

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN ALİMÜNYUM LEVHALARIN EĞME VE YORULMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aydın ŞİK

Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü Beşevler/Ankara
Tel: 212 67 67 /403 (312) e-mail: aydins@gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada; sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle, AA 1050 Alüminyum levhalar küt alın pozisyonunda birleştirilerek, oluşan bağlantının eğmeli yorulma dayanımının özellikleri incelenmiştir. Kaynak esnasında karıştırıcı ucun dönme ve kaynak ilerleme hızları değişken parametreler olarak seçilmiştir. Yüksek karıştırıcı uç dönme hızında ve yüksek kaynak ilerleme hızında malzemeye giren ısı miktarının azalmasıyla, malzemenin mekanik özelliklerin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Al-alaşimleri, Sürtünme karıştırma kaynağı, Eğme yorulması, Mekanik özellikler, Kaynak performansı

A STUDY INTO THE PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOY PLATES WERE WELDED WITH FRICTION STIR WELDING

ABSTRACT

In this study, AA1050 Aluminium alloy plates were welded with friction stir welding method in butt form, and the fatigue resistance properties of the joints were investigated. Rotation and transverse speeds of the welding tool were selected as variable parameters for the research. It was observed that mechanical properties of the material improved at high rotation and high transverse speeds, due to the decreased heat exposed on the plates.

Key Words- Al-alloys, Friction stir welding, Bending fatigue, Mechanical properties, Joint performance

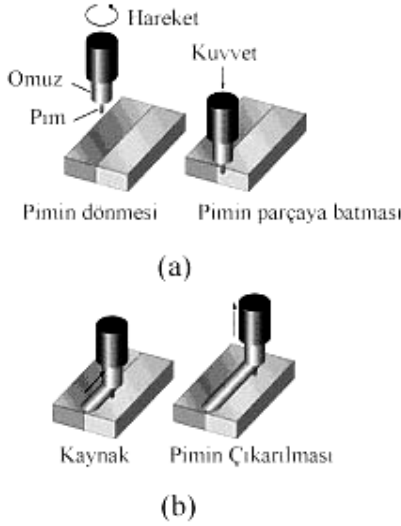
1. GİRİŞ

Yeni geliştirilmiş malzemeler genellikle modern birleştirme tekniklerine ihtiyaç duyarlar. Son yirmi yılda alaşımların geliştirilmesinde bu malzemelerin kaynağı ile ilgili büyük ilerlemeler olmuştur. 1990'ların başında geliştirilen bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), geleneksel ergitmeli kaynak yöntemleriyle kaynağı güç olan özellikle yaşlanma sertleştirilmesine tabi tutulmuş alüminyum alaşımlarının kaynağında başarıyla kullanılmıştır [1]. Bir katı hal birleştirme işlemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak konstrüksiyonu güç olan malzemelerin birleştirme işlemleri için kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü

avantajlarından dolayı uygun bir alternatif kaynak yöntemidir [2].

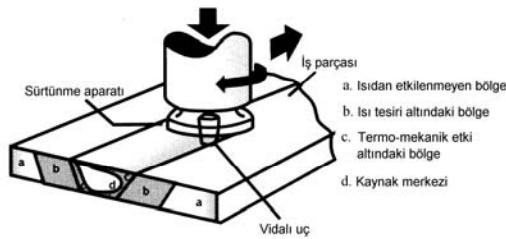
Yöntemin uygulanması sırasında duman ve ışın oluşmaması, koruyucu gaz, toz ve ilave tele gereksinim duyulmaması, kaynak ağzı hazırlığı gerekmemesi, tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi olanağının bulunması ve otomasyona da yatkınlığı gibi daha birçok üstünlüğün bulunması, yöntemin uygulama alanlarını daha da genişletmektedir [3]. Yöntem uçak, uzay, gemi, otomotiv sektöründe, yakıt deposu, gıda depolama elemanları ve radyoaktif atık madde taşıyıcılarının üretiminde kullanılan 2000, 5000, 6000, 7000 ve 8000 serisi Al-alaşımlarının yanı sıra Cu-alaşımlarının, Ti-

alaşımının ve bazı tür çeliklerin birleştirilmesinde uygulama alanı bulmaktadır [4]. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanışı Şekil 1’de gösterilmiştir. Birleştirilecek parçalar, alın altına aralarında boşluk kalmayacak şekilde sabitlenir.



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanışı

Yöntemin uygulama aşaması iki farklı şekilde olabilir. Parçaların hareketi söz konusu olabileceği gibi, takımın dönme ve ilerleme hareketi de mümkün olmaktadır. Geniş silindirik omuzlu, delme yapabilecek şekilde bir pim (karıştırıcı uç), freze tezgahı ekipmanları ve arka tutucular kullanılarak yüksek devirde döndürülerek; kaynak yapılacak parçalara daldırılır ve kaynak yapılacak uzunluk boyunca ilerletilir. Pim, malzemelere temas ettiğinde sürtünme kaynağındaki duruma benzer bir durum oluşarak temas noktasında ısı, sürtünmenin de etkisiyle hızla artar ve malzemelerin plastik değişimine neden olur. Bu değişim malzemelerin akışını sağlar [5].



Şekil 2. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin çalışma prensibi [6,7].

Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan bölgedeki kombine sürtünme ısısı, gömülmüş olan karıştırıcının çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği temas yüzeyinde yumuşamış bir metal oluşturur; pim etrafındaki malzeme sürtünmeyle ısınır yumuşayarak pimin ucundan arka yüzeye doğru karıştırılır. Karıştırılan malzeme, hidrostatik basınç koşullarında soğuyarak katılaşıp ve birleşme olayı gerçekleşir [8].

Şekil 2’de gösterildiği gibi sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile birleştirilen alüminyum levhaların kaynak bölgesinde meydana gelen ve değişik mikroyapı farklılıklarına sahip dört bölge meydana gelmektedir (a) Isıdan etkilenmeyen bölge, (b) Isı tesiri altındaki bölge, (c) Termo-mekanik etki altındaki bölge (d) kaynak merkezi. Kaynak dikişi tipik olarak soğan halkaları, ağaçlardaki yaş halkaları gibi pek çok konsantrik halkalardan oluşmaktadır. Kaynak merkezinin biçimi kaynak edilen alaşım türüne ve kaynak işlem parametrelerine bağlıdır[9].

Bu çalışmanın amacı, 4 mm kalınlığındaki Al-alaşımı (AA1050) levhalar küt alın pozisyonunda birleştirilerek, oluşan bağlantının eğme ve eğmeli yorulma dayanımının özellikleri incelenmesidir. Alüminyum geleneksel ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirmeleri oldukça zor olmasının yanı sıra elde edilen mekanik özelliklerde istenilen değerden uzaktır. Bu nedenle yeni olan sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi seçilerek çalışma yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Al-alaşımı (AA 1050) levhalar kaynak edilerek; kaynak parametrelerinin birleşebilirliğe ve eğmeli yorulmaya etkisi test edilmiştir. Al-alaşımı levhaların farklı dönme ve ilerleme hızları kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı ile tek taraflı alın kaynağı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen birleştirmelerde, kaynak kalitesini belirlemek amacıyla gözle muayene, yapıldıktan sonra yorulma dayanımı deneyleri yapılmıştır. Aynı zamanda, batıcı uç kaynak devir hızının ve ilerleme hızının kaynak kalitesine etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada ticari saflıkta 4 mm kalınlığındaki AA 1050 [TSE normu Al 99,5 (Etial-5)] Al-alaşımı levhalar alın altına sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle, değişik kaynak parametreleri kullanarak kaynak edilmiştir. Tablo 1’de malzemenin kimyasal bileşimi ve Tablo 2’de de malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi

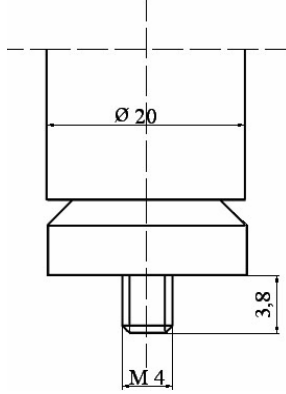
Ele-ment	Al	Si	Ni	Zn	Fe	Sn	Ti	Cu
Kütlesel (%)	99.50	0.10	0.0015	0.05	0.30	0.0010	0.04	0.05

Tablo 2. Kullanılan malzemenin mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	% Uzama	Sertlik (HB) (Kgf/mm ²)
120	140 min.	3	20

Karıştırıcı uç malzemesi, ergime derecesi alüminyum malzemenin yaklaşık üç katı olan 2344 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiştir. Bunun için 2344 sıcak iş takım

çeliğinden pim istenilen ölçüde kesilmiş daha sonra tornada Şekil 3'te gösterilen ölçülere getirilip ve yüzeyi taşlanan pimin vida uçlarına M4 paftası çekilerek helisel diş açılmıştır. Uygulanan ısıl işlemler sonucu pimin sertlik değeri HRC 55 Rockwell olarak ölçülmüştür. Frezeze bağlanan kısmın çapı 20 mm, boyu 100 mm'dir. Bu ölçüler kaynak için kritik değildir; freze aynasına bağlanacak ölçülerde olması yeterlidir.



Şekil 3. Deneyde kullanılan karıştırıcı uç (pim) ve ebatları (boyutlar mm'dir)

4 mm kalınlığındaki Al-alaşımı parçalar alın kaynağı yapıldığından; karıştırıcı kaynak ucunun çapı 4 mm ve kaynak ucu boyu 3,8 mm olarak hazırlanmıştır (Şekil 3). Sürtünme karıştırma kaynak işlemi, maksimum devir hızı 3750 dev/dak olan yarı otomatik freze tezgahında gerçekleştirilmiştir.

Levhalar kaynaklanacak kenarları temas edecek tarzda freze tezgahı tablasına bağlama pabuçları yardımıyla bağlanmıştır. Sürtünme aparatı frezenin düşey miline monte edilerek, kaynak işlemi Tablo 3'te verilen kaynak parametreleri kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 3. Kaynak işleminde kullanılan kaynak işlem parametreleri

Numune No	Devir Sayısı (dev/dak)	Kaynak İlerleme Hızı (mm/dak)
1	2500	120
2	1500	120
3	1000	120
4	2500	200

Yorulma deney numuneleri Şekil 4'te ölçüleri verildiği gibi hazırlanmıştır. Elde edilen değerler ve Wöhler eğrileri en yüksek gerilmeye karşılık çevrim sayısı logaritmik işaretlenerek çizilmiştir. Bir defaya mahsus karşılaştırma amaçlı esas metalden, kaynaklı bağlantılarda ise her farklı deney grubu için 8 adet numune hazırlanarak eğmeli yorulma makinası kullanılarak yorulma özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Tüm deneylerde sınır çevrim sayısı olarak literatürde tavsiye edilen $N=2 \times 10^6$ alınmıştır.

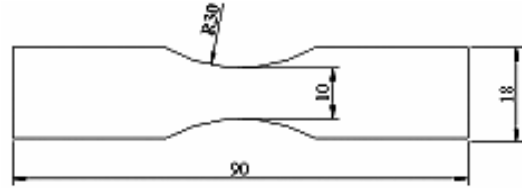
Deneylerde kullanılan eğilme momenti (M_e) değerlerinden, eğilme gerilmesi (σ) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [10].

$$W = \frac{b.h^2}{6} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{M_e}{W} \quad (2)$$

Burada σ , Eğilme gerilmesi (kgf/cm^2), M_e , eğilme momenti (kgfcm), W , eksenel direnç momenti (cm^3)

b (cm) ve h (cm) sırasıyla parçanın genişlik ve kalınlığıdır.

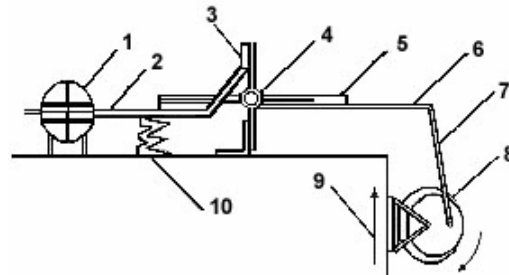


Şekil 4. Esas malzemeden çıkarılan eğmeli yorulma deneyi numunesi (boyutlar: mm)

Şekil 5'te deneylerin yapıldığı eğme yorulma makinasının çalışma prensibi gösterilmiştir. DIN 50142 ile uyumlu olan termoplastikler, demir esaslı olmayan metaller ve çeliklerden yapılmış numuneler üzerinde dinamik yorulma testlerini yapılmasına olanak sağlar. Bu makina özellikle sac malzemelerin test edilmesi amacı ile geliştirilmiştir. Makina kapasitesinin izin verdiği ölçüde dinamik ve statik yükler, değişken olarak yüklenebilir. Makinada Alman Standardı DIN 50100'e göre uygun Wöhler ve yorulma dayanımı testi olan (S-N) diyagramları oluşturabilmektedir.

Tablo 4. Eğmeli yorulma makinasının teknik özellikleri

Maksimum osilasyon (salınım) moment	$\pm 1,5 \text{ mkgf}$
Maksimum statik ön germe (önyüklem) momenti	3 mkgf
Maksimum birleşik moment, statik ve salınımlı momentten ibarettir	3 mkgf
Test esnasında değişen tahrik açısı	$\max \pm 12^\circ$
Statik ön germe açısı	$\max 12^\circ$
Sac numune kalınlığı	0,6-12 mm
Dakikada yükleme çevrimlerinin frekansı:	
Üç fazlı alternatif akımlı tahrikte yaklaşık olarak	1400 d/dak
Doğru akımlı tahrikte	300-1500 d/dak

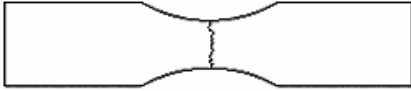


Şekil 5. Eğmeli yorulma makinasının şematik gösterilişi

- | | |
|---------------------------------|-------------------------|
| 1.Gösterge | 6. Hareketli mil |
| 2.Seviye ölçüm çubuğu | 7. Bağlantı çubuğu |
| 3.Yaprak yayı destekleme çubuğu | 8.Eksantrikgösterge |
| 4.Dönüş eksenini | 9.Motor yükseklik ayarı |
| 5.Deney numunesi | 10. Ölçü yayı |

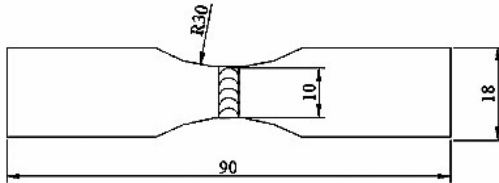
3. DENEYSEL SONUÇLAR

Hazırlanan numunelere uygulanan yorulma dayanımı sonrasında kırılan deney parçaları incelenerek yorulma çatlağının olduğu yer saptanmıştır. Şekil 6'da esas metalden alınmış numunelerin yorulma deneyi sonrası kırılma şekli şematik olarak gösterilmiştir. Esas metale ait numunelerde yorulma çatlaması kesitin dar olduğu bölgede meydana gelir [10].

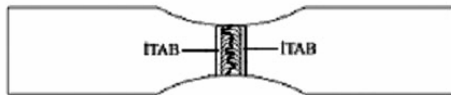


Şekil 6. Esas malzemeden çıkarılan eğmeli yorulma deneyi numunesinin kopmuş hali

Şekil 7'de alın kaynaklı parçadan çıkartılan yorulma deneyi numunesi görülmektedir. Şekil 8'de ise alın kaynaklı parçadan çıkartılan yorulma deneyi numunesi yapıldıktan sonra kırılma şekli şematik olarak gösterilmiştir. Burada verilen şekil şematik olması karşın bu tür bağlantıların kırılma bölgesi incelendiğinde kırılmanın bağlantının en zayıf ve hassas bölgesi olan ısıdan etkilenmiş bölgede yada çentik olan yerde kırıldığı görülür [10,11]. Bu çalışmada, kaynak numunelerine uygulanan eğme yorulma deneylerinde numuneler iki parçanın birleştikleri yani kaynak dikişinden kopmuştur. Buradan kopmasının nedeni, parça kalınlığı 4 mm, pim ucu uzunluğu ise 3,8 mm olduğu için geriye kalan 0,2 mm'lik mesafede kaynak dikişi tabanına yakın kısmında soğuk birleşme (yetersiz nüfuziyet) nedeni ile çentik etkisi olduğundan dolayı buradan kopmuştur.



Şekil 7. Kaynaklı malzemeden çıkarılan eğmeli yorulma deneyi numunesi (boyutlar mm'dir)



Şekil 8. Kaynaklı malzemeden çıkarılan eğmeli yorulma deneyi numunesinin kopmuş hali

Kaynakların görsel olarak yapılan muayenelerinde, SKK ile elde edilen kaynakların görüntü ve yüzey pürüzlülüğü yönünden, diğer ergitmeli kaynak yöntemlerine nazaran oldukça düzgün olduğu görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 9. 120 mm/dak kaynak ilerleme hızında devir sayısına bağlı olarak meydana gelen yüzey görüntüleri

3.1 Yorulma Deney Sonuçları

Şekil 10'da esas metal olan AA 1050 Alüminyum alaşımının, 1000 dev/dak-120 mm/dak, 1500 dev/dak-120 mm/dak, 2500 dev/dak-120 mm/dak ve 2500 dev/dak-200 mm/dak yapılan yorulma dayanımı deneyleri karşılaştırmalı olarak tek diyagramda verilmiştir.

Yüksek ilerleme ve düşük dönme hızı kullanıldığında kaynak bölgesinde sertlik düşüşü daha az olduğu görülmüştür. Yüksek devirde malzemeye giren ısı miktarının fazla olmasından dolayı malzemelerin soğuması daha yavaş olmakta ve bu da sertliği düşürmekte bir etken olmaktadır [12].

Yüksek hızla yapılan kaynaklardaki yüksek soğuma hızlarından dolayı mukavemetlendirici partiküllerin kısmen tekrar çökmesidir. Bu da mukavemet özelliklerine olumsuz etki etmektedir [13].

Kaynak işlemi esnasında malzeme hamurumsu hale gelene kadar ısındığından kaynak bölgesinde soğuk şekil verme sertleşmesine uğramış yapı tavlınmakta, bu durumda sertlik kaybına neden olmaktadır [14].

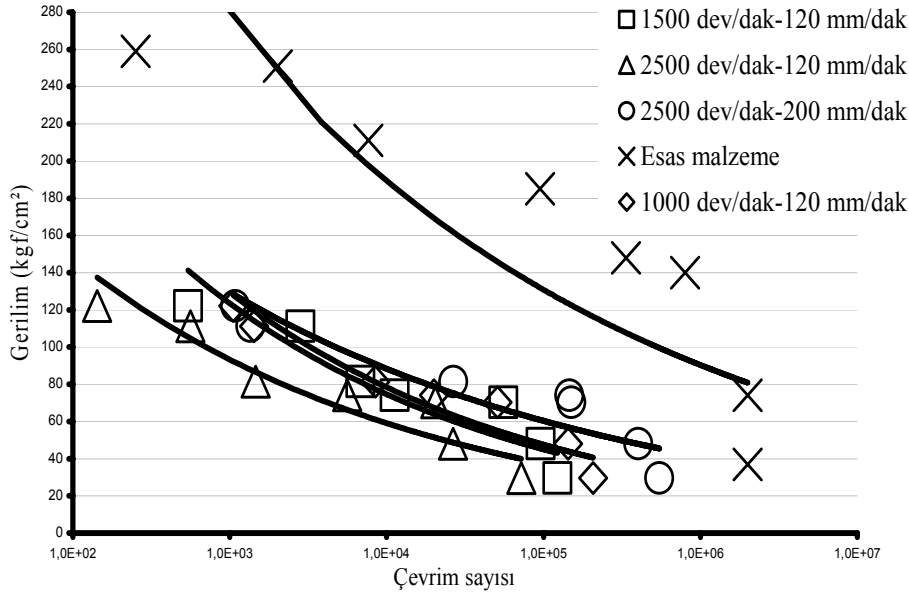
Sürtünme kaynağında kaynak hızı ısı girdisi miktarında çok önemli olduğundan kaynak hızına bağlı olarak hem mikro yapı hem de sertlik ve çekme gibi mekanik özelliklerde de etkili olmaktadır. Artan kaynak hızı ile kaynak metalinin yönleneceği artmakta ancak düşük kaynak hızında kaynak metali yönleneceği fazla belirgin görülmemektedir. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının artması ısı girdisini azaltacağından artan kaynak hızı ile kaynak metali sertliği de değişmektedir.

Sertlik değeri yüksek olan malzemelerde yorulma dayanımı yüksek çıkması da beklenen bir durumdur [10,11].

Isı girdisinin fazla olması nedeni ile kaynaklı bağlantının ITAB bölgesi genişlemekte bu da bağlantının yorulma dayanımını düşürmektedir. Şekil 10'daki diyagram incelendiğinde kaynak ilerleme hızı 120 mm/dak. sabit iken artan kaynak devir hızlarında yorulma dayanımının düştüğü yüksek devir hızında iken kaynak ilerleme

hızının da artırılmasıyla yorulma dayanımının arttığı görülmektedir. İlerleme hızı 120 mm/dak. sabit iken, karıştırıcı uç devir hızının 1000 mm/dak.'dan 1500-2500 dev/dak'ya artması; malzemeye ısı girdisini arttırdığı ve ITAB bölgesi genişlediği ve sertlik değeri düştüğü için yorulma dayanımı miktarının azaldığı görülmektedir. Artan devir hızı ile kaynak ilerleme hızı artırıldığında

(2500 dev/dak-200 mm/dak) yorulma dayanımının arttığı görülmektedir. Devir hızı artırıldığında, kaynak ilerleme hızı da artırılarak malzemeye giren ısı miktarı azaltılabilmekte ve böylece ITAB bölgesinin genişliği ve kaynak dikişi sertliği; karıştırıcı uç devir hızı ile kaynak ilerleme hızı gibi değişken parametrelerle kontrol edilebilmektedir.



Şekil 10. Deney numunelerine uygulanan yorulma dayanımlarının karşılaştırılması

3.2. Eğme Deney Sonuçları

Tablo 4'de kaynak dikişinin soğuk birleşme olan yüzeyleri iç tarafa gelecek şekilde eğme deney sonuçlarından anlaşılacağı üzere hiçbir deney numunesinin kök kısmında gözle görünür çatlama görülmemiştir. Buda gerçekleştirilen bağlantıların hatasız olduğunun göstergesidir. Normal kaynaklı eğme deneyinin amacı burada kullanılan esas metalin içinde bulunabilecek süreksizlikten dolayı bir çatlamanın olup olmayacağını saptanması amaçlanmıştır ki burada esas metalde bir hata olmayacağı görülmüştür.

Tablo 4. Kaynaklı ve kaynaklı numunelerde eğme deneyleri sonuçları

Deney Numunesi	Eğme Açısı	Sonuç
1000 dev/dak-120 mm/dak	180°	Çatlama görülmedi
1500 dev/dak-120 mm/dak	180°	Çatlama görülmedi
2500 dev/dak-120 mm/dak	180°	Çatlama görülmedi
2500 dev/dak-200 mm/dak	180°	Çatlama görülmedi
Esas Malzeme	180°	Çatlama görülmedi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

1) 4 mm kalınlığındaki Al-alışımı levhalar başarılı bir şekilde küt alın kaynağı yöntemi ile birleştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen numunelerin, kaynak dikişi görüntüsünün, diğer kaynak yöntemlerine göre çok daha düzgün olduğu görülmüştür. Kaynak ilerleme hızı sabit iken artan kaynak devir hızlarında kaynak dikişlerinin ondüneli görüntüsünde malzemeye giren ısı miktarının artmasıyla az da olsa dönme yönünde süreksizlikler, bozulmalar meydana geldiği tespit edilmiştir.

2) Esas malzemenin eğmeli yorulma dayanımı kaynaklı numunelere göre yüksek çıkmıştır.

3) Kaynak ilerleme hızı sabit, artan devir hızlarında kaynaklı malzemenin yorulma dayanımında düşüş meydana gelmektedir. Bu düşüşün nedeni kaynak ilerleme hızı sabit iken, kaynak devir sayısı arttıkça malzemeye giren ısı miktarı artmakta ve mekanik özellikler bakımından zayıf olan ITAB bölgesi genişlemektedir. Böylece kaynaklı bağlantının ısıdan etkilenmiş bölgesinde (ITAB) mukavemet artırıcı partiküllerin malzeme içinde daha kaba (inhomojen)

şekilde çökmesi nedeni ile bağlantının yorulma dayanımını düşürmektedir.

3) 2500 dev/dak. kaynak devir hızında iken kaynak ilerleme hızı 120 mm/dakikadan 200 mm/dak. çıkartıldığında kaynaklı bağlantının yorulma dayanımı artmıştır. Bu artışın nedeni; kaynak ilerleme hızının artırılmasıyla kaynak bölgesine giren ısı miktarının azalması ve ısının tesiri altındaki bölgenin daralmasıyla açıklanabilir.

4) Yüksek ilerleme ve düşük dönme hızı kullanıldığında kaynak bölgesinde sertlik düşüşü daha az olmaktadır. Bunun sebebi, yüksek hızla yapılan kaynaklardaki yüksek soğuma hızlarından dolayı mukavemetlendirici partiküllerin kısmen tekrar çökmesidir. Düşük kaynak hızı ve yüksek dönme hızı kullanılarak yapılan birleştirmelerde kaynak bölgesindeki sertlik düşüşünün daha fazla olduğu deneysel olarak yapılan araştırmalarda belirtilmiştir.

5) 180° bükme deneyi (soğuk birleşme yüzeyleri iç tarafa alındığında) sonucunda numunelerin kaynak bölgesinde gözle görünür bir hataya rastlanmamıştır ve deney numunelerinin bükme sonuçları birbiriyile paralel bir davranış göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1]. ÇAM, G., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Uygulamaları”, 9. Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 8–10 May 2002, Pamukkale Üniversitesi, S. 450–458, 2002, DENİZLİ
- [2]. ÇAM, G., “Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası “Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi”, 47-62 2003, KOCAELİ
- [3]. KÜLEKÇİ, M.K., ŞİK, A., “Sürtünme karıştırma kaynağı ile alüminyum alaşımı levhaların birleştirilmesi ve elde edilen kaynaklı bağlantıların özellikleri” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7.3 :70–75 2003, ISPARTA
- [4]. KALUÇ, E., MERT, Ş., “Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, , 103-114 2003, KOCAELİ
- [5]. DONG, P., “Proc. Of the 1st Int. Symp. On Friction Stir Welding”, 14-16 June, Thousand Oaks, CA, 1999, USA
- [6]. ÇAM, G., “Al-Alaşımaları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 19–20 Ekim 2001, , S 267–277, İSTANBUL
- [7]. MAHONEY, M.W, “Science Friction”, Welding & Joining, January / February, pp.7-12, 1997, USA
- [8]. 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.htm> 2004
- [9]. JONHSON, R., KALLEE S., “Friction Stir Welding”, Materials World Volume 7, No.12, p.751–753, 1999, USA
- [10]. ŞİK, A., “Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002, ANKARA
- [11]. GÜLENC, B., “MIG/MAG kaynağında koruyucu gaz karışımının kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi”, Gazi Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Doktora Tezi, 1995, ANKARA
- [12]. KAYABAŞ, Ö., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Yapılan Alüminyum Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Dönem Projesi, , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005, ANKARA
- [13]. ÇAM, G., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK): Al-Alaşımaları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi”, Mühendis ve Makina Cilt:46 Sayı:541 2005
- [14]. ATAĞLU, H., MISTIKOĞLU, S., ÇAM, G., “Sürtünme Karıştırma Kaynaklı Bir Al-Alaşımının İy yapı ve Mekanik Karakterizasyonu”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, 65-75 2003, KOCAELİ
- [15]. KURT, A., ÖZDEMİR, M., BOZ, M., “Alüminyum Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, 89-99 2003, KOCAELİ.