

AA2024 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

A Study Into Effects of Different Parameters on Mechanical Properties in Friction Stir Welding of AA 2024 Aluminium Alloy

Aydın ŞİK, İbrahim ERTÜRK ve Murat ÖNDER*

Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Endüstriyel Teknoloji Bölümü, 06830, Ankara

Geliş Tarihi/Received : 20.01.2010, Kabul Tarihi/Accepted : 15.03.2010

ÖZET

Bu çalışmada, genel özelliği hafifliği, işlenebilirliği, yüksek korozyon dayancısı, yüksek dayanıma sahip olmasından dolayı kullanım alanı olarak özellikle uçak gövdelerinde ve kanatlarda ve otomotiv endüstrilerinde kullanılan AA2024 alaşımı sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile birleştirilerek, oluşan bağlantıların yorulma, sertlik, eğme ve çekme deneyleri incelenmiştir. 4 mm kalınlığındaki levhaların kaynak esnasında kaynak ilerleme hızı ve karıştırıcı ucun dönme devri değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Bu parametreler; 20 mm omuz genişliği, devir sayısı 1000 dev/dak, 1500 dev/dak, 2500 dev/dak ve ilerleme hızları 120 mm/dak ve 200 mm/dak olarak alınmıştır.

Anahtar Kelimeler : *Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), Alüminyum alaşımları, AA2024, Mekanik özellikler, Eğme yorulması.*

ABSTRACT

In this study AA2024 alloy, which is used especially in aircraft body, wings and automotive industry due to its lightness, workable aspect, high corrosion resistance and durability, was welded with stir friction method, and fatigue, hardness, bending and tension experiments of the joints obtained were conducted. Welding progress speed of the 4 mm thick sheets and stir tool rotation were determined to be the variable parameters. These parameters were taken as 20 mm shoulder width, 1000 rpm traverse speed, 1500 rpm, 2500 rpm and the progress speed was taken as 120 mm/min and 200 mm/min.

Keywords : *Friction stir welding (FSW), Aluminium alloys, AA2024, Mechanical properties, Bending fatigue.*

1. GİRİŞ

Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme kaynak yönteminin geliştirilmiş bir başka yöntemidir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağı, genellikle silindirik kesitli malzemelere uygulanan katı faz kaynak yöntemidir (Kurt v.d., 2004).

Bir katı faz birleştirme işlemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak kabiliyeti zor olan malzemelerin birleştirme işlemleri için kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü avantajlarından dolayı uygun bir alternatif kaynak yöntemidir (Çam, 2003).

Sürtünme karıştırma kaynağının endüstride kullanımı hızla artmaktadır. Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığı zaman maliyet çok düşük kalmaktadır. Günümüzde yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerinde de (alaşimsız çelikler, paslanmaz çelikler, v.s) bu yöntemle birleştirilmesi başarılmıştır. Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerde güçlü tezgahlara, özel takım makinelerine ve takım tutuculara ihtiyaç duyulmaktadır (Meran, 2008).

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi geniş uygulama alanlarına yayılmış ve farklı geometrilerde kaynak olanağı sağlayan 1991 yılında İngiliz Kaynak Enstitüsü'nde (TWI), W. Thomas tarafından geliştirilen, patenti alınan ve halen geliştirilmeye devam edilen bir

* Yazılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : aydinsk_66@windowslive.com (A. Şık)

katı faz kaynak yöntemidir (Dawes, 1995; Dawes, 1999; Willaws, 2001; Kulekçi, 2003; Lee, v.d., 2003; Lockwood ve Reynolds, 2003; Peem v.d., 2003; Çam, 2005; Mishra ve Ma, 2005; Külekçi ve Şık, 2006).

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 (Kaluç ve Bozduvan, 1998; Külekçi ve Şık, 2003; Çam, 2005; Külekçi ve Şık, 2006).

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-alaşımının yanı sıra Cu-alaşımının, Ti-alaşımının ve bazı tür çeliklerin birleştirilmesinde uygulama alanı bulmaktadır. Alüminyum, hafifliği ve mukavemeti nedeni ile endüstride kullanımı oldukça yaygındır.

Bu çalışma; alüminyum kaynağı için yeni olan sürtünme karıştırma kaynağında farklı parametreler kullanılarak AA2024 alaşımının mekanik özelliklerini araştırmak amacı ile yapılmıştır. Kaynaklarda EN-288-3'e uygun olarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Eğmeli yorulma deneyleri DIN 50142 ile uyumlu dinamik eğmeli yorulma testleri yapılmıştır. Yorulma deneyleri sonuçları DIN 50100'e uygun Wöhler ve yorulma dayanımı testi olan (S-N) diyagramları oluşturulmuştur. Deney numunelerinde ayrıca sertlik ölçümleri, eğme deneyleri ve çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2. 1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

2. 1. 1. Esas Malzeme

AA2024 alüminyum alaşımı serisi 4 mm kalınlığındaki levhalar kullanılmıştır. Tablo 1'de kimyasal bileşimi ve Tablo 2'de ise mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan AA2024 malzemesinin % kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kimyasal bileşimi							
	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
AA 2024	0,50	0,50	3,80-4,90	0,30-0,90	1,20-1,80	0,25	0,15	0,10

Tablo 2. Kullanılan AA2024 malzemesinin mekanik ve kimyasal özellikleri.

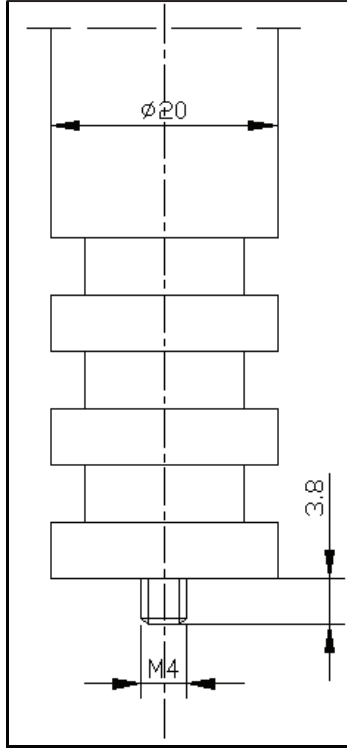
Malzeme	Mekanik özellikler					
	Isıl işlem	Akma Dayanımı (Kg/mm ²)	Çekme Dayanımı (Kg/mm ²)	% uzama (50 mm) mm/mm	Sertlik (HB) (Kg/mm ²)	Kesme Dayanımı (Kg/mm ²)
AA 2024	O	11	22,5	12	120	28,5

2. 1. 2. Pim

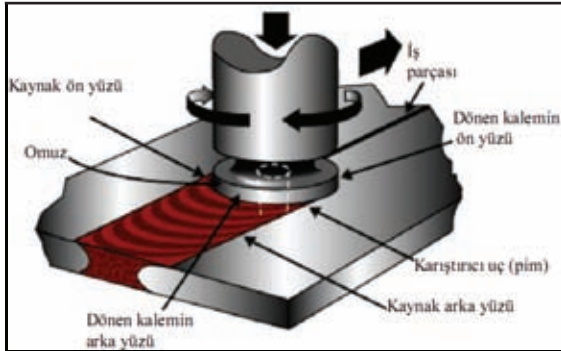
Şekil 1'de verilen ölçülere uygun olarak 2344 sıcak iş takım çeliğinden yapılmıştır. Frezeyle bağlanan kısım: çapı 20 mm, omuz ölçüsü 20 mm ve boyu 100 mm'dir. Karıştırıcı uç (pim) malzemesi, ergime derecesi alüminyum malzemenin yaklaşık üç katı olan 2344 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiştir. Bunun için 2344 sıcak iş takım çeliğinden pim istenilen ölçüde kesilerek; daha sonra tornada belirlenen ölçülere getirilmiştir. İstenilen ölçülere getirilen pimin vida uçları M4 paftası ile çekilerek helisel diş açılmıştır (Şekil 1).

Kaynak esnasında pimden oluşan ısıyı azaltmak için pimin frezeyle bağlanan kısım ile omuz arasına kanal açılmıştır. Bunun sebebi, kaynak sırasında pimin hava ile temas alanını artırarak sürtünmeden dolayı oluşan ısının tahliyesini kolaylaştırmaktır. Omuz

kaynak işleminde her iki levhanın üzerine oturduğu kısımdır (Şekil 2). Sürtünme karıştırma kaynak ucunun omuz kısmı, birleştirilecek her iki levha yüzeyine sürtündüğünden, sürtünme karıştırma kaynağında kritik olan sürtünme ısısının elde edilmesinde rol oynamaktadır. Kaynak dikişini üstten örtterek, kaynak esnasında plastikleşen ve ucun dönmesinden dolayı yukarı doğru hareket eden malzemenin hareketini kısıtlar; bu durumda malzeme omuz tarafından aşağı doğru itilir. Pim kaynak işlemi sırasında kaynak omzu, kaynak edilecek malzeme yüzeyine yaklaşık olarak 1 mm kadar batması sağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan pim.



Şekil 2. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanması.

Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan pimin ucu, çapı ve boyu kaynatılacak malzemelerin kalınlığına bağlıdır.

2. 2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Sürtünme karıştırma kaynağı işleminde alüminyum alaşımı malzemeye kaynak işlemi öncesinde herhangi bir oksit giderme işlemi yapılmamıştır. Sürtünme karıştırma kaynağına tabi tutulacak levhalar kaynak edilecek kenarları temas edecek tarzda freze tezgâhı tablasına bağlama pabuçları yardımıyla bağlanmıştır. 2344 sıcak iş takım çeliği malzemeden özel olarak torna edilmiş 20 mm anma çaplı sürtünme aparatı frezenin düşey miline monte edilerek, sürtünme karıştırma kaynağı Tablo 3'te verilen kaynak parametreleri kullanılarak alüminyum alaşımı levhalara uygulanmıştır.

Tablo 3. Sürtünme karıştırma kaynağında seçilen kaynak parametreleri.

Deney Grupları	Devir Sayısı (dev/dak)	Kaynak İlerleme Hızı (mm/dak)	Omuz genişlikleri (mm)
1.	1000	120	20
	1000	200	
2.	1500	120	20
	1500	200	
3.	2500	120	20
	2500	200	

2. 1. 1. Sertlik Ölçümleri

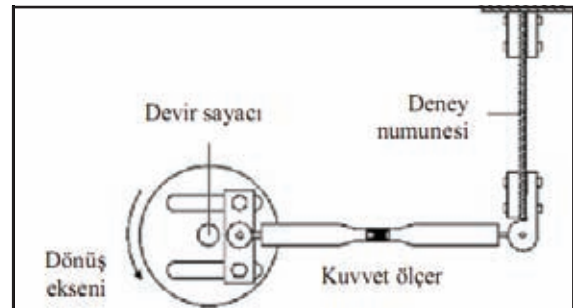
Yapılan kaynaklardaki sertliklerin nasıl ölçüldüğü Şekil 3'te gösterilmiştir. Tüm kaynaklı bağlantılarda alınan numuneler (Instron Wolpert) Vicker sertlik ölçme cihazıyla sertlik taraması gerçekleştirilmiştir. Sertlik taramalarında 500 gr. deney yükü uygulanmıştır (HV5). Sertlik ölçülürken; esas metal, ısıdan etkilenmiş bölge (IEB), termomekanik olarak etkilenmiş bölge ve kaynak metali değerleri kaynak orta çizgisine göre çift taraflı mümkün olduğu ölçüde eşit aralıklarla taranarak alınmıştır.



Şekil 3. Mikro sertlik ölçümlerinin yapıışı.

2. 1. 2. Eğme Yorulma Deney Numuneleri

Eğme yorulma deneyleri sonucu elde edilen değerler ve Wöhler eğrileri en yüksek gerilmeye karşılık çevrim sayısı logaritmik işaretlenerek çizilmiştir. Bir defaya mahsus mukayese amaçlı esas metalden ve sürtünme karıştırma kaynağının her bir parametresi için 8'er adet numune hazırlanarak yapılmıştır. Tüm deneylerde sınır çevrim sayısı olarak literatürde tavsiye edilen çevrim sayısı $N=2 \times 10^6$ alınmıştır. Makinede Alman Standardı DIN 50100'e göre uygun Wöhler ve yorulma dayanımı testi olan (S-N) diyagramları oluşturabilmektedir. Bu makinenin şematik gösterimi Şekil 4'te verilmiştir (Şık, 2002; 2005; 2006).



Şekil 4. Eğmeli yorulma makinesinin şematik gösterilişi.

Deneylerde kullanılan eğme momenti (M_e) değerlerinden eğilme gerilmesi (σ) değerlerine klasik

mukavemet bilgileri kullanılarak dikdörtgen kesitli parçalar aşağıdaki gibi hesaplanır (DIN 50 142).

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad \sigma = \frac{M_e}{W}$$

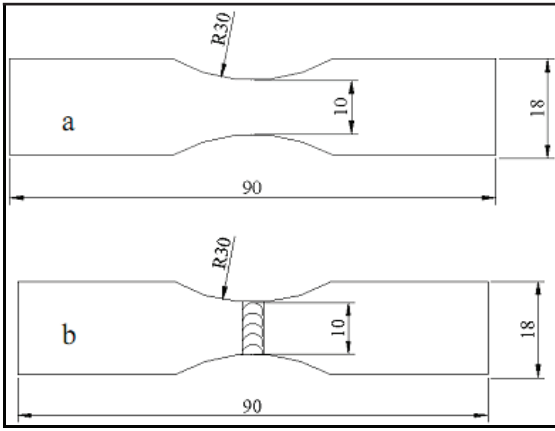
σ = Eğilme gerilmesi (kg/cm²)

W = Mukavemet momenti (cm³)

M_e = Eğilme momenti (kgcm)

b = Genişlik (cm), h = Kalınlık (cm)

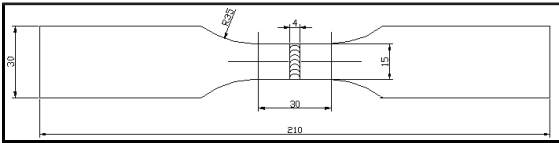
Yorulma deneylerinde kullanılan numuneler, kaynak edildikten sonra yorulma deney makinasının özelliklerine uygun olan standard boyutlarda 8 adet kesilerek frezede işlenmiştir. Şekil 5'te kullanılan numunelerin boyutları gösterilmiştir.



Şekil 5. a-Kaynak edilmemiş ve b-kaynaklı malzemelerden çıkartılan eğme yorulma deney numunelerin şekilleri.

2. 2. 3. Çekme Deney Numuneleri

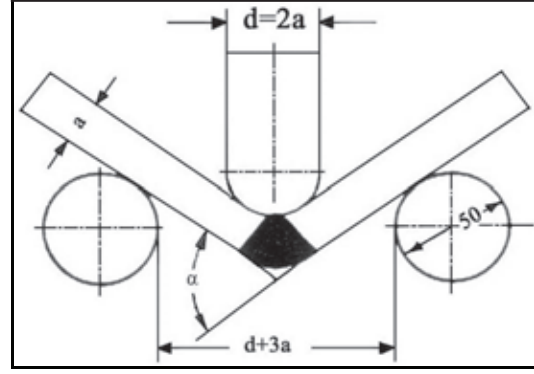
Çekme deneyleri, yorulma numuneleri gibi hazırlanarak kaynaksız olanlar TS 138'e (EN 10002-1) göre kaynak sağlamlığına ait çekme deneyleri ise TS 287'ye (EN 895) uygun olarak her bir deney için 3 numune hazırlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Çekme deney numuneleri.

2. 2. 4. Eğme Deney Numuneleri

Eğme deneyin uygulanış amacı, kaynaklı ve kaynaksız numunelerin soğuk durumda çatlama katlanabildiğini veya katlanmadığını tespit etmektir. a kalınlığındaki levhaların belirli bir çapta ($d=2a$) eğme mandreni ile iki yuvarlatılmış mesnet arasında basılarak katlanır. DIN 17100'e göre kaynak dikişinin eğme deneyinde uygulanan esaslar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Kaynak dikişlerinin eğme deneyleri.

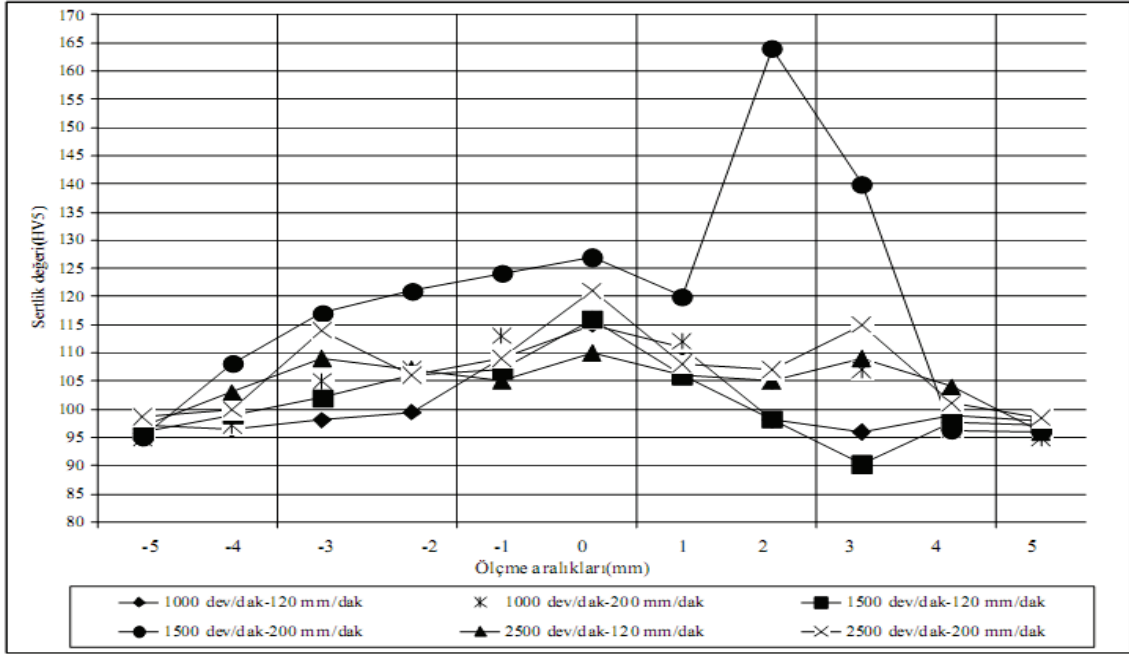
Eğme deneyi sırasında malzeme katlanır iken, ilk çatlama görüldükten sonra yükleme kaldırılarak, parçanın eğilme açısı ölçülür veya belirli çaptaki eğme mandreni ile 180° katlanılan malzemenin yüzeyinde oluşan çatlaklar ve yüzeyinin görünüşü incelenir.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3. 1. Sertlik Ölçümleri

Şekil 8'de farklı parametrelerle yapılan sürtünme karıştırma kaynağındaki levhaların sertlik değerleri gösterilmiştir.

Sürtünme karıştırma kaynaklı bağlantıların Vicker sertlik tarama sonuçlarında en büyük değer Şekil 8'de gösterildiği gibi 1500 dev/dak-200 mm/dak'da görülmüştür. En düşük sertlik değeri ise 2500 dev/dak-120 mm/dak'da çıkmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan birleştirmelerdeki sertlik değerleri esas malzemeden kaynak dikişine doğru attığı görülmüştür. 1500 dev/dak-200 mm/dak ile birleştirilen levhalardaki deney numunesinden sonra 2500 dev/dak-200 mm/dak. çıkmıştır. Bunları takip eden sırası ile 1000 dev/dak-200 mm/dak, 1500 dev/dak-120 mm/dak, 1000 dev/dak-120 mm/dak ve en düşük ise 2500 dev/dak-120 mm/dak'dır. Bu sonuçlar Al-2024-0 için literatürde yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir. Kaynak alanındaki sertlik değerinin yüksek çıkmasının nedeni tekrar kristalleşme ve küçük tane boyutundandır (Vural v.d., 2007; Fersini ve Pironi, 2007).



Şekil 8. SKK kaynağı ile birleştirilen levhaların sertlik değerleri (HV5).

Sürtünme karıştırma kaynağı sırasında 20 mm omuz çapının basıncından ve omuzun sürtünmesinden dolayı ortaya bir ısı enerjisi çıkmaktadır. Bu ısı alüminyum levhalarda plastik şekillendirmeye yardımcı olmaktadır. Plastik şekillendirmeden dolayı da sertlik değerlerinde bir artma meydana gelmektedir (Thomas v.d., 1999; Hülya v.d., 2009).

Yapılan kaynaklarda, yüksek devirde malzemeye giren ısı miktarının fazla olmasından dolayı malzemelerin soğuması daha yavaş olmakta ve buda sertliği düşürmekte bir etkidir. 2500 dev/dak-120 mm/dak'da diğer parametrelere göre yüksek dönme ve yavaş ilerleme nedeni ile malzemeye ısı girdisi fazla olmuştur. Bunun sonucunda da sertlik değeri en düşük çıkmıştır.

Soğuma esnasında kaynak dikişinde değil ısıdan etkilenmiş bölgede daha az sertleştirici özelliğe sahip fazlar çöker. Bundan dolayı bu alaşımın kaynak bölgesinde önemli oranda sertlik kaybı gözlenir. Fakat muhtemelen sertleştirici çökelti partiküllerin büyümesi sonucunda minimum sertlik kaynak dikişine yakın ısıdan etkilenmiş bölgededir (Von Strombeck v.d., 1999).

Al-alaşımlarının kaynak dikişinde mukavemetlendirici çöktülerin 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 (Thomas, 1998).

Kaynak merkezindeki sertliklerin esas metal sertliğinden biraz daha yüksek olması literatürde bunun nedeni, kaynak merkezindeki küçük tane boyutu ve Hall-Petch bağıntısı ($H_v = H_0 + k_H \cdot d^{-1/2}$) ile açıklanmıştır (Hülya v.d., 2009).

3. 2. Yorulma Deneyleri

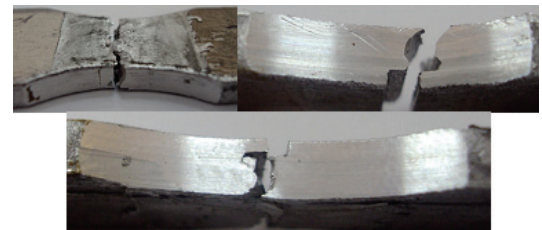
Şekil 9'da kaynak yapılmamış esas malzemeden alınmış numunelerinin yorulmadan dolayı kopma yerleri görülmektedir.

Şekil 10'da sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kopma yerleri gösterilmiştir.

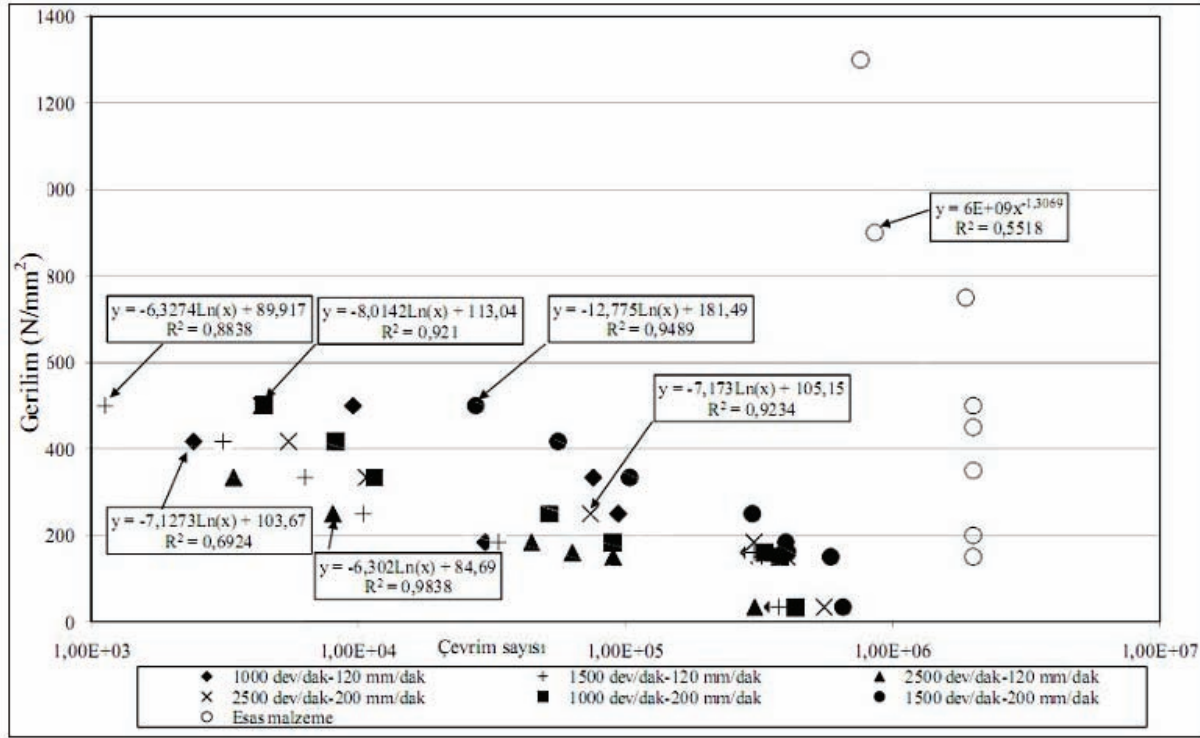


Şekil 9. Esas malzemenin kopma bölgesi.

Şekil 11'de esas malzeme ve SKK yöntemi ile birleştirilen numunelerin eğme yorulma dayanım sonuçları verilmiştir.



Şekil 10. Sürtünme karıştırma kaynağı kopma bölgeleri.



Şekil 11. Esas malzeme ve farklı parametreler kullanılarak yapılan SKK numunelerin yorulma dayanım değerleri.

Numunelere uygulanan yorulma dayanımı sonrasında kırılan deney parçaları incelenerek yorulma çatlaklarının oluştuğu yer saptanmıştır. Şekil 9'da esas metalden alınmış numunelerin yorulma deneyi sonrası kırılma şekli gösterilmiştir. Esas metale ait numunelerde yorulma çatlama kesitin ince olduğu bölgede oluşmuştur. Literatür araştırmalarına göre de bu durum normaldir (Külekcı, 2003; Külekcı ve Şık, 2003; Şık, 2005; 2006; Külekcı v.d., 2008).

Şekil 10'da sürtünme karıştırma kaynaklı numuneden çıkartılan yorulma deneyi sonrası kırılma şekli verilmiştir. Bu tür bağlantıların kırılma bölgesi incelendiğinde kırılmanın bağlantının en zayıf ve hassas bölgesi olan ısıdan etkilenmiş bölgede oluştuğu saptanmıştır. Şekil 10'da da görüldüğü gibi kopma çentikli olan bölgede kopmamıştır. Buda kaynağın sağlam yapıldığını göstermektedir. Çentik yorulmada en büyük etken olmasına rağmen çentikli kısımda kopma meydana gelmemiştir. Kaynak dikişinde kopan numuneler ise değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Şekil 11'de numunelerin yorulma dayanımı değerleri diyagramda verilmiştir. Burada yorulma dayanımı 1500 dev/dak-200 mm/dak'nın yüksek çıktığı en düşük ise 2500 dev/dak-120 mm/dak'da görülmüştür. 1500 dev/dak-200 mm/dak'dan sonra en yüksek olarak da 1000 dev/dak-120 mm/dak çıkmıştır. Diğer parametrelerle yapılan birleştirmeler ise birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

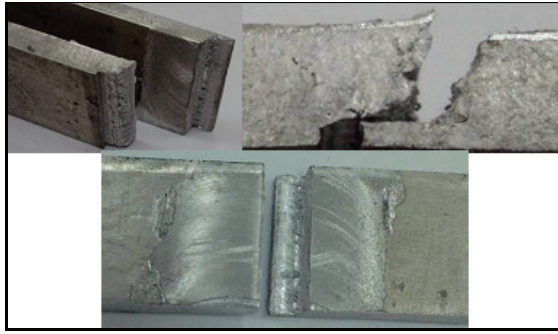
2500 dev/dak-120 mm/dak'da diğer parametrelere göre yüksek dönme ve yavaş ilerleme nedeni ile malzemeye ısı girdisi fazla olmuştur. Bunun sonucunda da sertlik değeri en düşük çıkmıştır. Sertlik arttıkça yorulmada dayanımı da artacağından dolayı bu parametre ile yapılan kaynak numunelerin sertliğinin düşük çıkması sonucu yorulma dayanımı da en düşük çıkmıştır. Al-alışımları, kaynak dikişinde mukavemetlendirici partiküllerin çözeltiye alınması ve ısının tesiri altındaki bölgede aşırı yaşlanma olmamasından dolayı sürtünme karıştırma kaynağı yapıldıklarından marjinal bir mukavemet kaybı gösterirler.

Sertlik değeri yüksek olan malzemelerde yorulma dayanımı yüksek çıkması da beklenen bir durumdur (Dawes, 1999; Şık, 2005; 2006). Isı girdisinin fazla olması nedeni ile kaynaklı bağlantının ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) genişlemekte bu da bağlantının yorulma dayanımını düşürmektedir. En yüksek yorulma dayanımı 1500 dev/dak-200 mm/dak parametresi ile yapılan sürtünme karıştırma kaynağı numunelerinde elde edilmiştir. Sertlik ve çekme dayanımında en yüksek çıkan bu deney numuneleridir. Bu da beklenen bir durumdur.

3. 3. Çekme Deneyleri

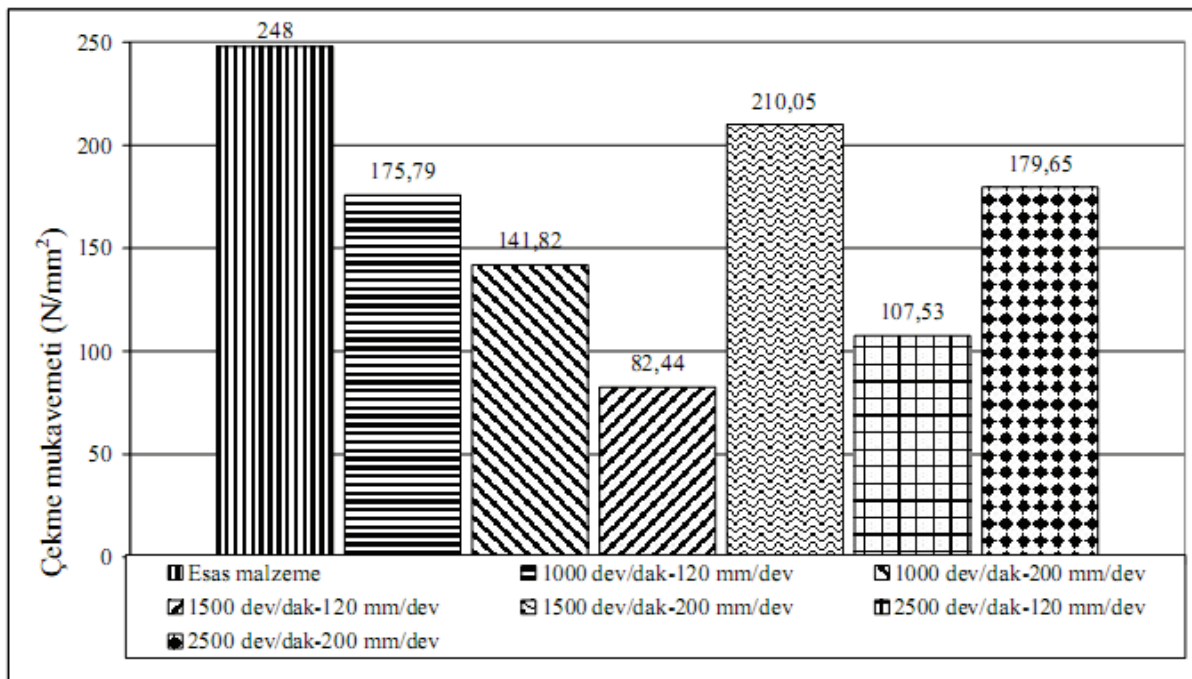
Şekil 12'de sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen numunelerin çekme dayanımı sonrası kopma bölgeleri gösterilmiştir.

Şekil 12'de sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen levhalardan alınan deney numunelerinin çekme dayanımı sonrası kopma bölgelerinin resimleri görülmektedir. Şekil 13'te gösterildiği gibi en yüksek çekme dayanımı sonuçları esas malzemeden elde edilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen levhalardan yapılan numunelerden en yüksek 1500 dev/dak-200 mm/dak'dan en düşük değer ise 1500 dev/dak-120 mm/dak'dan elde edilmiştir.



Şekil 12. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış numunelerin çekme deneylerinde kopma bölgeleri

Şekil 13'te esas malzeme ve sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen numunelerin çekme dayanımı değerleri grafikte verilmiştir.



Şekil 13. Esas malzeme ve SKK ile birleştirilen deney numunelerin çekme dayanımı değerleri.

Numunelerin kopma yerleri termomekanik olarak etkilenmiş bölgeden (TMEB) olduğu görülmüştür. Tane yapısının bozulması ve kaynak hatalarının olmasından dolayı kaynak geçiş bölgesinden kopmalar olmaktadır (Hülya v.d., 2009). Bu da kaynak dikişinin sağlam olduğunu göstermektedir.

3. 4. Eğme Deneyleri

Şekil 14'te kaynaklı ve kaynaklı olmayan deney numunelerine uygulanan eğme deneyleri sonucu kırılan numunelerin şekilleri gösterilmiştir.

Şekil 14'te eğme deney numunelerinin deneyden sonraki resimleri gösterilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemleri ile kaynak edilmiş levhalardan ve esas malzemeden çıkartılan standard eğme numunelerinin hepsi kırılmıştır (Tablo 4). Buda seçilen AA2024-0 malzemesinin ısı işlemlere tabi tutulmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 14. Eğme deneyleri a) ve b)-Esas malzemedeki c) ve d) kaynak yapılmış numuneler.

Tablo 4. Kaynaklı ve kaynaklız numunelerde eğme deney sonuçları.

No	Eğme Açısı	Sonuç	No	Eğme Açısı	Sonuç
1000 dev/dak-120 mm/dak			2500 dev/dak-120 mm/dak		
1.1	180 °C	Kırıldı	5.1	180 °C	Kırıldı
1.2	180 °C	Kırıldı	5.2	180 °C	Kırıldı
1.3	180 °C	Kırıldı	5.3	180 °C	Kırıldı
1000 dev/dak-200 mm/dak			2500 dev/dak-120 mm/dak		
2.1	180 °C	Kırıldı	6.1	180 °C	Kırıldı
2.2	180 °C	Kırıldı	6.2	180 °C	Kırıldı
2.3	180 °C	Kırıldı	6.3	180 °C	Kırıldı
1500 dev/dak-120 mm/dak			Esas Malzeme		
3.1	180 °C	Kırıldı	7.1	180 °C	Kırıldı
3.2	180 °C	Kırıldı	7.2	180 °C	Kırıldı
3.3	180 °C	Kırıldı	7.3	180 °C	Kırıldı
1500 dev/dak-200 mm/dak					
4.1	180 °C	Kırıldı			
4.2	180 °C	Kırıldı			
4.3	180 °C	Kırıldı			

5. SONUÇLAR

- Kaynak numunelerine uygulanan eğme yorulma deneylerinde numunelerin kırılma yerleri ısıdan etkilenmiş bölgeden (IEB) başlayarak ilerlediği ve kaynak dikişinin hemen yanında kopma olduğu görülmüştür.
- 1500 dev/dak-200 mm/dak parametresi ile yapılan sürtünme karıştırma kaynağı numunelerinde en yüksek sertlik değeri sonuçları görülmüştür.
- En yüksek sertlik değeri 1500 dev/dak-200 mm/dak ve en düşük değer ise 2500 dev/dak-120 mm/dak parametresi ile yapılan numunelerde görülmüştür.
- En yüksek çekme dayanımı değeri 1500 dev/dak-200 mm/dak ve en düşük değer ise 1500 dev/dak-120 mm/dak parametresi ile yapılan numunelerde görülmüştür.
- Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan numunelerde en yüksek eğme yorulma

dayanımı değeri 1500 dev/dak-200 mm/dak parametresinde en düşük değer ise 1500 dev/dak-120 mm/dak parametresinde çıkmıştır.

- 1500 dev/dak. kaynak devir hızında iken kaynak ilerleme hızı 120 mm/dak'dan 200 mm/dak. çıkartıldığında kaynaklı bağlantının yorulma dayanımı artmıştır. Bu artışın nedeni; kaynak ilerleme hızının artırılmasıyla kaynak bölgesine giren ısı miktarının azalması ve ısıdan etkilenen bölgenin daralmasından dolayıdır.
- 1000 dev/dak-200 mm/dak ile 2500 dev/dak-200 mm/dak'nın yorulma değerleri birbirine yakın çıkmasından dolayı yüksek devire çıkılamayan makinelerde 1000 dev/dak-200 mm/dak ilerleme hızı ile yapılabilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Çam, G. 2003. "Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler", TMMOB Makine Mühendisleri Odası "Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi". 47-62. Kocaeli.
- Çam, G. 2005. "Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): al-alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi", Mühendis ve Makine. (46), 541.
- Dawes, C.J. 1995. An introduction to friction stir welding and its development, Weld. Met. Fabr. 63 (1), 13-16.
- Dawes, C.J. 1999. "Friction stir welding", The Welding Institute, Abington Hall, Cambridge Adapte For TALAT by Roy Woodward, Birmingham and Christian Leroy, EAA.
- Fersini, D. and Pirondi, A. 2007. "Fatigue behaviour of Al2024-T3 friction stir welded lap joints", Engineering Fracture Mechanics, Volume: (74), 468-480.
- Hülya, D., Pınar, A. M., Akgün, S., K. ve Şahin, S. 2009. "Sürtünme karıştırma kaynağı ile iki farklı alüminyum alaşımının birleştirilmesi", Uluslar arası Kaynak Teknolojileri Konferansı'09, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi. 11-13 Haziran.
- Kaluç, E. ve Bozduman, B. 1998. "Sürtünen eleman ile birleştirme kaynak yöntemi", Makine Magazin, Sayı: 27, Temmuz, Kocaeli.
- Kurt, A., Boz, M. ve Özdemir, M. 2004. "Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi", Gazi Üniv., Müh. Mim. Fak. 19 (2), 191-197.
- Küleççi, M. K. 2003. "Mechanical properties of friction stir-welded joints of AlCu4SiMg aluminium alloy", Kov Mater. 41 (2), 97-102.
- Küleççi, M. K. ve Şık, A. 2003. "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.
- Küleççi, M. ve Şık, A. 2006. "Effects of tool rotation and traverse speed on fatigue properties of friction stir welded AA1050-H18 aluminium alloy", Archives of Metallurgy and Materials, 51 (2), 213-216.
- Küleççi, M.K., Şık, A., Kaluç, E., 2008. "Effects of tool rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36/9, 877-882.
- Lee, W.B., Yeon, Y. M. and Jung, S. B. 2003. "Evaluation of the microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6005 aluminum alloy", Materials Science and Tech. (19), 513-518.
- Lockwood, W.D. and Reynolds, A.P. 2003. "Simulation of the global response of a friction stir weld using local constitutive behavior", Materials Science&Engineering. A339. 35-42.
- Meran, C. 2008. "Sürtünme Karıştırma Kaynağı İçin Takım Tutucu Tasarımı" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 23 (3), 671-679.
- Mishra, R.S. and Ma, Z.Y. 2005. "Friction stir welding and processing", Materials Science and Engineering R. (50), 1-78.
- PeeM, Steuwer, A., Freuss, M. and Withers, P.J. 2003. "Microstructure, mechanical properties and residual stresses as a function of welding speed in aluminium AA5083 friction stir welds", Acta Materialia. (51), 4791- 4801.
- Şık, A. 2002. "Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi", Gazi Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Şık, A. 2005. "Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen alüminyum levhaların eğme ve yorulma özelliklerinin incelenmesi" SAÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 9/ 2.
- Şık, A. 2006. "Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyum Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi. 9/2.
- Thomas, W. M., Treadgill, P. L. and Nicholas, E. D. 1999. "Feasibility of friction stir welding steel, Science and Technology of Welding and Joining". 4 (6), 365- 372.
- Thomas, W.M. 1998. "Friction stir welding and related friction process characteristics", 7th International Conference on Joints in Aluminium, USA.
- Von Strombeck, A., Dos Santos, J.F., Torster, F., Laureano, P. and Koçak, M. 1999. "Fracture toughness behaviour of FSW joints in aluminium alloys", Proclaim of the 1st International Symposium On Friction Stir Welding, USA.
- Vural, M., Ogur, A., Cam, G. and Ozarpa, C. 2007. "On the friction stir welding of aluminium alloys EN AW 2024-0 and EN AW 5754-H22", Archives of Materials Sience and Engineering Volume: 28, Issue: 1, pp: 49-54.
- Williams, S. W. 2001. "Welding airframes using friction stir", Air Space Eur, 3, pp. 64-66.