

Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş AA7075-T651 Alüminyum Alaşımlarının Farklı Karıştırıcı Pim Geometrilerinin Kaynak Performansına Etkisinin İncelenmesi

¹Şefika Kasman ²Fatih Kahraman ³Abdurrahman Aydın*

¹İzmir Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

³Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

Özet:

Bu çalışmada 5 mm kalınlığındaki AA7075-T651 alüminyum alaşımlı levhalar sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle alın altına üç farklı geometriye (üçgen, beşgen, helisel) sahip karıştırıcı pim kullanılarak iki farklı devirde (500 ve 630 d/dak) birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmeler yarı otomatik universal freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle oluşturulmuş bu bağlantılarda karıştırıcı pim profilinin mekanik özellikler üzerine etkisini incelemek amacıyla çekme testi, eğme deneyi ve mikro sertlik testleri uygulanmıştır. Yapılan mekanik test sonuçlarından elde edilen verilere göre devir sayısı ve karıştırıcı uç geometrisinin önemli bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, AA7075-T651, Alüminyum alaşımları, Mekanik özellikleri

Abstract:

In this study, AA7075-T651 plates with a thickness of 5mm were butt welded by friction stir welding (FSW) process with using three different tool profiles (triangular, pentagonal, helical) and two different tool rotational speeds (500 and 630 rpm). Welded joints were manufactured using a semi-automatic universal milling machine. Tensile tests, bending tests and microhardness tests were applied to specimens taken from welded plates in order to determine the effect of tool profiles and rotational speeds on the mechanical properties of friction stir welded joints. The results show that the tool profile and the rotational speed have an important effect on friction stir welded joints.

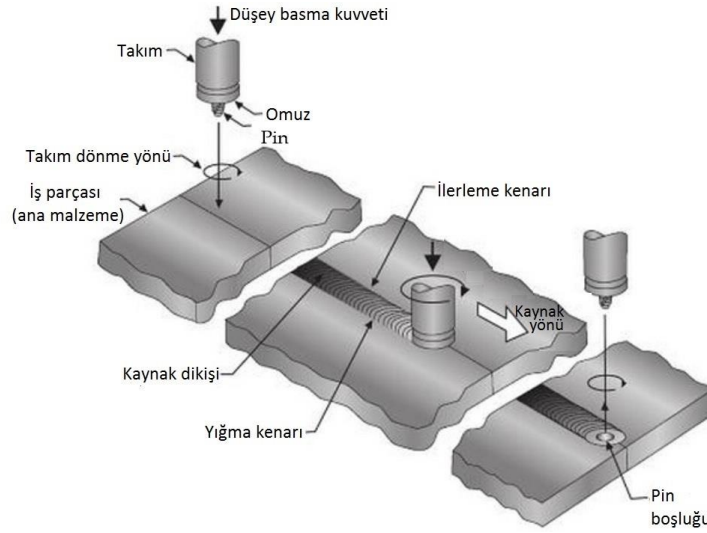
Key words: Friction stir welding, AA7075-T651, aluminum alloys, mechanical properties

1. Giriş

Bir katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), alüminyum alaşımları için uygulanabilen modern bir kaynak yöntemi olup özellikle ergitme kaynağı güç olan veya mümkün olmayan metal malzemelerin kaynağında uygulanabilmektedir. Bu kaynak tekniği, klasik ergitme kaynak yöntemlerine göre daha yüksek enerji verimliliği olan çevreci bir

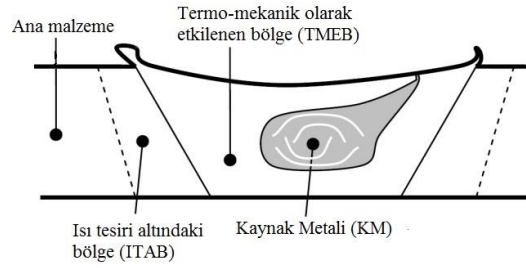
*Corresponding author: Abdurrahman Aydın Address: Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering Dokuz Eylül University, İzmir TURKEY. E-mail address: abdurrahmanaydin@yandex.com, Phone: +905555805413

yöntemdir. 1991 yılında İngiltere’ de bulunan Kaynak Enstitüsü (The Welding Institute) tarafından geliştirilmiş ve patenti alınmış olup, hala üzerinde oldukça fazlaca araştırma yapılan bir yöntemdir [1-2]. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin temel olarak uygulanışı oldukça basit olup Şekil 1’ de şematik olarak gösterilmiştir [3]. Kaynak edilecek bağlantılar, kaynak pozisyonuna göre rijit olacak şekilde sabitlenir. Özel olarak tasarlanmış, omuz ve pimden oluşan silindirik şeklindeki takım uygun dönme hızında döndürülerek, birleştirilecek plakaların birleşim yüzeylerine daldırılır. Takım dönme etkisi ile yarattığı ve pimden omuza kadar olan bölgede etkili olan kombine sürtünme ısı, plakaların içine gömülmüş olan pimin çevresi ile plakaların temas yüzeyleri ve omuzun plakalar ile temas ettiği yüzeydeki malzemenin yumuşamasını sağlar [4]. Bu sürtünme ısının etkisi ve takım birleşme hattı boyunca belirli hızda ilerleme hareketi neticesinde kaynak işlemi gerçekleştirilir. Burada kullanılan takım temel işlevi iş parçasını sürtünme etkisi ile ısıtmak ve iki plakanın birleştirilmesini sağlamaktır [5-6].



Şekil 1 - Sürtünme karıştırma kaynak işleminin şematik gösterimi [3]

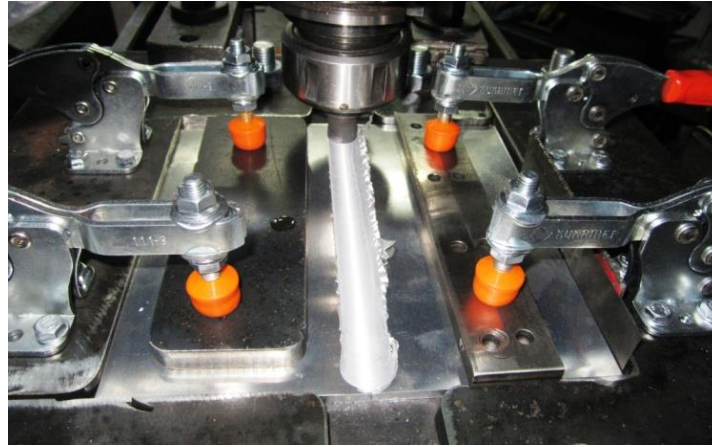
Sürtünme karıştırma kaynak işlemi sırasında karıştırma bölgesinde oluşan yoğun plastik deformasyon ve bölgenin yüksek sıcaklığa maruz kalması, pimin etrafında oluşan karıştırma bölgesinde yeniden kristalleşmeye, çökeltilerin çözülmesine ve kabalaşmasına sebep olur [5]. Temel olarak SKK ile üretilmiş bir kaynaklı bağlantı üç bölgeden oluşur; bunlar, kaynak metali (KM), termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge (TMEB) ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) [5-7]. Şekil 2’ de SKK yöntemi ile kaynak sonrasında ortaya çıkan tipik kaynak bölgesi kesit görüntüsü ve oluşan yapısal bölgeler şematik olarak gösterilmiştir [7-10]. Ana malzeme bölgesi ısıdan ve mekanik deformasyonlardan etkilenmemiş bölgedir. Isı tesiri altındaki bölgede (ITAB) mekanik deformasyon söz konusu olamamakla birlikte kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan sürtünme ısı malzeme özelliklerini etkilemektedir [8]. Termomekanik olarak etkilenmiş bölgede takımın hareketinden dolayı birleşim bölgesindeki malzeme plastik deformasyona uğrar ve kaynak ısısından etkilenir [9]. Kaynak bölgesindeki tane yapısı yeniden kristalleşmeden dolayı ITAB’ a ve ana malzemeye göre hem belirli bir yönlenmeye sahip hem de daha ince taneli bir yapıdadır [8-9].



Şekil 2 – Kaynak bölgesinin şematik görünümü ve oluşan yapısal bölgeler [7-10]

2. Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada kimyasal bileşimleri Tablo 1’de ve mekanik özellikleri Tablo 2’ de verilen 5 mm kalınlığındaki AA7075-T651 alüminyum alaşım levhalar 100x200 mm ebatlarında kesilerek, yarı otomatik üniversal freze tezgâhında Şekil 3’ te görüldüğü gibi alın altına getirilip bağlanarak, tek taraflı olarak sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Kaynak işlemi sırasında kullanılan takımların pim geometrileri helisel, üçgen ve beşgen formundadır. Takım dönme hızı 500 rpm ve 630 rpm olarak, kaynak hızı ise tüm numuneler için 63 mm/dak olarak uygulanmıştır. Deneyleerde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 3’ de verilmiştir.



Şekil 3 - Sürtünme karıştırma kaynağının (SKK) uygulanışı

Tablo 1: 7075-T651 deney malzemesinin kimyasal bileşimi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni
0,07	0,17	1,57	0,028	2,53	0,19	5,74	0,23	0,058

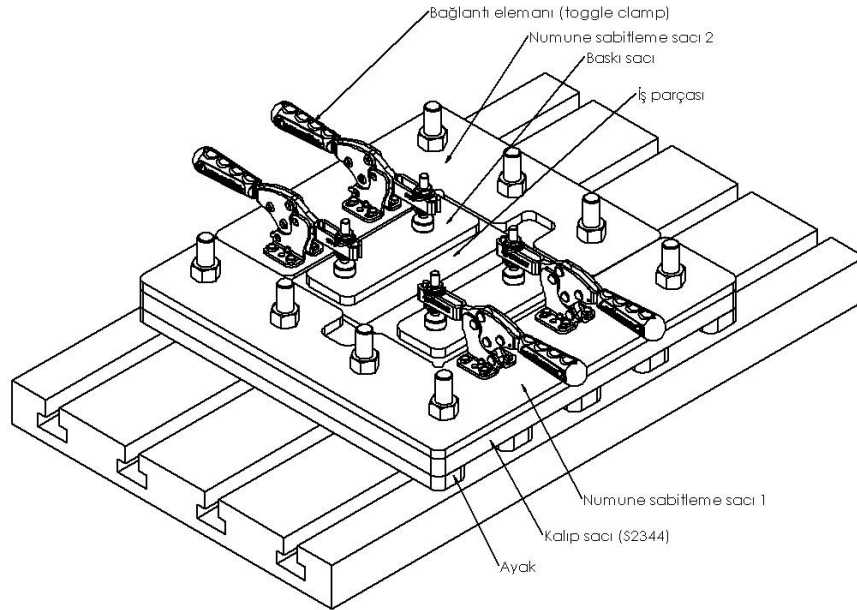
Tablo 2: 7075-T651 deney malzemesinin mekanik özellikleri

Çekme Mukavemeti [MPa]	Akma Mukavemeti [MPa]	Şekil Değişirme	Isıl İşlem
581	512	15	T651

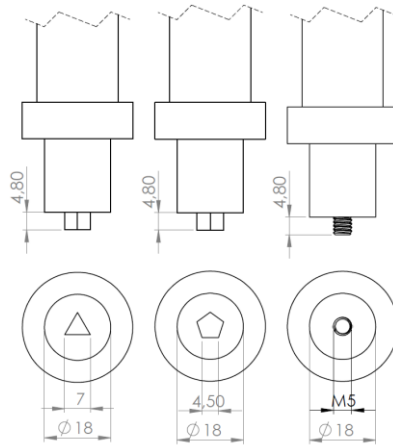
Tablo 3: Kaynak parametreleri

Numune No	Pim Geometrisi	Dönme Hızı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Takım Dönüş Yönü
7075-1	Üçgen	500	63	Saat yönü
7075-2	Üçgen	630	63	Saat yönü
7075-3	Beşgen	500	63	Saat yönü
7075-4	Beşgen	630	63	Saat yönü
7075-5	Helisel	500	63	Saat yönü
7075-6	Helisel	630	63	Saat yönü

SKK yöntemi uygulanırken malzemelerin rijit bir şekilde bağlanmasına gerek duyulur. Şekil 4' te SKK kaynak işlemi için özel olarak tasarlanmış rijit bir bağlantı tertibatı (kaynak kalıbı) görülmektedir. İşlem sırasında malzemenin ısınmasından dolayı ortaya çıkacak çarpılmaların önlenmesi kaynak kalitesi açısından önemlidir [8]. Bu nedenle çarpılmaların oluşmasını önlemek amacıyla baskı plakaları kullanılmıştır. Baskı plakaları malzemeler yuvalarına yerleştirildikten sonra hızlı bağlantı elemanları (toggle clamp) ile sabitlenir ve böylece, malzemelerin kaynak işlemi sırasında hareketi sınırlandırılmış olur. Kalıbın, kaynak esnasında oluşan ısıdan etkilenip deforme olmasını önlemek amacıyla kaynaklı parçanın kaynak dikişine doğrudan temas halinde olduğu kalıp sacı sıcak iş takım çeliğinden (DIN 1.2344) imal edilmiştir.

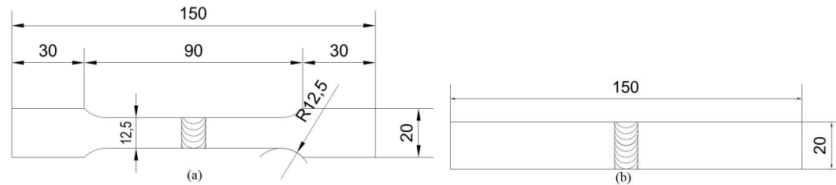
**Şekil 4 - Kaynak kalıbı**

Kaynak işleminde kullanılan karıştırıcı uçların malzemesi, yüksek kaliteli DIN 1.7131 sementasyon çeliğinden imal edilmiştir. Karıştırıcı uç (takım) pim profilleri Şekil 5' te gösterilmiştir.



Şekil 5 - Karıştırıcı uç (Takım) pim profilleri

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilmiş malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 6' da gösterilen ölçülere sahip numunelere kapasitesi 50kN olan Shimadzu çekme cihazında 2 mm/dak hızda çekme testleri; 5 mm/dak hızda eğme deneyleri uygulanmıştır. Her bir parametre için 2 adet çekme numunesi hazırlanmış ve bu numunelerden elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 6 - Çekme testi numunesi (a), eğme deneyi numunesi (b)

SKK işleminden sonra kaynak bölgesinde oluşan içyapıyı incelemek amacıyla kaynak edilmiş plakalarda kaynak dikişine dik doğrultuda metalografi numuneleri çıkarılmıştır. Numuneler standart metalografik işlemlerin uygulanması sonrasında makroyapı ve mikroyapı incelemeleri için dağlanmıştır. Makroyapı incelemeleri için numuneler 25ml etanol, 25ml HNO₃, 25ml HCl ve 1ml HF' den oluşan çözeltiyle dağlanmıştır ve mikroyapı incelemeleri ise standart Keller çözeltisi (190 ml saf su, 5ml HNO₃, 3 ml HCl, 2 ml HF) çözeltisi kullanılarak yapılmıştır.

Kaynak bölgesindeki sertlik değişimini tespit etmek amacıyla 100 g yük ve 10 s bekleme süresi altında Vickers mikro sertlik deneyi yapılmıştır. Sertlik ölçümleri numune yüzeyinden 2,5 mm uzaklıkta (levha ortasından), 1 mm aralıklarla kaynak ekseninden her iki tarafa doğru toplam 30 adet ölçüm yapılmıştır.

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin en önemli avantajlarından biri de elde edilen kaynak dikişinin temiz ve düzgün bir yüzeye sahip olması ve kaynak sonrası ilave talaş kaldırma işlemine gerek duyulmamasıdır. Şekil 7'de sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle elde edilmiş kaynak dikişleri gösterilmiştir. Bütün SKK ile birleştirilmiş levhaların kaynak yüzey

görünümünün çıplak gözle incelenmesinde boşluk, oyuk gibi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Kaynak dikişinin sonunda şekilde görüldüğü gibi pim boşluğu oluşmaktadır. Pim boşluğunun boyutu kaynak işleminde kullanılan pimin ölçülerine ve parametrelere göre değişiklik göstermektedir.

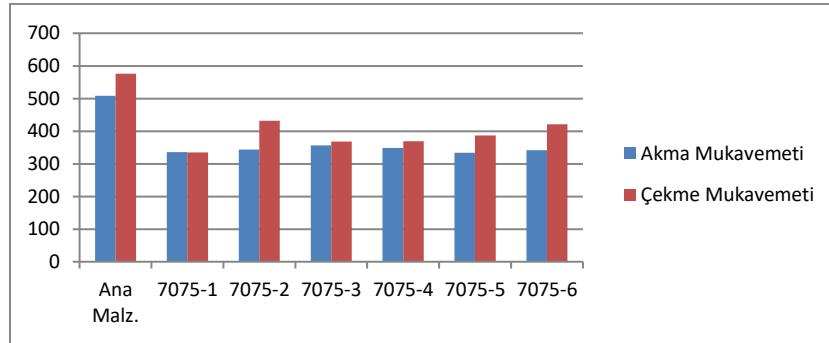


Şekil 7 - Sürtünme karıştırma kaynak dikişi görüntüsü

Kaynaklı bağlantılara uygulanan çekme test sonuçları Tablo 3' te verilmiştir. Tablo 3'deki sonuçlar ve Şekil 8' deki grafik incelendiğinde en iyi sonucu üçgen pim geometrisine sahip 630rpm dönme hızında kaynak işlemi yapılmış 7075-2 numaralı numune vermiştir. Bu parametredeki kaynaklı bağlantı mukavemet değeri esas metal mukavemetinin yaklaşık olarak %75' ine karşılık gelmektedir. Çekme testi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde en iyi sonuçları helisel geometriye sahip pim ile yapılan birleştirmeler vermiştir. Bu numuneler kaynak metalinden kopmasına rağmen esas metale göre kaynak performansı %66 ve %73 olarak tespit edilmiştir. Aynı pim geometrilerinde takım dönüş hızının artması ile çekme mukavemetinin de arttığı tespit edilmiştir.

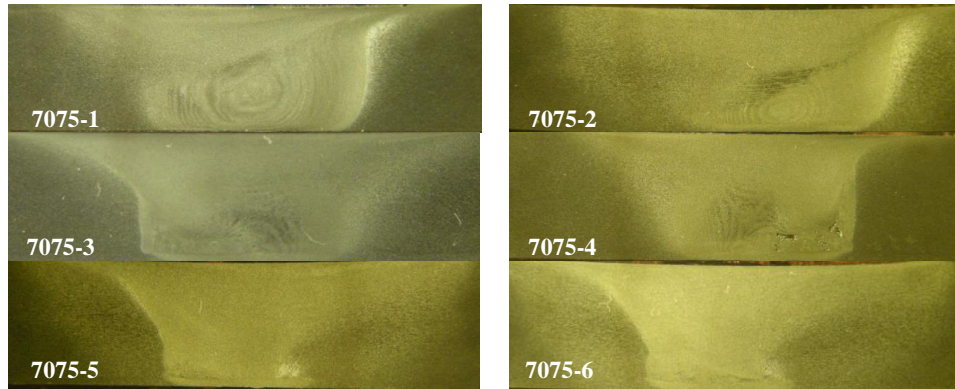
Tablo 3. Kaynaklı numunelerin çekme testi sonuçları

Numune No	Pim Geometrisi	Dönme Hızı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	% Şekil Değişirme	Numune Kopma Yeri
Ana malz.	-	-	-	508,105	576,263	9	-
7075-1	Üçgen	500	63	336,156	334,555	0,95	KM
7075-2	Üçgen	630	63	343,602	431,696	3,71	TMEB
7075-3	Beşgen	500	63	356,851	368,016	0,56	KM
7075-4	Beşgen	630	63	349,039	368,743	1,05	KM
7075-5	Helisel	500	63	334,367	386,672	2,89	KM
7075-6	Helisel	630	63	341,664	421,617	4,35	TMEB



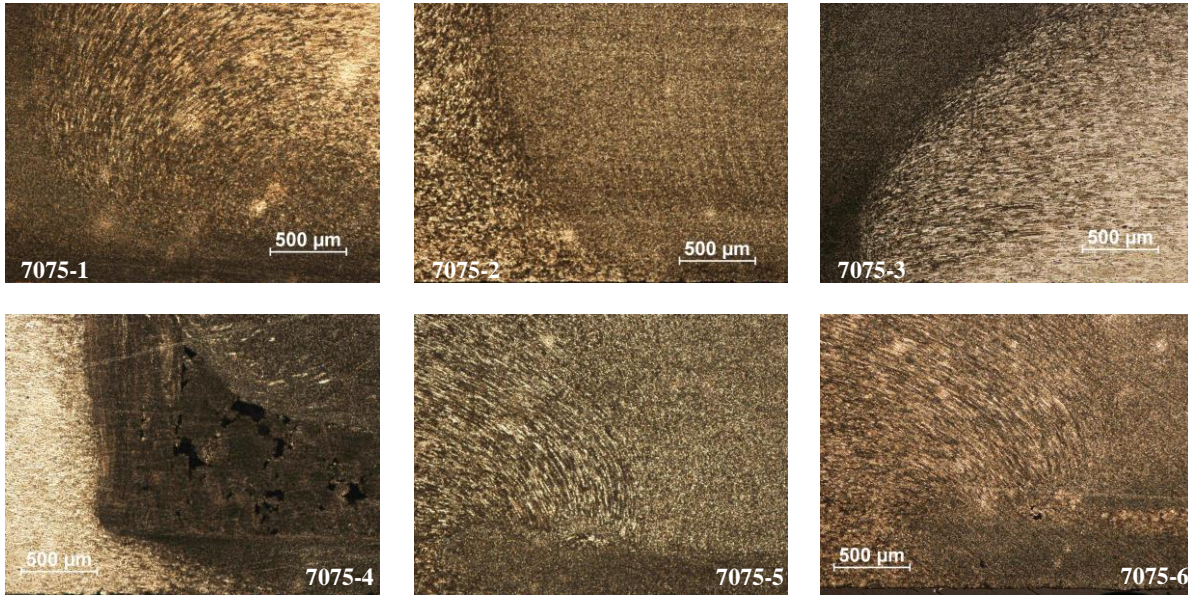
Şekil 8 - Çekme testi sonuçlarının grafiksel gösterimi

Şekil 9’ da kaynaklı parçalardan alınan numunelerden elde edilen kaynak bölgelerinin makro yapı görüntüleri verilmiştir. Kaynak sırasında oluşan bölgelerin boyutu ve şekli, takımın pim geometrisine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla karıştırıcı pim geometrisi mekanik davranışlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [10]. 7075-1 ve 7075-2 numaralı üçgen pim geometrisine sahip takımın kullanıldığı numunelerde kaynak metali bölgesinin soğan halkaları olarak isimlendirilen iç içe geçen halkalardan oluştuğu, boyutlarının pim boyutlarından daha büyük olduğu ve takım omuz çapından küçük olduğu net olarak görülmektedir. Takım geometrisi yerel ısıtma ve plastikleşmiş malzemenin akışı olmak üzere kaynak için gerekli iki önemli fonksiyonu yerine getirdiği açık bir şekilde görülebilmektedir [11].7075-3 ve 7075-4 numaralı beşgen pim geometrisine sahip takımın kullanıldığı numunelerden elde edilen kaynak makro görüntülerinde bu halkaların soğan halkası gibi belirgin olmadığı ancak KB’de belirgin olmayan bir halka yapısının söz konusu olduğu görülebilmektedir. 7075-5 ve 7075-6 numaralı helisel pim geometrisine sahip takımın kullanıldığı numunelerde bu halkaların kaybolduğu düz görünümlü bir kaynak bölgesi elde edildiği görülebilmektedir. 7075-4 numaralı numunede kaynak ilerleme kenarı tarafında, kaynak köküne yakın KM’ den başlayan ve TMEB bölgesinde son bulan kaynak hatasının olduğu ve bu hataların küçük boşlukların kümelenmesi neticesinde belirgin boşluklara dönüştüğü sonucuna ulaşılmıştır. Bu numunenin çekme testinde iyi sonuç vermesi, bu boşlukların kaynak dikişi boyunca oluşmadığını göstermektedir.



Şekil 9 – Makro yapı resimleri

Şekil 10’ da kaynak bölgelerinin mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde karıştırıcı uç geometrisine bağlı olarak tane yöneliminin farklı olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesinde yüksek sürtünme sıcaklıkları söz konusu olması sebebiyle yoğun plastik deformasyon ve bu deformasyonun etkileri görülmektedir [12]. Yüksek sıcaklık ve plastik deformasyonun ortak etkisi sonucu yeniden kristalleşme meydana geldiği için kaynak bölgesi diğer bölgelere göre daha ince taneli bir yapıya sahiptir [13]. Mikro yapı incelemelerinde kaynak bölgesinin hemen yanında bulunan termo-mekanik olarak etkilenmiş bölgede tanelerin yassılaşıp uzayarak yönlendiği ve ITAB kaynak sırasında sadece ısıdan etkilendiği için malzemenin tane yapısında kısmi değişimlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Beşgen geometriye sahip pim ile kaynak işlemi uygulanmış 7075-4 numaralı numunede hem makro yapı hem de mikro yapı resimlerinde kaynak kök kısmında meydana gelen boşluklara bağlı kaynak hataları belirgin olarak görülmektedir. Mikro yapı görüntülerinde çökelti partikülleri net olarak görülmektedir.



Şekil 10 – Mikro yapı resimleri

Tablo 4’de SKK kaynak dikişinin kök kısımları iç tarafa gelecek şekilde yapılan eğme deneyi sonuçları verilmiştir. Deney sonuçları Şekil 11’ de gösterilmiştir ve buradan net bir sonuç ortaya çıkmıştır ki o da deney numunelerinin hepsinde 180° eğme olmadan kırılmanın gerçekleştiğidir.



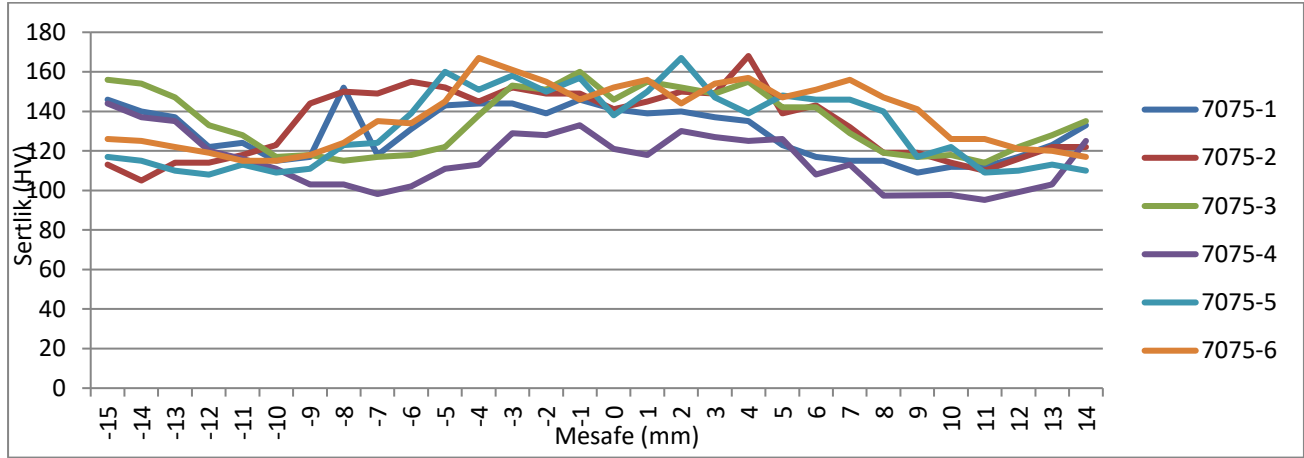
Şekil 11 - Eğme testi uygulanmış numuneler

Tablo 4. Kaynaklı numunelerin eğme testi sonuçları

Numune No	Max. Force (kN)	Max. Gerilme (N/mm ²)	Sonuç
7075-1	3,313	387,563	Çatlama Saptandı
7075-2	4,344	508,219	Çatlama Saptandı
7075-3	2,328	272,391	Çatlama Saptandı
7075-4	3	351	Çatlama Saptandı
7075-5	3,766	440,578	Çatlama Saptandı
7075-6	3,922	458,859	Çatlama Saptandı

Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması amacıyla her parametre için ayrı ayrı hazırlanan numunelerin kaynak bölgesinin

mikro sertlik profilleri çıkarılmıştır. Şekil 12’ de kaynak bölgesinin enine hattı boyunca ölçülmüş mikro sertlik değerlerinden çıkarılan sertlik profili görülmektedir. Sertlik profilleri incelendiğinde, bütün numunelerde kaynak merkezindeki sertlik değerinin esas malzeme sertliğinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesindeki sertlik değerinin yüksek çıkmasının sebebi yeniden kristalleşme ve küçük tane boyutudur[14]. Sertlik değerleri TMEB ve KB bölgelerinde yavaş yavaş azalmaktadır. En yumuşak nokta, kaynak merkezinden yaklaşık 10 mm uzaklıkta ölçülmüştür.



Şekil 12 - Sertlik testi sonuçları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada AA7075-T651 alüminyum alaşımlı levhalar sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile 3 farklı pim geometrisine sahip takımlar ile iki farklı dönme hızı kullanılarak birleştirilmiş ve kaynak bölgesinin mekanik özellikleri ve mikroyapıları karşılaştırılmış ve aşağıda sıralanan genel sonuçlara ulaşılmıştır.

- 5mm kalınlığındaki AA7075-T651 levhalar sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılarak kaynaklanmışlardır. Kaynak dikişi görüntüsünün diğer ergitme kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında daha düzgün olduğu ve kaynak sonrası herhangi bir temizleme işlemine tabi tutulmasına gerek olmadığı saptanmıştır.
- Aynı pim geometrisine sahip takımların kullanıldığı numunelerde takım dönme hızının artmasıyla çekme mukavemetinin arttığı saptanmıştır.
- Mikro yapı incelemelerinde helisel geometrili pimin kullanıldığı ve takım dönme hızının yüksek olduğu numunede kaynak bölgesinin boşluk ve tünel benzeri kaynak hatalarını içerdiği tespit edilmiştir.
- Çekme testi sonuçlarına göre değerlendirme yapıldığında en iyi sonucu 630dev/dak dönme hızı ve üçgen geometriye sahip takım ile birleştirilen kaynaklı bağlantı vermiştir. En kötü sonuçları beşgen geometriye sahip takım ile birleştirilen kaynaklı bağlantılar vermiştir.
- Kaynak bölgesindeki yüksek sertlik değerleri, ince taneli yapıların oluştuğu kaynak metalinde ölçülmüştür.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından 2014.KB.FEN.015 numaralı proje desteği ile gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, projenin gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimine sonsuz teşekkürlerini sunar.

6. Kaynaklar

- [1] T.Cebeci, S.Şahin. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen AA1050 ve AA5754-H111 alüminyum levhaların mekanik özelliklerinin incelenmesi. CBU Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, Cilt:2, Sayı:14, 2010
- [2] G. Çam, C. Meran. Çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı. Kaynak Teknolojisi VII. Ulusal Kongre ve Sergisi, 2009
- [3] J. T. Khairuddin, J. Abdullah, Z. Hussain, I. P. Almanar. Principles and Thermo-Mechanical Model of Friction Stir Welding. Welding Processes chapter 9, ISBN 978-953-51-0854-2, Published: November 21, 2012
- [4] M. Dilek, D. A. Bircan, A. Ekşi. 5083-O, 5186-H111 ve 5083-H111 Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi. Ç.Ü.Müh.M M.Fak. Dergisi, Cilt: 22, Sayı:1, Adana, Haziran, 2007
- [5] H. Schmidt, J. Hattel, J. Wert. An analytical model for the heat generation in friction stir welding. Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 12, 143–157, 2004
- [6] S. Dalkılıç. Sürtünme karıştırma kaynağı ve havacılık ve uzay endüstrisindeki uygulama alanları. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt:5, Sayı:4 (25-33), Temmuz, 2012
- [7] S. Guerdoux. Numerical simulation of the friction stir welding process. Sciences Fondamentales et Appliquees, December 13, 2007
- [8] E. Kaluç, E.Taban. Sürtünen eleman ile kaynak (FSW) yöntemi. TMMOB yayınları, MMO/2007/460, Aralık 2007
- [9] H. Ateş, A. Kurt, M. Türker. Sürtünme kaynağı. Kaynak teknolojisi II. Ulusal kongresi, Kasım 1999
- [10] A. Haşçalık, U. Çaydaş, E. ÜNAL, F. Karaca. AA 5251 alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliğine uç geometrisinin etkisi. Tek. Araştırmalar: MTED 2007 (4) 1-7
- [11] D. M. Neto, P. Neto. Numerical modeling of the friction stir welding process: a literature review. POLO II, University of Coimbra, 3030-788 Coimbra, Portugal
- [12] S. Büyükarıslan. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmiş Alüminyum Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ
- [13] N. Özdemir, S. Büyükarıslan ve F. Sarsılmaz. Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş AA1030 Alüminyum Alaşımında Karıştırıcı Uç Profili ve İlerleme Hızının Arayüzey Mikroyapı Değişimi Üzerine Etkisi. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 19 (3), 407-415, 2007
- [14] A. Şık, İ. Ertürk, M. Önder. AA2024 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 2, Sayfa 139-147, 2010