

7075-T651 Alüminyum Levhaların Sürtünme Karıştırma Kaynağında Takım İlerleme Hızının Kaynak Özelliklerine Etkisi

¹Zafer Barlas

¹Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Abstract

In this study, in 5 mm thick 7075-T651 aluminum plates were joined using the tool travel speeds of 20-50 mm·min⁻¹ under a constant tool rotation speed of 800 rpm by friction stir welding. Tensile test and microhardness measurements were carried out for the evaluation of weld performance according to the base metal. Weld zone microstructures of the joints were investigated by an optical microscope and thus exhibited the structure-property relations. In addition, the temperature increments in the weld zone measured via the K-type thermocouple during the weld process. The peak temperatures slightly decreased with the increase the tool travel speed. According to obtained results, the weld defects were observed in the weld zone by increasing of the tool travel speed and the tensile properties also decreased depend of the weld defect occurrence. Typical weld zones were observed in the weld zone of the joint having the maximum tensile test results and the maximum hardness value, 161 HV was measured in the stir zone of this joint.

Key words: Friction stir welding, Al 7075-T651, tool travel speed, tensile strength, microstructure properties

Özet

Bu çalışmada, 5 mm kalınlığındaki 7075-T651 alüminyum levhalar sabit 800 devir/dakika takım dönme hızında, 20-50 mm/dakika arasında değişen farklı takım ilerleme hızları ile sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirmelerde çekme testi gerçekleştirilmiş, mikrosertlik ölçümleri yapılmış, böylece esas metale göre kaynak performansları değerlendirilmiştir. Optik mikroskop yardımıyla birleştirmelerin kaynak bölgeleri incelenmiş ve özellik-yapı ilişkileri ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, kaynak işlemleri esnasında K-tipi termokupullar vasıtasıyla kaynak bölgesinde meydana gelen 1sı artışları tespit edilmiştir. Takım ilerleme hızının artmasıyla kaynak bölgesindeki maksimum sıcaklıkların bir miktar azaldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre takım ilerleme hızının artması, karışım bölgesinde kaynak hataları oluşumuna ve buna bağlı olarak da çekme özelliklerinin azalmasına neden olmuştur. En yüksek şertlik değeri 161 HV ile karışım bölgesinde ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, Al 7075-T651, takım ilerleme hızı, çekme mukavemeti, mikroyapı özellikleri

*Corresponding author: Zafer Barlas Address: Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: barlas@sakarya.edu.tr, Phone: +902642956504 Fax: +902642956424

1. Giriş

Isil işlem sonucu mekanik özellikleri geliştirilebilen 7075 alüminyum alaşımları (Al-Zn-Mg-Cu), bu şekilde sahip oldukları yüksek dayanım/yoğunluk oranı, süneklik, tokluk ve yorulma dirençlerinin nedeniyle uçak-uzay ve havacılık sanayinde, askeri araç parçaları, deniz araçları vb. gibi yapısal birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [1-5]. Ancak, bu alaşımların geleneksel ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmesinde, sıcak çatlama ve yırtılma gibi önemli bazı sıkıntılar yaşanmakta, ayrıca kaynak esnasında yetersiz ergime ve gözenek oluşumuyla karşılaşılmaktadır, dolayısıyla ark kaynak yöntemleri bu alaşımlar için önerilmemekte ya da uygulaması sınırlı olmaktadır [6-8].

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), 1991 yılında İngiltere'deki Kaynak Enstitüsü (TWI) tarafından geliştirilip, patenti alınmış olan bir katı hal birleştirme yöntemi olup, özellikle kaynaklanamaz olarak bilinen alüminyum alaşımları için uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [9,10]. 7075 alüminyum alaşımların SKK ile birleştirilmesiyle ilgili yapılan çalışmalarda, takım dönme hızı, takım ilerleme hızı, takım geometrisi, takım açısı gibi parametrelerin kaynağın özelliklerini belirlemede önemli role sahip olduğu ortaya konulmuştur [2,6,10-14]. Bu çalışma kapsamında da Al 7075-T651 levhaların SKK yöntemiyle birleştirilmesinde takım ilerleme hızının (kaynak hızı) çekme deneyi sonuçlarına ve makromikroyapı özelliklerine olan etkileri incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Esas malzeme ve SKK uygulama detayları

Çalışma kapsamında, kimyasal içeriği Tablo 1'de gösterilen 200×105×5 mm³ ebatlarındaki 7075-T651 alüminyum levhaların SKK ile küt alın kaynakları yapılmıştır. Kaynak işlemlerinde sabit kaynak parametreleri olarak takım dönme hızı, takım geometrisi, levha yüzeylerine göre karıştırıcı uç batma derinliği, takım açısı ve takım dönme yönü uygulanmıştır. Takım ilerleme hızı diğer bir ifadeyle kaynak hızı ise değişken parametre olarak kullanılmış ve dolayısıyla bu parametrenin etkileri incelenmiştir. Tablo 2, çalışmada kullanılan SKK parametrelerini göstermektedir. Kaynak işlemleri için kullanılan sağ helis diş açılmış, konik silindirik karıştırıcı uç ve içbükey omuzdan oluşan takıma ait resim ve geometrik detayları Şekil 1'de verilmiştir. Takım malzemesi olarak 1.2344 tip sıcak iş takım çeliği seçilmiştir. SKK ile birleştirme işlemine geçilmeden önce, takım ekseni küt alın birleşme yüzeylerinde olacak şekilde sabitlenmiştir. Takıma eksenel döndürme hareketi verildikten ve karıştırıcı uç levhaların yüzeylerinden itibaren 4,9 mm içeriye girdikten sonra, ön-ısıtma ve yumuşama sağlamak için yaklaşık 10 s beklenmiştir. Bu süre sonunda birleştirme yüzeyleri boyunca kaynak işleminin yapımına geçilmiştir. SKK ile birleştirme esnasında karışımın meydana geldiği birleşme bölgesindeki sıcaklık değişimlerinin belirlenmesi için, farklı kaynak hızlarında yapılan her birleştirmenin küt alın bitiş noktasından 20 mm gerisine ve karışım bölgesi içerisinde kalacak şekilde 1,5 mm çapında K-tipi bir termokupul verlestirilmistir (Sekil 2).

Zn	Cu	Mg	Fe	Mn	Cr	Si	Ti	Al
6,02	1,41	2,48	0,19	0,03	0,20	0,06	0,1	Kalan
				Ø3	_			
				B	4,8			
				and the second				
			-	Ø5	-			
			618	Ø15				
			No. Barris					

Tablo 1. 7075-T651 alüminyum malzemenin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)

Cr

Si

Ti

Şekil 1. Al 7075-T651 levhaların SKK yöntemiyle birleştirilmesinde kullanılan takım ve geometrisi (ölçüler mm)

Numune	Takım ilerleme	Takım dönme hızı	Takım	Takım batma	Takım
kodu	hızı (mm/dakika)	(devir/dakika)	açısı (°)	derinliği (mm)	dönme yönü
А	20	800	2,5	4,9	saat
В	30	800	2,5	4,9	saat
С	40	800	2,5	4,9	saat
D	50	800	2,5	4,9	saat

Tablo 2. Al 7075-T651 levhaların birleştirilmesinde uygulanan SKK parametreleri

2.2. Test ve değerlendirme yöntemleri

Zn

Cu

SKK yöntemiyle gerçekleştirilen birleştirmelerin kaynak performanslarının Al 7075-T651 esas metal karşılaştırılması ve uygulanan farklı takım ilerleme hızlarında etkilerinin görülmesi için kaynaklardan ve esas metalden, CNC freze tezgâhiyla üçer adet enine çekme deneyi numuneleri hazırlanmıştır. EN 895 standardına uygun olarak elde edilen çekme deneyi numuneleri (Şekil 2), Shimadzu çekme cihazında 2,5 mm/dakika çekme hızında teste tabi tutulmuş, üç numunenin ortalaması kullanılmıştır. Kaynak yönüne dik doğrultuda kesilen ve farklı kademelerde zımparalanıp, alümina pasta ile parlatılan metalografik inceleme numuneleri optik mikroskop kullanarak makroyapı ve mikroyapı incelemeleri için hazırlanmıştır (Şekil 2). Farklı kaynak hızında birleştirilmiş her kaynaktan hazırlanmış bu numuneler 190 ml saf H₂O, 2 ml HF, 2 ml HCl ve 5 ml HNO₃ Keller çözeltisiyle dağlanmıştır. Kaynak bölgelerindeki yapı değişimleri vb. incelemeler, Clemex Vision Lite imaj analiz programi donanimli Nikon Eclipse L150A optik mikroskobuyla yapılmıştır. Çekme testinde en yüksek değerlere sahip olan kaynağa ait metalografi inceleme numunesinde Wolpert-Wilson 402MVD cihazla Vickers mikrosertlik (HV) ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler 100 g yük altında 10 s beklenerek yapılmıştır.



Şekil 2. A birleştirmesi üzerinde SKK uygulaması ve test numunelerinin pozisyonları ve geometrilerinin gösterimi (ölçüler mm)

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Sekil 3, SKK yöntemiyle farklı takım ilerleme hızlarında yapılan Al 7075-T651 birleştirmelerinin Bütün kaynak vüzev görünümlerini göstermektedir. birlestirmelerin kavnak vüzev görünümlerinin gözle incelemesinde boşluk, oyuk vb. gibi bir kaynak hatasına rastlanmamış, oldukça düzgün kaynak yüzeyleri elde edilebildiği görülmüştür. Birleştirme sonunda takım karıştırıcı ucunun parça yüzeylerinden çıktığı anahtar deliğinden yaklaşık 15 mm geride, karışım bölgesi içerisine yerleştirilen termokupul vasıtasıyla kaynak işlemleri sırasındaki elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 4'de verilmektedir. Öncelikle, kaynak hızının azalmasıyla sıcaklığın da bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Örneğin, 50 mm/dakika ile en yüksek takım ilerleme hızının uygulandığı birleştirmenin karışım bölgesinde maksimum 449 °C sıcaklık ölçülürken, 20 mm/dakika ile en düşük takım ilerleme hızında bu değer 476 °C'ye yükselmiştir. SKK yöntemiyle yapılan uygulamalarda iyi bilinmektedir ki, takım ilerleme hızının azalması ve/veya takım dönme hızının artmasıyla kaynak bölgesindeki sıcaklıklar da artmaktadır [2]. Mahoney ve diğ. [9] yaptıkları bir çalışmada, karışım bölgesi çevresindeki sıcaklıkların 422-475 °C arasında değiştiğini belirtmiştir. Dolayısıyla deneysel olarak sıcaklık ölçüm sonuçlarının hem genel anlayısla hem de bu calısma sonucuyla uyumlu olduğu söylenebilir. Ayrıca, SKK yönteminin Al 7075-T651 levhaların birleştirilmesinde ölçülen maksimum sıcaklıklar, işlem sırasında ergime meydana gelmeden bir katı hal kaynağı yapılabildiğini de doğrulamaktadır.

Kaynak doğrultusuna dik kesitte elde edilen metalografik inceleme numuneleri, diğer SKK parametreleri sabit iken, takım ilerleme hızının kaynak özellikleri üzerine önemli etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur. Buna göre, takım ilerleme hızının yani kaynak hızının artmasıyla, karışım bölgesi içerisinde Şekil 5'de oklar ile gösterilen çok daha belirgin boşluk ve tünel benzeri hataların olduğu görülmüştür. Bu kaynak hataları daha çok birleştirmelerin yığma kenarında

(YK) meydana gelmekle beraber, 20 mm/dakika ile en düşük kaynak hızının kullanıldığı A birleştirmesi kesitinde böylesi boşluk vb. gibi bir kaynak hatası tespit edilmemiştir. Dolayısıyla, diğer parametreler sabitken, seçilen 30-50 mm/dakika takım ilerleme hızlarının bu birleştirmeler için uygun olmadığını söylenebilir. Doldurulamamış bu boşluk ve tünel benzeri hataların hemen hemen karıştırıcı uç alt kısmında meydana gelmiş olması, takımın dikey eksende yetersiz basma kuvveti nedeniyle yetersiz malzeme taşınması sonucundan kaynaklandığını düşündürmektedir. Ayrıca takım geometrisi ve takım dönme hızı gibi diğer parametrelerde yapılabilecek iyileştirmeler sonucu kaynak kesiti içerisindeki bu hataların oluşumunun önlenebileceğine inanılmaktadır [3].

Makroyapı incelemelerinde tespit edilen hataların, birleştirmelerin çekme deneyi sonuçlarına oldukça önemli etkileri olmuştur. Şekil 6a çekme testi sonuçları grafiğini, Şekil 6b ve Şekil 6c ise sırasıyla, çekme testi sonrası numunelerin kaynak yüzeylerini ve kenarlarını göstermektedir. SKK yapılmış birleştirme numuneleri esas metale göre daha düşük çekme testi sonuçları göstermekle birlikte, takım ilerleme hızının azalmayla Al 7075-T651 esas metale göre kaynak verimliliğinin de arttığı belirlenmiştir. 472 MPa ile en yüksek çekme mukavemeti ve % 9,1 uzama değerine, en düşük takım ilerleme hızının uygulandığı ve makroyapı incelemesinde herhangi bir hatanın tespit edilmediği A birleştirmeşinde ulaşılmıştır. Bu birleştirmenin esas metale göre kaynak performansı yaklaşık olarak % 85 olmuştur. B ve C birleştirmeleri ise hemen hemen benzer değerler gösterirken, D birleştirmesi oldukça düşük çekme testi sonuçları sergilemiştir. A birleştirmesine ait numunelerde kopmalar, kaynak merkezinden (takım ekseninden) uzakta, omuz kısmının levha yüzeylerine temas edip bir miktar içeri girerek oluşturduğu dairesel ize yakın yerde meydana gelirken, diğer birleştirmelerin hemen hemen hepsinde kaynak merkezinde olmuştur. Makroyapı incelemelerinde görülemeyen kök kısımda birleşmemiş bölgelerin varlığı, kaynak hatalarının gözlemlendiği ve düşük çekme performanslarının sergilendiği B, C ve D kaynaklarıyla birlikte, çekme deneyi sonucunda Şekil 6c'de daire şekli içinde gösterilen alanda A kaynağında da tespit edilmiştir. Ancak A birleştirmesindeki belirlenen bu hatanın, birleştirmenin cekme özelliklerini sınırlamadığı düşünülmektedir. Cünkü yukarıda da ifade edildiği gibi, kopma bu bölgeden çok daha uzakta meydana gelmiştir.

Şekil 7'de Al7075-T651 esas metal mikroyapısıyla beraber, 20 mm/dakika takım ilerleme hızındaki A birleştirmesinde dağlama sonrası belirlenen mikroyapı bölgeleri gösterilmektedir. Esas metal (EM), haddeleme ile soğuk deformasyon sonucu oluşmuş uzamış tanelerden meydana gelmiştir. A birleştirmesinin kaynak bölgesini ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge (TMEB) ve karışım bölgesi (KB) olarak sınıflandırmak mümkündür. KB, yüksek plastik deformasyon ve sıcaklık artışı sebebiyle yeniden kristalleşme neticesinde oluşan eş-eksenli, ince taneli bir bölge olarak tanımlanabilir. ITAB, esas metale benzer şekilde uzamış tanelerle karakterize edilebilmektedir. TMEB ise KB ile ITAB arasında meydana gelmiş, KB'ye göre nispeten daha düşük deformasyon ve sıcaklık artışına maruz kaldığından kısmen yeniden kristalleşmiş bir yapı özelliği göstermektedir. Ayrıca bu bölgedeki tanelerin tipik olarak karıştırıcı ucun dönme hareketiyle, KB çevresinde uzayarak yönlendiği de görülmektedir. Optik mikroskop incelemeleri, A birleştirmesi için daha önce çekme testi sonuçlarında da ifade edilen, kök kısımda birleşmenin meydana gelmediği hatanın varlığını da açığa çıkarmıştır (Şekil 7b'de okla gösterilmektedir). Di ve diğ. [14] birleştirmenin mekanik özelliklerini düşüren kök kısımda görülen bu hataların daha çok metalografik inceleme veya eğme testiyle belirlenebileceğini ifade etmiştir. Birleşmemiş kök kısmı hatasının, yetersiz takım basma kuvvetinden kaynaklandığına dolayısıyla daha önce de önerildiği edildiği gibi, bunun engellenmesi için de takım basma kuvvetinin optimize edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Sekil 8, A kaynağının mikroyapı inceleme numunesi kesitinde, kaynak bölgesi boyunca ve KB içerisinde gerçekleştirilen mikrosertlik ölçüm dağılımlarını göstermektedir. Öncelikle KB'nin sertliğinin diğer bölgelerden yüksek olduğu söylenebilir. Bu bölgenin sertliği yaklaşık 130-161 HV arasında değişmektedir. TMEB'in sertliği de ITAB ve esas metale göre artış göstermiş, 123-131 HV arasında olmuştur. EM'de ise 98-101 HV sertlikler ölçülmüştür. Çekme testi sonrası kopmanın nispeten düşük sertliklerin görüldüğü ITAB'da meydana geldiği düşünülmektedir. Cökelme sertlesmeli alüminyum alasımlar icin sertlik özellikleri esas olarak cökeltilerin durumuna bağlı olup ve 7075 alüminyum için gerçekleştirilen SKK çalışmalarında [6,11], cökeltilerin kabalasması ve asırı yaşlanması sebebiyle özellikle ITAB ve TMEB'de sertliklerde azalama rapor edilmiştir. Ayrıca bu çalışmalar, KB'de benzer nedenlerden dolayı EM've göre bir yumuşamanın olduğunu da ortaya koymuştur. Bu durumlar, bu çalışma sonuçlarıyla genel itibariyle uvumluluk göstermemektedir. Örneğin, KB icerisinde hem kavnak doğrultusuna dik yönde hem de kesit boyunca üstten alta doğru gerçekleştirilen ölçümlerdeki sertlik değerleri EM'den daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla mevcut deneyler ve veriler ışığında Al 7075-T651 alaşımı için ITAB'da görülen bir miktar sertlik azalması dışında, çökeltilerin sıcaklık artışı nedeniyle önemli oranda çözündüğüne veya kabalaştığına dair bir bulgu gözlemlenmemiştir. Sonuç itibariyle, karışım bölgesi içerisindeki sertlik artışları ise yeniden kristalleşmiş ince tane yapısına bağlanmaktadır.



Şekil 3. Farklı takım ilerleme hızlarında yapılan Al 7075-T651 birleştirmelerinin kaynak yüzey görünümleri: (a) 20 mm/dakika, (b) 30 mm/dakika, (c) 40 mm/dakika, (b) 50 mm/dakika



Şekil 4. SKK yöntemiyle 20-50 mm/dakika kaynak hızlarında yapılan birleştirmeler sırasında karışım bölgelerine ait

sıcaklık dağılımları



Şekil 5. Al 7075-T651 birleştirmelerinin makroyapı görünümleri



Şekil 6. Çekme deneyi numunelerinin geometrik detayları (ölçüler mm)



Şekil 7. (a) Al 7075-T651 esas metalin mikroyapısı; A kaynağı için (b) birleşmemiş kök kısım, (c) ITAB, TMEB ve KM mikroyapıları, (d) KM merkezinin mikroyapısı



Şekil 8. A birleştirmesinin kaynak bölgesi boyunca ve KB içerisinde sertlik dağılımları

Sonuçlar

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen Al 7075-T651 levhaların alın birleştirmesi incelemelerinde, takım ilerleme hızının tatmin edici bir birleştirme performansı elde edilebilmesi açısından önemli role sahip olduğu görülmüştür. Takım ilerleme hızının azalmasıyla birlikte, karışım bölgesi içerisinde kaynak hatası oluşumu riskinin de azaldığı ve 20 mm/dakika ile en düşük kaynak hızının uygulandığı A birleştirmesinde boşluk, oyuk vb. gibi bir hata olmaksızın kaynak gerçekleştirilebilmiştir. Bununla birlikte, çekme testi sonrası numunelerin gözle ve optik mikroskop ile mikroyapı incelemelerinde, bu birleştirmede yetersiz karıştırmaya bağlı olarak birleşmenin olmadığı kök hatasına rastlanmıştır. Yine de bu kaynak, çekme testinde 472 MPa çekme mukavemeti ile Al 7075-T651 esas metale göre ~% 85'lik bir kaynak

performansı ortaya koymuştur. Birleştirmenin kaynak bölgesi esas metalin yanı sıra, ısı tesiri altındaki bölge, termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge ve karışım bölgesinden meydana gelmiştir. Bu mikroyapı bölgelerinin özelliklerine bağlı olarak mikrosertlik değerleri de farklılık göstermiş, en yüksek sertlik değeri ince taneli karışım bölgesinde ~161 HV olarak ölçülmüştür.

Kaynaklar

[1] Rendigs KH. Aluminum structures used in aerospace Status and prospects. J Mater Sci Forum 1997;242:11–24.

[2] Mishra RS, Ma ZY. Friction Stir Welding and Processing. Mater Sci Eng: R 2005;50:1–78.

[3] Cam G, and Mistikoglu S. Recent Developments in Friction Stir Welding of Al-Alloys. J Mater Eng Perform 2014;23:1936–53.

[4] Williams JC, Starke Jr EA. Progress in structural materials for aerospace systems. Acta Mater 2003;51:5775–99.

[5] Feng AH, Chen DL, Ma ZY. Microstructure and cyclic deformation behaviour of a frictionstir-welded 7075 Al alloy. Metall Mater Trans A 2010:41:957–71

[6] Sivaraj P, Kanagarajan D. Balasubramanian V. Effect of post weld heat treatment on tensile properties and microstructure characteristics of friction stir welded armour grade AA7075-T651 aluminium alloy. Defence Technology 2014;10:1–8.

[7] Metals Handbook, 9th edition, vol 6, ASM, Metals Park, OH 1983, p. 373.

[8] Gupta RK, Ramkumar P, Ghosh BR. Investigation of internal cracks in aluminum alloy AA7075 forging. Eng Fail Anal 2006:13:1–8.

[9] Thomas WM, Nicholas ED, Needham JC, Murch MG, Templesmith P, and Dawes CJ. "Friction Stir Butt Welding" International Patent Application No. PCT/GB92/02203 and GB Patent Application No. 9125978.8, Dec. 1991, U.S. Patent No. 5,460,317, October 1995.

[10] Mahoney MW, Rhodes CG, Flintoff JG, Spurling RA, and Bingel WH. Properties of Friction-Stir-Welded 7075 T651 Aluminum. Metall Mater Trans A 1998;29A: 1955–64.

[11] Zhang F, Su X, Chen Z, Nie Z. Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of a super high strength Al–Zn–Mg–Cu aluminum alloy. Mater Design 2015;67:483–91.

[12] Ipekoglu G, Erim S, Cam G. Effects of temper condition and post weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of friction stir butt-welded AA7075 Al alloy plates. Int J Adv Manuf Technol 2014;70:201–13.

[13] Yuqing M, Liming K, Fencheng L, Qiang L, Chunping H, Li X. Effect of tool pin eccentricity on microstructure and mechanical properties in friction stir welded 7075 aluminum alloy thick plate. Mater Design 2014;62:334–43.

[14] Di S, Yang X, Fang D, Luan G. The influence of zigzag-curve defect on the fatigue properties of friction stir welds in 7075-T6 Al alloy. Mater Chem Phys 2007;104:244–8.