüksek hız feribotlarında kullanılan standart boydaki alüminyum ekstrüzyon panelleri sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmektedir [23].



Şekil 2.22. SKK yöntemi kullanılan yüksek hızlı kataraman türü deniz taşıtı [12]

Ergitme kaynaklarına kıyasla ısı girdisinin düşük olması panellerdeki distorsiyon ve kalıntı gerilmelerini minimum düzeyde olmasını sağlamaktadır. Norveç'te bulunan Hydro Marine Alüminyum firmasında üç yılda 70 km uzunluğunda alüminyum ekstrüzyon paneli sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiştir [23].



Şekil 2.23. Alüminyum ekstrüzyon panellerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi [23].

Gemi endüstrisinde bu kaynak tekniği ile birleştirilen parçalar şunlardır:

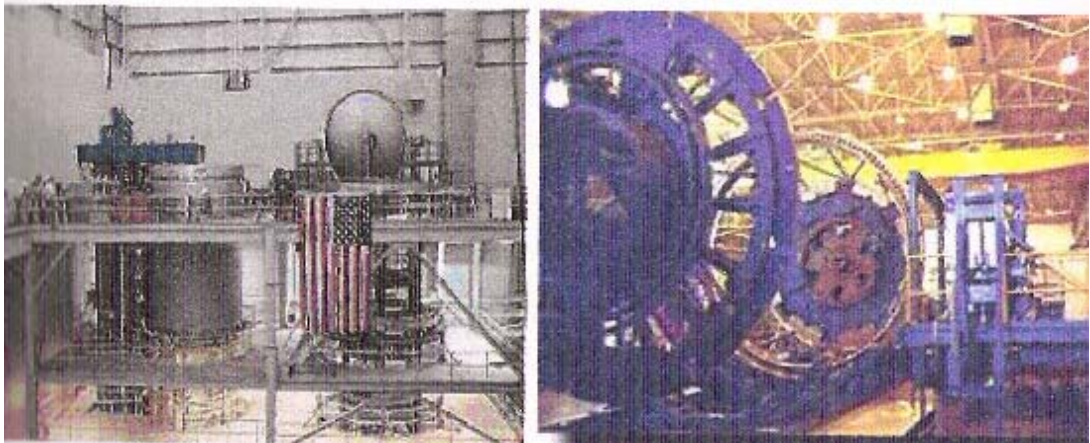
- (1) Gemi güvertesi, kenarı, döşemesi ve kabin bölmelerinde kullanılan panellerin birleştirilmesi.
- (2) Gemi üzerinde inşa edilen helikopter iniş platformu
- (3) Kıyıdan uzak deniz içi platformların yapımı
- (4) Yelkenli gemilerde kullanılan gemi direği ve selen imalatı
- (5) Balıkçı teknelerinde kullanılan soğutucu veya dondurucu kabin imalatı

- (6) Feribotların alüminyum güverte imalatı
- (7) Deniz suyuna dayanıklı ve bal peteği panellerin imalatı

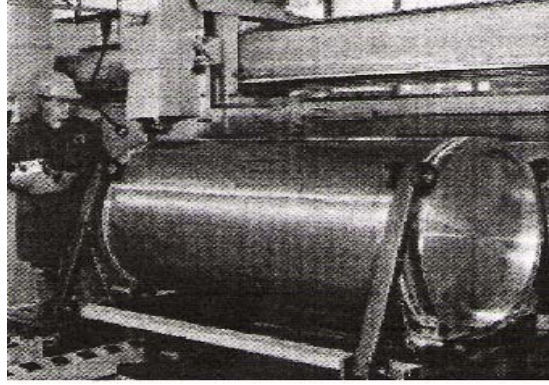
2.7.2. Uçak ve uzay endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları

1993 yılında NASA, Lockheed Martin Laboratuvarından, Space Shuttle External Tank projesinde (uzay mekiklerinin yakıt tanklarında) AA 2219 alüminyum alaşımı yerine kullanılmak üzere daha yüksek mukavemetli, düşük yoğunluk ve hafiflikte bir malzeme geliştirilmesi için talepte bulunmuştur. Bunun üzerine Al-Li 2195 olarak bilinen çok daha hafif yeni bir alüminyum alaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu alaşım sayesinde External Tank projesinin (yakıt tankı) ağırlığı yaklaşık 3500 kg azaltılmıştır.

Al-Li 2195 alaşımının ergitme kaynağı çok zor olmakta ve kaynak bölgesinin mukavemeti göz ardı edilemeyecek kadar düşmektedir. Dolayısıyla, bu uygulama için mukavemet düşüşünün daha düşük seviyede olduğu bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı ideal bir birleştirme yöntemidir. Günümüzde, Al-Li 2195 alaşımından üretilen uzay mekiklerinin yakıt tanklarının son kubbe kısımlarının kaynağında bu yöntem başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [33].



Şekil 2.24. Space Shuttle External tank projesi ve Marshall Space Flight Center laboratuvarlarındaki sürtünme karıştırma kaynak sistemlerinden görüntüler [34]



Şekil 2.25. Prototip bir yakıt tankının TWI'de SKK yöntemi ile birleştirilmesi [35]

Sürtünme karıştırma kaynağı yolcu uçakları gibi hafif alüminyum iskeletli yapılarda büyük potansiyel arz etmektedir. Boeing Şirketi, ince alın, bindirme ve T birleştirmeleri ile çeşitli havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılacak kalın alın kaynaklarında bu yöntemi kullanma çalışmalarına son zamanlarda büyük hız verilmiştir. Şu ana kadar, uçakların iniş takımlarının kapaklarında ve bazı savaş uçaklarının kaportasında ince T birleştirmelerinde (sandviç montaj) sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış ve test uçuşları başarı ile sonuçlanmıştır.

Eclipse Aviation Corporation'da, üreteceği özel jetlerde perçinleme ve yapıştırma yerine; maliyet ve montaj zamanından tasarruf amacıyla sürtünme karıştırma kaynağını kullanmaya karar verdiğini açıklamıştır. Bu, belki de sürtünme karıştırma kaynağının ilk büyük havacılık denemesi olacaktır. Bu günlerde deneme uçuşlarının yapılması beklenmekte ve sonuçlarına göre imalatta kullanmaya elverişli olup olmadığına karar verilecektir [33].

Sürtünme karıştırma kaynağının bu endüstrideki diğer uygulamaları şunlardır:

- (1) Uçak kanatları ve gövdeleri, kuyruk takımı
- (2) Taşıtlar için yakıt tanklarını soğutma ünitesi
- (3) Uçuş yakıt tankları
- (4) Askeri uçaklar için dıştaki atım tankları
- (5) Askeri araştırma ve roketleri
- (6) Hatalı MIG kaynaklarının tamiri [36]

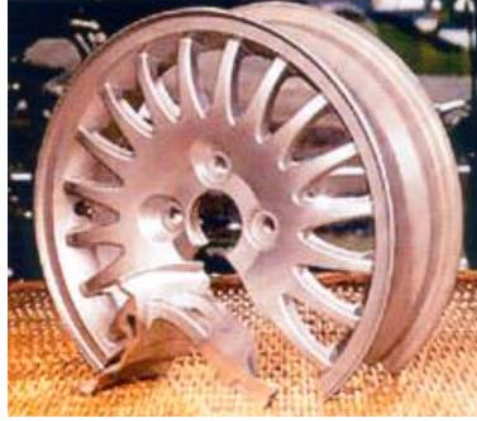
2.7.3. Otomotiv endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları

Ulaşım sektöründe alüminyum ekstrüzyonlarının birleştirilmesinde vidalama, perçinleme, yapıştırma, bağlama ve kaynak gibi bir çok birleştirme metodu kullanılmaktadır. Kaynak metodu imalatta yüksek mukavemet istendiği durumlarda kullanılır. Yakıt tasarrufu ve yüksek hız elde etmek amacıyla otomobil imalatında, alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için sürtünme karıştırma kaynak tekniği kullanılmaya başlanmıştır [33].

Otomotiv sektöründe sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen parçalar:

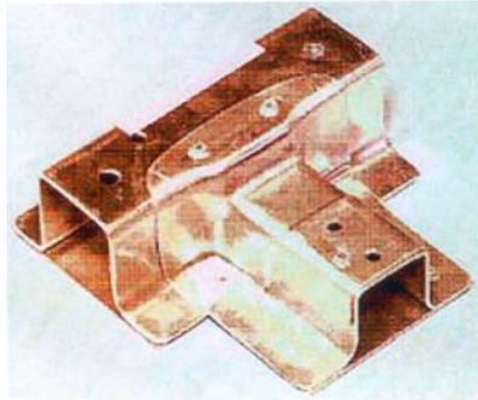
- (1) Motor ve şasi yatakları,
- (2) Alüminyum alaşımlı jant imalatı, jantın göbek kısmı dökme alüminyum alaşımından olup, dövme alüminyum alaşımı olan dış kısmı ile sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirme yapılmaktadır,
- (3) Yakıt depoları,
- (4) Karavan imalatı,
- (5) Hava alanlarında kullanılan yolcu ve yük taşıma alanları,
- (6) Motosiklet ve bisiklet gövdeleri,
- (7) Taşınabilir vinç imalatı,
- (8) Otomobil gövde parçalarının imalatı,

Sürtünme karıştırma kaynağının otomotiv sektöründe ilk uygulamalarından biri Hydro Marine Aluminium (Norveç) firması tarafından protip otomobil jantlarının iki parçasının birleştirilebilmesidir (Şekil 2.26). Yöntem, ayrıca alüminyum esaslı arabalarda iç kapı panellerinin yapımında ve süspansiyon kolları gibi küçük çaptaki parçaların üretiminde kullanılmıştır. Amerika'da Smith Corporation sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanarak ilk prototip motor tezgahlarını geliştirmiştir. Yine aynı yıllarda Amerika'da Tower Automotive, Simulform olarak adlandırılan şasi parçalarının bağlantısı için bağlantı elemanları ve özel gövde yapıları üretmiştir [36].



Şekil 2.26. SKK yöntemi ile birleştirilen Al-alaşımı prototip otomobil jantı [36]

Halen, otomotiv endüstrisindeki yüksek üretim oranları, rekabetçi üretim ortamları ve düşük maliyet gereksinimleri geleneksel olan diğer birleştirme tekniklerinin uygulanmasına neden olmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı otomotiv parçalarında, alüminyum birleştirmelerde kayda değer bir potansiyel artışı sağlamakla beraber otomotiv sektöründe kullanılabilirliği sınırlıdır. Otomotiv endüstrisindeki yoğun üretim nedeniyle, bu yeni teknolojiyi uygulamaya geçirmek için bir hayli zamana ihtiyaç duyulması beklenmektedir. Kaynak teknolojisindeki gelişme hızlandığında artırılmış üretim için büyük potansiyel, özel parçaların büyük oranda üretiminin sağlanması sonucunda açığa çıkacaktır. Yüksek kalite ve yükseltilmiş kaynak mukavemeti, ağırlık azaltışını mümkün hale getirecektir. Özellikle Mg-alaşımının otomotiv sektöründe bu yeni kaynak teknolojisi sayesinde kullanımı ile ağırlıktan tasarruf daha da artırılabilir [33].



Şekil 2.27. SKK yöntemi ile üretilmiş bağlantı parçası örneği [37]

2.7.4. Hızlı tren üretiminde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları

Modern yolcu vagonlarının imalatında, alüminyum ekstrüzyonlardan üretilen petek paneller daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu panellerde, uzun Al-ekstrüzyonlar aralarına sıklık artırıcı destekler yerleştirilerek birleştirilmektedir. Bu sayede, hem çarpışmalarda emniyet hem de bükme kuvvetlerine dayanım artırılmaktadır.

Klasik ergitme kaynağı, özellikle yüksek mukavemetli Al-alaşımalarında ITAB bölgesinde aşırı mukavemet kaybına sebep olduğu için, son yıllarda Almanya ve İngiltere’de meydana gelen hızlı tren kazalarında daha dayanıklı kaynaklara ihtiyaç duyulduğu gerçeği ortaya çıktı.

Sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak bölgesinde daha düşük seviyelerde mukavemet kaybına neden olduğundan cazip bir alternatif oluşturduğu için son yıllarda Avrupa ve Japonya’da hızlı tren vagonlarının üretiminde bu kaynak teknolojisi ile imal edilen Al-alaşımı petek paneller kullanılmaya başlanmıştır [33].

Sürtünme karıştırma kaynağının bu endüstrideki diğer uygulamaları şunlardır:

- (1) Yüksek hızlı trenler,
- (2) Tren yolunun mevcut yokuşlu yerleri, pist alt yapı, tramvaylar,
- (3) Demiryolu tankerleri ve vagonlar,
- (4) Vagon şaseleri ve çatıları,
- (5) Konteyner grupları [36].



Şekil 2.28. Hitachi tarafından yapılan, tek taraftan tüm uzunluk boyunca sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış olan bir tren [12]



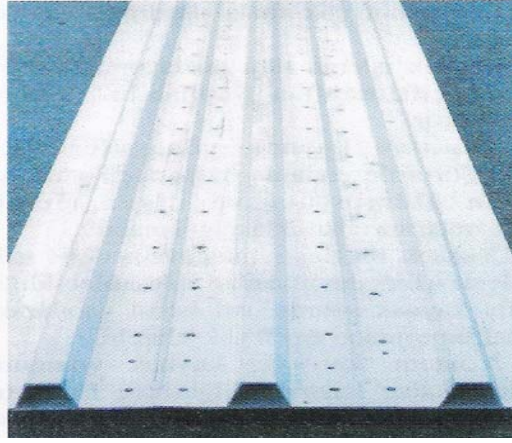
Şekil 2.29. Hitachi tarafından yapılan, çift taraftan tüm uzunluk boyunca sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış olan bir hızlı tren [12]



Şekil 2.30. Japonya’da taban panellerinin kaynağının SKK yöntemi ile Sumitomo hafif metal firmasında yapılan Shinkansen tipi 700 standard yüksek hızlı bir tren [12]



Şekil 2.31. Saatte 170 mil hız yapabilen E3 türü yüksek hızlı tren [12]



Şekil 2.32. SKK yöntemi kullanılarak kaynak edilmiş alüminyum panel görüntüsü [12]

2.7.5. İnşaat endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları

İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum, kurşun veya titanyumdan yapılmış ön cephe panelleri, alüminyum veya bakırdan yapılmış dış cephe panellerini imalatında, alüminyum köprüler, cam çerçevelerinin imalatında sürtünme karıştırma kaynak tekniği kullanılmaktadır.

Ayrıca alüminyum merdiven, asansör kabini, alüminyum nakil boruları, pencere kasası imalatında da kullanılmaktadır. Enerji santrallerinde ve kimya sanayinde kullanılan alüminyum reaktör imalatında, sıcaklık değişimleri ve hava şartlandırıcıları, boru üretimi, ısı eşanjörleri ve klima imalatında da bu birleştirme tekniği kullanılır [33].

2.7.6. Elektrik sanayinde sürtünme kartrma kaynağı uygulamaları

Elektrik motor koruyucusu, elektrik bağlama çubuğu ve bazı elektrik bağlantılarında SKK tekniği kullanılmaktadır [25].

2.7.7. Sürtünme kartrma kaynağının diğer uygulama alanları

- (1) Buz dolabı panelleri,
- (2) Beyaz eŐyalar,
- (3) PiŐirme ekipmanları ve mutfaklar,
- (4) Motor ve Şasi kzакları,
- (5) Gaz tankları, yakıt tankları ve gaz merdivenleri
- (6) Zırhlı taşıtlar,



Şekil 2.33. SKK tekniği kullanılarak boyuna ve çevresel kaynakları yapılmış cryogenik bir tankın görünüşü [12].



Şekil 2.34. SKK tekniği kullanılarak bazı kısımları kaynak edilmiş zırhlı taşıt [12].

- (7) Hidroform olan tüplerin bağlanan parçaları,
- (8) Kamyon gövdesi,
- (9) Mobil vinçler,
- (10) Karavanlar,
- (11) Otobüs ve hava taşımacılığı taşıtları,
- (12) Motosiklet ve bisiklet yapıları,
- (13) Asansörler,
- (14) Alüminyum arabaların tamiri,
- (15) Alüminyum üreticileri; büyük parçalar, dikişli borular ve taşıyıcı tanklar,
- (16) İçecek alanında; bira fiçileri,
- (17) Soğutma sistemleri alanı; soğutucu borular ve eşanjörler,
- (18) LPG nakil ve depolama teknelerinde gövdeler,
- (19) Basınçlı kaplar; sıvı gaz tankları [36].

2.8. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniğinin Avantajları

- (1) Farklı özelliklerdeki malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesine uygundur. Ergitme kaynağı ile birleştirilemeyen malzemeler ve kompozitler bu teknik ile kolaylıkla birleştirilirler.
- (2) Uygun kaynak parametreleri ve karıştırıcı uç kullanıldığı takdirde güvenilir ve sağlam bir birleştirme elde etmek mümkündür. Ergitme tekniği ile birleştirilen malzemelerin mukavemet değerleri ile karşılaştırıldığında sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen parçaların yorulma, çekme ve eğme mukavemetlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- (3) Birleştirme işlemi malzemenin ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki katı faz aşamasında gerçekleştirildiğinden, ergitme kaynağı ile birleştirilmesi zor olan 2000 ve 7000 serili alüminyum alaşımlarının birleştirilmesine uygun bir tekniktir.
- (4) Kaliteli bir karıştırıcı ucun kullanılması ile 100 m uzunluğuna kadar alüminyum levhaların hatasız birleştirilmesi ile panel haline getirilmeleri mümkün olmaktadır.
- (5) Alüminyum alaşımlarının yüzeyinde bulunan ince oksit tabakasını temizlemeden birleştirme yapılabilir.

- (6) Katı hal birleştirme tekniği olan sürtünme karıştırma tekniği ile alüminyum alaşımlarını birleştirmede, sıvılaşma ve katılaşma çatlakları oluşmaz.
- (7) Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde plastik deformasyon sayesinde, ana metale göre kaynak metalinde daha ince taneli bir yapı ve yeniden kristalleşme meydana gelir.
- (8) Kaynak metali içerisinde buharlaşma olmadığı için alaşım elementi kaybı olmaz. Dolayısıyla malzemenin alaşım içeriği aynı kalır.
- (9) Kaynak dikişi sonunda eğer otomatik karıştırma aparatı kullanılırsa anahtar deliği hatası oluşmamaktadır.
- (10) İnsan sağlığına zararlı kaynak dumanı ve radyasyonun olumsuzlukları ile karşılaşılmaz.
- (11) Ergitme kaynağında görülen ergiyik metal sıçrama problemi ve ark oluşumu yoktur.
- (12) Kaynak dikişi uzun olsa bile, oldukça az malzeme çarpılması meydana gelir.
- (13) Otomatik karıştırma aparatı sayesinde değişik kalınlıklardaki malzemelerin tek bir karıştırma aparatı kullanılarak birleştirilmesi mümkündür.
- (14) Kaynak metalinde gözenek oluşumu problemi ile karşılaşılmaz.
- (15) Tüm kaynak pozisyonlarına uygundur.
- (16) Enerji tasarrufu sağlar.
- (17) Ergiyen ilave metal kullanmaya gerek yoktur.
- (18) Koruyucu gaz kullanımına gerek duyulmaz.
- (19) El kabiliyeti iyi olan usta kaynakçıya gerek duyulmaz.
- (20) Kaynak dikiş kenarında oluşabilecek çapakları temizlemek haricinde, taşlama ve firalamaya gerek yoktur [13-20-25-38].

2.9. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniğinin Dezavantajları

- (1) Kaynak hızı ergitme kaynak yöntemlerine göre daha yavaştır. Örneğin; piyasada kullanılan makinelerle 5 mm kalınlığındaki 6000 serisi alüminyum alaşımı için maksimum 750 mm/dakikalık bir hızla çalışabilmektedir.
- (2) Birleştirilecek parçalar oldukça düzgün sabitlenmelidir. Sabitleme içi için hidrolik baskı pabuçları veya mengeneler kullanmak gerekir.

- (3) Kaynak dikişi sonunda oluşan ve özellikle boru kaynaklarında problem olan anahtar deliği oluşur.
- (4) Kaynak dikişi sonunda karıştırıcı ucun çıkarılmasıyla oluşan kaynak sonu anahtar deliği probleminin çözümü için kaynak dikişi sonuna ek parça yerleştirilir ve kaynak işlemi bu parça üzerinde bitirilir [13-20-25-38].

BÖLÜM 3. Cu-Zn ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK KABİLİYETİ

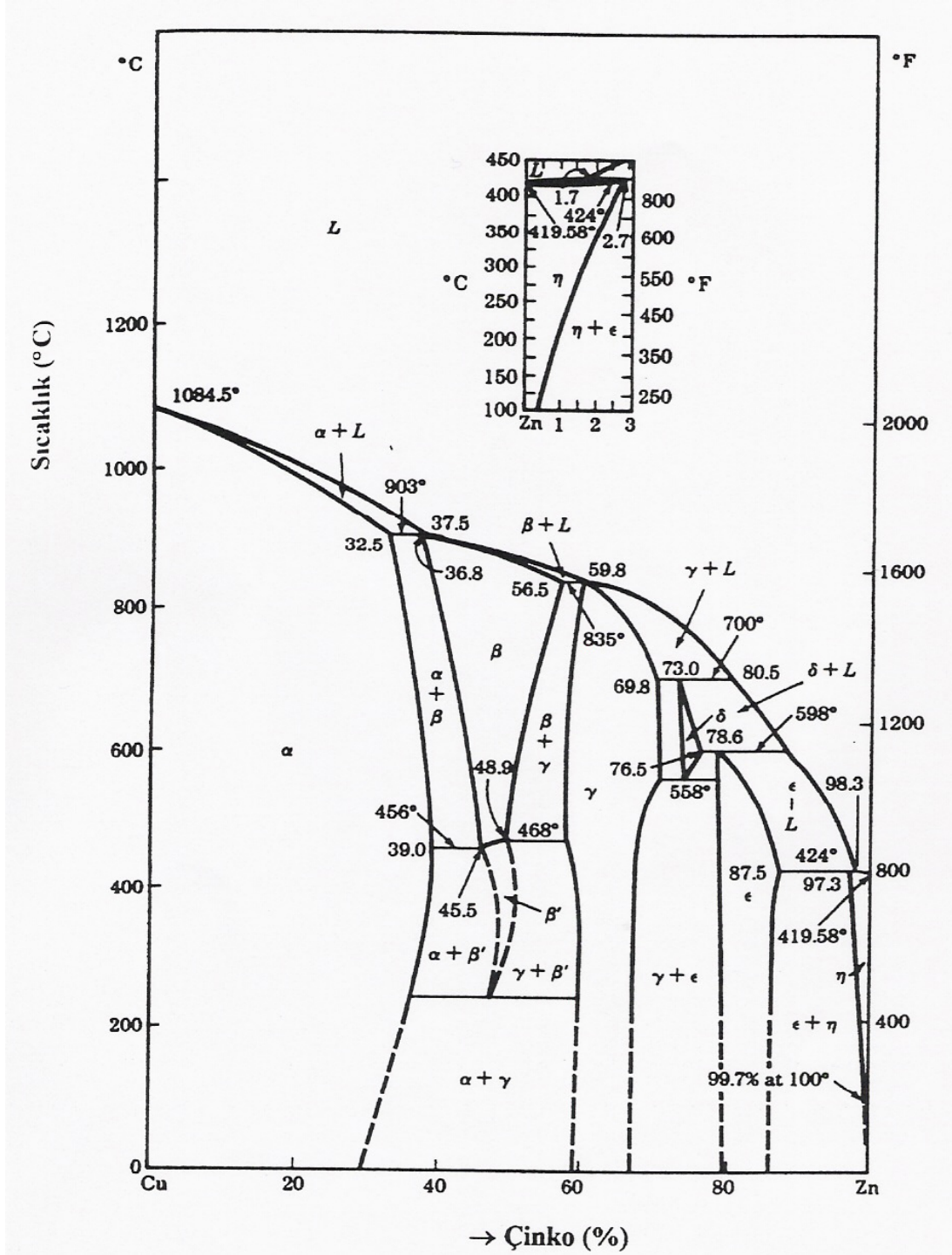
3.1. Cu-Zn Alaşımlarının Faz Diyagramı ve Kafes Sistemi

Cu-Zn alaşımları, yüzyıllardan beri mühendislik uygulamalarında çok sık olarak kullanılan mühendislik malzemelerindendir. Günümüzde Cu-Zn alaşımı malzemeler için imalat ve yeniden kullanabilme teknolojisi, kullanıcılarının ihtiyacını karşılayacak kadar ilerlemiş durumdadır.

Cu-Zn alaşımı malzemeler bir çok mühendislik uygulamasında ilk tercih edilen malzemelerdendir. Uygun bileşimdeki Cu-Zn alaşımının (pirincin) seçilmesi ile istenilen mukavemet, süneklik, sertlik, iletkenlik, şekillendirilebilirlik, aşınma dayanımı, renk ve korozyon dayanımı özelliklerine sahip malzemeler elde edilir.

Cu-Zn alaşımı malzemeler kolayca kalıba dökülerek, ekstrüzyonla, haddelemeyle, çekerek, sıcak veya soğuk şekillendirme ile üretilebilirler. Bunun yanında pirinçler fiyat olarak seçilebilecek ucuz malzemelerdendir. Çok geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Cu-Zn alaşımından yarı mamuller, imalatçılardan ve stokçulardan ihtiyaç duyulduğu her zaman kolaylıkla temin edilebilir. Cu-Zn alaşımı malzemeler darbe karşısında kıvılcım çıkarmazlar. Bu nedenle kıvılcım çıkmasının tehlike oluşturduğu durumlarda Cu-Zn alaşımı malzemelerin kullanılması uygundur.



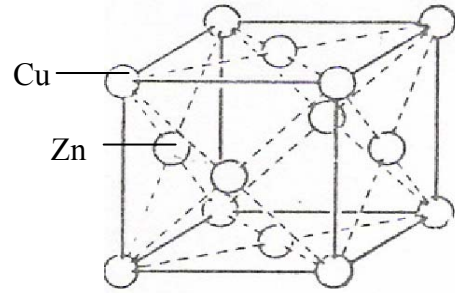
Şekil 3.1 Bakır-çinko alaşımı diyagramı [39]

Şekil 3.1’de verilmiş olan Cu-Zn alaşım faz diyagramından görüleceği üzere Cu ve Zn’nin ergime noktaları farklıdır. Tablo 3.1’de farklı kimyasal bileşimdeki Cu-Zn alaşımları için ergime sıcaklıkları verilmiştir. Alaşım içerisinde çinko miktarının artması ile alaşımın ergime sıcaklıkları düşmektedir. Cu-Zn faz diyagramına

bakılacak olursa; bakır yüzey merkezli kafes yapısında 456 °C'de en çok % 39 çinko çözüdürebilir, bu durum α -katı çözeltisi olarak adlandırılır (Şekil 3.2).

Tablo 3.1. Cu-Zn alaşımlarının ergime sıcaklığının artan çinko miktarı ile değişimi

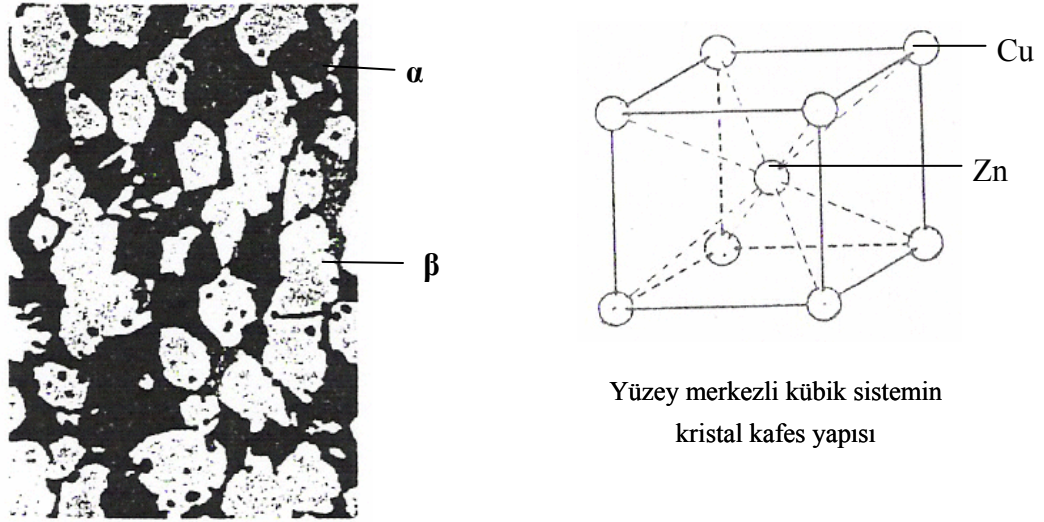
	% 0 Zn	% 10 Zn	% 20 Zn	% 30 Zn	% 40 Zn	% 50 Zn	% 60 Zn	% 70 Zn	% 80 Zn	% 90 Zn	% 100 Zn
Ergime Sıcaklığı (C)	1083	1040	995	930	900	880	820	780	700	580	419



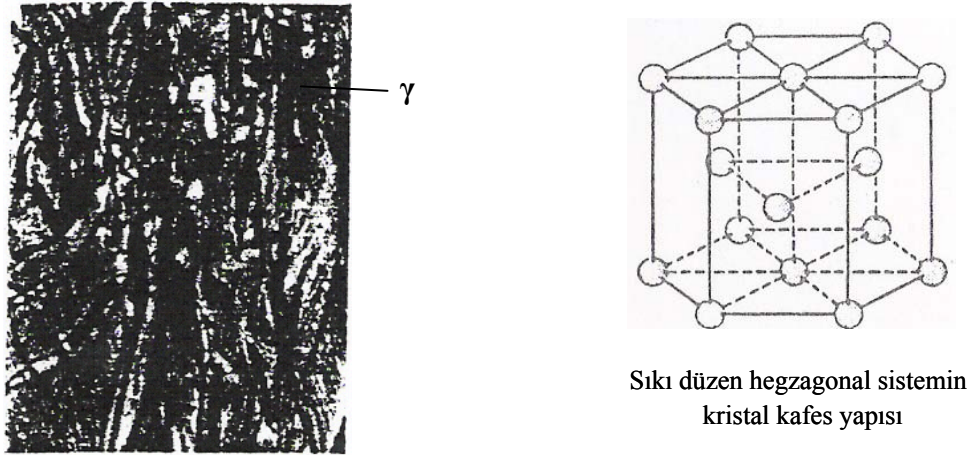
Yüzey merkezli kübik sistemin kristal kafes yapısı

Şekil 3.2 α -pirincinin iç yapı görünümü ve kristal kafes yapısı [39]

Eğer alaşım % 39'dan fazla çinko içerecek olursa diğer bir faz olan $\alpha+\beta$ -fazına dönüşür. β -fazı hacim merkezli kübik kafes yapısına sahip olup, 902 °C ve % 37 çinko oranında meydana gelen peritektik reaksiyon sonucunda oluşur (Şekil 3.3). Cu-Zn alaşımlarında, alaşım % 55 çinko oranını aştığı zaman, meydana gelen bir katı çözelti gama (γ) fazıdır (Şekil 3.4). Gama fazı çok gevrek, bu yüzden ticari Cu-Zn alaşımlar içerisinde yer almaz.



Şekil 3.3 β -pirincinin iç yapı görünümü ve kristal kafes yapısı [39]



Şekil 3.4 γ -pirincinin iç yapı görünümü ve kristal kafes yapısı [39]

3.2. Cu-Zn Alaşımlarının Özellikleri

Cu-Zn alaşımı malzemelerin saf durumdaki fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de verilen bakır ve çinkonun oluşturmuş olduğu alaşımlardır. Çeşitli Cu-Zn alaşımlarında az miktarda kurşun , silisyum, mangan, nikel ve alüminyum gibi alaşım elementlerini de görmek mümkündür. Alaşım elementleri alaşımın özelliklerini değiştirir. Örneğin az miktardaki alüminyum, alaşımın deniz korozyonuna karşı dayanımını, % 1-2 kurşun ilavesi ise talaşlı işlenebilirliğini artırır.

Cu-Zn alaşımları eşsiz kombinasyon özellikleriyle birçok parçanın imalatında kullanılabilen malzemelerdendir. İyi olan mukavemet ve süneklik çok iyi olan korozyon ve işlenebilirlik ile birleşince vazgeçilmez bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Cu-Zn alaşımı malzemenin seçilmesinin nedenleri aşağıda verilmiştir. Bunlar;

- (1) Mükemmel işlenebilirliğe sahiptir.
- (2) İyi bir ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir.
- (3) Özelliklerini kaybetmeden geri dönüşümü mümkündür.
- (4) Sünektir ve dövülebilir.
- (5) Kıvılcım çıkarmaz.
- (6) İyi bir şekilde kaplanabilir.
- (7) Bir çok boyutlarda temin edilmesi mümkündür.
- (8) İyi bir korozyon dayanımı vardır.
- (9) Mukavemet iyidir, bakırdan daha mukavemettir.
- (10) İyi bir darbe dayanımı vardır.
- (11) Güzel bir rengi vardır.
- (12) Aşınma dayanımı iyidir.
- (13) 200 °C'nin altında birçok fiziksel özelliklerini kaybetmez.
- (14) Güneş ışığından zarar görmez.
- (15) Fiyatı oldukça uygun olup bakırdan daha ucuzdur.

Tablo 3.2'de bakır, çinko ve CuZn30 alaşım malzemesinin çeşitli yönlerden karşılaştırılması verilmiştir. Tablo 3.2'den anlaşılacağı üzere pirinç malzemeler bir çok yönden bakırdan daha üstündür. CuZn30 alaşımına Amerika'lılar "kovan pirinci" adını vermişlerdir. CuZn30 alaşım malzemeler darbe karşısında kıvılcım çıkarmazlar, bu nedenle kıvılcım çıkmasının tehlike oluşturduğu durumlarda bu durumu engellemek için CuZn30 alaşım malzemelerin kullanılması uygundur.

CuZn30 alaşımının rengi ise içermiş olduğu çinko miktarına göre bakırın kırmızılığında sarının çeşitli tonlarına doğru değişir. CuZn30 alaşımları kuvvetli bir sarı renge sahip olur ve bu tip alaşımlar sarı metal olarak adlandırılır. Bu nedenle CuZn30 alaşımlar estetik ve uzun ömrün gerektiği dekoratif uygulamalarda da çok kullanılırlar. Ayrıca yüksek mekanik özelliklere sahip olduğundan: savunma sanayi,

otomobil radyatörleri, ampul duyları, müzik aletleri ve yığma vidacılık gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir [40].

Tablo 3.2. Saf bakır, saf çinko ve CuZn30 alaşımının bazı fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması

	Saf Bakır	Saf Çinko	CuZn30
Atom numarası	29	30	
Atom ağırlığı	63,54	65,37	
Yoğunluğu (g/cm ³)	8,933	7,134	8,55
Ergime sıcaklığı (°C)	1083	419,47	930
Kaynama noktası (°C)	2590	907	
Kafes sistemi (20 °C'de)	ymk	sdh	ymk-hmk
Isı iletim katsayısı (20 °C'de) (W/mK)	394	110	113
Elektrik iletkenliği (20 °C'de) (Sm/mm ²)	58	16	15
Isıl genleşme katsayısı (20 °C - 300 °C'de) (10 ⁻⁶ /K)	17,7	31	20,5
Elastisite modülü (kN/mm ²)	125	94	110
Çekme dayanımı (kN/mm ²)	200		360
Kopma uzaması (%)	45		67

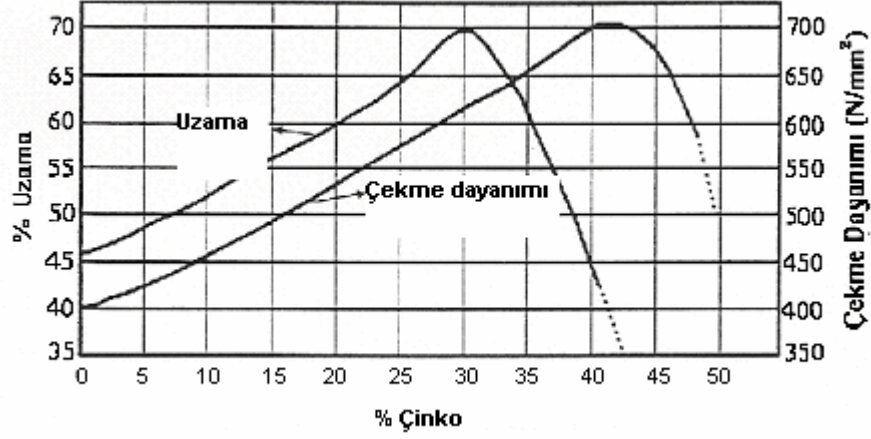
3.2.1. Mukavemet

Cu-Zn alaşımı malzemeler yumuşatılmış durumda sünek ve mukavemeti iyidir, haddeleme ve çekme gibi soğuk şekillendirme teknikleri ile serleştirildiği zaman mukavemetleri önemli ölçüde artar.

Cu-Zn alaşımlarının mukavemeti 200 °C'nin altında önemli ölçüde değişmez, 300 °C civarında ise sadece % 30 azalır. Bu özellik Cu-Zn alaşımı malzemelere alternatif olarak kullanılabilen bir çok malzeme yoktur. Yüksek mukavemet gereken uygulamalar için yüksek mukavemetli Cu-Zn alaşımlar bulmak mümkündür. Bu tip Cu-Zn alaşımlar mukavemet artırıcı ilave alaşım elementi içerirler.

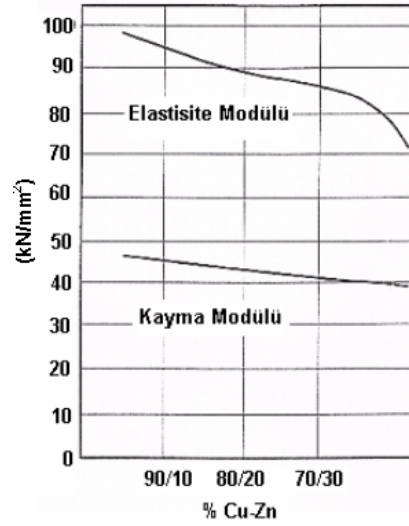
Cu-Zn alaşımlarının özellikleri alaşımdaki çinko miktarına bağlıdır. Cu-Zn alaşımlarının mukavemeti alaşımdaki çinko miktarının artması ile yükselir ve maksimum değerlere ulaşır (Şekil 3.5). Diğer taraftan Cu-Zn alaşımlarının korozyon

dayanımı ve süneklığı artan çinko miktarı ile azalır. Çinko oranının yaklaşık %34 olduğu noktada mukavemet ve süneklığın kombinasyonunun en iyi olduğu değere ulaşılır.



Şekil 3.5. Cu-Zn alaşımı malzemelerin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerinin artan çinko miktarı ile değişimi [40]

Diğer mekanik özelliklerden elastisite modülü artan çinko miktarı ile önemli ölçüde değişirken, kayma modülü yine artan çinko miktarı ile daha az düşüş göstermektedir (Şekil 3.6).

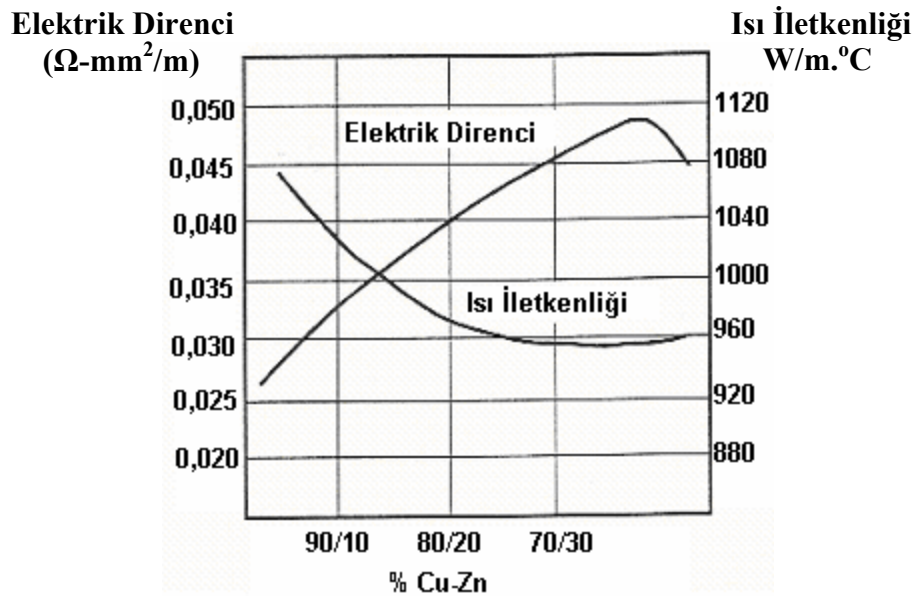


Şekil 3.6. Cu-Zn alaşım malzemelerin elastisite ve kayma modülünün artan çinko miktarı ile değişimi [40]

3.2.2. Elektrik ve ısı özellikleri

Cu-Zn alaşımlar iyi bir ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yine çok iyi olan korozyon dayanımı ile birleşince ev ve endüstride kullanılan elektrik gereçlerinin yapımında Cu-Zn alaşımları seçilebilecek ideal bir malzeme yapar. Kondensatör ve ısı değiştiricilerinde kullanıldığında borularda iyi bir ısı iletkenlik olması istenildiği için Cu-Zn alaşım malzemeler bu gibi kullanımlar için ön plana çıkar.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi, alaşım içindeki çinko miktarının artmasıyla malzemenin elektrik direnci artarken ısı iletkenliği de düşmektedir.



Şekil 3.7. Cu-Zn alaşım malzemelerin elektrik direnci ile ısı iletiminin artan çinko miktarı ile değişimi [40]

3.2.3. Süneklik ve biçimlendirilebilirlik

İçermiş olduğu bakır oranı %63’den fazla olan Cu-Zn alaşımlar 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

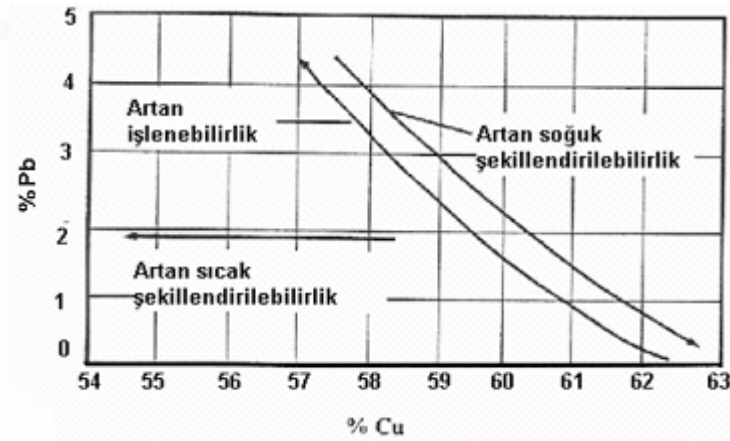
sıcaklığındaki süneklik düşer, fakat bu tip alaşımlar büyük ölçüde haddeleme, ekstrüzyon, dövme ve presleme yöntemleriyle sıcak olarak şekillendirilebilir.

3.2.4. Aşınma dayanımı

Cu-Zn alaşım içerisinde alaşım elementi olarak bulunan kurşun Cu-Zn alaşıma yağlama etkisi kazandırır. Bu nedenle saat gibi çeşitli araçların dişli, plaka gibi parçaları düşük sürtünme katsayı ve düşük aşınma özelliği sebebiyle Cu-Zn alaşım malzemelerden seçilebilir.

3.2.5. Talaşlı işlenebilirlik

Tüm Cu-Zn alaşım malzemeler iyi işlenebilmekle birlikte, çok az miktarda kurşun içeren Cu-Zn alaşımlarda işlenebilirlik biraz daha fazladır (Şekil 3.8). Bu Cu-Zn alaşımlar iyi işlenebilir Cu-Zn alaşımlar olarak bilinir. Bunun yanında diğer metallerle karşılaştırıldığı zaman Cu-Zn alaşımların talaş kaldırma oranı metallerde daha fazladır.



Şekil 3.8. Cu-Zn alaşım malzemelerin şekillendirilebilirliği üzerine bakır ve kurşunun etkisi [40]

3.2.6. Korozyon dayanımı

Cu-Zn alaşım malzemelerin korozyona karşı dayanımı son derece iyidir, bu özellik bir çok uygulama için Cu-Zn alaşımının ilk seçim olmasını sağlar. Cu-Zn alaşım malzeme seçilerek korozyona karşı dayanım hem doğal hem de ekonomik olarak sağlanmış olmaktadır. Cu-Zn alaşım malzemeler atmosfere açık bir ortamda bulunduğu zaman malzemeyi korozyona karşı koruyacak düzeyde çok ince bir tabaka oluşur. Fakat Cu-Zn alaşımında meydana gelen yüzeydeki bu tabaka, bazı bakır çatı kaplamalarında çok sık olarak görülen ve malzeme yüzeyinde oluşan patina adı verilen ince yeşilimsi tabakadan farklıdır. Cu-Zn alaşım malzemeler sonsuza dek atmosfer korozyonundan etkilenmeden kalabilir. Çünkü Cu-Zn alaşımlar demir ve çelik gibi paslanmazlar. Uygun Cu-Zn alaşımının seçilmesi durumunda deniz suyunda da korozyona uğramadan rahatlıkla kullanılabilir. Cu-Zn alaşımından yapılmış borular, burçlar, manşonlar, vanalar, merkezi ısıtmalar, deniz suyu hatları, buhar kondensatörleri uzun zamandan beri uygulamada yer bulmaktadır. Mangana içeren yüksek mukavemetli Cu-Zn alaşımlar özellikle atmosfer korozyonuna karşı son derece dayanıklıdır. Sürekli atmosfere açık olmanın bir sonucu olarak bu tür Cu-Zn alaşımların rengi yavaş yavaş bronzun koyuluğuna dönüşür.

3.2.7. Maliyeti

Cu-Zn alaşım malzemeler çok yakın toleranslarda kolayca işlenebilmesinden dolayı imalat maliyeti oldukça düşüktür. Bununla beraber Cu-Zn alaşım malzemelerin talaşlı işlenmesi esnasında takımlarda meydana gelebilecek aşınma, bozulma miktarı oldukça düşük olduğundan imalat maliyeti ayrıca düşmektedir. Cu-Zn alaşımların korozyon dayanımının yüksek olmasından dolayı diğer bir çok malzemede gerekli olan korozyondan koruma maliyetinden kaçınılmış olunuyor.

3.3. Cu-Zn Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti

Malzemelerin kaynak esnasındaki davranışları sadece malzemelerin 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 edilmeyebilir. Bu nedenle kaynağa uygunluk kavramı uygulanacak yöntem ile birlikte düşünülmelidir. Kaynağa uygunluk aşağıdaki faktörlerce belirlenir:

- a) Kimyasal bileşim
- b) Üretim koşullarına bağlı metalurjik koşullar
- c) Fiziksel özellikler

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

Üretim yöntemi, deoksidasyon 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 [41].

Cu-Zn alaşımlarının kaynağı genellikle alışımlı ergitme kaynak yöntemleriyle zordur. Çünkü pirinç yüksek ısı iletkenliğine sahip olup bu iletkenlik çoğu çeliklerden ve nikel alaşımlarından 10-100 kat daha fazladır. Pirinç malzemeler Cu ve Zn alaşımıdır. Kaynak sıcaklığı; örneğin TIG kaynağında hemen hemen 4200 °C, elektrot kaynağında yaklaşık 3200 °C kaynak işlemi esnasında iş parçasında oluşan sıcaklıktır. Bu sıcaklıklar, her ikisinin de ergime ve kaynama sıcaklıklarını aşmaktadır (Bakır 1083/2590 °C, Çinko 419/907 °C). Ayrıca, çinkonun buharlaşmasıyla oluşan çinko oksitinin ergime derecesi 1970 °C'dir. İş parçasından çinkonun ve bakırın kaynak işlemi esnasında buharlaşmasının sebebi budur. Çinko bakırdan daha düşük kaynama sıcaklığında buharlaşmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı bakır ve çinko buharlaşmasının önüne geçebilmek için pirincin birleştirilmesinde kullanılan katı hal kaynak tekniklerinden biridir [42].

3.4. Cu-Zn Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Çizelge 3.3. Bakır alaşımlarına kaynak yöntemlerinin uygulanabilirliği [43]

Bakır Alaşımları	Kaynak Yöntemleri					
	TIG	MIG	Elektrik ark Kaynağı	Nokta Kaynağı	Sürekli Dikiş Kaynağı	Direnç Alın Kaynağı
CuAsP	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
CuMn2	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Tavsiye edilir
CuMn5	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Tavsiye edilir
CuSi2Mn	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun Değil	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir
CuSi3Mn	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun Değil	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir
CuZn30	Uygun	Uygun *	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun
CuZn20Al	Tavsiye edilir	Uygun *	Uygun	Uygun	Uygun Değil	Uygun
CuNi12Zn24	Uygun	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	Uygun
CuNi25Zn15	Uygun	Uygun Değil	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
CuSn6	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Tavsiye edilir
CuSn8	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Tavsiye edilir
CuNi10Fe	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Tavsiye edilir
CuNi30Fe	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir
CuAl5	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
CuAl10Ni	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Uygun
G-CuCr	Uygun	Uygun	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun
G-CuZn34Al2	Uygun	Uygun *	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun
G-CuZn15Si4	Uygun	Uygun *	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun
G-CuSn10	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Tavsiye edilir
G-CuSn10Zn	Uygun	Uygun	Uygun Değil	Uygun	Uygun	Tavsiye edilir
G-CuNi10	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Uygun	Uygun	Tavsiye edilir
G-CuNi30	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir	Tavsiye edilir
G-CuAl10Fe	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
G-CuAl10Ni	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun

* Çinko içermeyen kaynak ilave malzemeleri kullanılır.

3.4.1. Elektrik ark kaynağı

Elektrik ark kaynağında kaynak parametreleri, kaynak edilen metal veya alaşım ile kaynak edilen metalin türü, boyutları, kaynak ağzı geometrisi, kaynak pozisyonu ergime gücü ve bağlantıdan beklenen özellikler göz önüne alınarak tespit edilir.

Kaynak işleminden iyi sonuç alınabilmesi için kaynakçı ark ve kaynak banyosunu etkileyen parametreleri iyi tanımalı ve bunların hangi şartlarda değişeceğini bilmelidir. Yumuşak ve sakin yanan bir ark seçilen bütün parametreler birbirleriyle dengede olduğu zaman meydana gelir.

Isı girdisi: Bir kaynağı kaliteli kabul edilebilmesi için kaynak metali ile esas metal arasında iyi bir birleşme ve bu birleşmenin bağlantı boyunca sürekli olması gerekir. Bir başka deyişle, kaynak 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 ve sürekliliğin sağlanması uygun elektrot hareket tekniğine, doğru kaynak hızının uygulanmasına bağlıdır.

Bir kaynak işleminin başarısı aynı zamanda bağlantıdaki ısı girdisine de bağlıdır. Kaynak yapılacak alana ısı verilir verilmez, metal daha düşük sıcaklıkta olduğu için ısı metal yoluyla iletilerek uzaklaşmaya başlar ve sonuçta metal üzerinde farklı noktalarda farklı sıcaklıklar ortaya çıkar. Dolayısıyla ergime elde edebilmek için bağlantıya sağlanan ısı girdisi hızının, esas metale olan ısı iletimi hızından daha büyük olması gerekir. Bu nedenle esas metalin ısıl iletkenliği kaynak şartlarının seçiminde göz önüne alınması gerekli olan en önemli faktörlerden birisidir.

İş parçasını kaynaktan önce ısıtmak (yani ön tavlama), kaynak ile levha arasındaki sıcaklık farkını azaltır ve ergime sıcaklığına daha hızlı ulaşmaya yardımcı olur. Metalin ısı iletkenliği artan sıcaklıkla azaldığından, ön tavlama bu durumdaki ikinci bir işleve de sahip olmuş olur. Levhanın ısıtılarak ısı iletkenliğinin düşürülmesi levhaya olan ısı iletim hızında azalmaya da neden olur.

Akım şiddeti: Kaynakta kullanılan akım şiddetinin, ergime gücüne, kaynak dikışı boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha çoktur. Aşırı yüksek akım şiddeti çok geniş bir kaynak banyosu ve derin bir nüfuziyete neden olduğundan ince parçaların kaynağında delinmelere neden olabilir. Çok düşük akım şiddeti ise yetersiz nüfuziyete neden olabilmektedir.

Kaynak hızı: Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi yada birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanır. Kaynak hızı yarı mekanize yöntemde kaynakçı, otomatik veya tam mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanır.

Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim boya yığılan kaynak metali artar. Bu da kaynak banyosunun büyümesine ve nüfuziyetin artmasına neden olmaktadır. Kaynak hızının artması birim boya verilen ısının azalmasına neden olduğundan nüfuziyeti azalır. En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerlerinde elde edilir.

Hem gerilim hem de akım arktaki ısıtmaya katkıda bulunduğundan bunların herhangi birindeki değişim nüfuziyeti etkileyecektir. Ancak gerilimin kaynak sırasındaki şiddeti başka faktörler göz önüne alınarak saptanır. Kaynak dikişinin genişliği ve yüzey profili ark uzunluğuna bağlı olup buda gerilimle çok yakından ilişkilidir.

Genel olarak yüksek gerilimler (yani uzun ark boyu) geniş basık kaynak dikişleri ve ark kararsızlığı riski verir. Aynı zamanda oksijen ve azot ark sütunu içine çekilebilirler. Diğer taraftan çok düşük gerilimler (yani kısa ark boyu) kaynak ağızlarında yetersiz ergime olasılığı ile birlikte yüksek profile sahip dar kaynak dikişleri oluşturur. Bu nedenle kaynak sırasında kararlı bir arkın olduğu ark boyu ve gerilimi seçilmelidir.

Çalışma şekli: Hafif alaşımlı bakırın gümüşlü (% 0,03-0,10), kadmiumlu (% 0,7-2,0), tellürlü (% 0,3-0,7), kromlu (% 0,5-0,9), berilyumlu (% 1,8-2,0) ların elektrik ark kaynağı genellikle bahis konusu olamaz.

Pirinçlerin çok geniş bir Cu-Zn alaşımları sınıfı oluşturması, bunlara kurşun, alüminyum, kalay ve manganezin ilavesiyle bu sınıfın daha da genişlemesi, kaynakta çok farklı davranışların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Nitekim kurşun içeren imalat Cu-Zn alaşımları (CuZn39 Pb1 ve CuZn39 Pb2) gözenekli kaynaklar hasıl edip sıcakta gevrekleştiklerinden bunların kaynakla değil, sert lehimleme ile birleştirilmeleri tercih edilir. Keza kaynakta bir refrakter alümin filminin oluşması nedeniyle MIG ve TIG kaynağı tercih edilir. Cu-Zn alaşımlarının elektrik ark

kaynağında bakır malzemenin ergime sıcaklığı daha fazla olduğu için çinko buharlaşması sorun yaratır. Şöyle ki; çok iyi bir havalandırma sistemi gerektirdiği gibi birleştirmelerde malzeme kaybına yol açarak birleştirmenin mukavemetini düşürür. Bu yüzden Tablo 3.3'de elektrik ark kaynağının CuZn30 alaşımları için uygun olmadığı belirtilmiştir.

Çinko oranının % 20'yi geçmemesi halinde (örneğin kırmızı pirinç) fosforlu bronz veya silisyumlu bakır elektrot kullanılacaktır. Çinko oranının % 20'yi geçmesi halinde (örneğin Muntz metal) yine fosforlu bronz, alüminyum bronz ve de silisyumlu (% 2,8-4,0) bakır elektrot kullanılır. Alüminyum bronz elektrot, yüksek çekme ve yorulma mukavemeti ile iyi bir korozyona dayanımın arandığı hallerde kullanılır.

İyi sonuç almak ve çinko buharlaşmasını asgariye indirmek için bütün kaynağın yerde yatay pozisyonunda ve pratik olarak en büyük çaplı elektrotla uygulanması gerekir. E Cu Al-A2 elektrotu kullanıldığında arkı, küçük bir banyo içinde çalışmak ve salıntı hareketiyle yavaşça ilerlemek, çinko kaybını asgariye indirir. Akım şiddeti mümkün olan en üst düzeyde olacaktır.

E Cu Sn-A ve E Cu Sn-C elektrotlarıyla, azami akım şiddeti ve hızlı kaynak, ince ip dikiş çekişiyle birlikte uygulanacaktır.

Her ne kadar silisyum bronzları için gaz korumalı ark kaynak yöntemleri tercih ediliyorsa da, E Cu Si ve E Cu Al-A2 elektrik ark kaynak elektrotlarıyla da orta derecede kaliteli kaynaklar elde edilebilir. Silisyum bronzlarının ısı iletkenlikleri diğer bakır alaşımlarıninkilere göre daha aşağı olduğundan bu bronzların kaynağı daha kolay olmaktadır. Bu nedenle de bunların ağız hazırlıkları, çeliklerinki gibi olabilir. Küt alın kaynağı 4 mm kalınlığa kadar uygulanabilir ve daha büyük kalınlıkta malzeme, 60°'lik tek veya çift V ağızıyla birleştirilir.

Silisyum bronzları sıcakta çatlama eğiliminde olup ön ısıtma istenmez. Pasolar arası sıcaklığın 93 °C'yi geçmemesine dikkat edilecektir. Dikişler salıntısız, dar ip şeklinde hızla çekilecek, akım şiddeti elektrot çapı için gösterilen alanın ortalarında

olacaktır. Kısa ark ve küçük bir kaynak banyosu, fazla ısıtmayı önlemeye yardımcı olur. İşin yukarıdan aşağı dik kaynak şeklinde tertiplenmesi tercih edilir.

3.4.2. Oksi-gaz kaynağı

Ağızların hazırlanması: Cu-Zn alaşımlarında kaynak ağızları bakırda olduğu gibidir. 3mm kalınlığına kadar küt alın, 3mm'den daha kalın parçalarda ise 80° V ağızıyla kaynak edilir. X ağızı sadece 20 mm'nin üzerinde kalınlıklarda kullanılır.

İyice rasplanmış kenarlar, kalınlığın 30 katı mesafelerde puntalanır. Puntalamadan sonra % 33 çinkolu alaşımda soğukta, % 40 çinkolu alaşımda da sıcakta bir düzlendirme önerilir.

Kaynak edilecek parçaların yoğurulmuş Cu-Zn alaşımdan olmaları halinde, 30 dakika ile 1 saat arasında 260 °C'ta bir gerilim giderme tavlamasında yarar vardır.

İlave metal ve dekapan: Bakırdan yana zengin ($Cu \geq \% 80$) Cu-Zn alaşımlarını kaynak etmek için çinkonun buharlaşmasını önlemek üzere genellikle silisyumlu bakırdan ilave metal çubukları kullanılır. Diğer Cu-Zn alaşımlarında ana metalinkine yakın bileşimde çubukla çalışılır. Ancak bu çubuk kaynak sırasında vaki olan çinko kaybını telafi etmek üzere biraz daha fazla (% 2-3) çinko içerecektir. Bir silisyum ilavesi de (çoğu kez % 1,5) önerilir.

Kullanılan dekapan boraks-borik asit tipinden olup bileşimi, ergime sıcaklığı ana metalinkinden en az 50 °C daha aşağı olacak şekilde ayarlanmış olacaktır.

Alevin ayarı: Cu-Zn alaşımının kaynağı fazla olmamak kaydıyla "oksitleyici" bir alev gerektirip bunda oksijen/asetilen oranı, pirincin çinko içeriğine bağlıdır ve maksimum 2/1'e varabilir.

Bu ayar çok önemli olup bu yolda küçük bir numune üzerinde bir ön deneme önerilir: Önce "normale" ayarlanmış bir alevle numune ergitilir. Bu ergime ile birlikte beyaz çinko oksiti buharları çıkar. Beyaz alevler az çok yok olana kadar

asetilen debisi tedrici olarak kısıılır. Bu zaman terk edilen metalin gözenek arz etmediği tahkik edilebilir. Kaynağın uzun sürmesi halinde kaynakçının bir maske yada aspiratörle korunması gerekir.

Çalışma Şekli: Ön ve ara ısıtmalar kalın parçalar veya bakırdan yana zengin Cu-Zn alaşımlarında çoğu kez yararlı olur. Ağız aralığı fazlaca ise, oluklu bir destek ön görülecektir.

Tercihen sola kaynak uygulanır. Kaynak sırasında çubuğun ucu alevin dışına çekilmeyecektir. Kaynaktan sonra curuf fırçalama ve sıcak suyla yıkama suretiyle temizlenir.

Bundan sonra dikiş soğukta (veya % 40 Zn'lularda sıcakta) çekiçlenebilir ve meneviş işlemine tabi tutulabilir. Böylece de, % 40 - % 50 uzama ile 350 N/mm² lik bir çekme mukavemeti arzeden kaynaklar elde edilebilir.

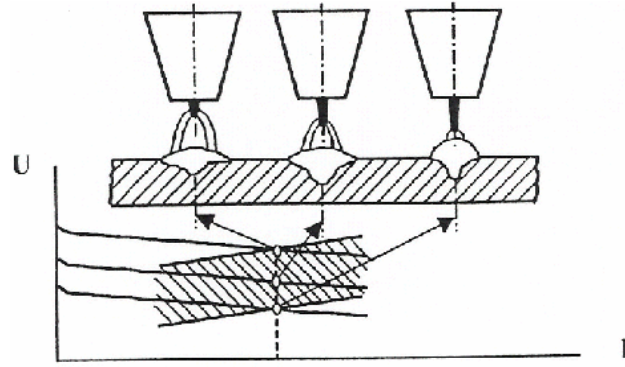
Pirincin alüminyum veya nikel gibi alaşım elementleri ile alaşım elementleri içermesi halinde bir refrakter oksit filminin oluşmasından kaçınmak üzere bir özel dekapanın kullanılması zorunlu olur. Buna karşın kalay, manganez ve silisyumun, kaynak sırasında herhangi bir hissedilir etkisi olmaz.

3.4.3. Cu-Zn alaşımlarının MIG kaynağı

Torç eğimi: Torcun, kaynağı yapılan iş parçasına tam dik olarak tutulması halinde koruyucu gazın, kaynak banyosunu ve elektrotu en iyi şekilde koruması sağlanmış olur. Kaynak banyosunu kontrol altında tutmak amacıyla torca verilecek eğim, kaynak dikişi nüfuziyeti üzerinde önemli ölçüde etkili olur.

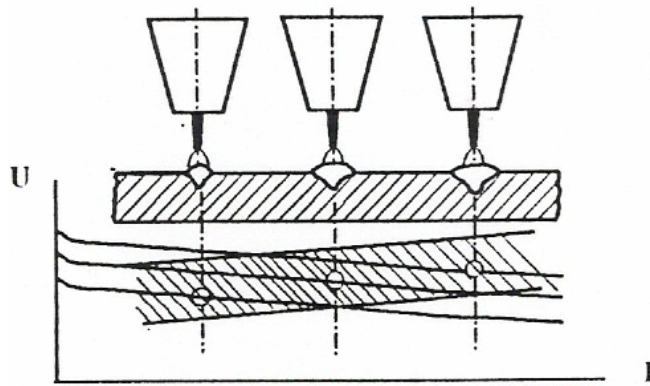
Gaz lülesi-malzeme mesafesi: Gaz lülesi ucunun iş parçası yüzeyine olan uzaklığı yeterli gaz korumasını sağlayacak kadar kısa, gaz akışını engellemeyecek kadar da uzun olmalıdır. Gaz lülesi iş parçasına uzaksa kaynak banyosu yeterince korunamaz, çok yakınsa kaynakçı kaynak banyosunu göremez. Bu durumda gaz lülesi fazla ısınır ve sıçramaların gaz lülesine yapışma olasılığı artar.

Ark gerilimi: Düşen karakteristikli akım üreteçlerinde ark gerilimi, elektrot ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık ile belirlenir. Bütün şartlarda aynı kaynak dikişini veren sabit bir ark boyu, aynı gerilim için helyum ve karbondioksit kullanılması halinde, argonun koruyucu gaz olarak kullanılması haline göre çok daha uzundur. Bütün bu parametreler sabit tutulmak koşuluyla ark geriliminin artması halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Artan ark gerilimi ile kaynak dikiş nüfuziyetinin değişimi

Uygulamada ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrot çapı, kaynak pozisyonu, kaynak ağız şekli ve iş parçasının kalınlığı göz önünde bulundurularak belirlenir. Şekil 3.10'da görüldüğü üzere nüfuziyet artan ark gerilimi ile optimum bir değere kadar artar ve bu değerden sonra azalma başlar. Küçük ark gerilimi dar ve şişkin kaynak dikişlerinin oluşmasına, çok küçük ark gerilimi ise gözeneklere neden olur.



Şekil 3.10. Ark gerilimi ile nüfuziyetin değişmesi

Çalışma şekli: Kurşunsuz hem alçak çinkolu tipler (kırmızı pirinçler), hem yüksek çinkolu tipler (sarı pirinçler, kalay pirinçleri ve özel pirinçler dahil) MIG ile kaynak edilebilirler. Cu-Zn elektrotlar kullanılmaz zira büyük çinko kaybı ve şiddetli duman ortaya çıkar.

E CuSnC ve E CuSi elektrotları kırmızı pirinçlerde iyi kalitede kaynaklar sağlar. Bunlardan ilkiyle kaynaklar daha iyi tutar; buna karşılık E CuSi daha iyi çalışma karakteristikleri verir. Şöyle ki; düşük akım şiddetinde iyi bir akıcılığa sahiptir. Daima DATK (elektrot +) kullanılır.

E CuSi ile 60° lik tel V ağzı uygulanır. Özellikle renk düşüncesiyle E CuSnC elektrot teli kullanıldığında onun yavaş akıcılığı nedeniyle daha büyük kalınlıklarda 70°lik V ağzına gidilir. Her iki telde kaynak metali kıyaslanabilir durumdadır. Amerika'da E CuSnC için helyum tercih edilmektedir.

Yüksek çinkolu pirinçler, % 20-40 veya daha fazla Zn içerirler; bunların tipik örneği Muntz metal olup E CuAl veya E CuSi teliyle MIG kaynağı uygulanabilir. Ancak alçak çinkolu kurşunsuz Cu-Zn alaşımlarına bu kaynak daha büyük güçlükler arzeder. Çinko dumanları daha yoğun ve dikişler daha gözenekli olur; mukavemet de mukavemet de daha azdır. Bunun için Amerika'da helyum kullanılır. Hem hadde mamulü, hem de dökme alaşımlar MIG yöntemleriyle birleştirilirler. Manganez bronzundan gemi pervaneleri gibi büyük kitlede parçalar bu yöntemle muntazaman tamir edilmektedir.

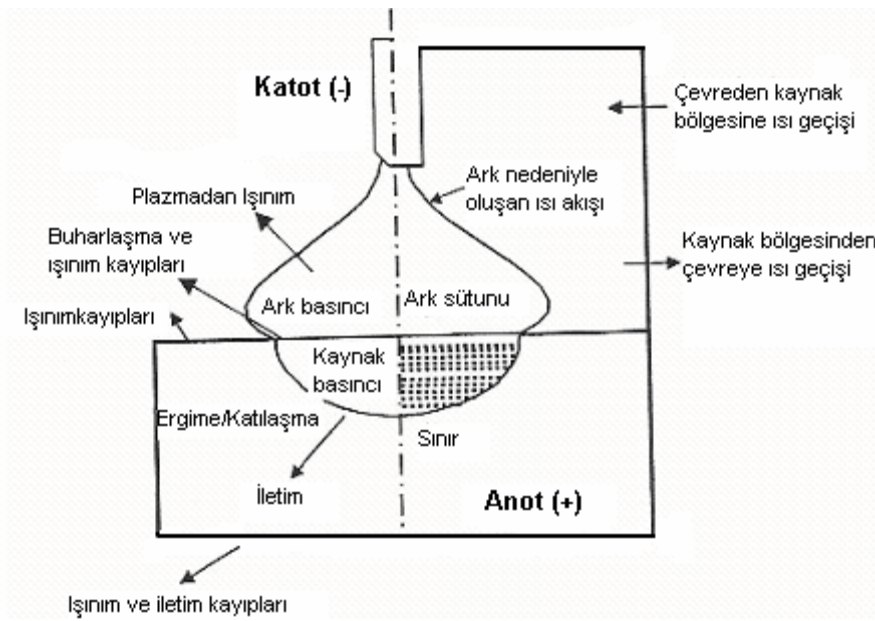
Ön ısıtma gerekmezse de akım şiddetini azaltma olanağını sağladığından çinko buharlaşmasını azaltır.

3.4.4. Cu-Zn alaşımlarının TIG kaynağı

Kutuplamanın etkisi: Nitelik olarak ark, iki elektrotun arasındaki aralık boyunca elektrik geçiştir. Bunun mümkün olabilmesi için aralıktaki atmosferin iyonize olması gerekir. Bunun anlamı ise gaz atomlarının elektron kaydederek pozitif yüklü hale geçmeleridir. Elektronlar katottan (-) anoda (+) doğru hareket ederek akım

akışını sağlarlar. Elektrik enerjisinin bir miktarı ark sütununda (Şekil 3.11) ısıya dönüşür ve çevredeki havaya radyasyonla yayılır. Ancak önemli bir kısmı elektrotun ucunda ve levha yüzeyinde serbest kalır.

Arkta sağlanan toplam enerjinin levhayı ergetmek için kullanılan kısmı, esas metalin anot mu yoksa katot mu olduğuna (güç ünitesinin kutuplarına) bağlıdır. Soy gaz koruması altında volfram elektrotun kullanılması durumunda ısının yaklaşık 1/3'ü katotta, 2/3'ü anotta oluşur.



Şekil 3.11. Bir kaynak arkında ısının dağılımı

Koruyucu gaz debisi: Koruyucu gaz debisi, akım şiddeti, kaynak pozisyonu ve seçilen gaz lülesinin çapına göre ayarlanır. Çok düşük gaz debisi yetersiz korumaya neden olduğu gibi yeterince iyonize olmamış bir ortam ve kararlı olmayan bir arkın oluşumuna da neden olur. Çok büyük gaz debisi ise koruyucu gazın türbülans oluşturmasına, ergimiş metalin kaynak banyosu dışına savrulmasına ve girdap oluşturarak gözenek oluşmasına neden olabilir.

Çalışma şekli: Her ne kadar pirinçlerin TIG kaynağının kalitesi “orta” olsa da, bu yöntem bu alaşımların imal ve tamirinde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Saç halindeki pirinçler ön ısıtmasız kaynak edilir.

Aslında pirinçlerin bütün kaynak yöntemleri arasında TIG, özellikle küçük ve orta kalınlıklarda ve alçak çinkolu pirinçlerde en iyi sonuçları verendir. Ya yüksek çinko içeriği veya oksit oluşturan alüminyum ve nikel gibi başka elementlerin varlığıyla ılımlı çinko içeriği nedeniyle yüksek çinko pirinçleri, kalay pirinçleri, ve özel pirinçlerin kaynak kaynak niteliği “orta” olarak gösterilir.

Her ne kadar kurşunlu bakır alaşımlarının ark kaynağı tavsiye edilmezse de TIG kaynağı, yüksek ölçüde odaklanmış ısı girdisiyle hızlı kaynak etme kabiliyeti dolayısıyla alçak çinkolu (< % 20 Zn) ve %1'e kadar kurşun içeren pirinçlerin birleştirilmesinde bazen kullanılır.

Bu alçak çinkolu pirinçlerde ark, ilave metal çubuğu üzerinde tutuşturulur ve sürdürülür, parçaların kenarları, çinko kayıplarını sınırlamak için, sadece ergimiş metalin temasıyla ısıtılmış olur.

Yüksek çinkolu pirinçlerde aynı teknikle, ancak biraz değişik ilave çubukla kaynak edilir. Kalın kesitlerin, iki kaynakçıyla aşağıdan yukarıya kaynak edilmesinde yarar vardır.

Başlıca deniz inşaatında kullanılan alüminyumlu pirinçler bazen, bir demir ilaveli bir Cu-Ni (Ni % 30) telle kaynak edilir.

Sürekli olarak TIG kaynağı ile birleştirilen Cu-Zn alaşımlarının azami kalınlığı yaklaşık olarak 10 mm olmakla birlikte manganez bronzu gibi kalın kesitli dökme alaşımlar bazen sınırlı alanlar üzerinde bu yöntemle tamir edilirler. Bu alaşımların birleştirme uygulamalarında ön ısıtma genellikle yapılmaz.

Ancak kaynaklı parçanın gerilme altında korozyona maruz olması halinde 250-300 °C'lik bir gerilim giderme tavlama önerilir.

Cu-Zn alaşımlarının genel olarak ark kaynağında kullanılan ilave metal çinko içermeyecektir. İlave metalin kullanılmadığı durumlarda yüksek elektrot ilerleme hızı, toplam ark süresini kısaltarak, duman miktarını sınırlamada yardımcı olur.

3.4.5. Cu-Zn alaşımlarının direnç kaynağı

Uç Uca Kaynak: Kaynak bölgesinde çinko buharlaşması nedeniyle pirinçler kıvılcımlamayla kaynak edilemezler. Buna karşılık, bazı önlemlerin alınması kaydıyla, yaklaştırma ile pirinçlerin uc uca kaynağı iyi sonuçlar verebilir.

Nokta Kaynağı: Bu tür kaynakta, her nokta için sarfedilecek enerji hassasiyetle saptanacaktır. Bu nedenle de ignitronlu makinelerin kullanımı önerilir.

% 80'den yukarı bakırlı alaşımlar, bilinen nedenlerle, nokta kaynağına zor gelir. Aşağıdaki tablo, kurşunsuz 60/40 pirinçlerinin nokta kaynağı için parametreler verilmiştir.

Tablo 3.4. Kurşunsuz 60/40 pirinç sacların nokta kaynağı için tip koşullar

Kalınlık (mm)	Kayak basıncı (daN)	Kaynak süresi (sn)	Kaynak Akım Şiddeti (A)
0,4	90	0,1	10000
0,8	140	0,1	15000
1,2	160	0,2	15000
1,6	180	0,3	17500
2	205	0,4	17500

Elektrot uçları mükemmel durumda tutulacaktır. Basit eğeleme yetmez ve uçları rektifiye etmeden ancak sınırlı sayıda nokta kaynağı yapılabilir. 200 N/mm² lik koparıma mukavemetlerine varılır. Kaynağın sağlıklı olması halinde kopma daima noktanın dışında meydana gelecektir [44].

BÖLÜM 4. Cu-Zn ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

4.1. Giriş

Pirinç malzemeler yüksek mukavemet, yüksek korozyon dayanımı, yüksek elektrik ve termal iletkenliklerinden dolayı geniş ölçüde mühendislik, malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Pirinçler kolay şekillendirilir ve estetik olarak güzel görünürler. Buna rağmen ergitme kaynakları zordur. Bu alaşımların ergitme kaynağındaki esas problem, kaynak işlemi sırasında çinkonun buharlaşmasıdır. Buda kaynak metalinde gözeneklerin oluşmasına sebep olur. Üstelik, birleştirilen alaşımda çinko miktarı, buharlaşmadan dolayı azaldığından pirinç malzeme normalinde sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerini de kaybeder. Pirinç malzemelerin ergitme kaynağında bu problemlerin yeterince çözülememiş olması araştırmacıları yeni metotların uygulanmasına yöneltmiştir. Bu günlerde yeni geliştirilmiş olan sürtünme karıştırma kaynağı ile bu problemlerin çözülebileceği düşünülmüştür. Bu yüzden konu ile ilgili deneysel araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Alüminyum ve alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağı hakkında bir çok literatür araştırması olmasına rağmen Bakır ve alaşımlarıyla ilgili çalışmalar, özellikle de pirinçte çok sınırlı kalmıştır.

Sürtünme karıştırma kaynağı Cu alaşımları, Al alaşımları, Mg alaşımları, Ti alaşımları, ve demir alaşımları üzerinde on yılın üzerinde bir zamandır uygulanmaktadır. Bu malzemeler, başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve ergitme kaynak yöntemlerinden alınan sonuçlara göre daha yüksek mekanik özellikler gösterdikleri tespit edilmiştir.

4.2. Cu-Zn Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Literatür incelemesi yapıldığında 3 mm kalınlığındaki CuZn30 alaşımı levhaların sürtünme karıştırma kaynağının Cemal Meran tarafından yapıldığı görülmektedir. Özellikle mikroyapı ve mekanik özelliklerin karşılaştırılması ve CuZn30 alaşımı için optimum kaynak şartlarının mikroyapı değişiklikleri ve mekanik özellikler üzerinde nasıl bir etki meydana getirdiği incelenmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin CuZn30 alaşımı levhaların birleştirilmesi için elverişli olduğunu göstermek amacıyla yapılan bu çalışmada, kullanılan CuZn30 alaşımı levhanın kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Pirincin kimyasal bileşimi (CuZn30 (CW508L) (EN 1652)) [18]

%Sn	%Pb	%P	%Mn	%Fe	%Ni	%Si	%Mg	%Al	%S	%Zn	%Cu
0.001	0.011	0.00213	0.0005	0.0146	0.00196	0.00251	0.0005	0.00050	0.0010	29.23	70.73

Tablo 4.2. Ana malzemenin mekanik özellikleri (CuZn30) [18]

Material	Çekme dayanımı (MPa)	Eğme dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Elastiklik modülü E (kN/mm ²)
CuZn30 (CW508L)	360	215	67	110

Yapılan literatür çalışmasında Cu-Zn alaşımlarının SKK ile birleştirilmesinde, tespit edilen birleştirme özelliklerini etkileyen en önemli parametreler şunlardır:

- 1) Levhaların sabitlenmesi
- 2) Karıştırıcı uç formu
- 3) Karıştırıcı uç uzunluğu
- 4) Karıştırıcı ucun dönme hızı
- 5) Karıştırıcı ucun ilerleme hızı

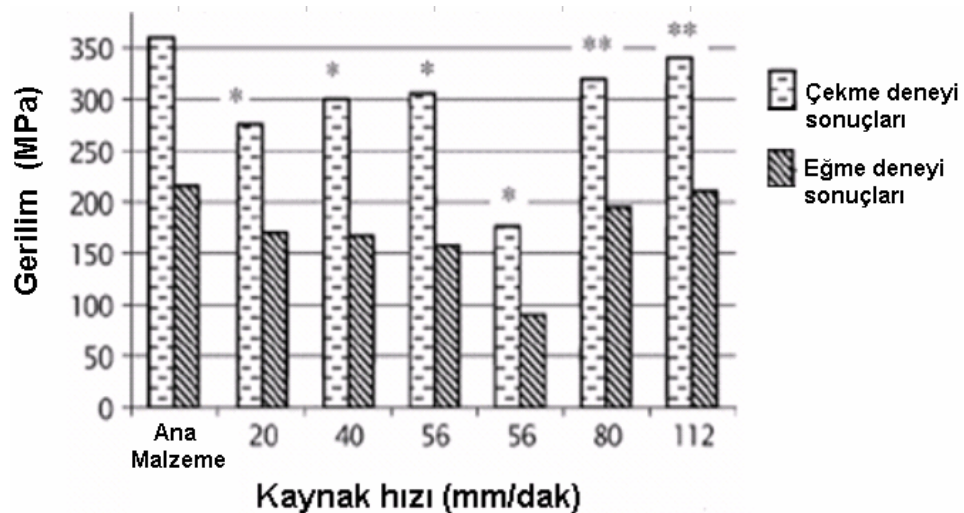
4.2.1. Birleştirilecek levhaların sabitlenmesi

Birleştirilecek parçaların iyi bir şekilde tezgah üzerine sabitlenmesi gerekir. Aksi takdirde, levhaların birleşme esnasında kaymasına, birleştirme aralığının değişmesine sebep olabilir. Bu durumda eksende kaçıklık oluşur ve yetersiz birleşme bölgelerine rastlanır. Birleşme mukavemeti azalır.

Cemal Meran'ın [18] yaptığı bu çalışmada, 120 mm uzunluğunda ve 60 mm genişliğinde iki CuZn30 alaşımı levha, düz bir çelik plaka üzerine yerleştirilmiştir. Bu iki pirinç levha bir mengenede sıkıştırılmıştır. Böylece kaynak işlemi sırasında iki parça birbirinden ayrılamaz ve karıştırıcı ucun daldırılması sırasında aralarında boşluk oluşamaz, bir sabitleme sistemi kullanılmıştır.

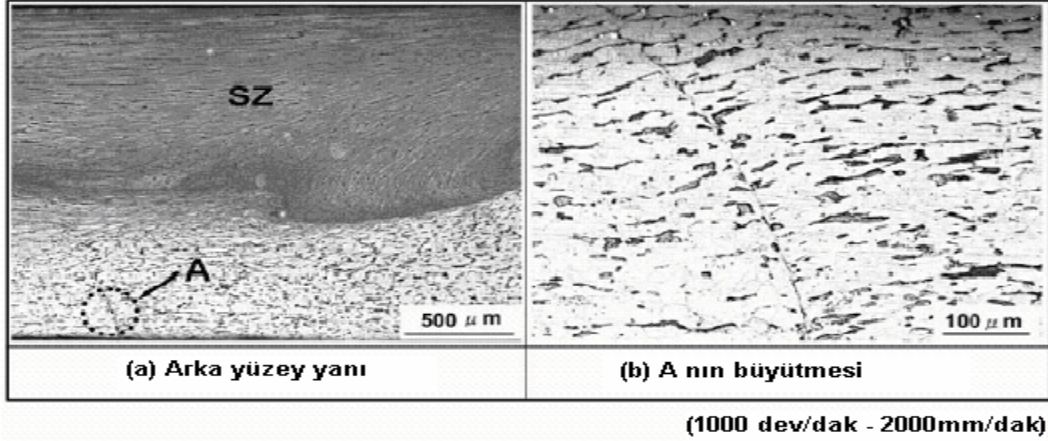
Cemal Meran'ın [18] yaptığı çalışmada, iyi sabitlenmemiş CuZn30 levhalarının birleştirme mukavemetinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu mukavemet düşüşünün sebebi olarak, kaynak kök kısmında meydana gelen kılcal çatlak oluşumu belirtilmiştir. Şekil 4.1'de iyi bir sabitleme yapıldığında birleştirme mukavemetinin nasıl oluştuğunu gösteren CuZn30 levhalarına ait çekme ve eğme deneyi sonuçları gösterilmektedir.

Birleştirme kalitesini etkileyen en önemli faktör, kusursuz ve en uygun kaynak parametrelerinin seçimidir. Uygun karıştırıcı uç ve kaynak parametresi kullanılırsa ana metalin mekanik özelliklerine yakın, özellikler birleştirilen levhalardan elde edilebilir. Cemal Meran'ın [18] yaptığı çalışmada, elde edilen kaynaklı birleştirmelerin mekanik özellikleri EN 895'e göre hazırlanan üç test numunesine uygulanan dayanım testleriyle belirlenmiş olup Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 2050 dev/dak. dönme hızında ve farklı ilerleme hızlarında CuZn30'un çekme ve eğme dayanımı test sonuçları verilmiştir. (*karıştırılmış bölgede çatlak, ** Isıdan etkilenmiş bölgede çatlak olarak gösterilmiştir) [18].

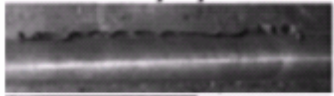





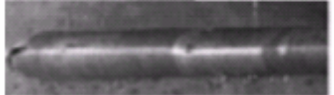







Ayrıca Hwa Soon Park ve arkadaşlarının [19] yaptığı çalışmada, kök yüzeyde meydana gelen yetersiz birleşme bölgesinin varlığının bir sebebi olarak iyi sabitlememe probleminin yattığı ifade edilmektedir. Şekil 4.2’de kök kısmında meydana gelen yetersiz birleştirme bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 4.2. 1000 dev/dak ve 2000 mm/dak.’da uygulanmış kaynakların arka yüzeyi yakınında meydana gelen yetersiz birleşme bölgesini gösteren optik mikro yapılar küçük ve büyük büyümede [19]

Uygun bir birleşme hızının tespiti oldukça önemlidir. Örneğin Cemal Meran’ın [18] çalışmasında belirtildiği gibi, 140 mm/dak kaynak hızında yapılan birleştirmelerde kaynak hızı fazla olduğundan dolayı yeterli temas sağlanamamıştır. Şekil 4.3’de Cemal Meran’nın çalışmasında verilen SKK ile birleştirilen CuZn30 levhaların üst yüzey kısmı ile alt kök kısmının fotoğrafları gösterilmektedir.

Birleştirilecek levhaların iyi sabitlenmemesinin ortaya çıkardığı diğer bir problem ise, kaynak dikiş yüzeyinin kenarlarında kısmi olarak çapak oluşumudur. Şekil 4.3’de CuZn30 levhalarının yüzeyinde oluşabilecek yüzey pürüzleri gösterilmektedir.

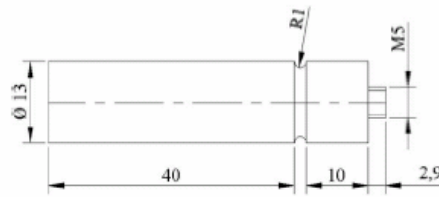
Karıştırıcı ucun dönme hızı (dev/dak)	Karıştırıcı ucun ilerleme hızı (mm/dak)	Birleştirilen levhalann üst yüzey görünümü	Birleştirilen levhalann alt kök kısmının görünümü
2050	20		
2050	40		
2050	56		
2050	56 (Sol vida açılmış, dönme yönü saat yönü tersine)		
2050	80		
2050	112		
2050	140		

Şekil 4.3. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş CuZn30 levhaların üst yüzeyi ve kök kısmının görünüşü [18]

4.2.2. Karıştırıcı uç formunun etkisi

Karıştırıcı uç formu değiştikçe, birleştirilecek levhanın birleştirme kalitesi de değişmektedir. Cu-Zn alaşımlarının birleştirilmesinde tespit edilebildiği kadarıyla farklı karıştırıcı uçlar kullanılmıştır. Farklı formdaki uç kullanımı, kaynak parametrelerinin ve birleştirme mukavemetlerinin değişmesine sebep olmaktadır. O nedenle literatürdeki pek çok sonuçlar birbirleri ile farklı uç formu kullanıldığı için sağlıklı olarak karşılaştırılmamaktadır.

Cemal Meran'nın CuZn30 levhaların birleştirilmesi için kullandığı X32CrMoV12-28 sıcak iş çeliğinden yapılmış karıştırıcı uç Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Karıştırıcı ucun daha iyi etki etmesi için boyunun, birleştirilecek malzeme kalınlığından 0,1mm daha düşük olması tercih edilmiştir. M5x1,5 sağ vida ve sol vida açılmış karıştırıcı ucun ebatları şekilde yer almaktadır.



Şekil 4.4. Karıştırıcı uç geometrisi ve boyutları [18]

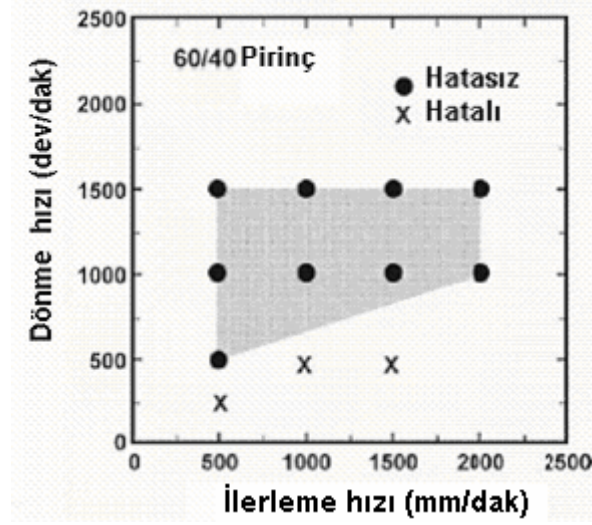
Tablo 4.3. Sürtünme karıştırma kaynağı için parametreler [18]

Numune	Karıştırıcı ucun dönme hızı (dev/dak)	Karıştırıcı ucun ilerleme hızı (mm/dak)	Uç (vida) özellikleri	Görüş (Düşünce)
1	2050	20	M5x1.5 Sağ vida açılmış	Yüzeyde metal kenar soyulmaları var
2	2050	40	M5x1.5 Sağ vida açılmış	Yüzeyden daha az kenar soyulması
3	2050	56	M5x1.5 Sağ vida açılmış	Kaynak yüzeyi pürüzlü
4	2050	56	M5x1.5 Sol vida açılmış	Nufuziyet az
5	2050	80	M5x1.5 Sağ vida açılmış	İyi bir kaynak dikişi
6	2050	112	M5x1.5 Sağ vida açılmış	İyi bir kaynak dikişi
7	2050	140	M5x1.5 Sağ vida açılmış	Nufuziyet az

Ayrıca Hwa Soon Park ve arkadaşlarının [19] yaptığı çalışmada ise kullanılan karıştırıcı ucun çapı 4mm, boyu 2mm ve karıştırıcı ucun omuz çapı ise 12 mm'dir. Yaklaşık olarak bütün kaynak parametreleri için kullanılan karıştırıcı uç açısı 3° dir. Levhalar tek pasoda kaynak yapılmış, ve birbirinden bağımsız hatalar oluşmuştur. Yapılan kaynaklı birleştirmelerden elde edilen dikiş yüzey görünümleri Şekil 4.6'da verilmiştir.

4.2.3. Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızının etkisi

Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızlarının değişmesi birleşme özelliklerinde değişmesine sebep olmaktadır. Hwa Soon Park ve arkadaşlarının [19] CuZn40 alaşımı üzerine yaptığı çalışmada dönme hızı ve ilerleme hızlarının belirli bir alt ve üst sınır değerlerinde uyum içerisinde olması gerektiği bulunmuştur. Dönme hızı ne olursa olsun ilerleme hızı 500 mm/dak'nın altına düştüğünde hatalı birleştirme elde edildiği ifade edilmektedir. Ayrıca ilerleme hızı 2000 mm/dak'yı geçmesi halinde de hatalı birleştirmelere rastlanmaktadır. Şekil 4.5'te ilerleme ve dönme hızlarının alt ve üst limit değerlerini gösteren Hwa Soon Park ve arkadaşları tarafından [19] elde edilmiş bir diyagram gösterilmektedir.



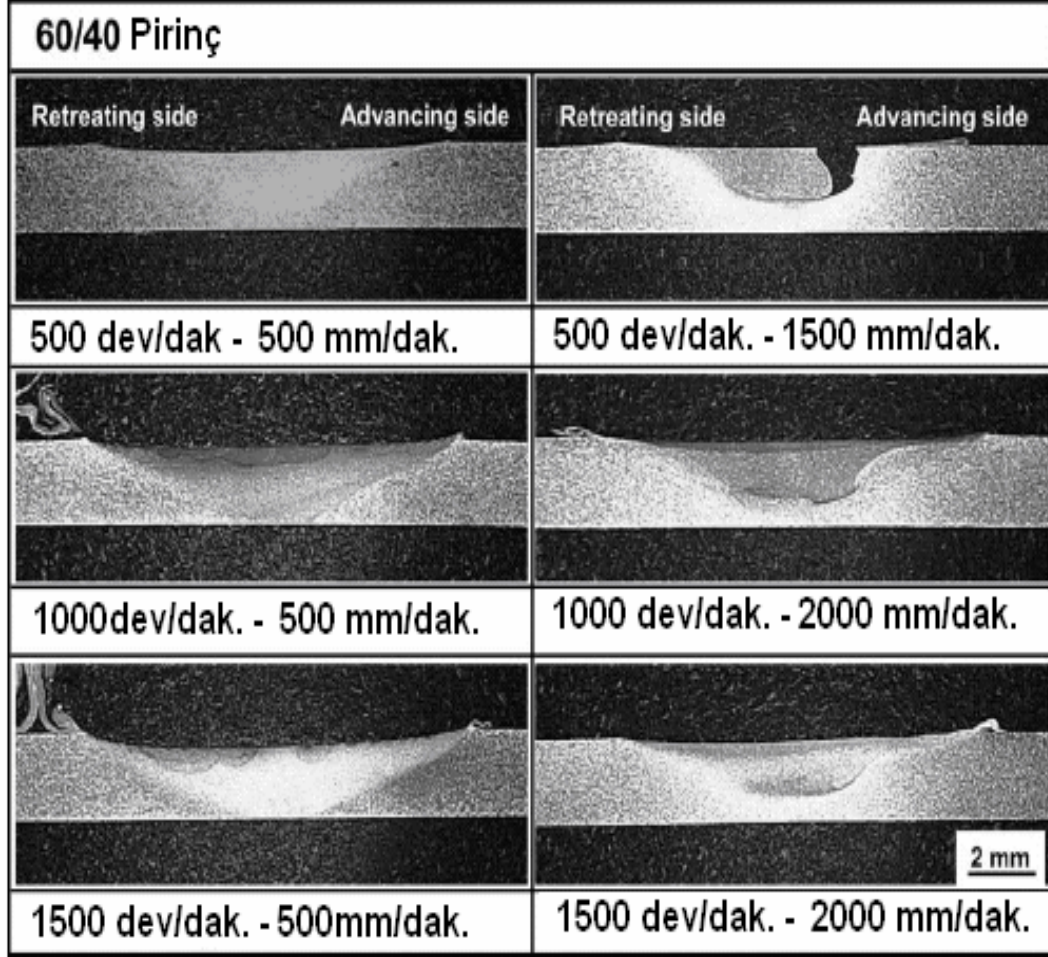
Şekil 4.5. Kaynaklanmış levhalarda en iyi kaynak şartları [19]

Karıştırıcı ucun ilerleme ve dönme hızının, birleştirilen malzemelerin dikiş görünüşünü de etkilediği görülmüştür. Örneğin dönme hızı 500 dev/dak ve ilerleme hızı 1500 mm/dak olan kaynak parametreleri ile birleştirilen CuZn40 levhalarının yüzeylerinde boylamasına çatlağın oluştuğu Hwa Soon Park ve arkadaşları tarafından [19] tespit edilmiştir. Dönme hızı 1000 dev/dak ve ilerleme hızı 500 ve 2000 mm/dak olan kaynak parametrelerinde ise düzgün bir yüzey elde edildiği görülmüştür. Şekil 4.6’da dönme ve ilerleme hızına bağlı olarak Hwa Soon Park ve arkadaşlarının tespit ettiği [19] dikiş yüzey görünümünün nasıl değiştiği gösterilmektedir.

Dönme Hızı (devir/dak.)	İlerleme Hızı (mm/dak.)	Yüzey Görünümü	X Işın Fotoğrafı
500	500		
	1500		
1000	500		
	2000		
1500	500		
	2000		

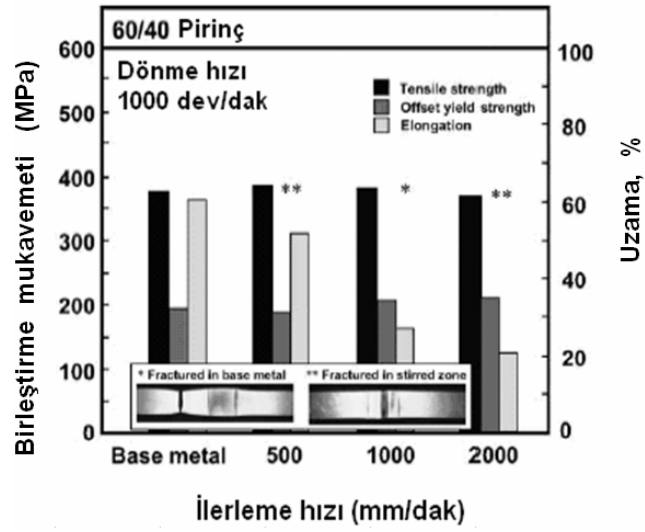
Şekil 4.6. Kaynakların X ışın radyografisi ve yüzey görüntüleri [19]

Ayrıca ilerleme ve dönme hızlarına bağlı olarak dikiş kesitlerinin de nasıl değiştiği Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



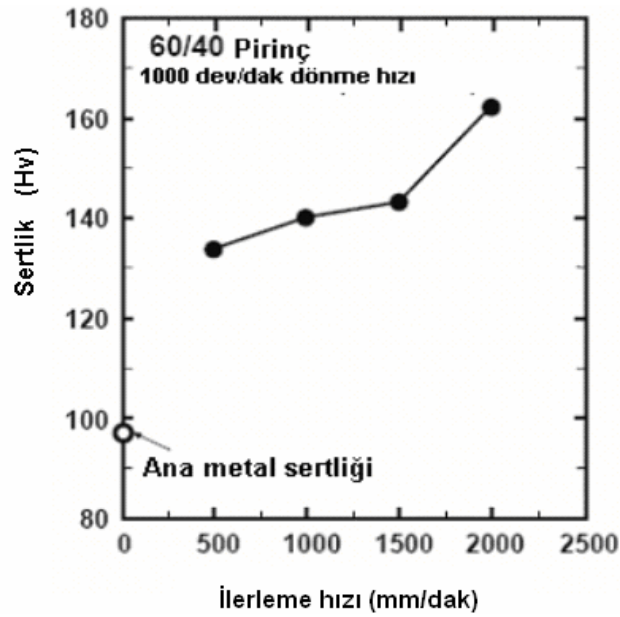
Şekil 4.7. Değişik kaynak şartlarında uygulanmış kaynakların kesitlerin alınmış tipik makro yapı görünümleri [19]

Karıştırıcı ucun ilerleme ve dönme hızları, birleştirme mukavemetini de etkilemektedir. Hwa Soon Park ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [19], karıştırıcı uç ilerleme hızının artmasıyla birleştirilen levhaların çekme mukavemetinde büyük bir değişiklik ifade edilmiştir. Fakat uzama miktarının ilerleme hızı arttıkça düştüğü görülmüştür. Şekil 4.8’de dönme hızı 1000dev/dak olan CuZn40 levhalarına ait birleştirme mukavemetini ve uzamasını gösteren eğri gösterilmektedir.



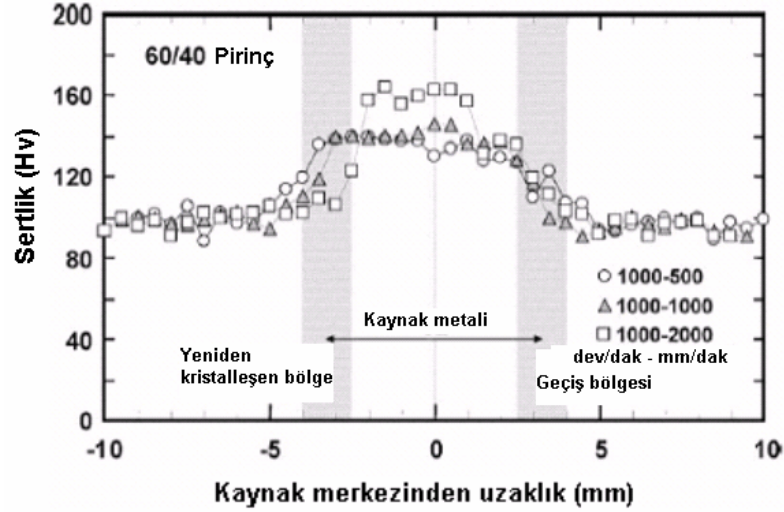
Şekil 4.8. 1000 dev/dak dönme hızıyla, farklı kaynak hızlarında yapılmış birleştirmelerin kaynak yönüne çaprazlama dayanım özellikleri [19]

Aynı zamanda karıştırıcı ucun ilerleme hızına bağlı olarak karışım bölgesindeki sertlik miktarları da değişmektedir. Hwa Soon Park ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [19] ilerleme hızı arttıkça, karışım bölgesinin sertliğinin de artmakta olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.9'da bu değişikliği gösteren diyagram gösterilmektedir.

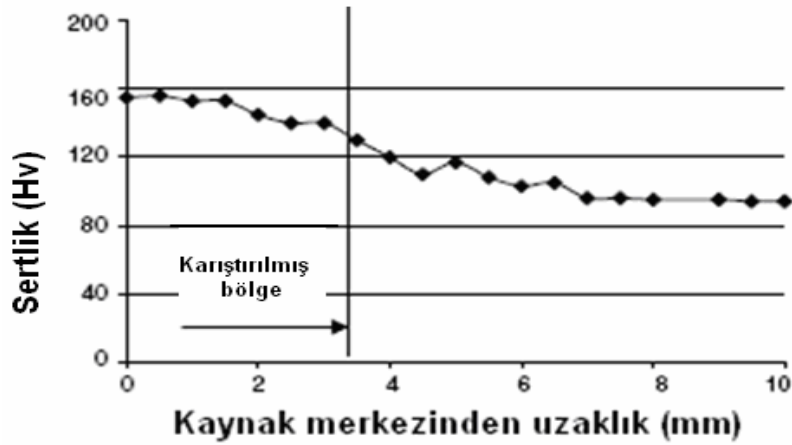


Şekil 4.9. 1000 dev/dak dönme hızı ve değişken kaynak hızları için karıştırılmış bölgede sertlik değişimi [19]

Karıştırıcı ilerleme ve dönme hızlarına bağlı olarak birleşme bölgesinin sertliği de az miktarda olsa da değişiklik göstermektedir. Hwa Soon Park ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [19] kaynak bölgesindeki bu sertlik değişiminin karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızına bağlı olarak nasıl değiştiği Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. 1000 dev/dak. dönme hızıyla, farklı kaynak hızlarında kaynakların kesitinden alınmış sertlik profili [19]

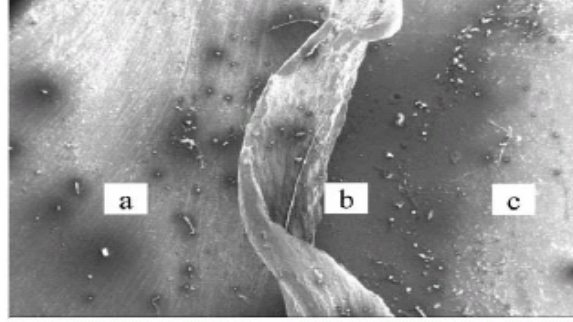


Şekil 4.11. 2050 devir/dak. dönme hızı ve 112 mm/dak. ilerleme hızında kaynakların kesitlerindeki sertlik değerleri [18]

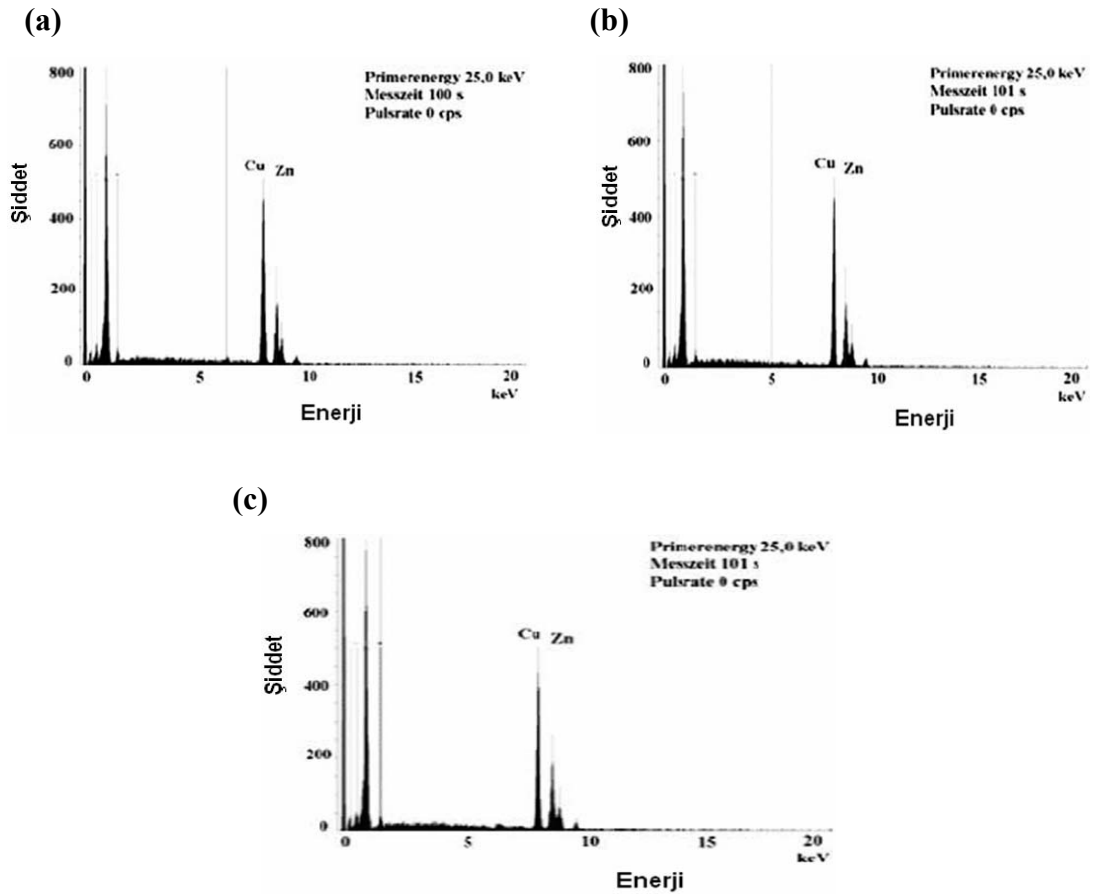
4.2.4. Karışım bölgesindeki kimyasal bileşim

CuZn alaşımlarının ergitme kaynak tekniği ile birleştirilmesinde karşılaşılan en önemli problemin Zn buharlaşması olduğu ifade edilmektedir. SSK yöntemi ile bu

problemin önüne geçileceği fikrini destekleyen bir çalışma Cemal Meran tarafından yapılmıştır. Kaynak bölgesinin ve ana metalinin çeşitli bölgelerinden alınan kimyasal analiz verilerine bağlı olarak Zn'nin buharlaşmadığı ispatlanmıştır. Şekil 4.12'de verilen bu çalışmalardaki kimyasal analiz değerleri ve grafikleri gösterilmektedir.



Kaynak bölgesine ait SEM mikro yapısı

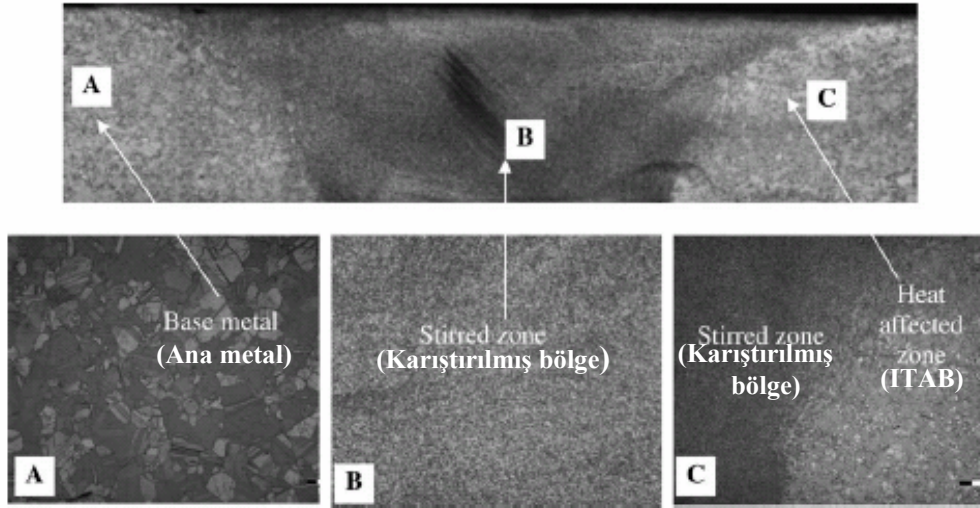


Şekil 4.12. Kaynak bölgesine ait SEM mikro yapısı (a) Karışım bölgesi, (b) Isıdan etkilenmiş bölge, (c) Ana metal (2050 devir/dak dönme hızı ve 112 mm/dak. kaynak hızında) [19]

Kaynak bölgesine ait SEM mikro yapısına bakıldığında; karışım bölgesi, ısıdan etkilenmiş bölge ve ana metal bölgesi görülmektedir. Bu bölgelerde yapılan kimyasal analiz ölçümleri gösteriyor ki, bu üç bölgenin kimyasal bileşimi değişmeden aynı kalmış, sadece mikroskobik yapı değişiklikleri ortaya çıkmıştır.

4.2.5. Kaynak bölgesinin mikroyapısı

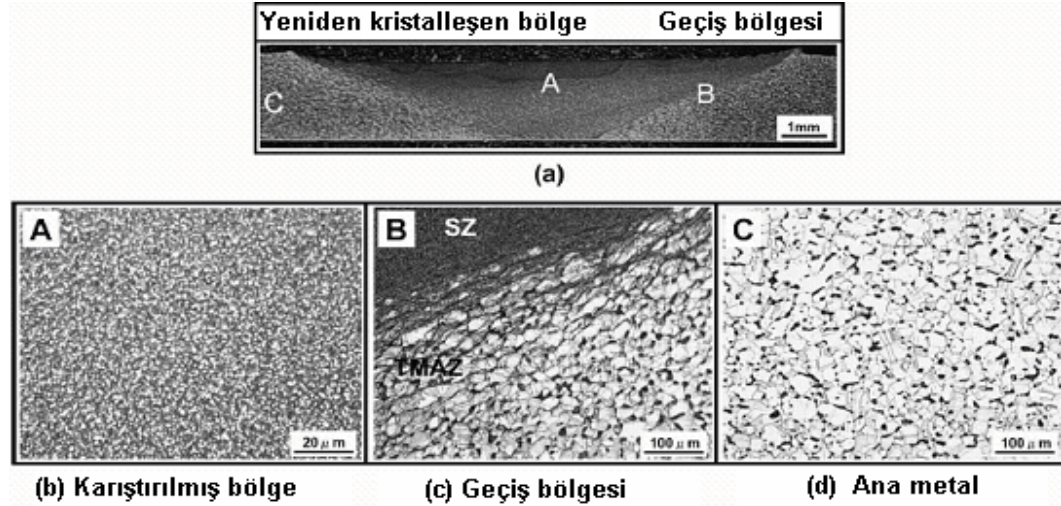
Cemal Meran tarafından yapılan CuZn30 levhalarının birleştirilmesinde üç farklı mikro yapı elde edilmiştir. Bunlar; ana metal, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve kaynak bölgesi olarak Şekil 4.14'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14. 2050 devir/dak. dönme hızı ve 112 mm/dak. ilerleme hızında yapılmış kaynakların kesitlerindeki optik mikro yapılar [18]

Hwa Soon Park ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [19] ise; CuZn40 levhaların birleştirmelerinde mikro yapılarında son derece iyi taneler elde edilmiştir. Ana metalin, termo-mekaniksel olarak etkilenmiş bölgenin ve kaynak metalinin mikro yapıları Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Ana metalin sahip olduğu mikroyapı α (parlak faz) ve β (koyu faz) olarak üzere iki faza sahiptir. Sürtünme ısı ve deformasyondan dolayı termo-mekanik olarak etkilenmiş bölgede tanelerde uzamalar, karıştırılmış bölgede tanelerin dinamik olarak yeniden kristalleşmeyle birlikte metal akışları meydana gelmiştir.

Yapılan her iki çalışmada da, ana metalle mikro yapı karşılaştırmalarında ITAB net olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.15. 1000 devir/dak. dönme hızında ve 500 mm/dak. ilerleme hızında yapılmış kaynakların kesitinde optik makro ve mikro yapılar [19]

4.3. Sonuç Değerlendirmesi

CuZn alaşımlarının SKK ile birleştirmelerinde literatür çalışmasında elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenerek verilmiştir:

- SKK ile CuZn alaşımlarının kaynağı iyi sonuçlar vermektedir.
- Uygun ilerleme ve dönme hızları, karıştırıcı uç formu dikkate alınarak belirlenmelidir. Özellikle verilen parametreler mutlaka karıştırıcı uç formu belirtilerek, malzeme kalınlığı söylenerek verilmelidir.
- Karıştırıcı ucun dönme yönü de birleştirme özelliklerini etkilemektedir.
- Karıştırıcı ucun ilerleme ve dönme hızına bağlı olarak birleşme mukavemeti, sertlik, mikro yapı ve yüzey görünümü değişmektedir.
- SKK ile CuZn alaşımlarının birleştirilmesinde Zn buharlaşması meydana gelmemektedir.

Sonuç olarak CuZn alaşımlarının SKK ile birleştirilmesinde kullanılacak en uygun karıştırıcı uç form dizaynı belirlenmeli ve bu forma bağlı olarak kaynak parametreleri oluşturulmalıdır. Dolayısıyla Cu-Zn alaşımlarının SKK ile birleştirilmesi konusunda daha detaylı çalışmalara gerek duyulmaktadır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kullanılan Malzeme

Bu çalışmada, levhasal 5mm kalınlığındaki CuZn30 alaşımı pirinç malzeme kullanılmıştır. Bu alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. CuZn 30 pirincin kimyasal bileşimi

%Sn	%Pb	%P	%Mn	%Fe	%Ni	%Si	%Mg	%Al	%S	%Zn	%Cu
0.001	0.011	0.00213	0.0005	0.0146	0.00196	0.00251	0.0005	0.00050	0.0010	29.23	70.73

5.2. CuZn30 Levhasal Malzemelerin Birleştirilmesi

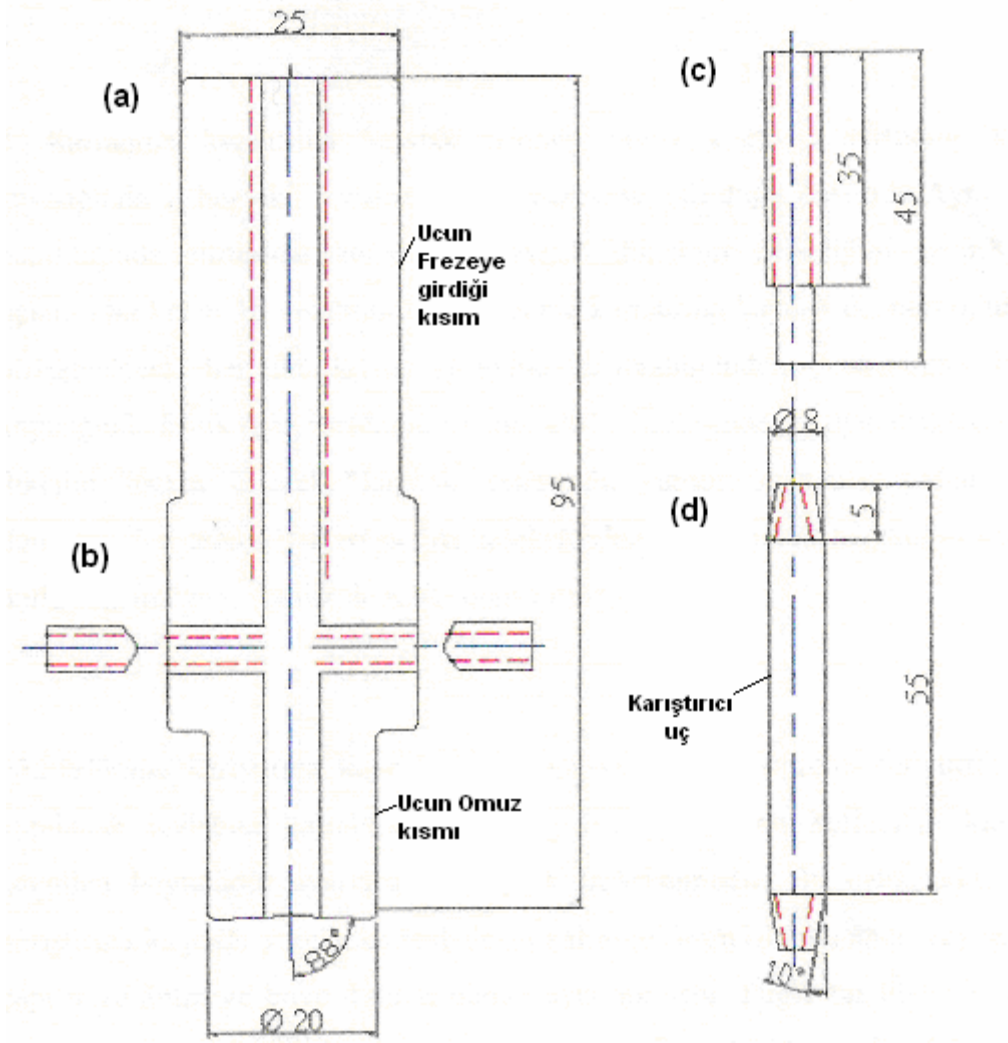
Bu çalışmada, CuZn30 alaşımının birleştirilme işlemi iki farklı kaynak metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar:

- (1) Elektrik ark kaynağı
- (2) Sürtünme karıştırma kaynağı

Her iki yöntem ile birleştirilen malzemelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.2.1. Sürtünme karıştırma kaynak işlemi

Karıştırıcı Uç: Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı yapmak için gerekli olan kaynak uçları 4140 çeliğinden CNC torna makinesinde işlenerek, ısıl işlem merkezinde ısıl işleme (56 Rockwell’e kadar sertleştirildikten sonra menevişleme işlemi yapılmıştır) tabii tutularak hazırlanmıştır. Tek uç yüzey geometrisi kullanılmıştır. Bu ucun uç kısmı 10° konik ve çapı 8 mm’dir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Çalışmada kullanılan uç formu a) Kullanılan ucun gövde kısmı b) Yanlardan sabitleyici (M5x10) setskur c) Üstten uç mesafesini ayarlamak için kullanılan setskur d) Çift tarafı 10° konik, elips şeklinde diş açılmış ayarlanabilir uç kısmı

Sürtünme karıştırma kaynak ucu üç bölümden oluşmaktadır: 1- Ucun frezeze girdiği kısım; bu çap kullanılan uçta 25 mm'dir. Ucun bu kısmı frezenin bağlama çenelerinin kavrayacağı büyüklükte olmalıdır. Bu kısmın ölçüleri kaynak ucu için çok önemli değildir. Ancak değişik makinelerde uygulama yapılabileceği de göz önünde bulundurulursa bu kısmın ölçüleri önemlidir.

2- Sürtünme karıştırma kaynak ucunun omuz kısmıdır. Sürtünme karıştırma kaynağında her iki levhanın üst yüzeyine oturduğu kısımdır. Aynı zamanda bakıldığında sürtünme karıştırma kaynak dikişinin üst yüzey genişliğini oluşturur. Kullanılan uçta bu kısmın ölçüsü 20 mm'dir. Sürtünme karıştırma kaynak ucunun

omuz kısmı, birleştirilecek her iki levha üzerine iyi bir şekilde oturarak levha üzerlerine sürtündüğünden, sürtünme karıştırma kaynağı için gerekli olan kritik sürtünme ısısının oluşturulmasında önemli rol oynar. Kaynak dikişini üstten örterek kaynak sırasında çamurlaşmış olan ve ucun dönmesiyle yukarı çıkmak isteyen malzemenin hareketini engeller. Bu durumda yukarı çıkmak isteyen malzeme ucun omuz kısmı ile aşağı doğru itilir.

3- Diğer bir bölümde karıştırıcı uç kısmıdır. Bu ucun çapı ve boyu tamamen kaynatılacak malzeme kalınlığına göre değişiklik göstermektedir. Bu deneylerde kullanılan kaynak ucu istenilen boyutlarda ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada sürtünme karıştırma kaynağı uygulanacak levhaların kalınlığı 5 mm'dir. Bu yüzden sürtünme karıştırma kaynak ucunun boyu 4,8 mm olarak ayarlanmıştır. Başka bir deyişle sürtünme karıştırma kaynağı uygulanacak levhaların kalınlığından 0,2 mm daha kısadır. Bunun sebebi ise; kaynak işlemi boyunca kaynak ucunun alttan çıkmaması ve alttaki kalıp malzemesine veya makine tezgahına zarar vermemesidir. Şayet bu fark olmazsa, kaynak işlemi yapılırken uç alt kısımda delme etkisi yapacak ve hamurumsu hale gelen malzeme taban kısmından çıkabilecektir. Bunun sonucunda kaynak işlemi tam olarak gerçekleşmeyecek ve malzemenin alt kısımlarında yanma olukları şeklinde kaynak hataları oluşacaktır. Alt kısımdaki birleşme malzemenin altına konulan kalıp malzemesinin yukarı doğru yapmış olduğu basınçla sağlanmaktadır.

Şekil 5.2'de bu çalışmada kullanılan karıştırıcı aparatın bölümleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Bu çalışmada kullanılan kaynak ucu

Levhaların Sabitlenmesi: Sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak CuZn30 pirinç levhaların freze üzerine bağlanarak kaynağının yapılabilmesi için, öncelikle levhaların sabitleneceği freze sperine uygun özel bir kalıbın yapılması gerekmektedir. Bu kalıp, yük altında şekil değişikliğine maruz kalmaması için özel olarak çelik plakadan (et kalınlığı 10 mm) yapılmıştır. Kalıba bağlanacak pirinç levhanın sıkıştırılmasında 15 mm kalınlığında sac ve bunlara açılmış deliklerden geçen somunlu bağlama civataları kullanılmıştır (Şekil 5.3).

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak CuZn30 pirinç levhanın tutturulması için özel bir kalıp hazırlanmıştır. Bu kalıp önce freze siperine x ve y eksenleri doğrultusunda

açıları kontrol edilerek bağlanır. Kaynak yapılacak levhalar, bu kalıba bağlama pabuçları ile bağlanır. Levhalar sabitlenirken kaynak işlemini gerçekleştiren batıcı ucun her iki levhanın birleşme çizgisini ortalamasına dikkat edilir. Bütün bu ayarlar yapıp kontrol edildikten sonra pabuçların vidaları levhalar kaymayacak şekilde sıkıştırılır. Şekil 5.3’de Cu-Zn alaşımı levhaların bağlandığı sabitleme aparatı gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Levhaların bağlandığı kalıp ve pabuçlar

Dikey Freze: Sürtünme karıştırma kaynağında maksimum 1600 dev/dak dönme hızına, minimum 12,5 mm/dak ilerleme hızına ve maksimum 1700 mm kurs boyuna sahip dikey freze kullanılmıştır. Dikey freze bir elektrik motoru ile çalışmakta olup, motordan aldığı dönme hareketini bir kasnak kayışı yardımıyla frezenin kafasına aktarmaktadır.

Sürtünme karıştırma kaynağı yapacak olan frezenin kaynağa başlamadan önce kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Bu kontroller kaliteli bir kaynak için şarttır. Aksi takdirde, frezeden kaynaklanan kaynak hataları meydana gelmektedir. Bunlar sırasıyla incelenirse:

- Frezedeki bağlantı elemanlarının kontrolü
- Frezedeki hareketli yatakların kontrolü
- Frezenin x ve y eksen açılarının kontrolü
- Elektrik sisteminin kontrolü
- Hava soğutma sisteminin kontrolü şeklinde sıralanabilir.

Frezenin yüksek hızlarda çalışması ve zorlamalardan dolayı bu kontroller sık sık yapılmalıdır. Şekil 5.4’de bu çalışmada kullanılan dikey freze tezgahı gösterilmektedir.



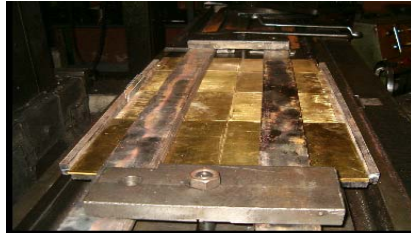
Şekil 5.4. Sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılan universal dikey freze

Birleştirme İşlemi: Bu çalışmada, 5 mm kalınlığındaki CuZn30 alaşımı levhaların kaynak işleminden önce alın altına gelecek kesitleri frezede düzgün bir şekilde alınarak 5x150x500mm’lik iki adet pirinç levha hazırlanmıştır. Hazırlanan pirinç levhalar kalıp üzerinde alın altına getirilip, sabitleme pabuçları ve baskı pabuçları ile sıkıştırılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmeye hazır hale getirilen iki Cu-Zn alaşımı levhaya yüksek devirde dönen karıştırıcı uç daldırılarak, kaynak yapılmak istenilen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesi ile kaynak işlemi tamamlanmıştır.

Sürtünme karıştırma kaynak işleminde takip edilen işlem sırası Şekil 5.5’te resimlerle birlikte gösterilmiş olup, kısaca aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

- a) Birleştirilecek levhaların alın altına gelecek kesitleri frezede düzeltilir (Şekil 5.5 (a)).
- b) Birleştirilecek levhaların frezede tesviye edilen kesitleri, düz bir çelik plaka üzerinde alın altına gelecek şekilde sabitlenir (Şekil 5.5 (b)).

- c) Frezeyle takılmış olan karıştırıcı uç birleştirilecek olan iki levhanın birleşme eksenine üzerine konumlandırılır (Şekil 5.5 (c)).
- d) Karıştırıcı uç belirlenen devirde döndürülerek, birleşme eksenine üzerine batırılarak levha içine daldırılır ve karıştırıcı ucun omuz kısmı levha yüzeyine temas edinceye kadar devam edilir (Şekil 5.5 (d)).
- e) Karıştırıcı uç birleşme eksenine boyunca belirlenen hızda ileriye doğru hareket ettirmeye başladığı zaman sürtünme etkisiyle meydana gelen ısı sayesinde hamurumsu hale gelen pirinç malzeme birbirine karışmaktadır (Şekil 5.5 (e)).
- f) Karıştırıcı uç ilerledikçe birbirine karışan pirinç malzemeler üzerinde kaynak dikişi soğuyarak birleşme oluşmaktadır (Şekil 5.5 (f)).



a) Levhaların kesitleri alın altına gelecek şekilde sabitlenir



b) Karıştırıcı ucun levhaların birleştirme eksenine üzerine konumlandırılması



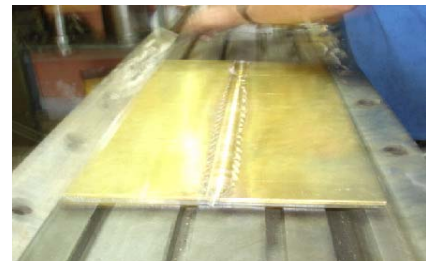
c) Karıştırıcı ucun ilerlemesi



d) Sürtünme etkisiyle oluşan ısı sayesinde hamurumsu hale gelen levhaların birleşmesi.



e) Ucun gövde omuz kısmının hava ile soğutulması



f) Kaynak işleminin bitirilmesi

Şekil 5.5. Sürtünme karıştırma kaynak işleminde uygulama aşamaları

5.2.2. Kaynak parametreleri

Bu çalışmada CuZn 30 pirinç levhaların birleştirilmesi için, sabit ilerleme ve farklı dönme hızlarında çalışmalar yapılmıştır. Kaynak işleminde kullanılan parametreler Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı gibi sabit ilerleme hızında dört farklı dönme hızları kullanılarak birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her bir kaynak parametresinde dönme hızının kaynağa olan etkileri incelenmiştir. Çeşitli dönme hızlarındaki mikro yapılar incelenerek çekme ve eğme deneyleri yapılmıştır.

Tablo 5.2. Birleştirmelerde kullanılan ilerleme ve dönme hızları

Karıştırıcı Ucun İlerleme Hızı (mm/dak.)	Karıştırıcı Ucun Dönme Hızı (dev/dak.)
12,5	500
	630
	1000
	1600

5.3. CuZn30 Pirinç Levhaların Elektrik Ark Kaynağı

Bu çalışmada, Ø 3,25 mm çapında As Bronz elektrodu kullanılmıştır. As Bronz elektrotu DIN 1733’e göre EL CuSn7 sembolü ile gösterilmektedir. Kimyasal içeriğine baktığımızda içerisinde %0,5Mn, %0,10P, %7Sn ve %92,4Cu bulunmaktadır. As Bronz Elektrotu; bakır ve alaşımlarının birleştirme ve dolgu kaynağında, bakır ve bronz malzemelerin çeliklerle ve dökme demirle birleştirilmesinde kullanılır. Bunun yanı sıra, çelik ve döküm parça yüzeylerinin bakır tabaka ile kaplanması için idealdir. Türbin ve satrifüj kanatları, gemi pervaneleri ve valf yatakları başlıca kullanım alanlarıdır.

Üretici firma tarafından belirlenen, kaynak dikişinden beklenen mukavemet değerleri şunlardır: Akma dayanımı 160 N/mm², çekme dayanımı 260 N/mm², uzama %20 olup sertliği 90 HB’dir [45].

5.3.1. Elektrik ark kaynağının yapılması

CuZn30 alaşımının ısı iletkenliği çok yüksek olduğu için, kaynak işlemine başlamadan önce kaynaklanacak parçalara 300 °C ön tavlama işlemi yapılmıştır. Elektrot, kaynak işleminden önce kurutma fırınında 250 °C’de 30 dakika bekletilmiştir. CuZn30 alaşımı levhaların elektrik ark kaynağında Lincoln redresör tipi kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak işlemi doğru akım pozitif kutupta gerçekleştirilmiştir. Kaynak pozisyonu olarak elektrotla iş parçası 90°’lik bir açı yapmıştır. Kaynak işlemi sırasında oluşan kaynak arkı sıçramalı olup, arkın kontrolü oldukça zordur. Kaynak işlemi çift pasolu olarak (ön ve arka yüzeyden kaynaklanarak) yapılmıştır.

5.3.2. Kaynak parametreleri

Bu çalışmada CuZn30 pirinç levhaların elektrik ark kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan parametreler tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Örtülü elektrotla birleştirmede kullanılan parametreler

Elektrot Türü	Elektrot Çapı (mm)	Akım (Amper)	Gerilim (Volt)	Kaynak Hızı (mm/dak)
As Bronz (EL CuSn7)	Ø 3,25	120	21-23	320

5.4. Mekanik Deneyler

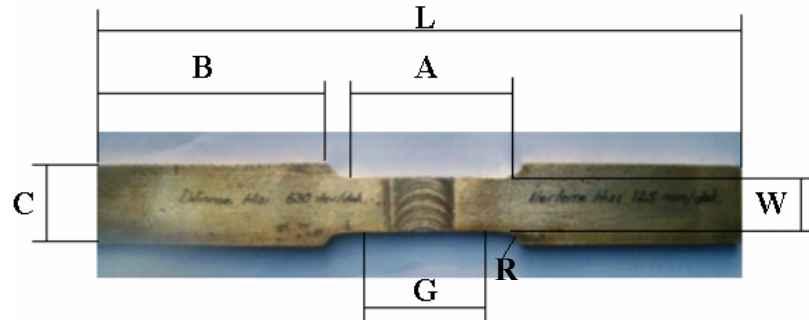
Birleştirilen CuZn30 alaşımı levhalara çekme, eğme ve mikro sertlik deneyleri uygulanmıştır.

5.4.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi numuneleri sürtünme karıştırma kaynağı ve elektrik ark kaynağı ile (As Bronz elektrotuyla) birleştirilmiş kaynak bölgelerinden alınarak TS EN 485-1 standardına göre Şekil 5.6 ve Tablo 5.4’deki boyutlarda hazırlanmıştır. Çekme

deneyi oda sıcaklığında 0,1 mm/sn hızla çekilmiştir. Çekme işlemi Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı'nda DARTEC servo-hidrolik çekme-basma tipi makine kullanılarak yapılmıştır.

Elektrik ark kaynak yöntemi ve sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen levhalardan alınan 2 adet çekme numunesi test edilmiş ve ortalama değerleri belirlenmiştir.



Şekil 5.6. Çekme deneyi numunesi [46]

Tablo 5.4. TS EN 485-1'e göre çekme deneyi numunesi boyutları[46]

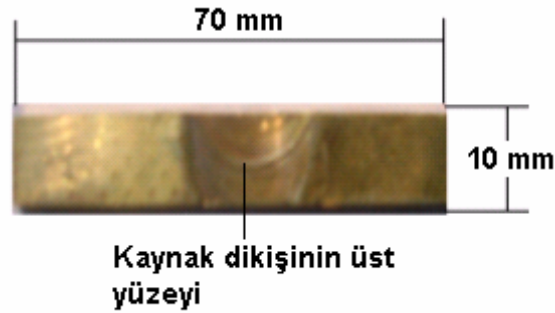
Açıklama	Sembol	Boyutlar (mm)
Ölçü Uzunluğu	G	$50,0 \pm 0,5$
Genişlik	W	$12,5 \pm 0,10$
Kalınlık	T	5
Yuvarlatma yarı çapı (min)	R	12,5
Toplam Uzunluk (min)	L	200
Gövde Uzunluğu (min)	A	57
Kavrama Uzunluğu (min)	B	50
Kavrama Genişliği (yaklaşık)	C	20

5.4.2. Eğme deneyi

Eğme deneyinde kullanılmak üzere kaynaklı levhalardan eni 10 mm ve boyu 70 mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır (Şekil 5.7). Eğme deneyi Sakarya Üniversitesi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı'nda DARTEC servo-hidrolik çekme-basma tipi makine kullanılarak yapılmıştır.

Elektrik ark kaynak yöntemi ve sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen levhalardan alınan 3 adet eğme numunesi test edilmiş ve ortalama değerleri belirlenmiştir.



Şekil 5.7. Eğme deneyi numunesi

5.4.3. Mikro sertlik ölçümü

Numunelerin mikroyapı resimleri çekildikten sonra sürtünme karıştırma kaynağı ve elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş birer adet numuneden 2 farklı noktadan 0,5 mm aralıklarla Sakara Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı'nda sertlik ölçümleri yapılmıştır. Her numunenin sertlik değerinin hesaplanması için gerekli olan D_1 ve D_2 değerleri alınmıştır. HV sertlik değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$HV = \frac{1,8544 \times F}{D^2}$$

$$HV = \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

HV: Vickers sertlik (kgf/mm^2)

F: Kuvvet (kg)

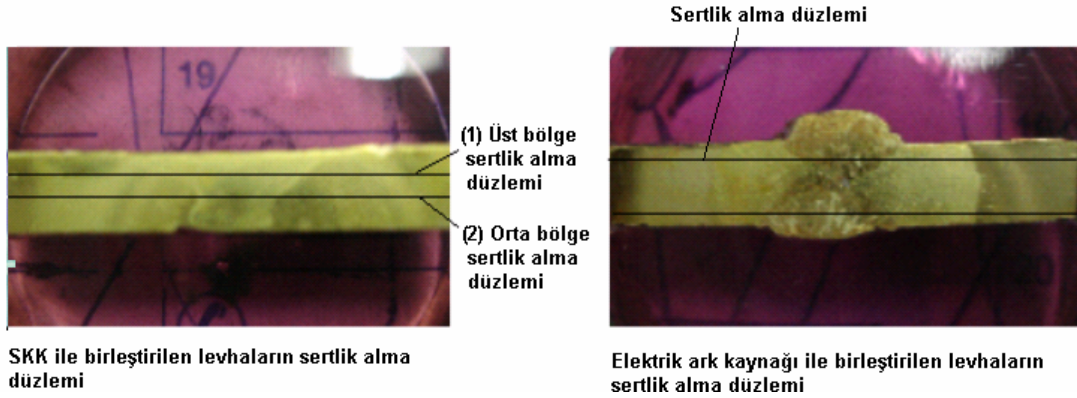
D: Piramit ucun battığı alan ölçüsü (mm^2)

D_1 : Piramit ucun bıraktığı iz ölçüsü (mm)

D_2 : Piramit ucun bıraktığı iz ölçüsü (mm)

Vickers sertlik değeri ölçülürken piramit batıcı uc (uç açısı 136°) geometrik olarak numune yüzeyine bastırıldıktan sonra 15 sn bekletilerek ölçüm yapılmıştır. Uygulanan kuvvet 10gr'dır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen levhaların

kesit yüzeyinden alınan D_1 ve D_2 değerleri kaynak dikişinin üst ve orta kısmından alınmıştır. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen levhaların kesit yüzeyinden alınan D_1 ve D_2 değerleri ise çift taraflı olarak kaynak dikişinin orta kısmından alınmıştır. D ve D değerlerinin alındığı bölgeler şematik olarak Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Mikro sertliklerin alındığı bölge düzlemlerinin gösterilmesi

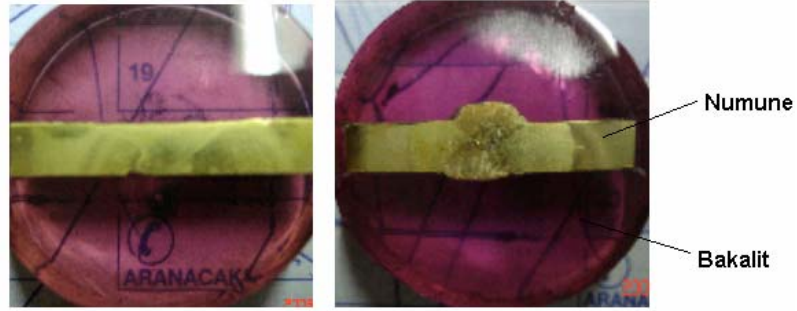
5.4.4. Mikroyapı çalışmaları

Deneysel çalışmaların bu kısmında, mikro yapı incelemeleri yapmak amacıyla numuneler hazırlanmıştır. Numuneler örtülü elektrot ve sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanmış levhalardan kaynak dikişine dik yönde enine kesit alınarak hazırlanmıştır.

Numuneler uygun ebatlarda kesilmiş ve yüzeler açıkta kalacak şekilde, bakalite alınmıştır. Daha sonra Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalografi Laboratuvarı'nda sırasıyla 220, 380, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalar kullanılarak yüzeyleri zımparalanmıştır.

Bu aşamadan sonra mikro yapısı incelenecek yüzeyler parlatma çuhalarında $0,03\mu\text{m}$ alümina tozu kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan parçalar su ile yıkayıp kurutulduktan sonra alkol ile temizlenmiş ve örtülü elektrotla kaynaklanmış numuneler oluşturulan (30ml HCl, 10gr FeCl_3 ve 120ml H_2O karışımı) çözelti içine daldırılarak, sürtünme karıştırma kaynak numuneleri ise oluşturulan (5gr $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$, 25ml HCl, 170ml H_2O karışımı) çözelti numune yüzeyine sürülerek dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama işleminden sonra numune yüzeyleri alkol ile temizlenip tekrar

kurutulduktan sonra optik mikroskop altında değişik büyötmelerle incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 5.10’da bakalite alınan numunelerden örnekler gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Bakalite alınan temsili numunelerin resmi

5.4.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elementer analiz incelemesi

Sürtünme karıştırma ve elektrik ark kaynak teknikleri ile birleştirilen CuZn30 levhaların kaynak bölgesini incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca birleştirme esnasında element kayıplarını tespit etmek amacıyla kaynak bölgesinin elementer analiz değerlerinin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobuna kombine edilmiş EDS (Electron Dispersive Spectroscopy) kullanılmıştır.

Bu işlemler için Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan JEOL JMS-6060 LV markalı taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.




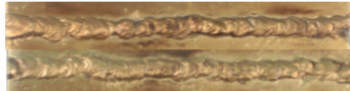
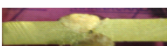

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

6.1. Kaynak Dikişi Yüzey ve Kesit Görünümleri

Sürtünme karıştırma ve elektrik ark kaynak teknikleri ile birleştirilen CuZn30 levhaların yüzey görünümü, kaynak sonrası herhangi bir işlemin yapıp yapılmaması açısından oldukça önemlidir. Ayrıca yüzeyden hatasız gibi görünen kaynak dikişi iç kısımlardan hatalı olabilir. Bu nedenle kaynak dikiş kesitlerinde incelemesi yapılan birleştirmenin kalitesi hakkında bilgi edinmemizi sağlayacaktır.

6.1.1. Elektrik ark kaynak dikişleri



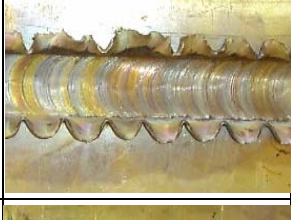
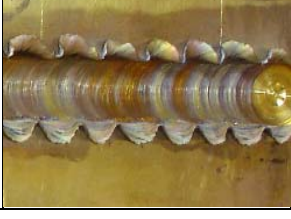
Elektrik ark kaynak yöntemi ile CuZn30 alaşımı levhalar As Bronz (CuSn7) elektrotu kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi CuZn30 alaşımı levhalara yatay pozisyonda ve alın altına getirilerek uygulanmıştır. Birleştirme sonucunda Tablo 6.1’de gösterilen kaynak kesitleri ve yüzey görünüşleri elde edilmiştir. Elektrik ark kaynağında CuZn30 alaşımı levhaların kaynatılmasında arkın kontrolünün çok zor olduğu görülmüştür. Arkın kontrolünün zor oluşu kaynak dikişinde ark atlamalarının oluşmasına yol açmıştır. Bunun yanında metal sıçramaları oldukça fazla olduğundan kaynak işlemi sonunda kaynak dikişinin çok iyi bir şekilde temizlenmesi gerekmektedir.

Kaynak Parametreleri	Kaynak dikişinin kesit görünüşü	Kaynak dikişinin üstten görünüşü
Akım: 90 Amper Gerilim: 20 Volt Kaynak hızı: 280 (mm/dak)		
Akım: 100 Amper Gerilim: 22 Volt Kaynak hızı: 320 (mm/dak)		
Akım: 120 Amper Gerilim: 26 Volt Kaynak hızı: 360 (mm/dak)		

Tablo 6.1. Elektrik ark kaynağı ile birleştirmede elde edilen kaynak kesitleri ve yüzey görünüşleri.

6.1.2. Sürtünme karıştırma kaynak dikişleri

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile 5 mm kalınlığındaki CuZn30 alaşımı levhalar sabit ilerleme hızı ve farklı dönme hızları kullanılarak birleştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen dikiş yüzey kalitesi Tablo 6.2’de verilmiştir. Tablo 6.2’de gösterilen yüzey görünümlerinin karıştırıcı ucun dönme hızına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Dönme hızı arttıkça dikiş kenarlarında malzeme çapakları göze çarpmaktadır.



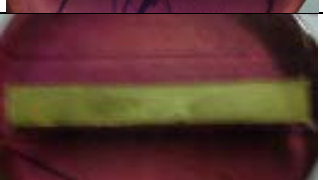

Karıştırıcı Ucun İlerleme Hızı (mm/dak)	Karıştırıcı Ucun Dönme Hızı (devir/dak)	Dikiş Yüzey Görünüşü
12,5	500	
12,5	630	
12,5	1000	
12,5	1600	

Tablo 6.2. Farklı dönme hızlarında SKK ile yapılan birleştirmelerde meydana gelen dikiş yüzey kalitesi

Bu kenar çapaklarının oluşmasında en önemli etkenlerden bir tanesi de karıştırıcı uç omzunun birleşme yüzeylerin temas ettiğiinde, kaynak ilerleme düzleminde bu yüzeylerin yukarıya doğru kalkma eğilimi göstermesidir. Diğer bir problem ise omuz kısmının yüzeye çok daha fazla girmesi ve kenarlarda çapak oluşturmastır.

Düzgün bir kaynak yüzeyi için, karıştırıcı ucun omuz kısmı en ideal ölçülerde yüzeye temas etmeli, kaynak esnasında parçalar kesinlikle yukarıya doğru kalkmayacak şekilde çok iyi sabitlenmelidir.

Sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen kaynak dikiş kesitleri incelendiğinde 500, 630 ve 1000 devir/dak dönme hızlarında elde edilen kaynak dikişlerinde gözenek oluşmazken, 1600 devir/dak dönme hızında elde edilen dikiş kesitlerinin bazı bölümlerinde tünel şeklinde gözenekler oluşmuştur. Yapılan çalışmalarda oluşan bu gözeneklerin dönme hızı artırıldığında ortaya çıktığı görülmüştür. Fakat literatür incelemelerinde karıştırıcı ucun 1600 dev/dak yı geçmesi halinde bu tarz bir problemle karşılaşmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışma ile literatürdeki bilgi farklığının, karıştırıcı uç formunun değişik olmasına atfedilebilir. Dolayısıyla belirli bir karıştırıcı uç formu ile uyumlu kaynak parametrelerinin tespiti oldukça önem kazanmaktadır. Değişik dönme hızlarına ait kaynak dikişlerinin kesit görünüşleri Tablo 6.3'de gösterilmiştir.

Karıştırıcı Uçun İlerleme Hızı (mm/dak.)	Karıştırıcı Uçun Dönme Hızı (devir/dak.)	Kaynak Bölgesinin Enine Kesiti
12,5	500	
12,5	630	
12,5	1000	
12,5	1600	

Tablo 6.3. Değişik dönme hızlarına ait SKK ile birleştirilen CuZn30 levhalarına ait kaynak dikişlerinin kesit görüntüleri

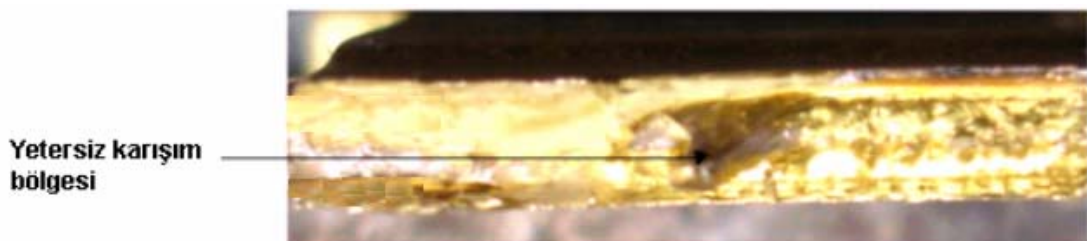
6.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyi, sürtünme karıştırma kaynak tekniği ve elektrik ark kaynağı ile birleştirilen CuZn30 alaşımı malzemenin mekaniksel özelliklerini belirleyebilmek amacıyla yapılmıştır. Çekme deneyi karıştırıcı uç ilerleme hızı sabit olup, değişen karıştırıcı uç dönme hızlarında birleştirilen ve elektrik ark kaynağı ile birleştirilen numunelere uygulanmıştır. Böylece SKK kaynak parametrelerinin birleştirme özelliklerini nasıl etkilediği tespit edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen levhalardan alınan sonuçlarla SKK numune sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 6.4’de sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış levhalardan alınan çekme deneyi sonucu kopan numuneler gösterilmiştir.

Karıştırıcı ucun dönme hızı (dev/dak)	Karıştırıcı ucun ilerleme hızı (mm/dak)	Çekme deneyi sonucu kopan numuneler	Değerlendirme
1000	12,5		Numune ITAB'da kırıldı
630	12,5		Numune ITAB'da kırıldı
500	12,5		Numune ITAB'da kırıldı

Tablo 6.4. Çekme deneyi sonucu kopan sürtünme karıştırma kaynak numuneleri.

Çekme deneyinde kullanılan numuneler farklı kaynak parametrelerine sahip olduğu için değişik mekanik ve uzama değerleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda 12,5 mm/dak. ilerleme hızı ve 500, 630 ve 1000 devir/dak. dönme hızlarında elde edilen birleştirmelerde kopma karıştırılmış bölge dışında yani ITAB içerisinde gerçekleşmiştir. 12,5 mm/dak. ilerleme hızı ve 1600 devir/dak. dönme hızı kullanılarak yapılan birleştirmede ise kopma karıştırılmış bölgede gerçekleşmiştir. Şekil 6.5'de görüleceği gibi kaynak dikişinin kesiti incelendiğinde tam orta kısmında yetersiz karışım bölgesinin ve tünel şeklinde ki gözeneklerin bulunması, kopmanın en zayıf bölge olan kaynak dikişinde meydana gelmesine sebep olmuştur. Çekme numunelerinde karıştırılmış bölgeden kopan numunelerin sebebi karışım bölgesinin içerisinde mevcut olan yetersiz karışım veya gözeneklerin var olmasıdır. Şekil 6.1'de çekme numunesinin kopan kesitine bakıldığında ise tünel şeklindeki gözenek görülmektedir.



Şekil 6.1. Çekme numunesinin kopan bölümünün kesiti.

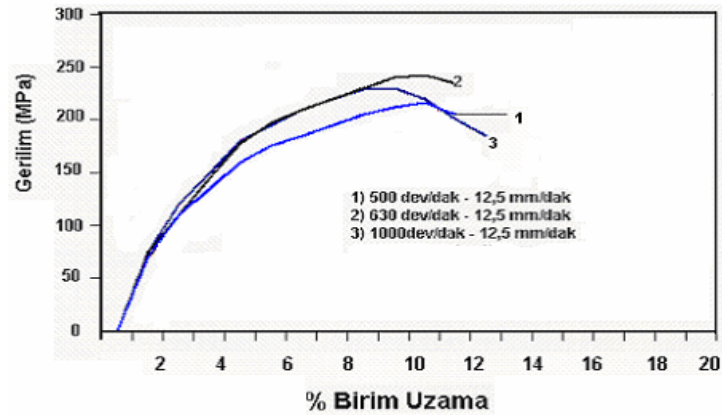
Diğer taraftan Tablo 6.5'de elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş levhalardan alınan çekme deneyi sonucu kopan numuneler gösterilmiştir. Bu numunelerin kopma yüzeylerine bakıldığında, kopma işleminin kaynak dikişlerinin hemen kenarındaki ergime hattı boyunca gerçekleştiği görülmüştür. Çünkü elektrik ark kaynağındaki

birleştirme işleminde, kaynak ergime sıcaklığında pirinç içerisindeki bakır ergiyene kadar çinko buharlaşmakta ve çinko element kaybı ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla ergime hattı boyunca mukavemet düşüşü meydana gelebilmektedir. Ayrıca birleştirme çift taraflı kaynak dikişi çekilerek oluşturulduğu için tek taraflı birleştirmelere veya tek pasolu birleştirmelere nazaran çinko kaybı daha fazla olmaktadır.

Kaynak parametreleri	Çekme deneyi sonucu kopan numuneler	Değerlendirme
Akım: 100 amper Gerilim: 22 volt Kaynak hızı: 320 mm/dak		Numune ergime hattı boyunca kırıldı
Akım: 120 amper Gerilim: 26 volt Kaynak hızı: 360 mm/dak		Numune ergime hattı boyunca kırıldı

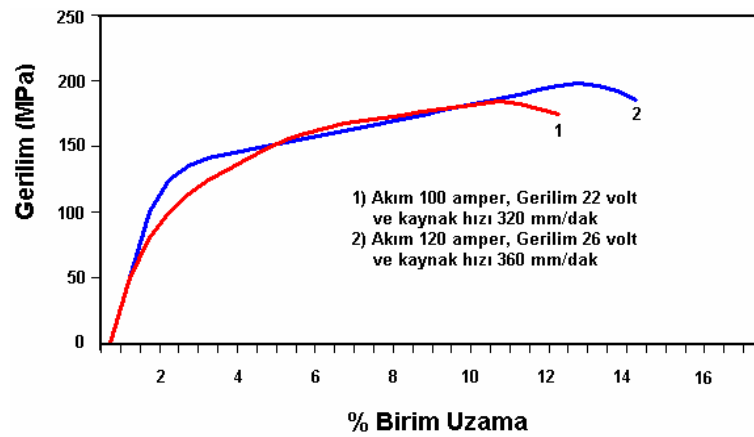
Tablo 6.5. Çekme deneyi sonucu kopan elektrik ark kaynak numuneleri.

Şekil 6.2’de sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve çekme deneyi uygulanan numunelere ait gerilim-%birim uzama eğrisi gösterilmektedir. Şekilde de gösterildiği gibi akma mukavemetine kadar lineer olarak ilerleyen bir gerilim daha sonra alaşımın plastik deformasyonu nedeniyle eğri lineer olmayan bir yol izleyerek çekme mukavemetinin belirlendiği maksimum noktaya ulaşılmıştır. Daha sonra malzeme kopmuştur.



Şekil 6.2. Sabit ilerleme hızı ve farklı dönme hızlarında sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhadan alınan ve çekme deneyi uygulanan numunelerin gerilim-%birim uzama eğrileri

Şekil 6.3'te elektrik ark kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve çekme deneyi uygulanan numunelere ait gerilim-%birim uzama eğrileri gösterilmektedir. Şekilde de gösterildiği gibi akma mukavemetine kadar lineer olarak ilerleyen bir gerilim daha sonra alaşımın plastik deformasyonu nedeniyle, eğri lineer olmayan bir yol izleyerek çekme mukavemetinin belirlendiği maksimum noktaya ulaşmıştır. Daha sonra malzeme kopmuştur.



Şekil 6.3. Elektrik ark kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve çekme deneyi uygulanan numunelerin gerilim-%birim uzama eğrisi

Tablo 6.6'de SKK ve elektrik ark kaynak teknikleri ile birleştirilen numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen nümerik değerler karşılaştırılabilirliği açısından verilmektedir.

Tablodan da görüleceği gibi 630 ve 1000 dev/dak dönme hızı ve 12,5 mm/dak ilerleme hızı kaynak parametrelerine sahip SKK numunelerinin çekme mukavemeti 500 dev/dak dönme hızı ve 12,5 mm/dak ilerleme hızı kaynak parametresine sahip numuneye göre daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan karıştırıcı uç formuna göre SKK ile yapılacak CuZn30 alaşımı levhaların birleştirilmesinde karıştırıcı uç dönme hızı 630-1000 dev/dak arasında ve ilerleme hızı 12,5 mm/dak seviyesinde tercih edilmelidir. Tablo 6.7'de gösterildiği gibi Sebahattin AKTÜRK'ün [47] yaptığı çalışmada bu bulguyu doğrulayan değerler dikkati çekmektedir. Çünkü Sebahattin AKTÜRK'ün çalışmasında da karıştırıcı ucun dönme hızı 800 dev/dak ve ilerleme hızı 12,5 mm/dak olan numunelerden iyi sonuçlar

alındığı ifade edilmektedir. Fakat sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş CuZn30 alaşımı levhalardan alınan çekme deneyi sonuçları ile, daha önce sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış olan %99 saflıktaki elektrolitik bakır levhalardan alınan çekme deneyi sonuçları karşılaştırıldığında CuZn30 alaşımı levhalardan alınan mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 6.6. Çekme deneyi sonuçları

Kaynak Yöntemleri	Karıştırıcı ucun dönme hızı (devir/dak)	Karıştırıcı ucun ilerleme hızı (mm/dak)	% Uzama	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)
Sürtünme Karıştırma Kaynağı	500	12,5	11	125	176	139
	630	12,5	11±3	125±4	229±13	217±12
	1000	12,5	12±1	142±3	236±6	196±9
Elektrik Ark Kaynağı	***	***	12±2	118±9	194±8	180±5
*** Elektrik ark kaynağı birleştirilmiş.						

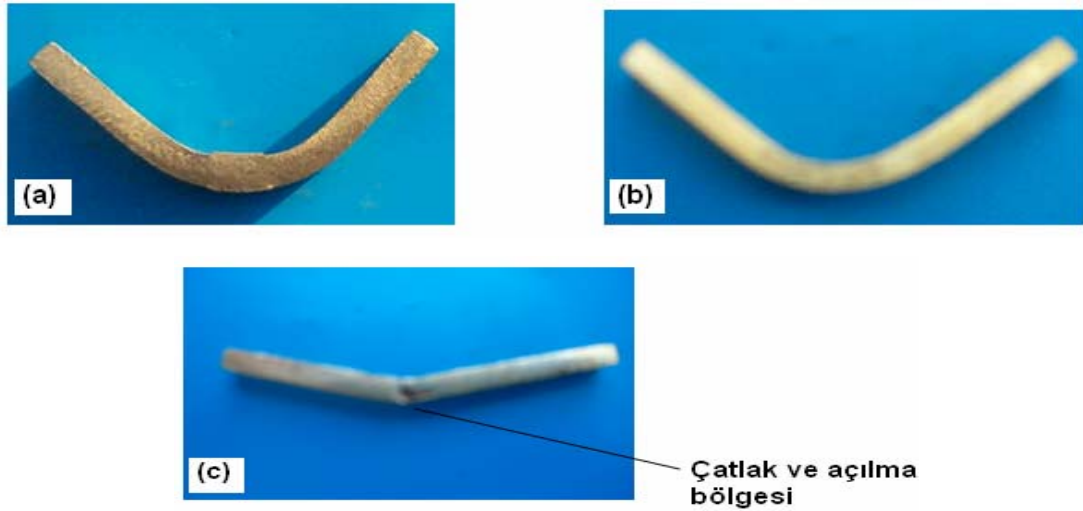
Tablo 6.7. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş %99 saflıktaki elektrolitik bakır levhalardan alınan numunelere uygulanmış çekme deneyi sonuçları [47]

Karıştırıcı ucun dönme hızı (devir/dak)	Karıştırıcı ucun ilerleme hızı (mm/dak)	% Uzama	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)
800	100	22	95	200	171
800	12,5	18	133	204	185
800	12,5	20	126	213	196
800	20	16	57	137	105

6.3. Eğme Deneyi Sonuçları

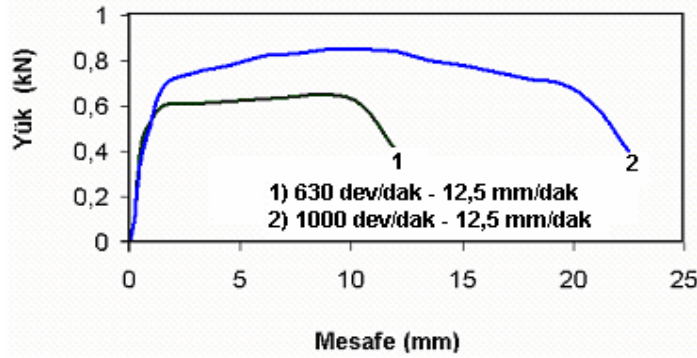
Eğme deneyinde kullanılan numuneler sürtünme karıştırma kaynağı ve elektrik ark kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan eni 10 mm, boyu 70 mm ve

kalınlığı 5 mm olacak şekilde alınmıştır. Eğme deneyinde kullanılan numunelerde kaynak metali uygulanan kuvvetin tam ortasına gelecek ve kaynak metalinin kök kısmı açıkta kalacak şekilde ayarlanmıştır. Farklı kaynak parametrelerine ait eğme deneyi numuneleri sayesinde, birleştirme mukavemeti hakkında daha detaylı bilgi elde edilmiştir. İlerleme hızının 12,5 mm/dak. dönme hızının 500, 630 ve 1000 devir/dak kaynak parametreleri kullanılarak elde edilen birleştirmelerde eğme deneyi sonucunda numunelerde çatlama veya yırtılma gibi olumsuzluklar oluşmamıştır. İlerleme hızı 12,5 mm/dak. ve dönme hızı 1600 dev/dak. kaynak parametresi kullanılarak elde edilen birleştirmede ise eğme deneyi sonucunda kaynak dikişinin kök kısmında kaynak dikişi boyunca kök birleşme yüzeylerinde yırtılma ve açılma olduğu gözlenmiştir. Numune kesitleri incelendiğinde karışım bölgesinde gözeneklerin mevcut olduğu belirlenmişti (Tablo 6.1). Dolayısıyla eğme numunelerinde de bu hata kendini yırtılma ve açılma şeklinde göstermiştir. Şekil 6.4’de eğme deneyi sonucunda bükülen sürtünme karıştırma kaynağından alınan eğme numunesi ve elektrik ark kaynağından alınan eğme numunelerinin resimleri gösterilmektedir.



Şekil 6.4. Eğme deneyi yapılan numuneler a) Eğme deneyi uygulanmış elektrik ark kaynağı numunesi (çatlama ve açılma yok), b) Eğme deneyi uygulanmış sürtünme karıştırma kaynağı numunesi (çatlama ve açılma yok), c) Eğme deneyi uygulanmış SKK (1600 dev/dak ve 12,5 mm/dak) numunesi (çatlama ve açılma var).

Eğme deneyi uygulanan sürtünme karıştırma kaynak numunelerin yük-mesafe eğrileri Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.5. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve eğme deneyi uygulanan bazı numunelerin yük-mesafe eğrileri

Tablo 6.8. Eğme deneyi sonuçları

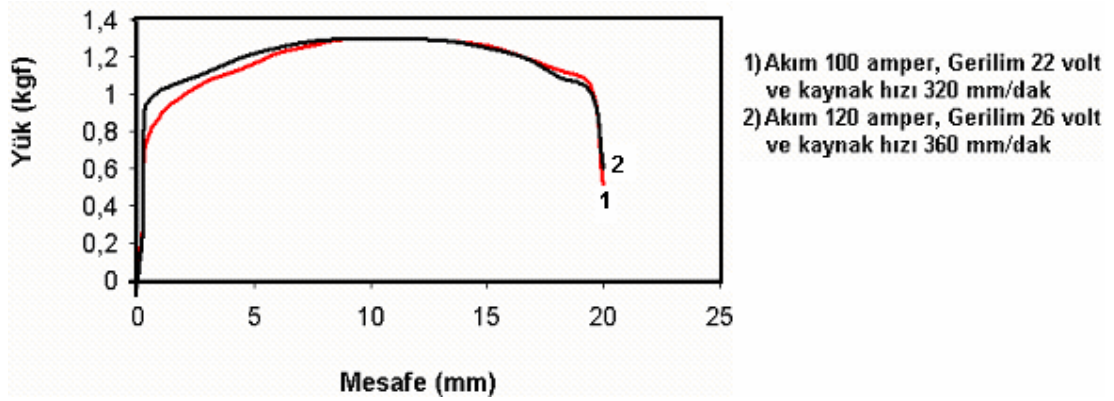
Karıştırıcı ucun dönme hızı (devir/dak)	Karıştırıcı ucun ilerleme hızı (mm/dak)	Max. basma mukavemeti (kN)
500	12,5	0,27
630	12,5	0,65±0,5
1000	12,5	0,78±0,8
1600	12,5	0,75

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş CuZn30 alaşımı levhalardan alınan eğme deneyi sonuçları ile, daha önce sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış olan S. AKTÜRK [47] çalışmasındaki %99 saflıktaki elektrolitik bakır levhalardan alınan eğme deneyi sonuçları karşılaştırıldığında CuZn30 alaşımı levhalardan alınan mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu yüzden çekme deneyi ve eğme deneyi sonuçlarına genel olarak baktığımızda sürtünme karıştırma kaynağının CuZn30 alaşımı levhalarda endüstriyel kullanımının mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 6.9. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş %99 saflıktaki elektrolitik bakır levhalardan alınan numunelere uygulanmış eğme deneyi sonuçları [47]

Karıştırıcı ucun dönme hızı (devir/dak.)	Karıştırıcı ucun ilerleme hızı (mm/dak.)	Max.basma mukavemeti (kN)
800	12,5	0,93
800	12,5	0,88
800	20	0,85

Şekil 6.6’da elektrik ark kaynak tekniği ile farklı kaynak akım değeri kullanılarak birleştirilen CuZn30 levhalara uygulanan eğme deneyi sonucunda elde edilen yük mesafe eğrileri gösterilmektedir. Tablo 6.10’da maksimum basma mukavemet değerleri verilmiştir. Tabloda da görüleceği gibi maksimum basma mukavemeti 1,2 – 1,3 kN arasında değişmektedir. Bu değerler SKK numuneleri ile (Tablo 6.8) karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülecektir. Bu değer fazlalığının ise elektrik ark kaynağında iki taraftan kaynak edilmesi ile mukavemet artırılmasına atfedilebilir.



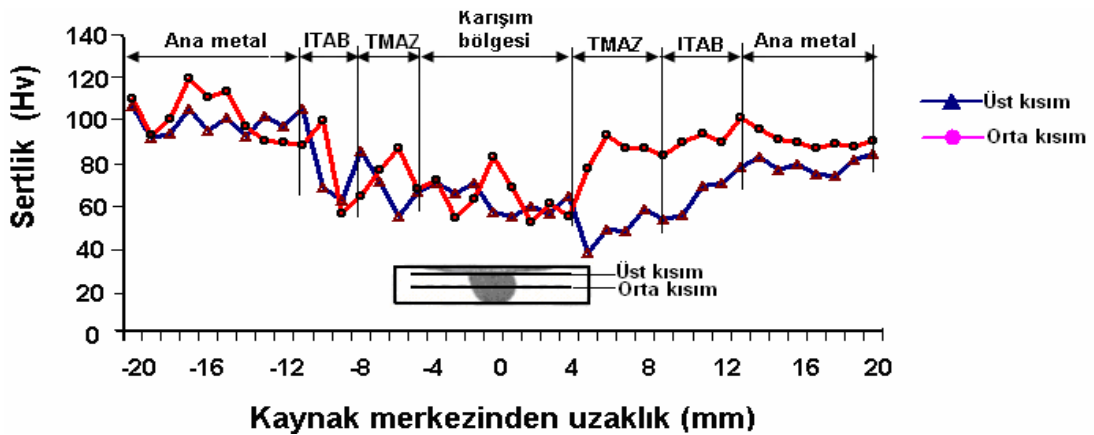
Şekil 6.6. Elektrik ark kaynağı uygulanmış CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve eğme deneyi uygulanan numunelerin yük-mesafe eğrisi

Tablo 6.10. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş CuZn30 alaşımı levhalardan alınan ve eğme deneyi uygulanan numunelerin eğme deneyi sonuçları

Kaynak Parametreleri	Max. basma mukavemeti (kN)
Akım 90 amper Gerilim 20 volt Kaynak hızı 280 mm/dak	1,2 ± 0,1
Akım 100 amper Gerilim 22 volt Kaynak hızı 300 mm/dak	1,25±0,1
Akım 120 amper Gerilim 26 volt Kaynak hızı 360 mm/dak	1,35±0,1

6.4. Mikro Sertlik Sonuçları

Şekil 6.7’de SKK ile birleştirilen numunenin üst ve orta bölgesinden alınan mikro sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekilde gösterilen mikro sertlik değerleri, sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile 630 devir/dak. dönme hızı ve 12,5 mm/dak. ilerleme hızı kullanılarak birleştirilen numuneye aittir. Diğer numunelerde de benzer sertlik değişimi görüldüğü için örnek olarak bu numuneye ait sertlik değerleri verilmiştir. Ana metalin sertlik değeri ortalama 100 Hv’dir. Bu değer kaynak merkezine 5 mm mesafede azalmaya başlamakta ve 65 Hv’e kadar düşmektedir. Bu düşüş bölgesi ısıdan etkilenen bölgeyi (ITAB’ı) ve termo mekanik olarak etkilenen bölgeyi (TMAZ’ı) temsil eder. Kaynak metalindeki sertlik ise minimum seviyededir (60 Hv). Şekilde de görüldüğü gibi, sertlik değişimine baktığımızda kaynak bölgesini; ana metal, ITAB, termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge ve kaynak metali olarak dört bölgeye ayırmak mümkündür. Bu bölgeleri kaynaklı numunenin üst ve orta kısımlarında görmek mümkündür. Üst ve orta kısımdan alınan mikro sertlik değerleri kaynak bölgesinin belirli bölgelere ayrılması için yeterli olmaktadır.



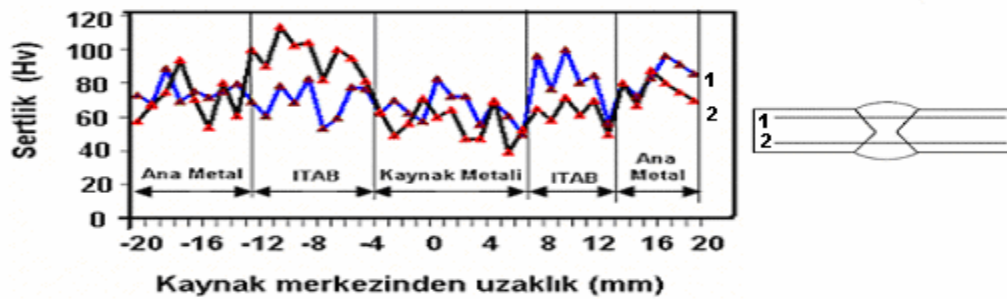
Şekil 6.7. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen CuZn30 levhanın üst ve orta kısmından alınmış mikro sertlik değer dağılımları

Şekil 6.8’de elektrik ark kaynak tekniği ile birleştirilen numunelere ait mikro sertlik değerleri gösterilmektedir.

Elektrik ark kaynağı bile birleştirilmiş numunelerde ana esas metalin sertlik değeri ortalama 80 Hv’dir. Kaynak merkezine yaklaştıkça ITAB’ın sertliği artmaya

başlamakta ve 100 Hv'e kadar yükselmektedir. Kaynak metalinin sertliğine bakıldığında yaklaşık olarak 60 Hv olduğu görülecektir.

SKK ve elektrik ark kaynak yöntemleri ile birleştirilen numunelerde kaynak metalini ile karışım bölgesi sertlikleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Elektrik ark kaynak numunelerinde ITAB bölgesinin sertliğinin ortalama 100 Hv'ye ulaştığı görülmekte olup, SKK ile birleştirilen numunelerde ise daha düşük değerlerde olmuştur (65Hv). SKK çekme numunelerinin bir kısmının ITAB'dan kırılmasının bu düşük sertlik değerlerinden dolayı olabileceği tahmin edilmektedir.



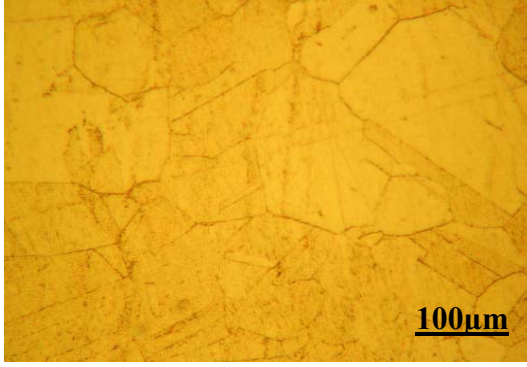
Şekil 6.8. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen CuZn30 levhaların orta kısmından alınmış mikro sertlik dağılımları

6.5. Mikroyapı İncelemeleri

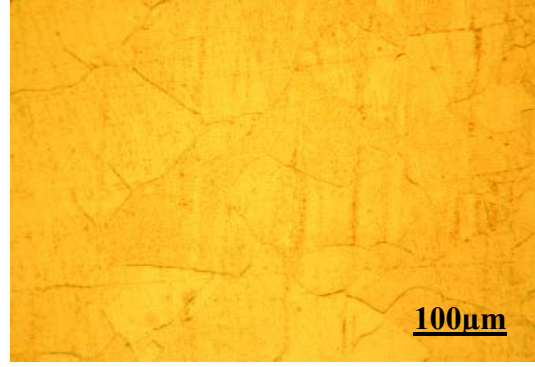
6.5.1. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen CuZn30 levhaların mikroyapısı

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş pirinç levhaların kaynak bölgesinde dört önemli mikro yapısal değişimin olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen CuZn30 levhaların kaynak sonrasında oluşan kaynak bölgesindeki mikro yapısal bölgeler Şekil 6.9'da gösterilmektedir.

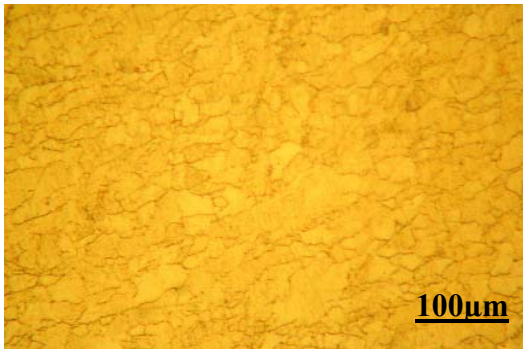
Optik görüntülerden elde edilen bilgilere göre CuZn30 alaşımı levhaların SSK ile birleştirilmesinde elde edilen farklı bölgeler şunlardır: (a) Ana metal, (b) Isı tesiri altındaki bölge (ITAB), (c) TMAZ (Termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge) ve (d) Karışım bölgesi



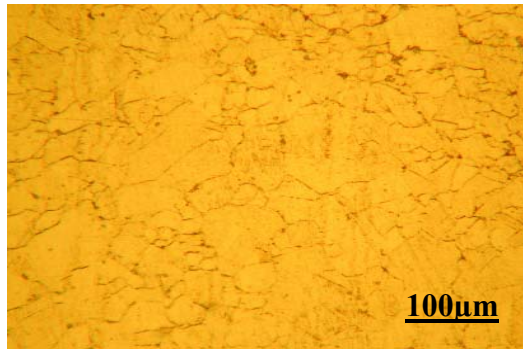
(a) Ana metalin mikroyapısı (şematik resimde gösterilen 1 bölgesi)



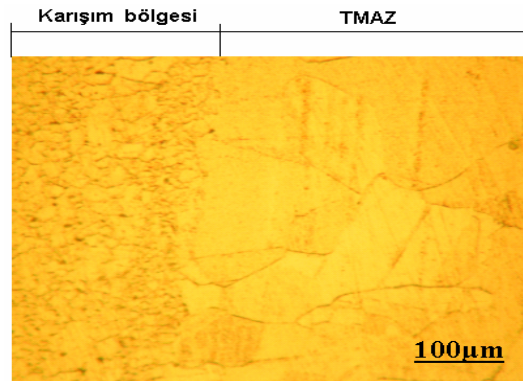
(b) ITAB'ın mikroyapısı (şematik resimde gösterilen 2 bölgesi)



(c) Termo-mekanik olarak etkilenmiş bölgenin (TMAZ) mikroyapısı (şematik resimde gösterilen 3 bölgesi)



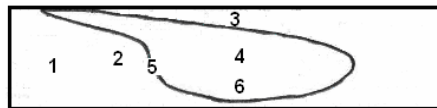
(d) Karışım bölgesinin mikroyapısı (şematik resimde gösterilen 4 bölgesi)



(e) Kaynak merkezinden TMAZ'a geçiş bölgesi mikroyapısı (şematik resimde gösterilen 5 bölgesi)



(f) Kaynağın kök kısmı mikroyapısı (şematik resimde gösterilen 6 bölgesi)



Şekil 6.9. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen CuZn30 levhaların kaynak bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları

Kaynak bölgesinde tespit edilen bu kısımların özelliklerini şu şekilde özetleyebiliriz:

(a) Ana metal: Kaynak bölgesinin dışında kalan en dış bölgedir. Karışım bölgesinden yeterince uzakta olup, karıştırma esnasında oluşan ısıdan etkilenmez. Bu bölgede plastik şekil değiştirme meydana gelmez. Malzemenin mikroyapısının ve diğer özelliklerinin değişmediği ana metal bölgesidir. Şekil 6.9 (a) da ana metalin mikroyapısı görülmektedir. Ana metalin mikroyapısına bakıldığında orta büyüklükte (60-100 μm) tane yapısına sahip olduğu görülmektedir.

(b) ITAB (Isı tesiri altındaki bölge): Isının tesiri altında kalan bölge olarak tanımlanır. Bu bölgedeki malzeme karıştırma esnasında meydana gelen ısıdan etkilenir, malzemenin mikroyapı ve özellikleri değişir. Bu bölgede de plastik şekil değiştirme meydana gelmez. Karıştırma esnasında oluşan ısı değerinin yüksek olmaması nedeniyle, ergitme kaynak teknikleri ile karşılaştırıldığında SKK'nın ITAB'ı daha dardır. Şekil 6.9 (b) de ITAB görülmektedir. ITAB ana metale benzeyen orta büyüklükteki tane bir yapısına sahiptir ve kaynak merkezini çevrelemiştir. Taneler ise yönlenmemiştir.

(c) TMAZ (Termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge): Termo-mekanik olarak etkilenen bölge olarak adlandırılır. Hem plastik deformasyonun etkisi altındadır hem de kaynağın ısısından etkilenir. Isı tesiri altında kalan ITAB'a komşu olan bir bölgedir. Bu bölgede karıştırmanın etkisiyle hem plastik deformasyon meydana gelmekte hem de oluşan ısının tesiriyle ana metale göre daha ince taneli bir yapı oluşmaktadır. Karıştırma esnasında oluşan ısı, bu bölgenin mikroyapı ve özelliklerini değiştirir. Şekil 6.9 (c) de TMAZ görülmektedir. Bu bölgede taneler kaynak merkezine göre daha kaba yapıdadır (15-25 μm) ve taneler yönlenmiştir.

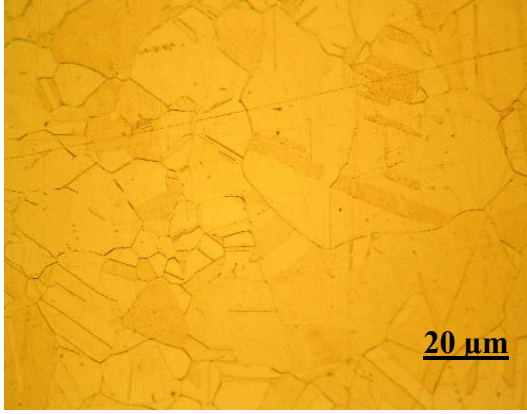
(d) Karışım bölgesi: Karıştırıcı ucun malzemeyi hamurumsu hale getirip karıştırdığı bölgedir. En önemli bölge olup karışmanın gerçekleştiği kaynak metalinin kendisidir. Şekil 6.9 (d) de kaynak merkezinin mikroyapısı görülmektedir. Kaynak işlemi sırasındaki sürtünme ısısı nedeniyle meydana gelen yeniden kristalleşmeden dolayı ince taneli (5-15 μm) bir yapıya sahiptir.

Şekil 6.9 (e) de kaynak bölgesi ile termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge (TMAZ) arasındaki geçiş bölgesi görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi karışım bölgesi küçük ince taneli bir yapıya sahip olup, termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge daha kaba taneli ve yönlendirilmiş tanelerden oluşmuştur.

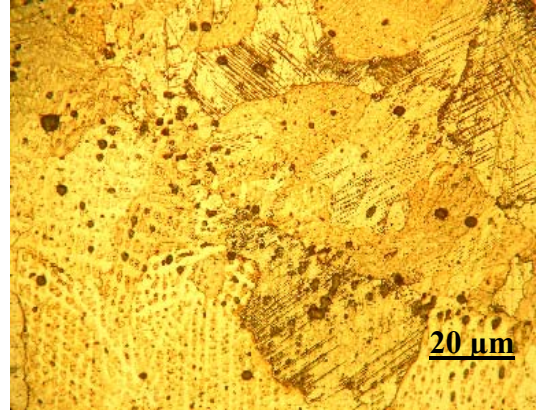
Şekil 6.9 (f) de birleşme bölgesinin kök kısmında meydana gelen çatlak şeklinde bir bölge oluşmuştur. Karıştırıcı ucun levhaya girme derinliği tarafından etkilenen bu kısımda, eğer karıştırıcı uç ile alt pleyt arasında 0,2 mm'den fazla mesafe kalırsa bu tarz yetersiz birleşme bölgesine rastlanmaktadır. Çünkü kök kısmında birleşmenin gerçekleşmesi için yeterli difüzyon ısı oluşmaktadır.

6.5.2. Elektrik ark tekniği ile birleştirilen CuZn30 levhaların mikroyapısı

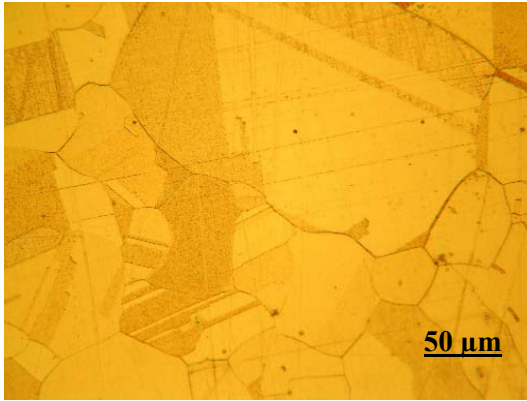
Elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş CuZn30 alaşımı levhaların kaynak bölgesinde uç ve ana metal ile birlikte toplam dört önemli mikroyapısal değişimin olduğu tespit edilmiştir. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen CuZn30 levhaların kaynak sonrasında oluşan kaynak bölgesindeki mikro yapısal bölgeler Şekil 6.10'da gösterilmektedir. Bu bölgeleri tanımlamak gerekirse; (a) Ana metal, (b) Kaynak metal, (c) ITAB, (d) Ergime hattı bölgesidir.



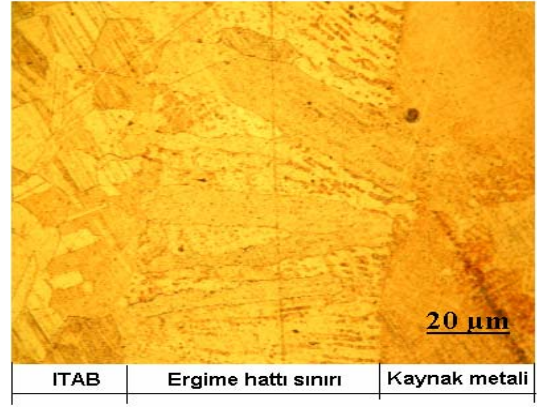
(a) Kaynak metali (şematik resimde gösterilen 2 nolu bölge)



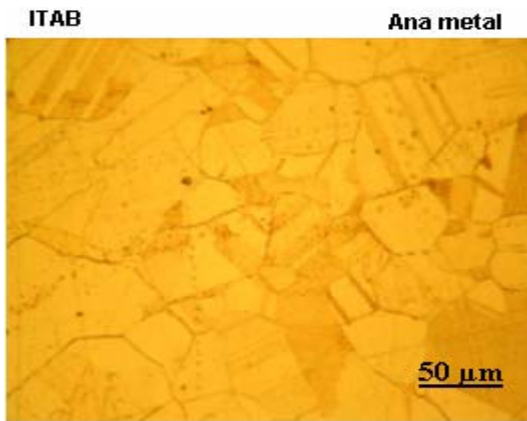
(b) Kaynak metalinin alt kısmı (şematik resimde gösterilen 3 nolu bölge)



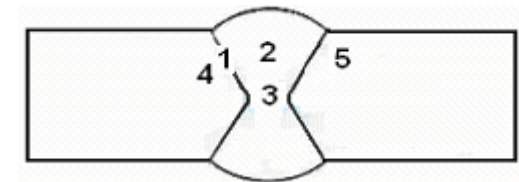
(c) ITAB kaba taneli yapı (şematik resimde gösterilen 4 nolu bölge)



(d) Kaynak metalinin üst kısmı (şematik resimde gösterilen 1 nolu bölge)



(e) ITAB'dan ana metale doğru geçiş bölgesi (şematik resimde gösterilen 5 nolu bölge)



Şekil 6.10. Elektrik ark kaynak tekniği ile birleştirilen CuZn30 levhaların kaynak bölgesine ait mikroyapı fotoğrafları

Elektrik ark kaynak tekniği ile birleştirilen CuZn30 levhaların kaynak bölgesinde tespit edilen bölgeleri şu şekilde özetleyebiliriz:

(a) Kaynak metali: Metalin solidüsünden daha yüksek bir sıcaklık derecesine kadar ısınmış alan kaynak metali bölgesi kimyasal bileşim olarak ana metal ve elektrot metali karışımından ibarettir. Şekil 6.10 (a) da kaynak metalinin mikroyapısı gösterilmektedir. Kaynak metalinin mikroyapısına bakıldığında orta büyüklükte (20-50 μm) bir tane yapısı görülmektedir.

(b) ITAB: Ergime hattı çizgisinin ana metal tarafında yer alan bu bölge, kaynak işlemi esnasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısıl çevrimlerden etkilenmiş ve dolayısıyla iç yapı değişimine uğramış bir bölgedir. ITAB, ısı tesiri altında kalan bölgedir. Şekil 6.10 (c) de ITAB'a ait mikroyapı gösterilmektedir. ITAB'a ait mikroyapıya bakıldığında ana metal ve kaynak metaline göre daha iri taneli (80-130 μm) bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

(c) Ana metal: En dış bölgedir. Kaynak metalinden yeterince uzakta olup, ergime esnasında oluşan kaynak banyosunun ısısından etkilenmez. Bu bölgede plastik şekil değiştirme olmaz. Malzemenin mikroyapısının ve diğer özelliklerinin değişmediği ana metal bölgesidir.

(d) Ergime hattı sınırı bölgesi: Kaynak dikişinin kesiti, metalografik olarak incelendiğinde ergimiş olan bölgeyi sınırlayan ergime hattı çizgisi gayet belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 6.10 (d ve e) de ITAB'dan ana metale doğru geçiş bölgesinin yapısı gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi ITAB'dan ana metale doğru gelindiğinde tane yapısı daha da incelmektedir. Ergime hattı bölgesinde ortalama 40-80 μm tane büyüklüğüne sahip bölge görülmektedir.

6.6. Karışım Bölgesi ve Kaynak Bölgesindeki Elementer Analiz İncelemesi

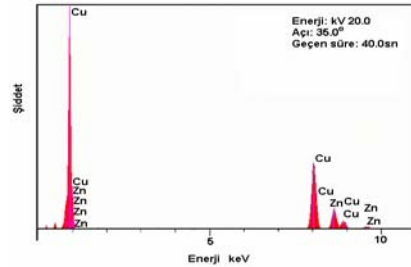
6.6.1. SKK ile birleştirilen CuZn30 levhaların elementer analiz incelemesi

Cu-Zn alaşımı levhaların ergitme kaynak teknikleriyle birleştirilmesinde kaynağı olumsuz yönde etkileyen en önemli problem, alaşım içerisindeki Zn buharlaşmasıdır. SKK kaynak yöntemi ve elektrik ark kaynağı ile yapılan birleştirme işleminde

kaynak işlemi sırasında çinkonun buharlaşıp buharlaşmadığını kontrol etmek için kaynak bölgesinin ve ana metalin değişik bölgelerinden elementer analiz değerleri alınmıştır.



(a) Karışım bölgesinin mikroyapısı



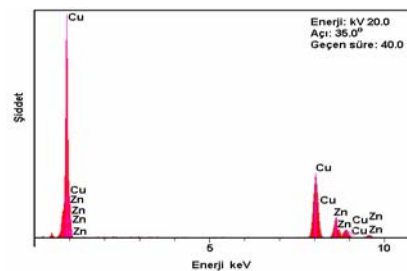
(b) Elementer analiz incelemesi

Element Adı	Karakteristik X-ışını demeti	Şiddet (c/s)	Hata (2-sig)	Yüzde Miktarı (kütlesel) (% wt)		
Cu	K_{α}	165,73	4,071	72.616	wt. %	
Zn	K_{α}	51,16	2,262	27.384	wt. %	
				100.000	wt. %	Toplam

(c) Elementer analiz sonuçları



(a) ITAB'ın mikroyapısı



(b) Elementer analiz incelemesi

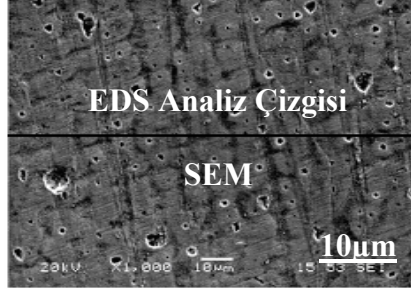
Element Adı	Karakteristik X-ışını demeti	Şiddet (c/s)	Hata (2-sig)	Yüzde Miktarı (kütlesel) (% wt)		
Cu	K_{α}	181,69	4,262	71.207	wt. %	
Zn	K_{α}	60,12	2,452	28.793	wt. %	
				100.000	wt. %	Toplam

(c) Elementer analiz sonuçları

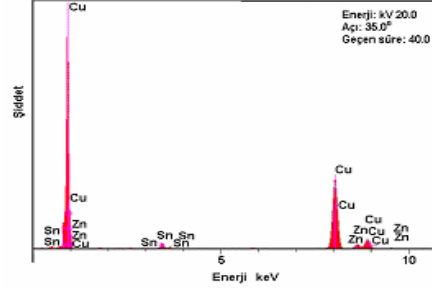
Şekil 6.11. SKK ile birleştirilmiş CuZn30 levhaların elementer analizi (a) Kaynak bölgesine ait SEM mikroyapısı, (b) Elementer analiz spectrumu (c) Analiz sonuçları

SKK karışım bölgesine ait SEM mikroyapısına bakıldığında karışım bölgesi, TMAZ, ITAB ve ana metal olarak dört farklı mikroyapı görülmüştür. Bu bölgelerde yapılan elementer analiz sonuçları da SKK kaynak yönteminde kaynak işlemi sırasında çinko buharlaşmasının olmadığını göstermiştir.

6.6.2. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen CuZn30 levhaların elementer analiz incelemesi



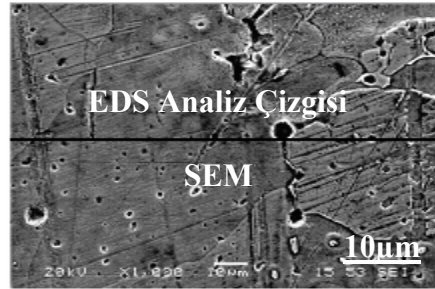
(a) Kaynak metali mikroyapısı



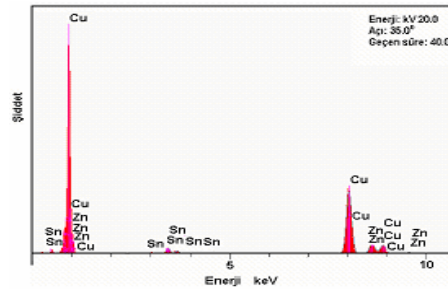
(b) Elementer analiz incelemesi

Element Adı	Karakteristik X-ışını demeti	Şiddet (c/s)	Hata (2-sig)	Yüzde Miktarı (kütleli) (% wt)		
Cu	K _α	243,3	4,933	88.753	wt. %	
Zn	K _α	17,41	1,319	7.704	wt. %	
Sn	K _α	13,5	1,162	3.543	wt. %	
				100.000	wt. %	Toplam

(c) Elementer analiz sonuçları



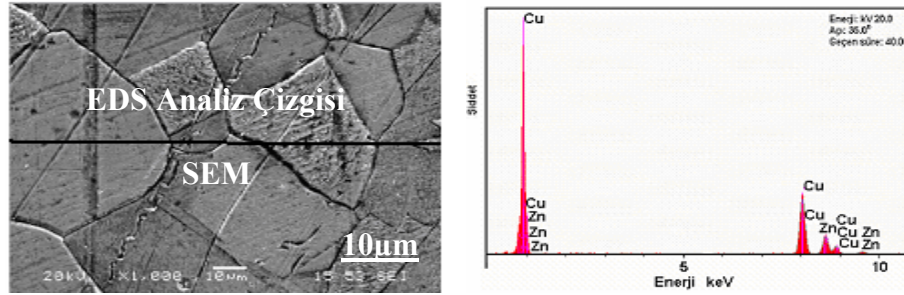
(a) ITAB'ın mikroyapısı



(b) Elementer analiz incelemesi

Element Adı	Karakteristik X-ışını demeti	Şiddet (c/s)	Hata (2-sig)	Yüzde Miktarı (kütleli) (% wt)		
Cu	K _α	214,43	4,631	80.354	wt. %	
Zn	K _α	35	1,871	15.947	wt. %	
Sn	K _α	13,4	1,157	3.699	wt. %	
				100.000	wt. %	Toplam

(c) Elementer analiz sonuçları



(a) Ana metalin mikroyapısı

(b) Elementer analiz incelemesi

Element Adı	Karakteristik X-ışını demeti	Şiddet (c/s)	Hata (2-sig)	Yüzde Miktarı (kütleisel) (% wt)		
Cu	K_{α}	192,73	4,39	71.819	wt. %	
Zn	K_{α}	61,9	2,488	28.181	wt. %	
				100.000	wt. %	Toplam

(c) Elementer analiz sonuçları

Şekil 6.12. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş CuZn30 levhaların elementer analizi (a) Kaynak bölgesine ait SEM mikroyapısı, (b) Elementer analiz spectrumu (c) Analiz sonuçları

Elektrik ark kaynağı kaynak bölgesine ait SEM mikroyapısına bakıldığında kaynak metal, ITAB ve ana metal olmak üzere üç farklı mikroyapı görülmüştür. Bu bölgeler üzerinde yapılan elementer analiz incelemesinde kaynak metalinde yaklaşık olarak % 21 oranında bir çinko buharlaşması gerçekleşmiş olup bu oran ITAB'da ise % 13'e düşmüştür. Ana metalde levhanın kimyasal yapısında bir değişiklik olmamıştır.

6.7. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen CuZn30 Alaşımı Levhalarda Karşılaşılan Hatalar

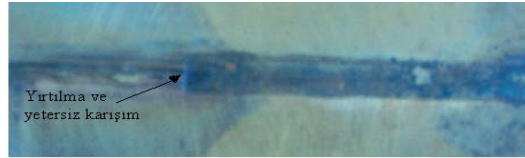
Bu çalışmada, birleştirme kalitesini etkileyen kaynak hatası olarak belirlenen bazı problemler şunlardır:

- 1) Sabitleme hataları
- 2) Birleştirilecek levhaların kaynak yüzey teması
- 3) Kaynak dikişi yüzey kalitesi
- 4) Kök kısım hatası
- 5) Kaynak sonunda oluşan karıştırıcı uç deliği

Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile yapılan birleştirmelerde birleştirme işleminin başarısı, kaynak parametreleri ve karıştırıcı uç formuna bağlı olduğu gibi mekanik olarak malzemelerin çok iyi sabitlenmesi de gerekir.

6.7.1. Birleştirilecek parçaların iyi sabitlenmemesi nedeniyle oluşan hatalar

Birleştirilecek parçaların, kaynak işlemi sırasında sağa, sola, geriye ve yukarı doğru hareket etmemesi için çok iyi bir şekilde sabitlenmesi gerekmektedir. Eğer sabitleme işlemi iyi bir şekilde yapılmazsa kaynak işlemi sırasında karıştırıcı uç, parçalara daldırıldığı zaman parçaların arası açılarak boşluk oluşacak ve parçalar bu yönlerde itilmeye çalışılacaktır. Eğer iş parçası bu itmeler sırasında değişik yönlerde hareket ederse kaynak işleminin başarılı olması oldukça zorlaşacaktır. Dolayısıyla işlem sağlıklı bir şekilde gerçekleşmediğinden yetersiz karışım sağlanacaktır. Şekil 6.13’de iyi sabitlenme yapılmayan bir birleştirme işleminde meydana gelen dikişinin kök kısmındaki yetersiz karışım ve yırtılma gösterilmektedir. Şekil 6.14’de ise iyi bir sabitlemeyi gösteren tezgah üzerine sabitlenmiş parçalar gösterilmektedir.



Şekil 6.13. Sabitleme hatası sonucu oluşan yetersiz karışım problemi ile ilgili kaynak fotoğrafı



Şekil 6.14. Basit bir kalıpta baskı pabuçları ile sabitlenip kaynak işlemine hazırlanmış parçalar

Birleştirilecek parçaların baskı pabuçları ile freze tezgahına çok iyi bir şekilde sabitlenmesi gerekir. Fakat en iyi yöntem, bu iş için parçalara uygun kalıplar hazırlanarak parçaların bu kalıplara yerleştirip kaynak işlemlerinin yapılmasıdır. Diğer bir yöntem ise bu iş için geliştirilmiş hidrolik baskı pabuçlarının kullanılmasıdır.

6.7.2. Birleştirme yüzeylerinin temas zayıflığı

Sürtünme karıştırma kaynağında en önemli parametrelerden birisi de birleştirilecek parçaların yüzeylerinin alın altına öpüşecek şekilde olması gerekliliğidir. Birleştirilecek parçaların birleştirme yüzeylerinin freze tezgahında çok iyi bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Eğer birleştirilecek parçaların birleştirme yüzeyleri alın altına tam olarak öpüşmezse kaynak bölgesinde kaynak hataları meydana gelecektir.

6.7.3. Kaynak yüzey kalitesinin düşük olması

Bu hata; birleştirilecek levhanın yüzeyinin düz olmaması, karıştırıcı ucun kaynak yapılacak levhaya uygun bir şekilde daldırılmaması, karıştırıcı ucun yüzey çıkıntısının yüzeye düzgün temas ettirilememesinden kaynaklanmaktadır. Yüzey kalitesini etkileyen diğer bir neden ise; karıştırıcı ucun yüzey çıkıntısının tam olarak ayarlanamaması sonucu kaynak işleminin yapılması esnasında levha yüzeyinden kaldırdığı çapaklardır. Şekil 6.15’de kötü ve iyi yüzey kalitesine sahip kaynak yüzey görüntüleri gösterilmektedir. Şekil 6.16’da kaynak işlemi esnasında karıştırıcı uç yüzey çıkıntısının (omuz) birleştirilen levhanın yüzeylerine temas ederken kaldırdığı çapak gösterilmektedir.



a) Kötü yüzey kalitesine sahip kaynak dikişi



b) İyi yüzey kalitesine sahip kaynak dikişi

Şekil 6.15. İyi ve kötü yüzey kalitesine sahip kaynak dikişi



Şekil 6.16. Karıştırıcı ucun yüzey çıkıntısının kaynak işleminin yapılması esnasında malzeme yüzeyinden kaldırdığı çapaklar

Yüzey kalitesini etkileyen bir başka neden ise; karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızıdır. Karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hızına bağlı olarak çeşitli şekillerde kaynak dikiş profilleri oluşmaktadır. Bu dikiş profilleri karıştırıcı uca, kaynak bölgesindeki ısı dağılımına ve karıştırıcı ucun dönme ve ilerleme hareketi arasındaki ilişkiye bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

6.7.4. Kaynak dikişinde tünel şeklinde gözenek oluşması

Sürtünme karıştırma kaynağında karıştırıcı uç omuz kısmı (yüzey çıkıntısı) birleştirilecek levha yüzeylerine oldukça iyi temas etmelidir. Eğer omuz kısmı ile levha arasında çok az bir boşluk dahi olsa, karıştırma esnasında karışım bölgesinden çıkan malzeme bu boşlukta birikmekte ve dolayısıyla karışım bölgesinde boşluk oluşmaktadır. Bu nedenle milimetrik olarak bu teması çok iyi ayarlamak gerekir.

6.7.5. Karıştırıcı uç deliği

Karıştırıcı ucun kaynak işleminin bitiminde yukarıya doğru çekilerek çıkarılması sırasında kaynak dikişinin sonunda bir delik meydana gelir (Şekil 6.17). Bu delik özellikle dairesel (boruların) kaynak işlemlerinde istenmeyen bir hatadır. Bu delik eğer mümkünse kesilerek alınır, mümkün değil ise TIG kaynak yöntemi ile doldurulur. Ayrıca kaynak bitimine ilave bir parça konularak kaynak işleminin bu

ilave edilen parça üzerinde bitirilmesiyle bu hatanın ana malzeme üzerinde oluşmaması sağlanır.



Kaynak sonunda oluşan delik

Şekil 6.17. Kaynak dikişinin sonunda meydana gelen delik hatası

6.8. Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilen CuZn30 Alaşımı Levhalarda Karşılaşılan Hatalar

Elektrik ark kaynak tekniği ile birleştirilen CuZn30 alaşımı levhaların kaynak işleminde karşılaşılan problemler şunlardır:

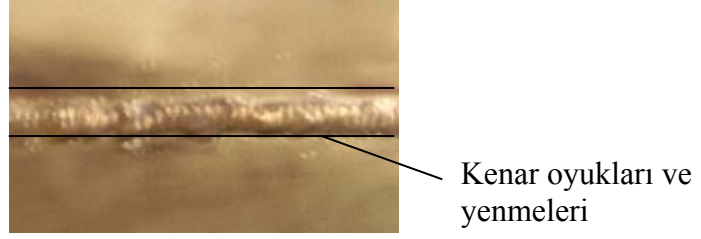
- 1) Kenar oyukları ve yenmeleri
- 2) Başlangıç ve bitiş hataları
- 3) Kaynak hızının değişmesinden kaynaklanan hatalar
- 4) Curuf kalıntısı

6.8.1. Kenar oyukları ve yenmeleri

Pirinç levhaların elektrik ark kaynağı ile birleştirilmesinde arkın kontrolü çok zor olup, sıçramalar oldukça fazla olmaktadır (Şekil 6.18). Ark boyunun ve elektrot hareketinin iyi ayarlanamaması ve uygun akım şiddetinin seçilmemesi sonucu kaynak dikişinin kenarlarında kenar yenmelerinin olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.19).



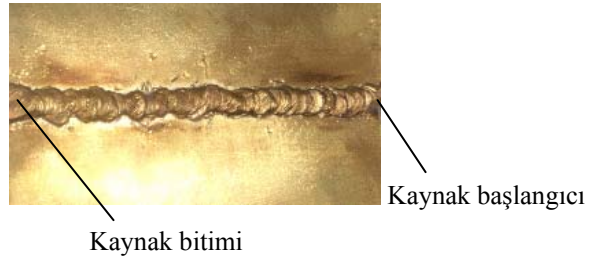
Şekil 6.18. Elektrik ark kaynağı ile birleştirme işlemi sonucunda kaynak yüzeyinde oluşan sıçramalar



Şekil 6.19. Kaynak dikişi kenarlarında oluşan kenar yenmeleri

6.8.2. Başlangıç ve bitim yerleri

Elektrik ark kaynağı ile yapılan birleştirmelerde kaynak dikişinin başlangıç ve bitim yerlerine oldukça dikkat edilmesi gerekmektedir. Elektrot açısı ayarlamazsa ve arkin kontrolü iyi yapılmazsa kaynak dikişinin başlangıç ve bitim yerlerinde bozulmalar oluşmaktadır. Bu bozulmalar kaynak dikişinin başlangıç yerinde tam ergimeme ve bitim yerinde ise oluşan ısı fazlalığından dolayı fazla ergime olarak kendini göstermektedir (Şekil 6.20).



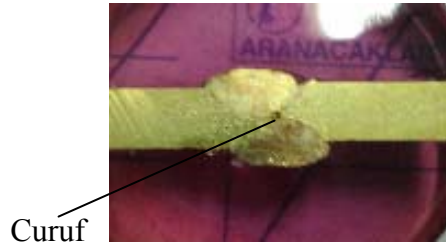
Şekil 6.20. Kaynak dikişinin başlangıç ve bitim yerleri

6.8.3. Kaynak hızı

Elektrik ark kaynağında dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da kaynak hızıdır. Kaynak hızı iyi ayarlanmadığı takdirde kaynak dikişi boyunca farklı kesitler oluşması kaçınılmaz olmaktadır. Bu durumda kaynak ağzı yetersiz veya fazla olarak dolar ve kaynak dikişinin kimi yerde kalınlaşmasına ve kimi yerde de incelmesine sebep olmaktadır.

6.8.4. Curuf kalıntısı

Ark kaynağında kaynak ağzının temiz ve düzgün olmaması ile ark üflemesi sonucu kaynak dikişi içerisinde curuf kalıntıları oluşmaktadır (Şekil 6.21). Özellikle iki yönlü paso işlemlerinde bir önceden yapılan dikişin curufu iyi temizlenmezse, diğer dikiş için curuf kalıntısı şeklinde bir hataya sebep olacaktır. Bazı elektrotla da curuf temizlenmesi mekanik olarak zor olduğu için, gerekirse kimyasal solüsyonlarda kullanılabilir.



Şekil 6.21. Kaynak dikişi içerisinde oluşan curuf kalıntısı

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı ve elektrik ark kaynak yöntemleri kullanılarak CuZn30 alaşımı levhalar, alın altına yatay pozisyonda birleştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirme işlemi sabit ilerleme ve farklı dönme hızlarında yapılarak, dönme hızının birleştirme özelliklerini nasıl etkilediği çekme deneyi, eğme deneyi, mikro sertlik ölçümleri ve mikro yapı karakterizasyonu yapılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, elektrik ark kaynak tekniği ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada genel olarak aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır:

- (1) Bu çalışmada kullanılan karıştırıcı uç formunun CuZn30 levhalarının SKK birleştirilmesi için uygun olduğu görülmüştür.
- (2) Karıştırıcı ucun dönme hızları 500 ve 630 devir/dak ve ilerleme hızı olarak 12,5 mm/dak kullanılan kaynak parametreleri ile yapılan birleştirmelerde kaynak hatası oluşmamış ve oldukça iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Dönme hızının 1000 dev/dak ve ilerleme hızının 12,5 mm/dak olarak kullanıldığı birleştirmelerde ise yüzey kalitesi biraz daha düşük olmuştur. Fakat bu durum mukavemet özelliklerini azaltacak olumsuz bir etki göstermemiştir. 1600 dev/dak dönme hızı ve 12,5 mm/dak karıştırıcı uç ilerleme hızı parametrelerinin kullanıldığı birleştirmede yüzey kalitesi daha da düşmüştür. Kaynak yüzey pürüzlülüğü karıştırıcı ucun dönme hızına bağlı olarak değişmiş olup dönme hızı yükseldikçe kaynak yüzey kalitesi düşmüştür.
- (3) SKK ile birleştirilmiş eğme numunelerinde kök kısmı dışta kalacak şekilde eğme işlemi yapılmıştır. 500, 630, ve 1000 dev/dak dönme hızlarında ve 12,5 ilerleme hızında yapılan birleştirmelerin eğme deneyinde gözle görülebilir bir hataya rastlanmamıştır. 1600 dev/dak dönme hızı ve 12,5 mm/dak ilerleme hızında

yapılan birleştirmenin eğme deneyinde numunenin kök kısmında yırtılma meydana gelmiştir.

- (4) Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen eğme numunelerinde ise kaynak dikişi kenarlarında çatlamalar gözlenmiştir. Bunun sebebi ise kaynak dikişlerinin kenarlarında oluşan kenar yenmeleridir.
- (5) SKK ve elektrik ark kaynak yöntemleri ile yapılan birleştirmelerde kaynak metali ile karışım bölgesi sertlikleri birbirine çok yakın değerler çıkmıştır. Elektrik ark kaynak numunelerinde ITAB bölgesinin sertliğinin 100 Hv'ye ulaştığı görülmektedir. SKK ile birleştirilen numunelerde ise bu değer (65 Hv) daha düşmüştür.
- (6) SKK ile yapılan birleştirmelerin kaynak bölgesi incelendiğinde dört farklı bölge ortaya çıkmıştır. (a) ana metal, (b) ITAB, (c) termo mekanik olarak etkilenen bölge ve (d) kaynak metali. Kaynak bölgesinin mikro yapısı incelendiğinde kaynak merkezinin ince taneli bir taneli ve bu bölgeyi saran iri taneli bir ITAB bölgesi oluştuğu görülmüştür. Ana metalin ise ince tane yapısına sahip olduğu görülmüştür.
- (7) Elektrik ark kaynağı ile yapılan birleştirmelerin kaynak bölgesi mikro yapısı incelendiğinde üç farklı bölge ortaya çıkmış olup ergime hattı bölgesi de dördüncü olarak ilave edilmiştir. (a) ana metal, (b) ITAB, (c) kaynak metali ve (d) ergime hattı bölgesi. Kaynak metali ince taneli bir mikro yapıya sahiptir. Taneler yönlenmiştir ve kaynak metalini sınırlayan ergime hattı çizgisi gayet belirgindir. ITAB'dan ergime hattı bölgesine doğru gelindikçe tane yapısı incelmektedir.
- (8) SKK ve Elektrik ark kaynak tekniği ile yapılan birleştirmelere elementer analiz incelemesi yapılmış olup; SKK ile yapılan birleştirmelerde çinko buharlaşması oluşmazken, elektrik ark kaynak tekniği ile yapılan birleştirmelerde çinko buharlaşması olmuştur.
- (9) Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde karşılaşılan kaynak hatalarının (a) kaynak dikişinin kök kısmında açılma ve yetersiz karışım, (b) birleşme yüzeylerinin temas zayıflığı, (c) Kaynak yüzey kalitesinin düşük olması, (d) kaynak dikişinde tünel şeklinde gözenek oluşması, (e) karıştırıcı uç deliği olduğu tespit edilmiştir.

- (10) Elektrik ark kaynağında ise, (a) kenar yenmeleri, (b) başlangıç ve bitim yerleri (c) Kaynak hızı ve (d) curuf kalıntısı hataları tespit edilmiştir.
- (11) CuZn30 levhaların elektrik ark kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak mukavemetini azaltan kaynak hataları olduğundan ve birleştirme sırasında karşılaşılan olumsuzluklardan dolayı CuZn30 levhalarının birleştirilmesinde elektrik ark kaynak yönteminin yetersiz birleştirme mukavemeti verebileceği görülmüştür.
- (12) CuZn30 levhalarının birleştirilmesinde sağladığı üstünlüklerden özellikle çinko buharlaşmasının olmayışı sebebiyle CuZn30 levhalarının SKK kaynak tekniği ile birleştirilmesinin daha uygun bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

7.2. Öneriler

- (1) Bu çalışmada belirlenen uç formu esas alınarak ilerleme hızı sabit tutularak, farklı dönme hızları kullanılmıştır. Aynı uç formu dikkate alınarak ilerleme hızları ve dönme hızları değiştirilerek yeni deneyler yapılarak mekanik özellikler incelenebilir.
- (2) Karıştırıcı uç formu değiştirip, aynı kaynak parametreleri kullanılarak yeni deneyler yapılabilir ve elde edilen diğer sonuçlarla karşılaştırılabilir.
- (3) Farklı karıştırıcı uç formuna göre kaynak parametreleri aralıkları belirlenebilir.
- (4) Aynı işlemler MIG ve TIG yöntemleri ile yapılarak sonuçları karşılaştırılabilir.
- (5) Sürtünme karıştırma kaynak tekniği magnezyum, magnezyum alaşımları, titanyum, titanyum alaşımları, metal matrisli kompozitler, plastikler ve farklı malzemeler birleştirilerek mekanik özellikleri araştırılabilir.
- (6) Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen levhaların korozyon özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] KALLEE, S., MISTRY, A., “Proclaim of The 1st International Symposium On Friction Stir Welding at TWI, 2001
- [2] ÇAM, G., “Al-Alaşımları İçin Gerçekleştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri”, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Bildiriler Kitabı, s.268-277, Yıldız Teknik Üniversitesi Oditoryumu, İstanbul, 19-20 Ekim, 2001.
- [3] KALLEE, S., NICHOLAS, N., “Friction Stir Welding – Materials and Thicknesses”, TWI, 2000.
- [4] ANIK, S., ANIK, E., VURAL, M., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, s.225-228, 1993.
- [5] ANIK, S., ANIK, E., VURAL, M., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, s.223-225, 1993.
- [6] TÜLBENTÇİ, K., YILMAZ, M., “Farklı Takım Çeliklerinin Katı Hal Kaynağı”, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, İstanbul, s.303-314, 1989.
- [7] SULAZEC, A., “Thermal Effects in Friction Welding”, Int. J. Mech. Sci., 32(3), pp.467-468, 1990.
- [8] KONG, C.Y., NORTH, T.H., PEROVIC, D.D., “Microstructural Features of Friction Welded MA 956 Superalloy Material”, Metal. And. Trans., 26(1), pp.4019-4029, 1996.
- [9] NAGASAWA, T., OTSUKA, M., “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>
- [10] KALUÇ, E., BOZDUMAN, B., “Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynak Yöntemi”, Makine Magazin, Sayı 27, s.54-61, Temmuz 1998.
- [11] www.m-osaka.com/fsw/en/fsw/fsw.html

- [12] TABAN, E., KALUÇ, E., “Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Sürtünen Eleman ile Birleştirme (FSW) Kaynağı ve Endüstriyel Uygulamaları”, Metal Dünyası, Sayı 135, s.79-83, Ağustos 2004.
- [13] ÖZDEMİR, M. “Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Alüminyum Malzemelerin Kaynaklanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003.
- [14] www.bil-ibs.be/fr/Recherche/Recherche-2006
- [15] LOFTUS, Z. ve ark. Proc.of the 1 Int. Symp. on Friction stir welding, Thousand Oaks, CA, USA, 14-16 June 1999.
- [16] TABAN, E., KALUÇ, E., “Al ve Al Alaşımlarının Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mikroyapısal Özellikleri” Metal Dünyası, Sayı: 136, say. 131-138, Eylül, 2004.
- [17] ŞIK, A., KAYABAŞ, Ö., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyumun Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, Y.11, S.12, s.30-33, Ankara, 2003.
- [18] MERAN, C., “Pirinç Levhaların Sürtünme Karıştırma Kaynağında Birleştirme Özellikleri”, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 5 May, 2005.
- [19] PARK, H.S., KIMURA, T., MURAKAMI, T., NAGANO, Y., NAGATA, K., ve USHIO, M., “Sürtünme Karıştırma Kaynağıyla Kanatılmış % 60 % 40 Zn Alaşımlarının Mikroyapıları ve Mekanik Özellikleri”, Pukyong National University, South Korea, 14 November, 2003.
- [20] KANPOLAT, M., “Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Al-2014 Levhalarında Karşılaşılan Hatalar ve Mekanik Özelliklere Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2005.
- [21] DING, R.J. ve OELGOETZ, A. Proc. of the 1 Int. Symp. on Friction stir welding, Thousand Oaks, CA, USA, 14-16 June 1999.
- [22] ÇAM, G. ve KOÇAK, M. “Joining of Advanced Materials”, UNESCO-EOLSS (Encyclopedia of Live Support Systems), Area 6: Materials Science and Engineering, Topic 6.36.4: Materials Processing and Manufacturing Technologies, in print.

- [23] KALLEE, S.W., NICHOLAS, E.D., THOMAS, W.M., Friction stir welding invention, innovations and applications, 8th International Conference on Joints in Aluminium, TWI Ltd INALCO 2001, Munich, Germany, 28-30 March 2001.
- [24] MERT, Ş., KALUÇ, E., “Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Takımlardaki Gelişmeler”, Makine Mühendisliği Bölümü, say.104-110 – Kocaeli.
- [25] UZUN, H., YILMAZ, R., FINDIK, F., “Alüminyum Alaşımları için Süper Birleştirme Yöntemi: Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ve Uygulamaları” Kalıp Dünyası, Sayı: 21, say. 108-118, Mayıs-Haziran 2003.
- [26] MISTIKOĞLU, S., ÇAM, G., “Sürtünme Karıştırma Kaynaklı bir Alüminyum Alaşımının İç yapı ve Mekanik Karakterizasyonu” TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi IV Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, s.65-75, Kocaeli, 24-25 Ekim 2003.
- [27] <http://www.new-technologies.org/ECT/Mechanical/fsw.html>
- [28] YANG, H.S., Proc. Of ICAA-6, Aluminum alloys, Vol.3, pp.1483-1488
- [29] DONG,P., ve ark. Proc.of the 1 Int. Symp. on Friction stir welding, Thousand Oaks, CA, USA, 14-16 June 1999.
- [30] KURT, A., BOZ, M., ÖZDEMİR, M., “Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Üniv. Cilt 19, No 2, s.191-197, 2004.
- [31] ÖZSOY, M., KALUÇ, E., “Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynağının Esasları” Mühendis Makine, Sayı 513, Ekim 2002.
- [32] KÜLEKÇİ, M.K., ŞIK, A., Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Alüminyum Alaşımı Levhaların Birleştirilmesi ve Elde Edilen Kaynaklı Bağlantıların Özellikleri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi IV Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, s.77-88, Kocaeli, 24-25 Ekim 2003.
- [33] ÇAM, G., “Sürtünme Karıştırma Kaynağındaki Gelişmeler”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, s.47-64, Kocaeli, 24-25 Ekim 2003.
- [34] KALLEE, S.W., NICHOLAS, E.D., THOMAS, W.M., Industrialisation of friction stir welding for aerospace structures, TWI Ltd, Granta Park,Cambridge, CB1 6 AL, United Kingdom, 2001.

- [35] KALLEE, S., MISTRY, A., Friction Stir Welding in the Automotive Body in White Production, 1st Int. Symposium on Friction Stir Welding, Thousand Oaks, CA, 14-16 June 1999.
- [36] http://www.twi.co.uk/j32kunprotected/band_1/fswmat.html
- [37] JOHNSON, R., KALLEE, S., Friction Stir Welding, Materials World, Vol. 7 No 12 say.751-753, December 1999.
- [38] JOHNSEN, M.R., “ Friction Stir Welding Takes off at Boening”, Welding Journal., 28 (4):35-39 (1999).
- [39] MERAN, C., “Pirinç Malzemelerin Kaynak Edilebilirliği ve Uygun Kaynak Parametrelerinin Tespiti”, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2001.
- [40] CALLCUT, V., Brasses-Design Compendium, Copper Development Association, CDA Publication No: 117, 1996.
- [41] YÜKSEL, M., Malzeme Bilgisi, MMO Denizli Şubesi, Yayın No:1, p.283, 1998.
- [42] The Welding Handbook, American Welding Society, pp.168-170, 1996
- [43] ANIK, S., DORN, L., Schweisseignung Metallischer Werkstoffe, DVS-Verl., p.218, Dusseldorf, 1995.
- [44] OĞUZ, B., Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Erdini Basım ve Yayınevi, İstanbul, 1990.
- [45] ASKAYNAK- KOBATEK, “Kaynak Elektrotları ve Kaynak Telleri”, Ağustos, 2004.
- [46] ATAÖĞLU, H. “Sürtünme Karıştırma Kaynaklı Alüminyum Alaşımlarının İç Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya, 2002.
- [47] AKTÜRK, S., “%99 Saflıktaki Elektrolitik Bakır Levhaların Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile Farklı İlerleme Hızlarında Birleştirilmesi ve İlerleme Hızının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Çorum ilinin Sungurlu ilçesinde doğmuştur. İlk okulu Büyük Polatlı Köyü İlk Okulu'nda, orta okulu Sungurlu Lisesi'nin orta okul kısmında okumuştur. Liseyi Sungurlu Endüstri Meslek Lisesi Metal İşleri Bölümünde okumuş ve 1995 yılında mezun olmuştur. 1996 ılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliğini kazanmış ve 1999 yılında iyi dereceyle mezun olmuştur. Aynı yıl Sakarya ilinin Geyve ilçesinde Geyve Çok Programlı Lisesi'nde Metal Öğretmeni olarak göreve başlamıştır. Halen Geyve Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi'nde görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.