

Sürtünme Karıştırma Kaynak Parametrelerinin 6063-T4 Alüminyum Alaşımının İç Yapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Alaaddin Toktaş
Araş. Gör. Dr.

Mustafa Tayanç
Yrd. Doç. Dr.

Makina Müh. Bölümü
Balıkesir Üniversitesi
Çağış Kampüsü
10145 BALIKESİR

Bu çalışmada, 3.70 mm kalınlığındaki 6063-T4 Al alaşımı levhalar üç farklı takım devrinde (800, 1120 ve 1600 dev/dak) ve iki farklı ilerleme hızında (200 ve 315 mm/dak) sürtünme karıştırma kaynak (SKK) tekniği uygulanarak birleştirilmiştir. Bütün kaynak şartlarında ve kaynak işlemleri esnasında kaynak doğrultusu boyunca sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Kaynaklı levhaların kaynak doğrultusuna dik yöndeki çekme özellikleri (akma ve çekme dayanımı, yüzde kopma uzaması ve kırılma bölgeleri) ile sertlik ve iç yapı değişimleri incelenmiştir. Yapılan kaynaklar ve deneyler sonucunda, çalışmada kullanılan kaynak parametrelerine bağlı olarak maksimum kaynak sıcaklıklarının 439–513°C arasında değiştiği, çekme ve sertlik özelliklerinin kaynak parametrelerinden pek fazla etkilenmediği görülmüştür. 6063-T4 alaşımının bütün kaynak şartlarında kaynaklanan levhalarında homojen bir sertlik dağılımı elde edilirken yumuşama bölgeleri ve minimum sertlikli ısı tesiri altındaki bölgeler (ITAB) gözlenmemiştir.

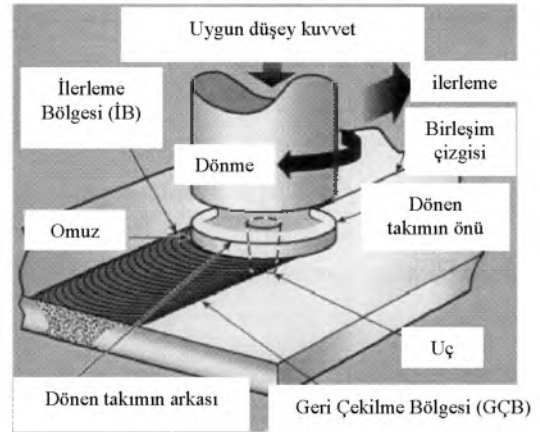
Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, 6063 Al alaşımı, Kaynak parametreleri, İç yapı, Sertlik, Çekme özellikleri.

GİRİŞ

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), 1991 yılında TWI (The Welding Institute) tarafından bulunmuş yeni bir katı hal kaynak tekniğidir. Bu kaynak yönteminde silindirik, dönen, harcanmayan (tükenmeyen), sert, merkezinde karıştırıcı bir uç ve omuzdan oluşan bir takım kullanılır. Takımın ucu kaynaklanacak ve sıkıca alın alma getirilmiş iki iş parçası arasına belirli bir kuvvetle batırılır [1]. Kaynak esnasında karıştırıcı uç, malzeme içinde dönme hareketi ile ilerlerken; omuz, kaynaklanan levhaların üst yüzeyine temas halinde ve kaynak yönünde hareket eder [2]. Şekil 1'de sürtünme karıştırma kaynağının uygulanma esası görülmektedir. Aşınma dirençli kaynak takımı ile kaynaklanacak levhalar arasında sürtünme ısı oluşur. Bu ısı, malzemenin ergime noktasına ulaşmadan yumuşamasını ve birleşme çizgisi boyunca takımın ilerlemesini sağlar. Plastik hale gelen malzeme dönen takımın ön tarafından arka tarafına taşınır ve takım omzunun baskı kuvvetiyle sağlam bir birleşme elde edilir [3].

Sürtünme karıştırma kaynağı, uygun takım malzemesi ve tasarımı olduğunda çok çeşitli malzemelerin ve malzeme çiftlerinin birleştirilmesi için uygulanabilir. Bu teknik, 2000 (Al-Cu), 5000 (Al-Mg), 6000 (Al-Mg-Si), 7000 (Al-Zn) ve 8000 (Al-

Li) serisi alüminyum alaşımlarının kaynağında başarıyla uygulanmaktadır. Ayrıca, bakır ve alaşımlarına, kurşun, titanyum ve alaşımlarına, magnezyum, magnezyum-alüminyum çiftine, çinko, alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlere, 1000, 3000 (Al-Mn), 4000 (Al-Si) serisi alüminyum alaşımlarına, plastıklere ve yumuşak çeliklere uygulanabilir [4]. Sürtünme karıştırma kaynağında uygulanan birleştirme türleri; küt alın, bindirme, T-köşe, dış ve iç köşe, boyuna ve çevresel birleştirmelerdir [5].



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynak uygulaması.

Katı halde yapılan bir birleştirme işlemi olduğundan, bu kaynaktaki malzemenin ergimesine izin verilmez. Kaynak başladığında takımın temas ettiği kesitte sıcaklık çok hızlı bir şekilde kararlı duruma ulaşır ve karıştırıcı ucun etrafında sabit kalır. Kaynak işleminde malzemenin ergimesi söz konusu olmadığı için geleneksel ergitme kaynaklarında görülen döküm iç yapısı ve katılma esnasında kaynak bölgesindeki çekinti gibi bazı problemler bu kaynak tekniğinde engellenir.

Sürtünme karıştırma kaynağı otomasyona uygundur. Kaynak dumani, radyasyon veya zehirli gazlar gibi büyük güvenlik tehlikeleri oluşturmaz ve işlem esnasındaki gürültü seviyesi düşüktür. Sürtünme karıştırma kaynağının düşük sıcaklıklarda yapılması büyük sıcaklık gradyanlarını önler. Bu da kaynağın sünek olmasını sağlar. Kaynak esnasında malzemede ergime olmadığından, alaşım elemanlarının yamması ve miktarlarında değişim olmadan homojen bir birleşme sağlanır. Buna ilave olarak herhangi bir dolgu metaline ihtiyaç yoktur. Yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı, sürtünme karıştırma kaynağı geleneksel yöntemlerle kaynakları zor olan malzeme ve parçalara başarıyla uygulanır.

Sürtünme karıştırma kaynağının kalitesi büyük ölçüde kullanılan karıştırıcı takım (uç ve omuz) geometrisine, takımın batma derinliğine, takımın dönme hızına ve ilerleme hızına (kaynak hızı) bağlıdır. Lim ve arkadaşları [6], 4 mm kalınlığındaki 6061-T651 Al alaşımını farklı takım devirleri (1000, 1400, 1600, 2000 ve 2500 dev/dak) ve ilerleme hızları (0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 m/dak) kullanarak kaynakladıkları çalışmalarında, % uzamanın azalan ilerleme hızı veya artan takım devrine bağlı olarak azaldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, akma ve çekme dayanımının kaynak parametrelerinden daha az seviyede etkilendiğini vurgulamışlardır. Ericsson ve arkadaşları [7], T4 ve T6 ısıtılmış 6082 Al alaşımında yüksek (2500 dev/dak ve 1400 mm/dak) ve düşük (2200 dev/dak ve 700 mm/dak) ilerleme hızları kullandıkları çalışmada kaynaklı malzemelerin mekanik ve yorulma özelliklerinin uygulanan kaynak parametrelerinden bağımsız olduğu sonucunu bulmuşlardır. 3 mm kalınlığındaki 5083 Al alaşım levhaların 100, 150 ve 200 mm/dak ilerleme hızları kullanılarak birleştirildiği bir çalışmada [8], ilerleme hızı arttıkça, ısı girişiminin azaldığı ve buna bağlı olarak kaynak bölgesinin alanının daraldığı ifade edilmiştir.

Bu çalışmada 6063-T4 alüminyum alaşımı levhaların sürtünme karıştırma kaynak tekniği kullanılarak 800, 1120 ve 1600 dev/dak'lık üç farklı takım devrinde ve her bir devirde 200 ve 315 mm/dak'lık iki farklı ilerleme hızında birleştirilmeleri ve bu kaynaklı levhaların iç yapısı, sertlik ve çekme özelliklerindeki (akma ve çekme dayanımı ile % kopma uzaması) değişimlerin kaynak sıcaklıkları ile beraber incelenmesi amaçlanmıştır.

DENEYSEL YÖNTEM

Malzeme

Kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen 6063 Al alaşımı malzeme 3.70 mm kalınlığında ve 75 mm genişliğinde ekstrüzyon ile üretilmiştir. 520°C'de ekstrüzyon işleminden çıkan levhalar havada soğumaya bırakılmışlar ve 70 gün süresince oda sıcaklığında doğal yaşlandırılmışlardır (T4 ısıtma işlemi).

Tablo1. 6063 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlık olarak).

Fe	: 0.195	Zn	: 0.007
Mg	: 0.479	Ti	: 0.013
Si	: 0.439	Cr	: 0.003
Cu	: 0.004	Al	: geri kalan
Mn	: 0.029		

Kaynak İşlemleri

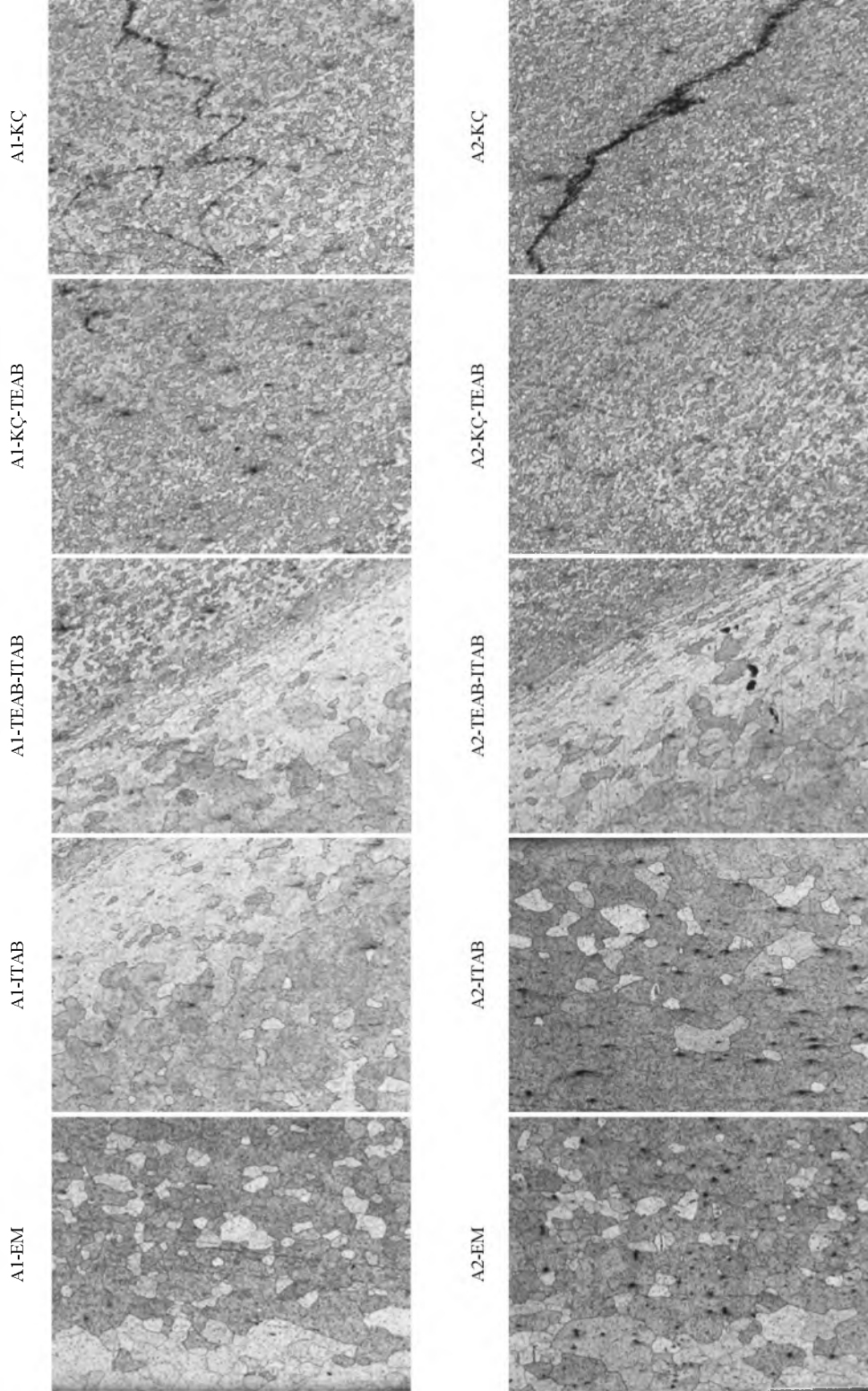
Sürtünme karıştırma kaynak işlemini gerçekleştirmek üzere 45 HRc sertliğinde 18 mm çapında DIN 1.2714 kalite sıcak iş takım çeliğinden omuz, 62 HRc sertliğinde M6x0.75 mm hatveli HSS-E hava çeliğinden karıştırıcı uç tasarlanıp imal edilmiştir. Literatürde [9], kaynak sonrası en iyi mekanik ve iç yapı özelliklerinin omuz/uç çapı arasındaki oranın 3 olduğunda sağlandığı görüldüğünden, çalışmamızda bu oran (18/6) 3 olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan bu takımın karıştırıcı ucun yüksekliği kaynaklanan levhaların kalınlığına bağlı olarak ayarlanabilmektedir. Kaynak işlemlerinde hem uç yüksekliği hem de ucun dalma derinliği 3.55 mm olarak sabit tutulmuştur.

Sürtünme karıştırma kaynak işlemleri üç farklı takım devrinde (800, 1120 ve 1600 dev/dak) ve iki farklı ilerleme hızında (200 ve 315 mm/dak) yapılmıştır. Bu kaynak parametreleri literatür araştırması ve yapılan bir seri deneme kaynakları sonucunda belirlenmiştir. Kaynak esnasında takım eğiklik açısı 2° olup, takımın saat yönünde dönme hareketi ile Al levhalar ekstrüzyon yönüne paralel olarak birleştirilmiştir.

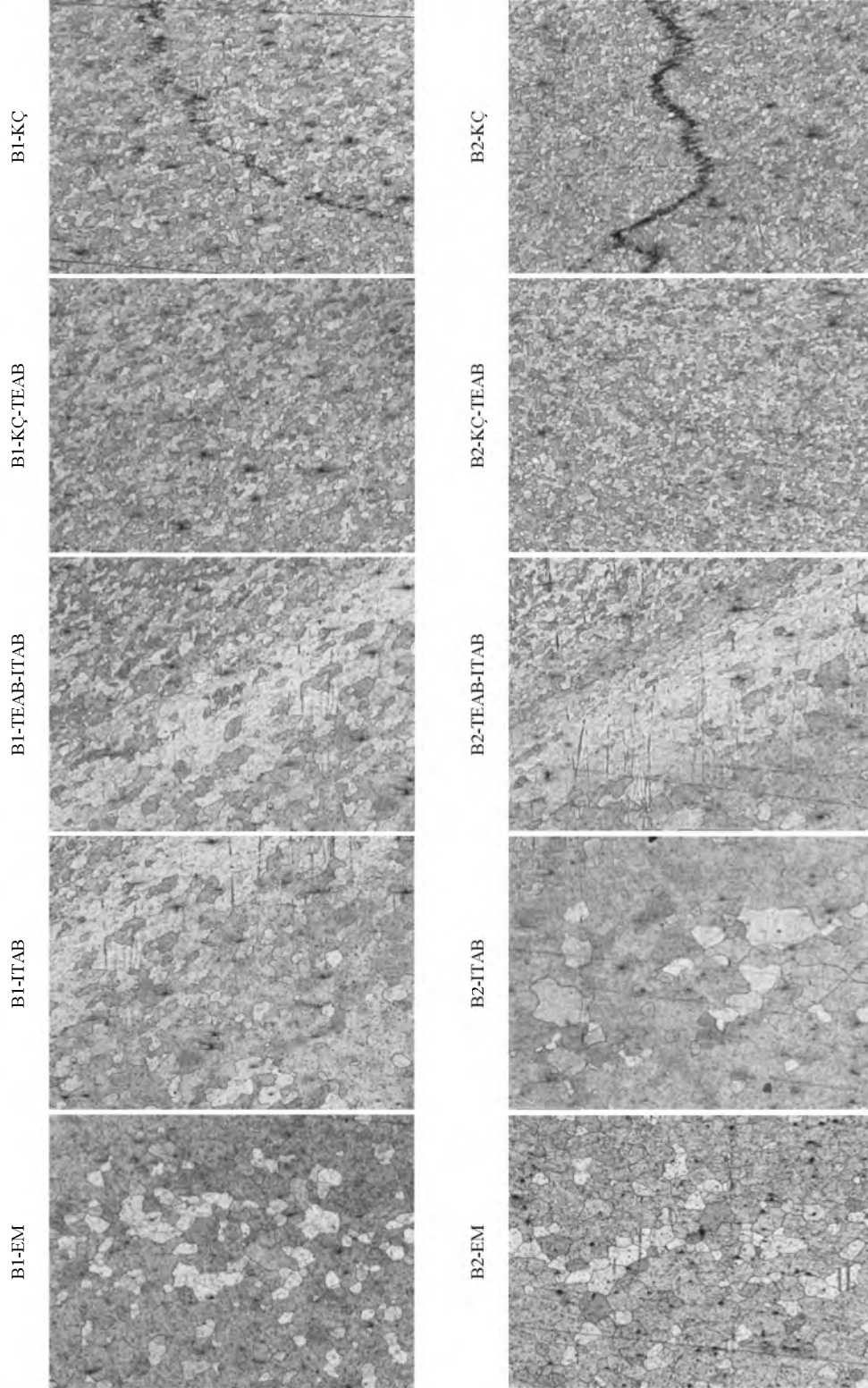
Sürtünme karıştırma kaynak işlemleri, 10 kW gücündeki Stankoimport marka dik işlem freze tezgahı ile 6. Bakım Merkezi Komutanlığında (Balıkesir) yapılmıştır.

Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler ve kaynak kodları.

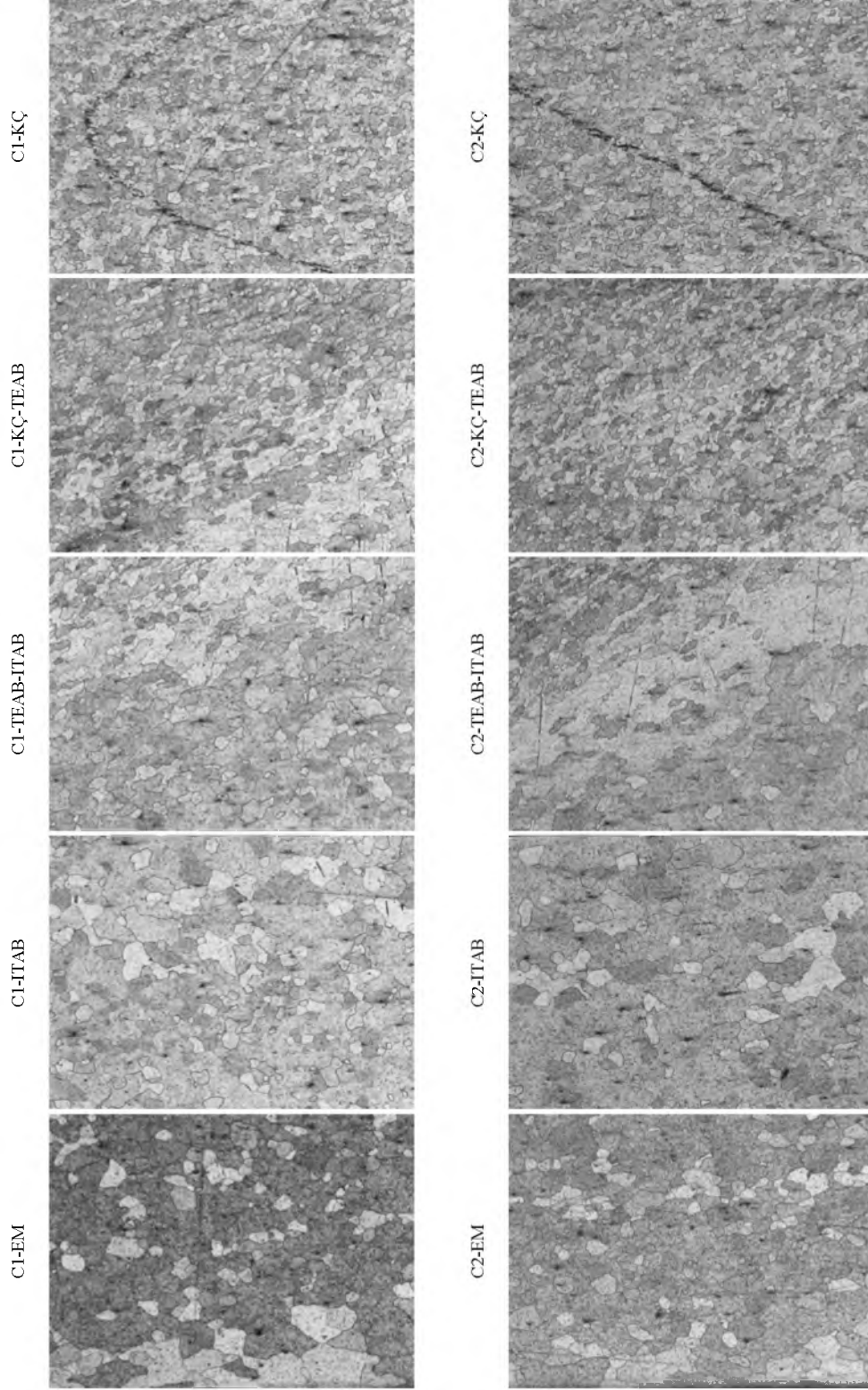
Takım devri (dev/dak)	İlerleme hızı (mm/dak)	DBİ İlerleme hızı/devir (mm/dev)	Kaynak kodu
800→(A)	200→(1)	0.25	A1
	315→(2)	0.40	A2
1120→(B)	200→(1)	0.18	B1
	315→(2)	0.28	B2
1600→(C)	200→(1)	0.125	C1
	315→(2)	0.20	C2



Şekil 5. A1 ve A2 kaynaklarına ait iç yapılar (50X).



Şekil 6. B1 ve B2 kaynaklarına ait iç yapılar (50X).



Şekil 7. C1 ve C2 kaynaklarına ait iç yapılar (50X).

Konu ile ilgili başka bir çalışmada [16], 2 mm kalınlığındaki 1050-H24 alüminyum alaşımı levhalar 600–2400 dev/dak ve 1.45–12 mm/s arasındaki değişik takım devirlerinde ve ilerleme hızlarında SKK ile birleştirilmiştir. Kaynak sırasında yüksek ısı girişi sağlayan koşulların (yüksek takım devri ve düşük ilerleme hızı) dışındaki şartlarda kaynaklanan numunelerin kaynak çekirdeklerinde oksitlerin oluşturduğu zigzag şeklindeki çizgilerin gözlemlendiği ifade edilmiştir. Çalışmada, kaynak öncesi levhaların alın yüzeylerinde bulunan oksitlerin neden olduğu bu çizgiler; kaynak çekirdeğinde bulduklarında ve mekanik özellikleri etkilemediklerinde “lazy S” olarak, kaynak çekirdeğinin altında bulduklarında ve kırılmalara sebep olduklarında ise “kissing bond” olarak adlandırılmışlardır. Çalışmamızda kaynak öncesinde herhangi bir yüzey (oksit) temizleme işlemi yapılmadığından kaynak çekirdeklerinde gözlenen bu çizgilerin kaynak işlemi esnasında karıştırıcı uç ile bir düzene konan oksitler olduğu söylenebilir. Başka bir literatürde [6], 6061 Al alaşımının kaynağında karıştırma işlemi ile kaba Mg₂Si çökeltilerinin fırıl fırıl döndürülüp TEAB ve ITAB bölgelerine savrulduğu ifade edilmiştir. Buna dayanarak kaynak çekirdeğinde (KÇ) oluşan bu izlerin bir sıra halinde toplanmış kaba Mg₂Si çökeltileri olmadığı söylenebilir [17].

Bütün kaynak şartlarında, kaynak çekirdeğinde (KÇ) en ince ve homojen tane yapısı gözlenirken, bu tane boyutunun TEAB bölgesine doğru gidildikçe hafif bir oranda büyüdüğü görülmüştür. Ayrıca, TEAB-ITAB geçiş bölgelerinde tanelerin şeklini kaybettiği ve tane büyümelerinin gerçekleştiği görülmüştür. ITAB bölgelerinde de beklenildiği gibi ısı tesiri ile tane kabalaşması görülmüştür. EM bölgelerinde ise ITAB bölgesinden küçük, KÇ ve KÇ-TEAB bölgelerinden daha büyük tane yapısı görülmüştür. Bu tane yapıları ve dağılımı literatür ile uygunluk göstermektedir. Daha önce konu ile ilgili yapılan çalışmalarda [6,12,13,18,19,20], KÇ bölgesinde, sürtünme ısı ve plastik deformasyonun sonucunda dinamik rekristalizasyon ile homojen, eş eksenli ve ince taneli bir yapı oluştuğu ifade edilmiştir. Bahsedilen çalışmalarda KÇ'nin hemen yakınında ve ince bir kesitte toplanmış tane yapısına sahip termomekanik etki altındaki bölgenin (TEAB) var olduğu belirtilmiştir. Bu bölge (TEAB) ile esas metal (EM) arasında ise kaynak esnasında oluşan ısının etkisi ile tanelerin kabalaştığı ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) varlığı belirtilmiştir.

İç yapılar incelendiğinde (Şekil 5–7), sabit ilerleme hızında takım devri arttıkça kaynak çekirdeğindeki tane yapısının hafif oranda büyüdüğü görülmüştür. Takım devri arttıkça kaynak esnasındaki sürtünmenin artmasıyla kaynak sıcaklıkları da artmış (Şekil 3) ve bu artış KÇ'de az da olsa tane büyümesine neden olmuştur. 6063-T5 ve T4 alüminyum alaşımları ile yapılan bir çalışmada [19],

kaynak sıcaklıkları ölçülmüş ve artan kaynak sıcaklığı ile kaynak çekirdeğindeki tane yapısının büyüdüğü sonucu verilmiştir.

İlerleme hızının KÇ'deki tane yapısına etkisi incelendiğinde, sabit takım devirlerinde 315 mm/dak ilerleme hızında KÇ'deki tane boyutlarının 200 mm/dak ilerleme hızındakinden daha küçük olduğu görülmüştür. Artan ilerleme hızı kaynak esnasında takımın herhangi bir bölgedeki temas süresini ve dolayısıyla kaynak sıcaklığına maruz kalma süresini azaltacağından bu sonuç uygun bir sonuçtur [17].

Takım devri ve ilerleme hızının bir fonksiyonu olan DBİ değerlerinin kaynak çekirdeğindeki tane yapısına etkisi incelendiğinde, en düşük DBİ değerinde (0.125 mm/dev) en yüksek kaynak sıcaklığı ve kaynak çekirdeğinde nispeten en büyük tane yapısı elde edilmiştir. Diğer taraftan, en yüksek DBİ değerinde (0.4 mm/dev) en düşük kaynak sıcaklığı ve KÇ'de en küçük tane yapısı elde edilmiştir. Bu sonuçlar literatür ile uygunluk göstermektedir [19,21,22,23,24,25].

Kaynak yönüne dik kesitlerde yapılan iç yapı incelemeleri sonucunda esas metal bölgesinde kesitin alt kısımlarındaki tanelerin üst ve orta kısımlarına göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu durum A1, A2, C1 ve C2 kodlu kaynakların EM iç yapılarında belirgin bir şekilde görülmektedir. Kaynaklı levhaların alt bölgelerindeki tane kabalaşmasının nedeni, kaynak esnasında kullanılan 4 cm kalınlığındaki çelik altlığın (plakamın) ısı iletim katsayısının alüminyumunkinden daha düşük olması, üzerindeki ısıyı hemen atamaması ve dolayısıyla bu bölgedeki tanelerin ısıdan etkilenmesi olabilir.

Sertlik İncelemeleri

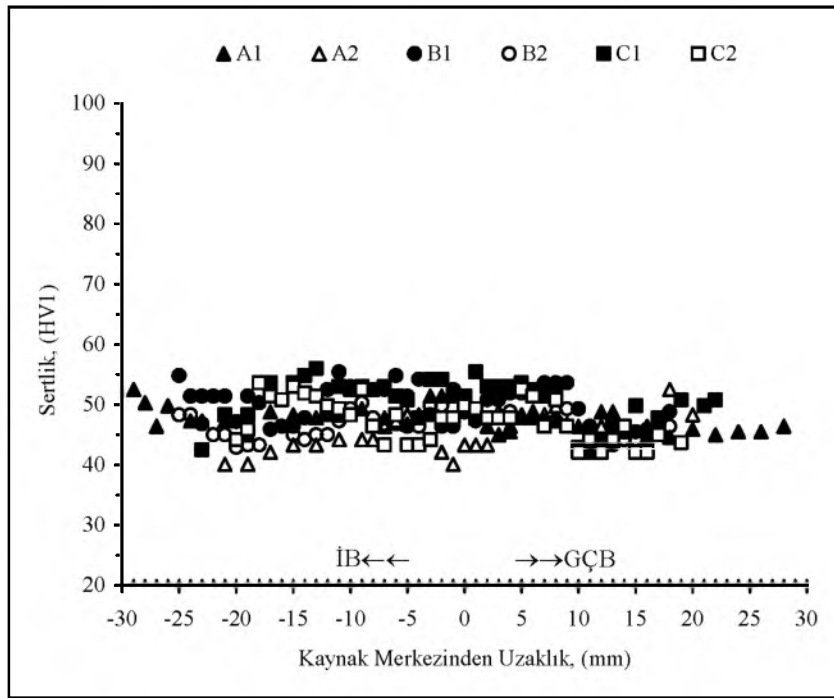
Kaynak yönüne dik kesitten alınan yatay sertlik değişimlerinin tümü Şekil 8'de verilmiştir. Bu sertlik sonuçlarına göre genel olarak yapılan kaynakların her birinde, kaynak merkezinden mesafeye bağlı olarak sertlik değerlerinin çok fazla değişmediği ve esas metal ile kaynak merkezi arasında kabaca homojen bir sertlik dağılımı olduğu görülmüştür. Bu sonuç literatür ile uygunluk göstermektedir. 6063-T4 ve T5 Al alaşımının 800–3600 dev/dak arasında değişen takım devirlerinde ve sabit ilerleme hızında (6 mm/s) sürtünme karıştırma kaynağının yapıldığı bir çalışmada [19], T4 ısıtılı işlemli alaşımda kaynak doğrultusuna dik kesitten ölçülen sertlik değerlerinin değişmediği ve homojen bir dağılım gösterdiği sonucu bulunmuştur. Bahsedilen çalışmada, çökelti ile sertleşebilen alüminyum alaşımlarında oluşan çökeltilerin hassas bir şekilde malzemenin sertliğini etkilediği ve kaynak esnasında kararlı veya yarı kararlı çökeltilerin yeniden çökmediği ifade edilmiştir.

Literatüre [12,13,18] göre kaynak esnasında kaynak çekirdeğinde çökeltilerin ayrışması ile bu bölgedeki sertliklerin belirgin bir şekilde düştüğü ifade edilmektedir. Çalışmamızdaki kaynaklarda bu

durumun olmayışı, kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesinin çözeltiye alınmasına ve bunu takip eden birkaç gün içinde bu bölgede meydana gelen doğal yaşlanma ile bölge sertliğinin esas metal sertliğine ulaşmasına ve hatta geçmesine bağlanabilir. Konu ile ilgili bir çalışmada [6], dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgede (KÇ) kaynak sonrası sertliğin artmasına, bu bölge sıcaklığının kaynak işlemi esnasında çözeltiye alma sıcaklığına ulaşması ve sonrasında meydana gelen doğal yaşlanmanın neden olduğu ifade edilmiştir.

Kaynak parametrelerine (takım devri ve ilerleme hızı) bağlı olarak kaynaklı levhaların sertlik değişimlerinde çok belirgin farklılıklar gözlenmiştir. Ancak sabit takım devrinde 200 mm/dak ilerleme hızında kaynaklanan levhaların sertlik değerlerinin, 315 mm/dak ilerleme hızı

kullanılarak birleştirilen levhaların sertlik değerlerinden genel olarak biraz daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 8). Bu durum kaynak işlemi esnasında oluşan kaynak sıcaklıkları ile açıklanabilir. 200 mm/dak sabit ilerleme hızında 800, 1120 ve 1600 dev/dak'lık takım devirlerinde yapılan kaynaklarda sırasıyla 473°C, 478°C ve 513°C gibi yüksek kaynak sıcaklıkları elde edilmiştir. Kaynak sıcaklığının yüksek olması, kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesinin daha iyi çözeltiye alınabilmesine, kaynak sonrası doğal yaşlanma ile daha fazla sayıda çökeltinin (2. faz partikülleri) oluşmasına ve bunun sonucunda sertliğin yükselmesine neden olabilir. Kaynaklanan levhaların sertlik değerleri incelendiğinde sertliklerin ortalama olarak 40-55 HV₁ arasında dağılım gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 8. Kaynak yönüne dik kesitteki yatay sertlik değişimleri.

Çekme Özelliklerinin İncelenmesi

Kaynaksız (ham halde) ve değişik kaynak parametreleri ile kaynaklanan 6063-T4 Al alaşımı levhaların çekme deneyi sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde, ekstrüzyon işleminden sonra oda sıcaklığında yaşlandırılan (T4 ısıl işlemi) 6063 Al alaşımında değişik ilerleme hızlarında ve devirlerde yapılan sürtünme karıştırma kaynağı sonrası çekme dayanımlarının esas metalin çekme dayanımı (146 MPa) ile hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Bilhassa, A2 (146 MPa) ve B2 (146 MPa) kodlu kaynakların çekme dayanımları esas

metalinki ile aynıdır. Yutaka [13], 4 mm kalınlığındaki 6063-T5 alüminyum levhaları SKK ile birleştirdiği ve kaynaklı levhalara ısıl işlemler (yaşlandırma ve çözeltiye alma+yaşlandırma) uyguladığı çalışmada, kaynaklı levhaların çekme özelliklerini (akma, çekme dayanımı ve % kopma uzaması) esas metalin aynı özelliklerinden daha düşük elde etmiştir.

A2, B1, B2, C1 ve C2 kodlu kaynakların % kopma uzaması değerleri esas metalin % kopma uzamasından daha yüksek bulunurken, A1 kaynağının % kopma uzamasının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

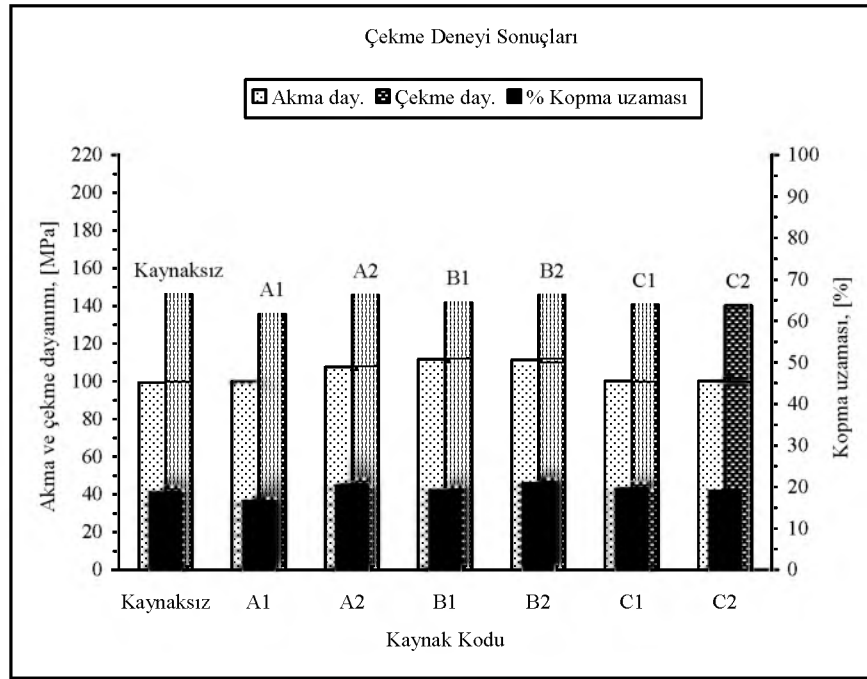
Tablo 3'te çekme deneyleri sonucunda kaynak şartlarına göre genel kırılma bölgeleri ve bu kırılmaların kaynak merkezinden ortalama mesafeleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde A2 kodlu çekme numunelerinin ilerleme bölgesinden, diğer kaynaklara ait çekme numunelerinin ise geri çekilme bölgesinden kırıldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, kaynağın ilerleme bölgesinin çekme özelliklerinin geri çekilme bölgesininkinden daha iyi olduğunu göstermektedir. Nitekim 6061-T6 malzemede çekme deneyi sonucu kırılma bölgelerinin incelendiği bir çalışmada [26], kırılmaların geri çekilme bölgesinde olduğu ve kaynak merkezinin iki tarafında bulunan bu bölgelerin özelliklerinin aynı olmadığı ve geri çekilme bölgesinin ilerleme bölgesinden daha zayıf olduğu belirtilmiştir.

Kaynak merkezine en yakın kırılma ilerleme bölgesinde 15. mm'de A2 şartında (0.4 mm/dev ve 439°C), en uzak kırılma ise geri çekilme bölgesinde

26. mm'de yüksek kaynak sıcaklığının ve ısı girişinin (Şekil 3'ten 513°C) olduğu kaynak şartında (C1 kodlu kaynak) elde edilmiştir.

Tablo 3. Çekme deneyi sonrası kırılma bölgeleri ve kaynak merkezinden ortalama kırılma mesafeleri. (İB = İlerleme bölgesi ve GÇB = Geri çekilme bölgesi)

Kaynak kodu	Kırılma bölgesi	Kaynak merkezinden uzaklık, (mm)
A1	GÇB	21
A2	İB	15
B1	GÇB	22
B2	GÇB	20
C1	GÇB	26
C2	GÇB	20



Şekil 9. Yapılan kaynaklara ait çekme deneyi sonuçları.

SONUÇLAR

- 6063-T4 Al alaşımının değişik takım devirlerinde ve ilerleme hızlarında yapılan sürtünme karıştırma kaynaklarında maksimum kaynak sıcaklıkları 439-513°C arasında elde edilmiştir.
- Takım devri arttıkça ve/veya ilerleme hızı azaldıkça kaynak sıcaklıkları artmıştır.
- Kaynak doğrultusuna dik kesitte ölçülen sertlikler kaynak merkezinden mesafeye bağlı olarak çok fazla değişmemekte ve esas metal ile kaynak

- merkezi arasında hemen hemen homojen bir dağılım göstermektedir.
- Değişik ilerleme hızlarında ve takım devirlerinde kaynaklanan 6063-T4 alaşımından numunelerin çekme dayanımları esas metalin çekme dayanımı (146 MPa) ile hemen hemen aynıdır.
- Çekme deneylerinde, kırılmalar çoğunlukla kaynağın geri çekilme bölgesi tarafındaki esas metal bölgelerinde meydana gelmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya destek veren Balıkesir Üniversitesine, 6. Bakım Merkezi Komutanlığına (Balıkesir) ve Tekersan A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FRICTION STIR WELDING PARAMETERS ON THE MICROSTRUCTURE AND THE MECHANICAL PROPERTIES OF 6063-T4 ALUMINIUM ALLOY

In this study, 3.70 mm thick 6063-T4 Al alloy plates were joined by the application of friction stir welding (FSW) technique in three various tool rotation speeds (800, 1120 and 1600 rpm) and two various transverse speeds (200 and 315 mm/min). During the welding process the temperature variations through the welding direction were recorded for all the welding conditions. The tensile properties (yield and ultimate tensile strength, percent elongation and fracture locations) and the variations of the hardness and the microstructure were investigated on the cross section perpendicular to the welding direction of the plates. It has been observed that the maximum weld temperatures were between 439-513°C and the tensile and the hardness properties were not affected significantly by the welding parameters. While a homogenous hardness distribution were obtained for all welding conditions, softening regions and heat affected zones (HAZ) with minimum hardness were not observed.

Keywords: Friction stir welding, 6063 Al alloy, welding parameters, microstructure, hardness, tensile properties.

KAYNAKÇA

1. Ericsson, M., "Fatigue strength of friction stir welded joints in aluminium", Ph.D Thesis, Royal Institute of Technology, Sweden, (2005).
2. Smith, C.B., Hinrichs, J.F., Crusan, W.A. and Leverett, J., "FSW stirs up welding process competition", *Forming & Fabricating*, 10, (February 2003), No 2.
3. Sanderson A., Punshon, C.S. and Russell, J.D., "Advanced welding processes for fusion reactor fabrication", *Fusion Engineering and Design*, 49-50, (2000) 77.
4. http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/band_1/fswproc.html ve http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/band_1/fswmat.html, son erişim 26/12/2004.
5. Özsoy, M. ve Kaluç, E., "Sürtünen eleman ile birleştirme kaynağının esasları", *Mühendis ve Makine*, sayı 513, (2002).
6. Lim, S., Kim, S., Lee, C-G. and Kim, S., "Tensile behavior of friction-stir-welded Al 6061-T651", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 35, (2004) 2829.
7. Ericsson, M. and Sandstrom, R., "Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds and comparison with MIG and TIG", *International Journal of Fatigue*, 25, (2003) 1379.
8. Peel, M., Steuwer, A., Preuss, M. and Withers, P.J., "Microstructure, mechanical properties and residual stresses as a function of welding speed in aluminium AA5083 friction stir welds", *Acta Materialia*, 51, (2003) 4791.
9. Deqing, W., Shuhua, L. and Zhaoxia, C., "Study of friction stir welding of aluminium", *Journal of Materials Science*, 39, (2004) 1689.
10. Metalik Malzemeler-Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Enine Çekme Deneyi, TS 287 EN 895, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan (1996).
11. Mishra, R.S. and Ma, Z.Y., "Friction stir welding and processing", *Materials Science and Engineering R*, 50, (2005) 1.
12. Sato, Y.S., Kokawa, H., Enomoto, M., Jogan, S. and Hashimoto, T., "Precipitation sequence in friction stir weld of 6063 aluminum during aging", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 30, (1999) 3125.
13. Sato, Y.S. and Kokawa, H., "Distribution of tensile property and microstructure in friction stir weld of 6063 aluminum", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 32, (2002) 3023.
14. Scialpi, A., De Filippis, L.A.C. and Cavaliere, P., "Influence of shoulder geometry on microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6082 aluminium alloy", *Materials and Design*, 28, (2007) 1124.
15. Chen, H-B., Yan, K., Lin, T., Chen, S-B, Jiang, C-Y. and Zhao, Y., "The investigation of typical welding defects for 5456 aluminum alloy friction stir welds", *Materials Science and Engineering A*, 433, (2006) 64.
16. Sato, Y.S., Takauchi, H., Park, S.H.C. and Kokawa, H., "Characteristics of the kissing-bond in friction stir welded Al alloy 1050", *Materials Science and Engineering A*, 405, (2005) 333.
17. Toktaş, A., "Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin AA 6063 alüminyum alaşımına uygulanması ve kaynak parametrelerinin malzeme iç yapısı ile mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi", BAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Balıkesir, 2006.
18. Sato, Y.S., Kokawa, H., Enomoto, M. and Jogan, S., "Microstructural evolution of 6063 aluminum during friction-stir welding", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 30, (1999) 2429.

19. Sato, Y.S., Urata, M. and Kokawa, H., "Parameters controlling microstructure and hardness during friction-stir welding of precipitation-hardenable aluminum alloy 6063", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 33, (2002) 625.
20. Sato, Y.S., Kokawa, H., Ikeda, K., Enomoto, M., Jogan, S. and Hashimoto, T., "Microtexture in the friction-stir weld of an aluminum alloy", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 32, (2001) 941.
21. Li, Y., Murr, L.E. and McClure, J.C., "Flow visualization and residual microstructures associated with the friction-stir welding of 2024 aluminum to 6061 aluminum", *Materials Science and Engineering A*, 271, (1999) 213.
22. Ma, Z.Y., Mishra, R.S. and Mahoney, M.W., "Superplastic deformation behaviour of friction stir processed 7075 Al alloy", *Acta Materialia*, 50 (2002) 4419.
23. Kwon, Y.J., Saito, N. and Shigematsu, I., "Friction stir process as a new manufacturing technique of ultrafine grained aluminum alloy", *Journal of Materials Science Letters*, 21, (2002) 1473.
24. Kwon, Y.J., Shigematsu, I. and Saito, N., "Production of ultra-fine grained aluminum alloy using friction stir process", *Materials Transactions*, 44, (2003), 1343.
25. Kwon, Y.J., Shigematsu, I. and Saito, N., "Mechanical properties of fine-grained aluminum alloy produced by friction stir process", *Scripta Materialia*, 49, (2003) 785.
26. Huijie, L., Fujii, H., Maeda, M. and Nogi, K., "Tensile properties and fracture locations of friction-stir welded joints of 6061-T6 aluminum alloy", *Journal of Materials Science Letters*, 22, (2003) 1061.