

Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyumun Kaynağında Kaynak Bölgesinin Eğmeli Yorulma Dayanımının İncelenmesi

Aydın ŞIK
Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü Beşevler /ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada; sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle, AA 1050 Alüminyum levhalar bindirme pozisyonunda birleştirilerek, oluşan bağlantının eğmeli yorulma dayanımının özellikleri incelenmiştir. Kaynak esnasında karıştırıcı ucun devir hızı ve kaynak ilerleme hızları değişken parametreler olarak seçilmiştir. Karıştırıcı ucun devir hızı sabit kaynak ilerleme hızı artırıldığında malzemeye giren ısı miktarının azalmasıyla malzemenin mekanik özelliklerinde bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler-Al-alaşımaları, Sürtünme karıştırma kaynağı, Eğme yorulması, Mekanik özellikler

Investigation of Fatigue Bending Endurance of the Friction Stir Welded Joint of Aluminium

ABSTRACT

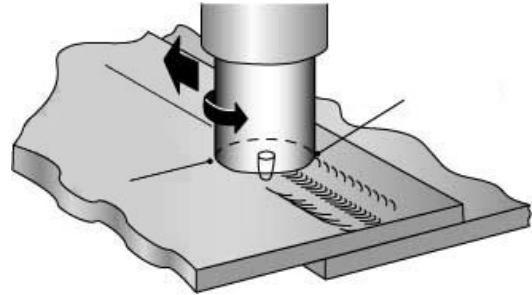
In this study the fatigue properties of the joints in lap form of friction stir welded AA 1050 Aluminium alloy plates have been investigated. Feed and revolution of welding tool were selected as variable parameters in the study. Increasing transverse speed of the friction stir welding pin while rotation speed is fixed, the amount of the heat input into the material is reduced and resulted in increase in the mechanical properties of welded joint.

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

1.GİRİŞ

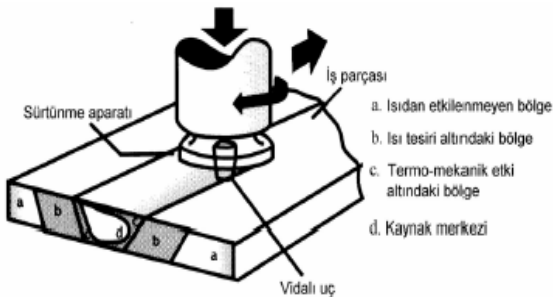
Sürtünme Karıştırma Kaynağı(SKK) 1970'li yıllarda İngiltere'de The Welding Institute(TWI) adlı kurumda geliştirilmiş ve 1990'lı yıllarda patenti alınmış bir katı hal kaynak yöntemidir (1). Bu yöntemin uygulanması sırasında; duman ve ışın olmaması, koruyucu gaz, toz ve ilave tele gereksinim duyulmaması, kaynak ağzı hazırlığı gerekmemesi, tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi olanağının bulunması ve otomasyona da yatkınlığı gibi bir çok üstünlüğünün bulunması, yöntemin uygulama alanlarını daha da genişletmektedir (2).

Sürtünme karıştırma kaynağının uygulandığı Şekil 1'de gösterilmiştir. Birleştirilecek parçalar yapılacak kaynak pozisyonlarına göre sabitlenir. Yöntemin uygu-



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulandığı

lama 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 yardımıyla yüksek devirde döndürülerek; kaynak yapılacak parçalara daldırılır ve kaynak yapılacak uzunluk boyunca ilerletilir. Pim, malzemelere temas ettiğinde sürtünme kaynağındaki duruma benzer bir konum oluşarak temas noktasında ısı, sürtünmenin etkisiyle hızla artar ve malzemelerin plastik değişimine neden olur. Bu değişim malzemelerin akışını sağlar. Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan bölgedeki kombine sürtünme ısısı, gömülmüş olan karıştırıcının çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği yüzeyde yumuşamış bir



metal oluşturur; pim etrafındaki malzeme sürtünmeyle ısınıp yumuşayarak pimin ucundan arka yüzeye doğru karıştırılır. Karıştırılan malzeme, hidrostatik basınç koşullarında soğuyarak katılaşır ve birleşme olayı gerçekleşir (3,4,5).



Şekil 2. Kaynakta oluşan bölgeler (6, 7)

Bu kaynak yönteminde kaynak bölgesinin dört farklı bölgeden oluştuğu Şekil 2’de gösterilmiştir (4, 8).

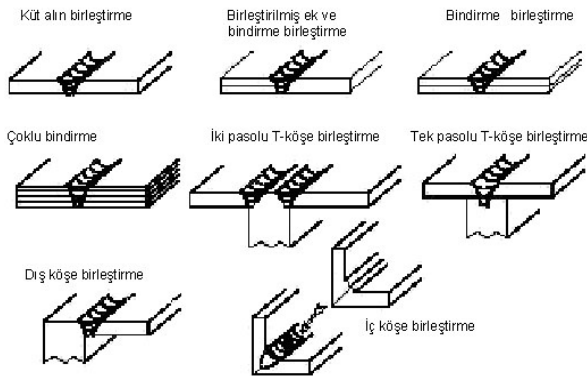
A:Kaynak işlemlerinden etkilenmeyen bölgedir. Esas metal olup hadde yapısındadır.

B:Artık kaynak gerilmeleri ve ısı değişimleri gibi etkilerle özelliklerin değişebileceği bir bölgedir. Yaşlanmış veya mekanik yaşlandırılmış alaşımlarda bu bölge sert değildir.

C:Plastik deformasyon gözlenir. Termomekanik olarak etkilenme söz konusudur. Bu etkileşimde yenden kiralizasyona neden olmaktadır.

D:Kaynak metalidir. Kaynak metalinin mikroyapısında da alaşım türü, ısı işlem, tane boyutu ile beraber bir değişim olabilmektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağıyla, yüksek performanslı hatasız birleştirmeler elde edilmesi, her malzeme ve farklı levha kalınlıkları için uygun bir işlem aralığı bulunması gerekir. Kalınlıkları 1,2 mm’den 75 mm’ye kadar olan alüminyum ve alaşımı levhalar tek ve çift taraftan sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile birleştirilebilirler (9).

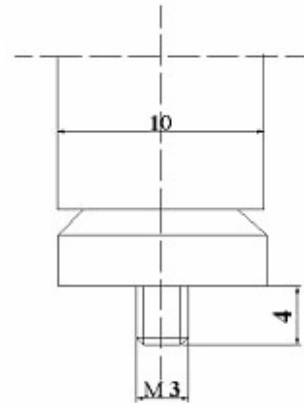


Şekil 3. Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan kaynak pozisyonları (4, 10)

Şekil 3’te SSK yöntemi ile birleştirme türleri; küt alın, bindirme, T-köşe, dış ve iç köşe, boyuna ve çevresel birleştirmeler gösterilmiştir. Ayrıca bu yöntemde yerçekiminin etkisi olmadığından tüm pozisyonlarda rahatlıkla uygulanabilir (4).

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, Al-alaşımı (AA 1050) levhalar kaynak edilerek; kaynak parametrelerinin birleşebilirliğe ve eğmeli yorulmaya etkisi test edilmiştir. Al-alaşımı levhaların farklı devirler ve hızlar kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı ile bindirme kaynağı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen birleştirmelerde, kaynak kalitesini belirlemek amacıyla görsel muayene yapıldıktan sonra yorulma dayanımı deneyleri (her bir deney grubu için 8 adet) yapılmıştır. Aynı zamanda, batıcı uç kaynak devir hızının ve ilerleme hızının kaynak kalitesine etkisi belirlenmiştir.



Şekil 4. Deneyde kullanılan karıştırıcı uç (pim) malzemesi

Çalışmada ticari saflıkta 3 mm kalınlığındaki AA 1050 [TSE normu Al 99,5 (Etial-5)] Al-alaşımı levhalar bindirme pozisyonu sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle, değişik kaynak parametreleri kullanarak kaynak edilmiştir. Çizelge 1’de malzemenin kimyasal bileşimi ve Çizelge 2’de de malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

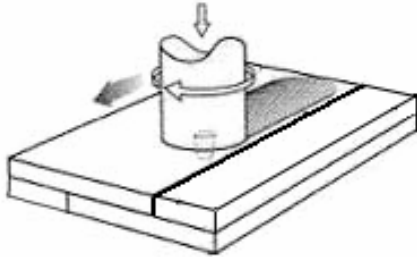
Çizelge 1. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi

Elmt.	Al	Si	Ni	Zn	Fe	Sn	Ti	Cu
%	99.50	0.10	0.0015	0.05	0.30	0.0010	0.04	0.05

Çizelge 2. Kullanılan malzemenin mekanik özellikleri

Kondüsyon	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	% Uzama	Sertlik (HB) (Kg/mm ²)
H18	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 4’te gösterilen ölçülere getirilip ve yüzeyi taşlanan pimin vida uçlarına M3 paftası çekilerek helisel diş açılmıştır. Uygulanan ısı işlemler sonucu pimin sertlik değeri HRC 55 Rockwell olarak ölçülmüştür. Frezeyle bağlanan kısmın çapı 10 mm, boyu 100 mm’dir.

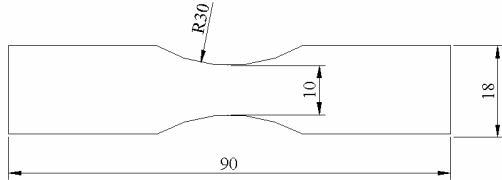


Şekil 5. Sürtünme karıştırma kaynağında bindirme kaynağının uygulanışı

3 mm kalınlığındaki Al-alaşımı parçalar bindirme kaynağı yapıldığından; karıştırıcı kaynak ucunun çapı 3 mm ve kaynak ucu boyu 4 mm olarak hazırlanmıştır (Şekil 4). Sürtünme karıştırma kaynak işlemi, maksimum devir hızı 3750 dev/dakika olan yarı otomatik freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Levhalar kaynaklanacak kenarlar standartlara (ANSI/AWS D9.1-90) göre üst üste binecek kısmın uzunluğu; parça kalınlığının 4 katı olması gerektiğinden 12 mm alınmıştır (Şekil 5). Sürtünme aparatı frezenin düşey miline monte edilerek, kaynak işlemi Çizelge 3'te verilen kaynak parametreleri kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 3. Kaynak işleminde kullanılan kaynak işlem parametreleri

Numune No	Devir Sayısı (dev/dak)	Kaynak İlerleme Hızı (mm/dak)	Numune sayısı
1	2500	120	8
2	1500	120	8
3	1000	120	8
4	2500	200	8

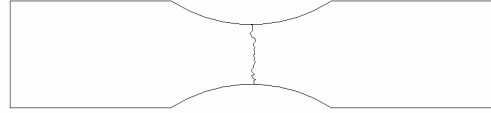


Şekil 6. Ana malzemeden çıkarılan eğme yorulma deneyi numunesi

Eğmeli yorulma deney numuneleri Şekil 6'da ki ölçülere göre 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 yapılmıştır. Tüm deneylerde sınır çevrim sayısı olarak literatürde tavsiye edilen $N=2 \times 10^6$ alınmıştır.

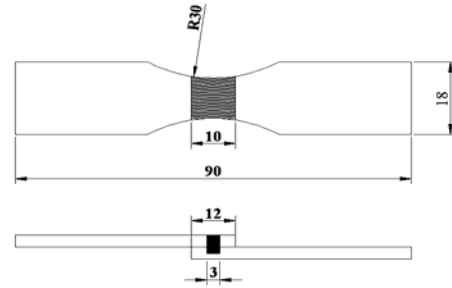
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kaynak yapılmayan numunelere uygulanan yorulma dayanımı sonrasında kırılan deney parçaları incelenerek yorulma çatlaklarının oluştuğu yer saptanmıştır. Şekil 7'de esas metalden alınmış numunelerin yorulma deneyi sonrası kırılma şekli şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. Ana malzemeden çıkarılan eğme yorulma deneyi numunesinin kopmuş hali

Esas metale ait numunelerde (Şekil 7) yorulma çatlakları kesitin dar olduğu bölgede meydana gelmiş olup elde edilen bu sonuç ise daha önceki sonuçları doğrular niteliktedir (11).



Şekil 8. Kaynaklı malzemeden çıkarılan eğme yorulma deneyi numunesi

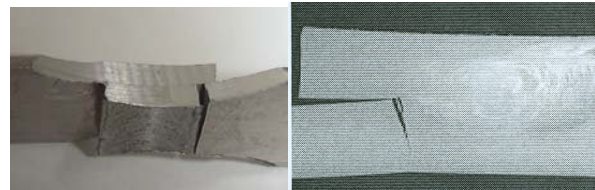


Şekil 9. Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan bindirme kaynak numuneleri

Şekil 8'de bindirme kaynaklı parçadan çıkartılan yorulma deneyi numunesi, Şekil 9'da ise bindirme kaynağı yapılmış eğmeli yorulma deneyine hazır numune örneği görülmektedir. Burada kaynakların görsel muayenelerinde, SKK ile elde edilen kaynakların görüntü ve yüzey pürüzlülüğü yönünden, diğer ergitmeli kaynak yöntemlerine nazaran oldukça düzgün olduğu görülmüştür.



Şekil 10. Kaynaklı malzemeden çıkarılan eğme yorulma deneyi numunesinin kopmuş hali



Şekil 11. Bindirme kaynağı yapılan parçanın kopma yeri

Şekil 10 ve Şekil 11’de bindirme kaynaklı bağlantıların kırılma bölgesi incelendiğinde kırılmanın bağlantının en zayıf ve hassas bölgesi olan ısıdan etkilenmiş bölgede veya kaynak dikişi ortak sınırında kırıldığı saptanmıştır. Bu oluşumda gayet normal olup bu konuda çalışan araştırmacıların deney sonuçları ile uyum halindedir (11, 2). Kaynak dikişinden kopan numuneler ise değerlendirme dışı bırakılmıştır. Ayrıca deney numunesi hatalı hazırlanır ve çentik oluşturulursa kopmalar çentik olan yerde görülür (11, 12).

Şekil 12’de esas metal olan AA 1050 Alüminyumun, 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 ve esas metal numuneleri ile yapılan tüm yorulma dayanımı deneyleri karşılaştırmalı olarak tek diyagramda verilmiştir.

Yüksek ilerleme ve düşük dönme hızı kullanıldığında kaynak bölgesinde sertlik düşüşü daha az olduğu görülür. Yüksek devirde malzemeye giren ısı miktarının fazla olmasından dolayı malzemelerin soğuması daha yavaş olmakta ve bu da sertliği düşürmekte bir etken olmaktadır (13).

Yüksek hızla yapılan kaynaklardaki yüksek soğuma hızlarından dolayı mukavemetlendirici partiküllerin kısmen tekrar çökmesi nedeni ile mukavemet özelliklerine olumsuz etki etmektedir (14).

Bakır, magnezyum ve silisyum alimünyum ile alaşım elementi olarak kullanılması sonucunda meydana gelen alimünyum alaşımları çökme sertleşmesi ile sertleştirilerek kimyasal ve mekaniksel özelliklerinde iyileşme sağlanabilir (15, 16). Alimünyum alaşımlarında, kaynak esnasında uygulanan ısıl çevrim, ana katı çözelti içinde bulunan alaşım elementlerinin erimiş bölge veya esas metalde çökmesine neden olarak bağlantının mekanik ve kimyasal özelliklerinin esas metalden farklı olmasına yol açar (17).

Al-alaşımları, kaynak dikişinde mukavemetlendirici partiküllerin çözeltiye alınması ve ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) aşırı yaşlanma olmamasından dolayı sürtünme karıştırma kaynağı yapıldıklarından marjinal bir mukavemet kaybı gösterirler (18).

Al-alaşımlarının kaynak dikişinde mukavemetlendirici çökeltilerin çözünmesi sonucu malzemenin yumuşamasına rağmen ince taneli bir mikro yapı oluşmasından dolayı sertlik düşüşü gözlenir. Sertlik, bu alaşımın kaynak bölgesinde mukavemetlendirici çökelti partiküllerin irileşerek sertleştirici etkilerinin yok olduğu kaynak dikişi dışındaki aşırı yaşlanma bölgesinde en düşüktür (19).

Soğuma esnasında kaynak dikişinde değil ısıdan etkilenmiş bölgede (ITAB) daha az sertleştirici özelliğe sahip fazlar çökler. Bundan dolayı bu alaşımının kaynak bölgesinde önemli oranda sertlik kaybı gözlenir.

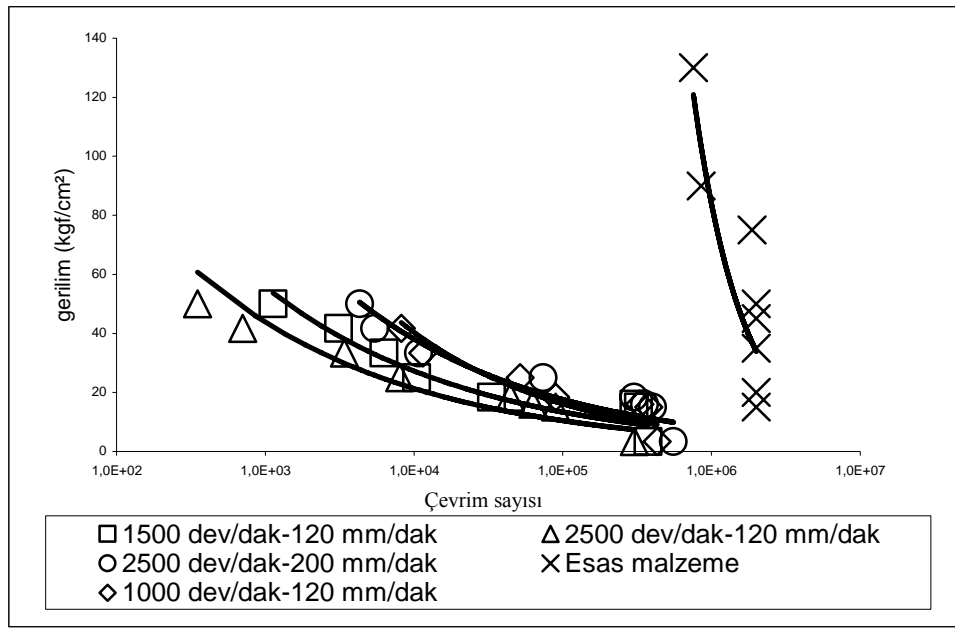
Fakat muhtemelen sertleştirici çökelti partiküllerin büyümesi sonucunda minimum sertlik kaynak dikişine yakın ısıdan etkilenmiş bölgededir (20, 21).

Kaynak işlemi esnasında malzeme hamurumsu hale gelene kadar ısındığından kaynak bölgesinde soğuk şekil verme sertleşmesine uğramış yapı tavlanamakta, bu durumda sertlik kaybına neden olmaktadır (22).

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 (23).

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

Isı girdisinin fazla olması nedeni ile kaynaklı bağlantının ısıdan etkilenmiş bölge (ITAB) genişlemekte bu da bağlantının yorulma dayanımını düşürmektedir. Şekil 12’deki diyagram incelendiğinde; esas metalin eğmeli yorulma dayanımı değerleri kaynaklı birleştirmelere göre yüksek çıktığı görülmüştür. Bu da beklenen bir durumdur. Kaynaklı numunelerde ise 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 Şekil 12’de gösterilmiştir. 1000 dev/dak-120 mm/dak ile 2500 dev/dak-200 mm/dak’ın yorulma değerleri birbirine yakın çıkmıştır. İlerleme hızı 120 mm/dak’da sabit iken, karıştırıcı uç devir hızının 1000 mm/dak.’dan 1500-2500 dev/dak’ya artması; malzemeye ısı girdisini arttırdığı, ITAB bölgesi genişlediği ve sertlik değeri düştüğü için yorulma dayanımı miktarının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni; kaynak ilerleme hızı sabit iken artan devir hızlarında, malzemeye ısı girdisi artmaktadır. Kaynaklı bağlantının ısıdan etkilenmiş bölgesinde (ITAB) mukavemet artırıcı partiküller (bakır, magnezyum ve silisyum) malzeme içinde daha kaba (inhomojen) şekilde çökme oluşturmaları (14, 15, 16). Buda bağlantının yorulma dayanımının düşmesine neden olur. 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 ısıdan etkilenmiş bölgenin (ITAB) genişliği karıştırıcı uç devir hızı ve kaynak ilerleme hızı gibi değişken parametrelerle kontrol edilebilmektedir.



Şekil 12. Tüm deney numunelerine uygulanan yorulma dayanımlarının karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

- 3 mm kalınlığındaki Al-alaşımı levhalar başarılı bir şekilde bindirme kaynağı pozisyonu ile birleştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen numunelerin, kaynak dikişi görüntüsünün, diğer kaynak yöntemlerine göre çok daha düzgün olduğu ve herhangi bir temizlik v.b. işleme gerek olmadığı görülmüştür. Kaynak ilerleme hızı sabit iken artan kaynak devir hızlarında kaynak dikişlerinin ondüleli görüntüsünde malzemeye giren ısı miktarının artmasıyla az da olsa dönme yönünde süreksizlikler, bozulmalar meydana geldiği tespit edilmiştir.

- Kaynak numunelerine uygulanan eğme yorulma deneylerinde numunelerin kırılma yerleri ısıtan etkilenmiş bölgeden (ITAB) başlayarak ilerlediği ve kaynak dikişinin hemen yanında kopma olduğu görülmüştür. Burada kopmasının kaynak dikişinin sağlam olduğunu göstermiştir.

- Esas malzemenin eğme yorulma dayanımı kaynaklı numunelere göre yüksek çıkmıştır.

- 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.

- 2500 dev/dak. kaynak devir hızında iken kaynak ilerleme hızı 120 mm/dakikadan 200 mm/dak. çıkartıldığında kaynaklı bağlantının yorulma dayanımı artmış-

tir. Bu artışın nedeni; kaynak ilerleme hızının artırılmasıyla kaynak bölgesine giren ısı miktarının azalması ve ısının tesiri altındaki bölgenin daralmasıdır.

- 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. Sertlik değeri yüksek olan malzemelerde yorulma dayanımı yüksek çıkması da beklenen bir durumdur (10, 11).

- 1000 dev/dak-120 mm/dak ile 2500 dev/dak-200 mm/dak'ın yorulma değerleri birbirine yakın çıkmasından dolayı yüksek devire çıkılamayan makinelarda 1000 dev/dak kaynak deviri ve 120 mm/dak ilerleme hızı ile yapılabilir.

- Yukarıda belirtilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi kaynak metaline giren ısı miktarı, karıştırıcı uç devir hızı ve kaynak ilerleme hızı ayarlanarak kontrol edilebilmektedir.

5. KAYNAKÇA

1. Çam, G., Al-Alaşımaları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 19-20, S. 267-277, İstanbul, Ekim, 2001
2. Kulekçi, M. K., Şık, 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, Isparta, 2003

3. Atlamaz, M., Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile 6××× serisi alüminyum alaşımlarının alın ve bindirme kaynağının uygulanabilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 2002
4. Kaluç, E., Bozduman, B., Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynak Yöntemi, Makine Magazin, Sayı:27, Temmuz, Kocaeli, 1998
5. Lockwood, W.D., Reynolds, A.P., Simulation of the global response of a friction stir weld using local constitutive behavior Materials Science&Engineering, A339, 35-42, 2003
6. Dawes, C.J., "Friction Stir Welding", The Welding Institute, Abington Hall, Cambridge Adapte For TALAT by Roy Woodward, Birmingham and Christian Leroy, EAA, 1999
7. Mitchell, J.E., Cook, G.E. and Strauss, A.M., "Experimental Thermo-mechanics of Friction Stir Welding", Vanderbilt University, 2003
8. Smith, S., Nikiforakis, N., "Computational Modelling of Friction Stir Welding", University of Cambridge, Engineering and Physical Sciences Research Council, 2001
9. Kaluç, E., Mert, Ş., "Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, Kocaeli, 2003
10. Dawes, C.J., "Friction Stir Welding", The Welding Institute, Abington Hall, Cambridge Adapte For TALAT by Roy Woodward, Birmingham and Christian Leroy, EAA, 1999
11. Şık, A., "Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002
12. Gülenç, B., "MIG/MAG kaynağında koruyucu gaz karışımının kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1995
13. Kayabaş, Ö., "Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Yapılan Alüminyum Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Dönem Projesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005
14. Çam, G., "Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK): Al-Alaşımları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi", Mühendis ve Makina Cilt:46 Sayı:541, 2005
15. Gürler, M., "Alüminyum alaşımlarının sürtünme kaynak özellikleri", Doktora tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11-40, 2000
16. Anık, S., Anık, E.S., "Malzeme bilgisi ve muayenesi", Üçer Matbaacılık, İstanbul, 144-147, 1977
17. Anık, S., Dikicioğlu, A., Vural, M., "Koruyucu gaz altında kaynak ve Alüminyumun MIG kaynağı", Kaynak Tekniği Yayınları, 1: 30-45, İstanbul, 1994
18. Atlamaz, M., "Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile 6××× serisi alüminyum alaşımlarının alın ve bindirme kaynağının uygulanabilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 1-33, 2002
19. Thomas, W.M., "Friction Stir Welding And Related Friction Processv Characteristics", 7th International Conferance on Joints in Alüminium, USA, 1998
20. Von Strombeck, A., Dos Santos, J.F., Torster, F., Laureano, P., Koçak, M., Proclaim of the 1st International Symposium On Friction Stir Welding, USA., 1999
21. Mahoney, M.W., Rhodes, C.G., Flintoff, J.G., Spurling, R.A., Bingel, W.H., "Metallographic Transfers", Vol. 29A, 1955-1964, 1998
22. Ataoğlu, H., Mıstıkoğlu, S., ÇAM, G., "Sürtünme Karıştırma Kaynaklı Bir Al-Alaşımlarının İçyapı ve Mekanik Karakterizasyonu", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, Kocaeli, 2003
23. Kurt, A., Özdemir, 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, Kocaeli, 2003
24. ANSI/AWS D9.1-90, An American National Standards Institute, American Welding Society, Sheet Metal Welding Code USA, January 12 1990.