

SKK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLEN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA İŞLEM PARAMETRELERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Furkan SARSILMAZ, Niyazi ÖZDEMİR

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 23119/Elazığ

fsarsilmaz@firat.edu.tr, nozdemir@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada iki farklı (AA1050 ve AA5083) alüminyum alaşım plakaları, alın pozisyonunda sürtünme karıştırma kaynak (SKK) yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynak işlemi, 1400 dev/dak dönme hızı ve beş farklı ilerleme hızları (200, 250, 300, 350, 400 mm/dak) altında tek tip uç geometrisi (konik vida) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların ara yüzeyleri optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir. İncelemelerde kaynak ara bölgesinde birbirinden farklı dört bölge oluşmuştur. Ayrıca mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla numunelere çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyleri sonunda, 350 mm/dak ilerleme hızı ile birleştirilen numunede en iyi mukavemet değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, Alüminyum alaşımları, Mekanik özellikler.

THE EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELDED ALUMINIUM ALLOYS

Abstract

In this study, dissimilar AA1050 and AA5083 aluminum couples having two different properties were welded by using friction stir welding (FSW) process. In this process, five different traverse speed were used such as 200, 250, 300, 350, 400 mm/min with the same (screw) profile and under constant rotational speed (1400 rpm). The interface appearance of

the welded samples was examined by optical microscopy. The examination shows that there are four different regions in interface of the all samples. In order to determine mechanical properties of samples, the tensile tests were conducted. The end of these tests, the best result was obtained from FSWed by 350 mm/min traverse speed in sample N4.

Keywords: Friction stir welding, Aluminum alloys, Mechanical properties.

1. Giriş

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, ilk defa The Welding Institute-TWI (Kaynak Enstitüsü) tarafından bulunan en yeni katı hal kaynak yöntemidir [1,2]. Günümüzde alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde karşılaşılan bazı problemlerin giderilmesi amacıyla araştırmacılar, bu yeni katı hal kaynak yöntemi üzerindeki çalışmalara yönelmişlerdir [3]. Özellikle ısıl işlem ve dövme ile mukavemet kazandırılan alüminyum alaşımlarının geleneksel ergitme kaynak yöntemleriyle (MIG, TIG, elektrik ark kaynağı) birleştirmelerinde yüksek ısı girdisi, bu alaşımların ısıl genleşmelerinin yüksek olması ve katılma sıcaklık aralıklarının geniş olmasından dolayı kaynak dikişinde çatlak oluşumuna neden olabilmektedir [4,5,6]. Bununla birlikte ısıl işlemlili alüminyum alaşımlarında yüksek ısı girdisi sebebiyle kaynaklı bölgede, sertleştirici çökeltilerin çözünmesi ve ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) aşırı yaşlanma sonucu sertlik ve mukavemette kayda değer düşüşler söz konusu olmaktadır [3,4,7]. Sürtünme karıştırma kaynağında, geleneksel ergitmeli kaynak yöntemlerine göre daha düşük ısı girdisiyle çalışılması, malzemedeki mikroyapısal ve mekanik bozulmaları minimize etmektedir. Düşük ısı girdisinin, kaynak bölgesinin ve ITAB'ın mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir [4]. Bunun sağlanabilmesi için uygun kaynak parametrelerinin seçimi önemlidir.

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin Al alaşımlarında kullanılabilirliği üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonuçları söz konusu yöntemin gerek yaşlandırma sertleştirme yapılmış gerekse yaşlandırma sertleştirme yapılamayan (1xxx ve 5xxx serileri gibi ısıl işleme duyarlı olmayan) Al alaşımlarında başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağı çok güç olan AA7075 alaşımı da bu yöntem ile başarılı bir şekilde birleştirilebilmektedir [8].

Yapılan literatür incelemelerinde, gemi, savunma ve otomotiv endüstrilerinde çoğunlukla kalıp imalatında kullanılan, soğuk işleme mukavemet kazandırılmış AA5083 alaşımının, daha düşük maliyetlere (örneğin AA1050) sahip alüminyum alaşımlarıyla birleştirilmesi üzerine detaylı yapılmış çalışmaların oldukça az sayıda olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada literatürdeki bu boşluğun doldurması amacıyla, havacılık, taşımacılık, uzay ve otomotiv endüstrisinde [9] geniş kullanım alanı bulan AA1050 ve AA5083 dövme alüminyum alaşımları tercih edilmiştir. Bu farklı özelliklerdeki çiftler, yeni bir katı hal kaynak tekniği olan sürtünme karıştırma kaynağıyla başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. İşlem parametrelerinden uç geometrisi ve devir sayıları sabit tutularak farklı kaynak ilerleme hızlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

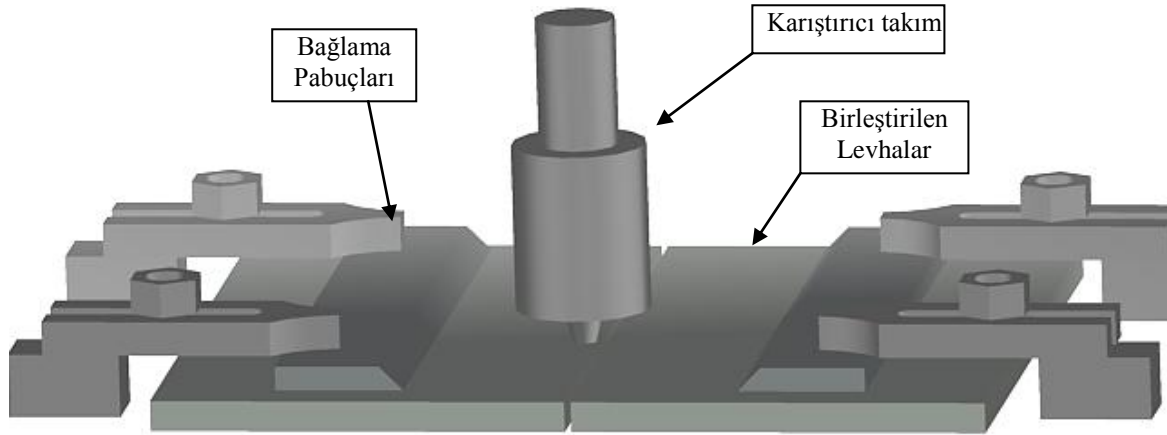
Bu çalışmada, 500 x 100 x 6 mm boyutlarda hazırlanan farklı tipte alüminyum alaşımlarından AA1050/AA5083, ticari olarak piyasadan temin edilmiştir. Bu alaşımlara ait kimyasal içerik Tablo 1’de, mekanik özellikler ise Tablo 2’de verilmiştir. Başlangıç kılavuz delikleri açılan birleştirilecek plakalar Şekil 1 ‘de görüldüğü gibi alın pozisyonunda, arada boşluk kalmayacak şekilde freze tezgâh tablası üzerine, pabuçlar kullanılarak sabitlenmiştir. Sabitlenen levhaların birleşme çizgisi, komparatör yardımıyla ayarlanarak, karıştırıcı uç ile paralelliği sağlanmıştır. Gerekli devir sayısı ve ilerleme hızları seçildikten sonra, bütün kaynak işlemleri için saat yönünde dönüş hareketi tercih edilmiştir. Birleştirilecek parçaların tamamına 0.1 mm omuz batma derinliği verilmiştir.

Tablo 1. Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin nominal kimyasal bileşimi

Malzeme	Alaşım Elementleri (% Ağırlık)						
	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Al
AA1050	0,05	0,4	0,2	0,07	0,05	0,05	Kalan
AA5083	0,1	0,4	0,4	0,25	0,6	4,5	Kalan

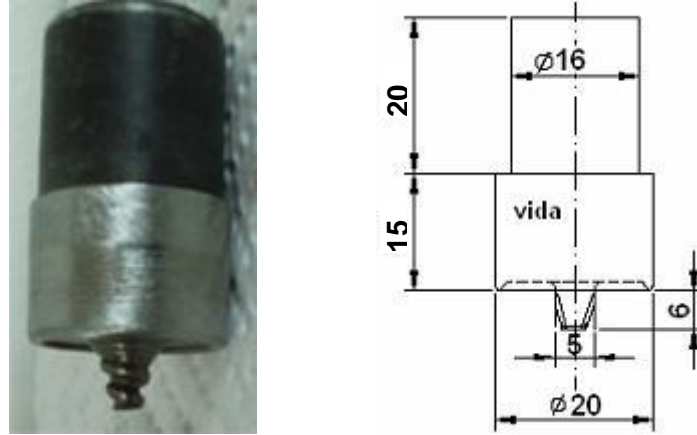
Tablo 2. Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)	Sertlik (HV)
AA1050	100	85	69000	30
AA5083	300	145	71000	75



Şekil 1. Deneylerde kullanılan SKK yönteminin uygulanması (şematik)

Kaynaklı bağlantıların gerçekleştirilmesinde, Şekil 2’de görüntüleri verilmiş olan K100 çeliğinden yapılmış konik vida geometrisine sahip birleştirici uç kullanılmıştır. Birleştirici uç, birleştirilecek olan plakalara dik olarak ayarlandıktan sonra, literatüre uygun olarak 2.5° başlık eğim açısı verilmiştir [9,10]. Kaynaklar, literatür taraması sonucunda saptanan, SKK’ da mikroyapı ve mekanik davranışlar üzerinde farklı etkiler oluşturacağı tahmin edilen parametreler seçilerek gerçekleştirilmiştir [9,11] (Tablo 3). Aynı levha üzerinde, her parametreye ait kaynak dikişleri 100 mm aralıklarla çekilmiştir.

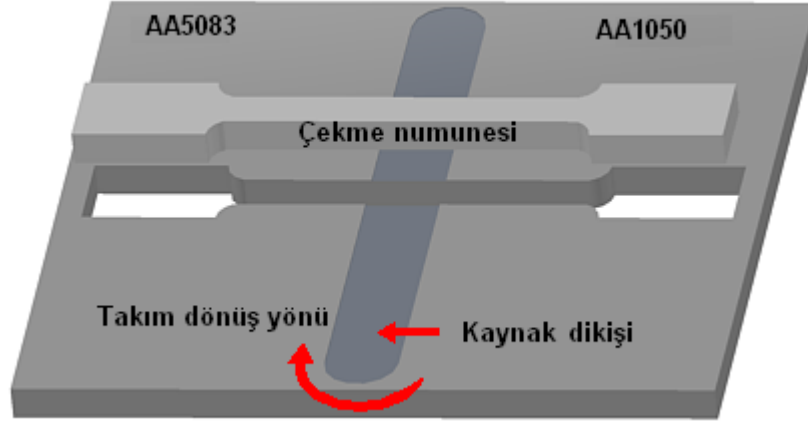


Şekil 2. SKK işleminde kullanılan konik vida geometrisine sahip uç ve ölçüleri

Tablo 3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan kaynak parametreleri.

Numune Kod Numarası	Karıştırıcı Uç Profili	Dönme Hızı devir/dakika	İlerleme Hızı mm/dakika
N1	Vida	1400	200
N2			250
N3			300
N4			350
N5			400

Mikroyapısal değişimleri incelemek amacıyla, aynı parametreden en az üç adet olacak şekilde birleştirilen numuneler, kaynak dikişine dik doğrultuda kesilerek, yüzeyleri parlatılmış ve Keller sıvısı ile dağlanmış. Mekanik davranışları belirlemek için ise kaynaklı bağlantılardan DIN 50109 standardına uygun olarak Şekil 3' de görülen birleşme hattına dik doğrultuda çıkarılan numunelere çekme deneyi uygulanmıştır. Değiştirilen her bir kaynak parametresi için kaynak dikişinden üçer adet numune alınarak çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme deneyleri Instron marka U-TEST çekme deney cihazında, 2 mm/dak. çene hızı uygulanarak, gerilme ve uzama eğrileri elde edilmiştir.



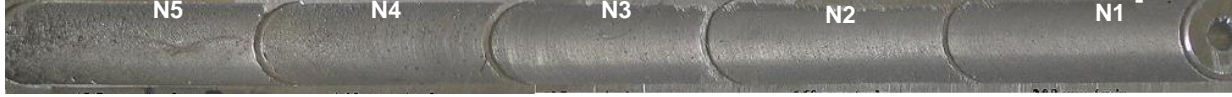
Şekil 3. Çekme deneyi için kullanılan numunenin çıkartılış yönü

3. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

3.1. Mikroyapı İncelemeleri

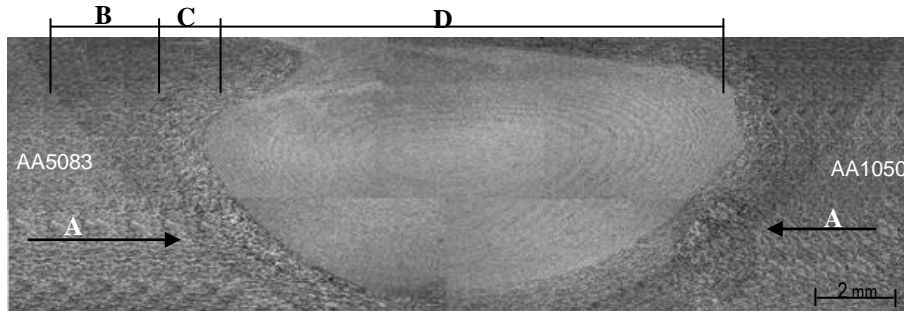
Şekil 4 'de birleştirilen levhaların dikiş yüzeyinden alınan yüzey görüntüleri verilmiştir. Yüzey fotoğrafı incelendiğinde, kaynak bölgesinde çatlak ve bağlantısız bölgelerin yer almadığı, problemsiz kaynak dikişlerinin elde edildiği gözlenmektedir. Yüzey resimleri incelendiğinde, 350 mm/dak ilerleme hızından sonraki hızlarda, yüksek ilerleme nedeniyle oluşan düşük sıcaklığa bağlı olarak yüzeydeki pürüzlülük miktarının bir miktar arttığı görülmüştür. Bu sonuç literatürle paralellik göstermiştir. Kwon ve diğ. [12] düşük

işlem sıcaklıkları sağlayan parametreler altında gerçekleştirdikleri kaynaklarda yüzey pürüzlülüğünün kayda değer oranda arttığını tespit etmişlerdir.



Şekil 4. Kaynaklı birleştirmelere ait makro yüzey resimleri

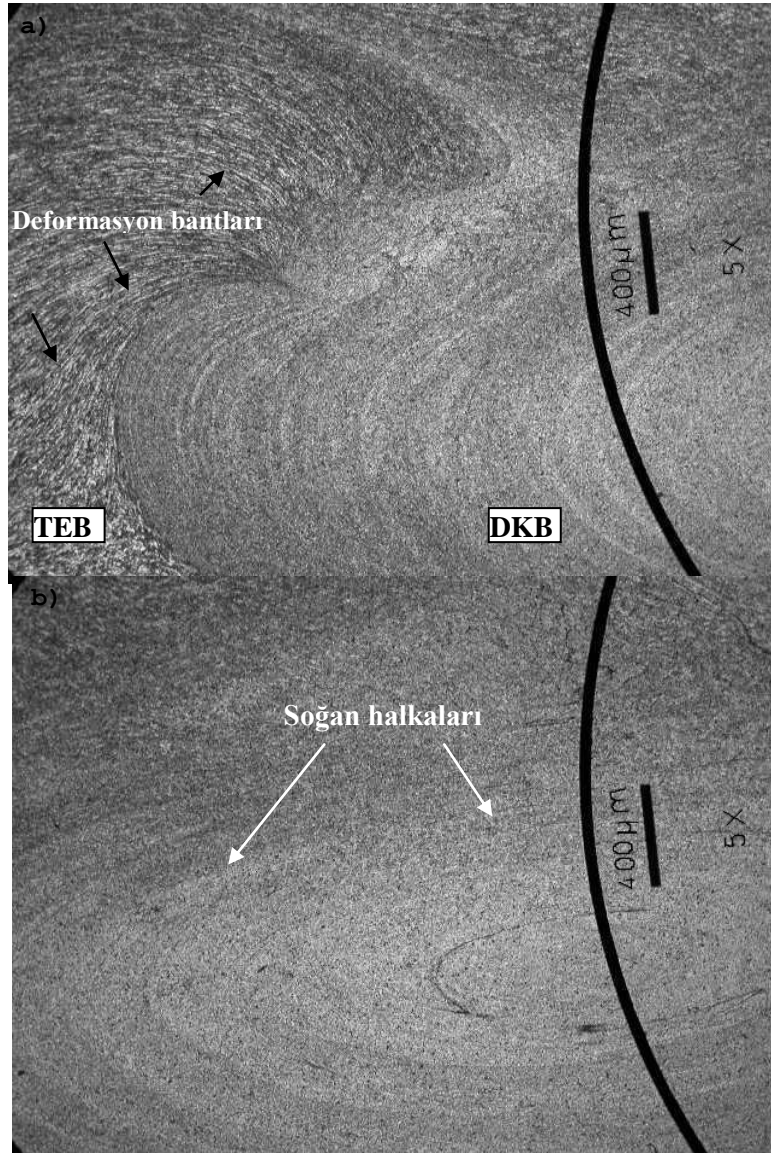
Şekil 5 'de N4 numunesinin kaynak ara bölgesi üzerinden alınan makroyapı fotoğrafları, birbiriyle birleştirilerek tek resim halinde verilmiştir. Makro fotoğraf incelendiğinde, kaynak ara bölgesinde birbirinden farklı dört bölgenin oluştuğu görülmektedir. Bu bölgeler resim üzerinde; "A": Ana malzeme, "B": Isıdan etkilenen bölge (IEB), "C": Termo mekanik etkilenen bölge (TEB) ve "D": Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) olarak tamamen mikroyapı karakteristiğine bağlı olarak adlandırılmıştır. Ayrıca bütün numunelerin kaynak havuzunun genişliğinde, artan ilerleme hızına bağlı olarak kaynak sıcaklığının düşmesiyle daralmalar gözlenmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile yapılan daha önceki çalışmalarda da bu bölgeler tespit edilmiştir. Bu bölgelerin boyutları (genişlikleri), işlem parametrelerine bağlı olarak değişim gösterdiği literatürlerde vurgulanmaktadır [13, 14].



Şekil 5. N4 nolu kaynaklı birleştirme numunesinin makro yüzey görüntüsü

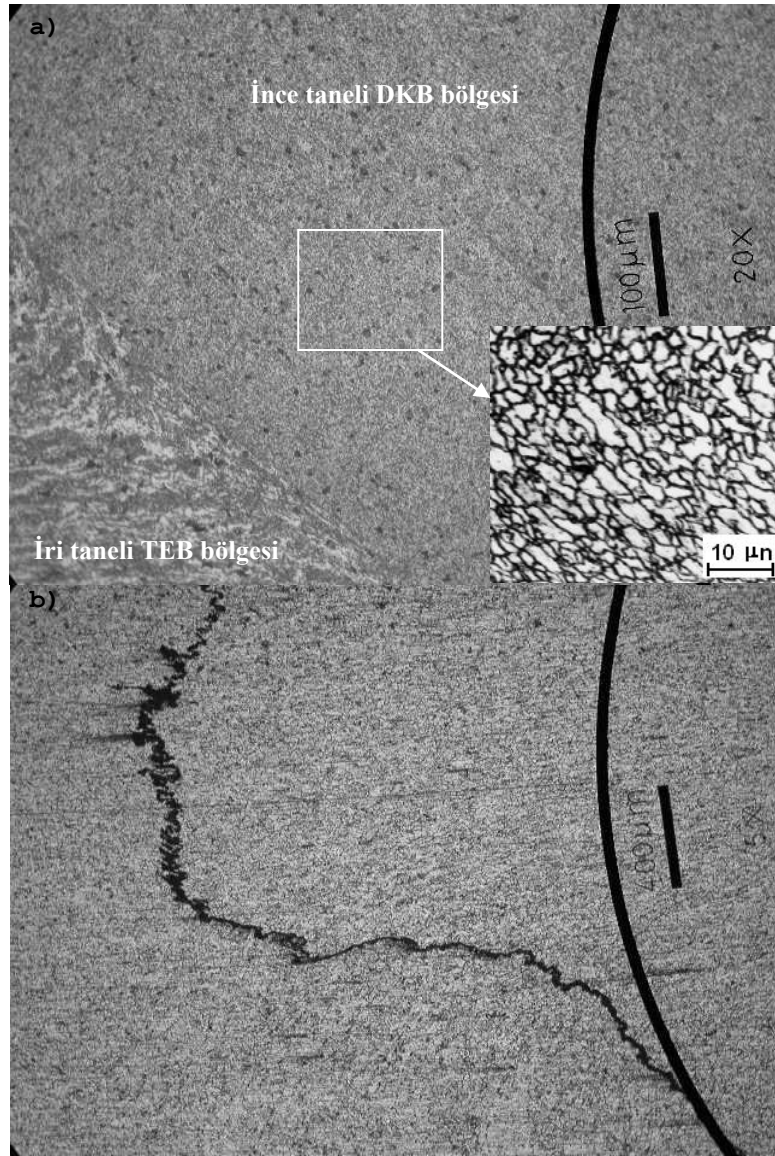
Şekil 6.a.'da vida karıştırıcı uçlarla birleştirilen numunelerin, DKB ile TEB bölgesi sınırlarından alınmış mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Her iki fotoğraf incelendiğinde, dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) ile termo mekanik olarak etkilenen bölge (TEB) birbirinden net olarak ayrılmaktadır. TEB bölgesinde ise yüksek sıcaklığın ve

karıştırıcı ucun hareketi sonucu oluşan şiddetli ekstrüzyonun etkisiyle, tane yapılarının yönelme göstererek deformasyon bantlarını oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 6. N4 ara kesitinden alınan mikroyapı görüntüsü (a) ve DKB üzerinde oluşan soğan halkaları (b)

Şekil 6.b. 'de birleştirilen numunenin DKB bölgesinde işaretlerle gösterilen kısımlarında, uçtaki dönmenin neden olduğu düşünülen halkalar görülmektedir. Lee ve diğ. [15] yapmış oldukları çalışmada DKB bölgesinde, karıştırıcı ucun her devir ve ilerleme periyodunda taşıdığı malzemeden oluşan halkaların, karıştırıcı takımdaki dönme hareketinden oluştuğunu vurgulamışlardır. Ayrıca çalışmalarında bu halkaları, "soğan halkaları" olarak tanımlamışlardır. Çoğu literatürde bu tanım yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan kaynakların tamamında bu tip halka yapıları, her numune için benzer özellikler göstermiştir.



Şekil 7. N5 numunesinin DKB/TEB bölgelerindeki tane morfolojisi (a) ve DKB de yüksek ilerleme ve aşırı dövme sonucu oluşan dikiş çatlağı (b)

Şekil 7.a. 'da N4 numunesine ait mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde, dövme ve plastik deformasyon ile DKB bölgesinde TEB bölgesine nazaran daha ince taneli bir yapı oluşumu meydana gelmektedir. Ana resim üzerindeki çerçeve içinden alınan yüksek büyütmedeki fotoğraf incelendiğinde, DKB bölgesinde yeniden kristalleşme sonucu eş eksenli taneli yapılarının varlığı görülmektedir. Bu tane yapısı TEB bölgesinden bir çizgi ile ayrılarak yerini daha iri tanelerden oluşan yapılara bırakmaktadır. Her iki bölgede oluşan tane yapıları, işlem parametrelerinin etkisi sonucu farklılıklar göstermiştir. Özellikle kaynak esnasında oluşan deformasyon ve ekstrüzyon şiddeti, bütün kaynaklı bağlantıların DKB'sinde tanelerin küçülmesine neden olduğu bilinmektedir [13,14,15]. TEB bölgesinde ise DKB'de oluşan ekstrüzyonun ve dövmenin neden olduğu düşünülen yüksek sıcaklık söz konusudur. Yüksek sıcaklık bu bölgedeki yapıyı tavrılarak tanelerin irileşmesine neden olmaktadır. Şekil 7.b. 'de ise kaynaklı bağlantının DKB bölgesinde çok yüksek ilerleme sonucu (400 mm/dak) oluşan dikiş çatlağı görülmektedir. Bu oluşum sadece N5 parametre grubunda gerçekleştirilen kaynakların tamamında görülmüştür.

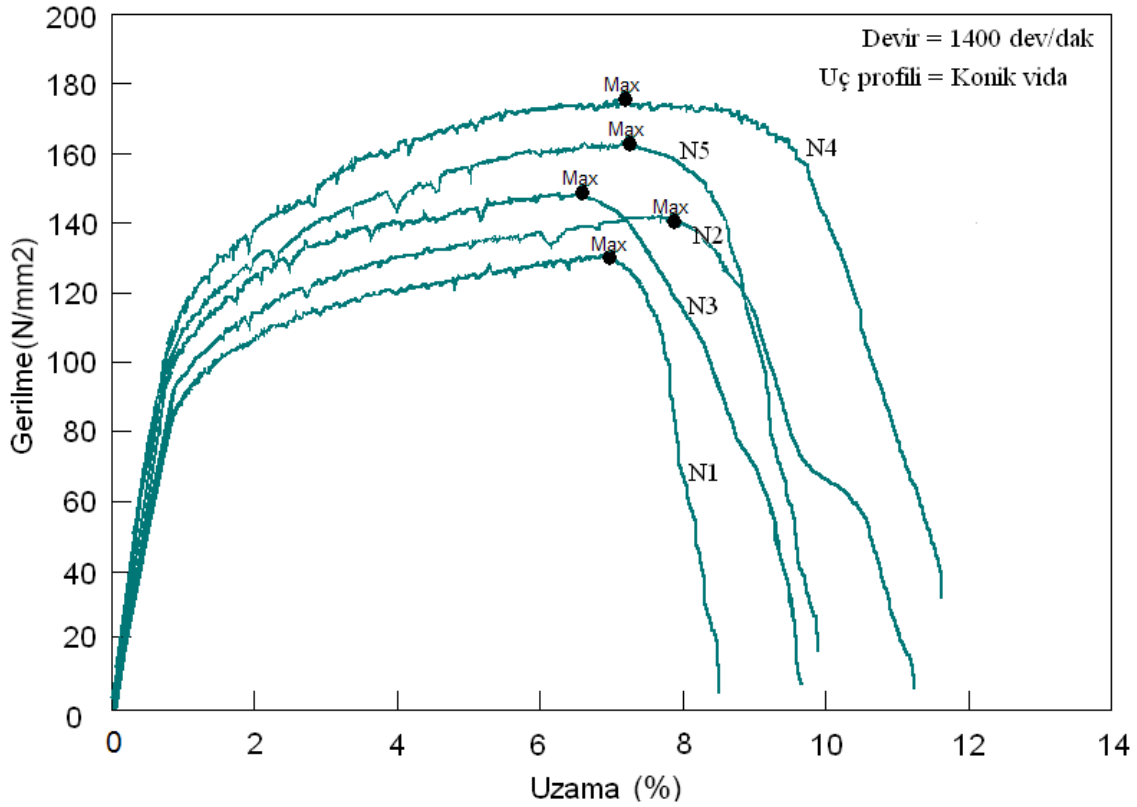
3.2. Çekme Deneyi Sonuçları

AA1050 ve AA5083 kaynaklı alüminyum plakalarından alınan numunelerin çekme deneyi esnasında elde edilen gerilme-uzama eğrileri, Şekil 8' de verilmiştir. Eğriler incelendiğinde kaynaklı bağlantının mukavemet değerinin, esas malzemelerin çekme dayanımı değerlerinden (Tablo 2.) oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu duruma Al-alaşımlarının kaynağında sıklıkla karşılaşılmaktadır [16]. Kullanılan plakalar soğuk haddelenmiş serilerdir ve dolayısıyla yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler. Kaynak işlemi esnasında ise malzeme yeniden kristalleşme sıcaklığına kadar ($T_{yk} = 260C^{\circ}$) ısındığından kaynak bölgesinde soğuk şekil verme sertleşmesine uğramış yapı tavlanamakta ve mukavemet özellikleri kısmen yitirilmektedir. Bu durum bütün ısıl işlem görmüş veya deformasyon sertleştirilmesi uygulanan alüminyum alaşımlarının kaynağında meydana

gelmektedir. Fakat SKK işleminde TIG ve MIG kaynaklarına göre bu mukavemet kayıpları daha sınırlı miktardadır [17].

N5 numunesi hariç, kaynak ilerleme hızı arttıkça, gerilme ve % uzama değerlerinin yükseldiği görülmektedir. En yüksek mukavemet değeri, %11,88 uzamaya karşılık gelen 173 N/mm^2 mukavemet değeriyle N4 numunesinde kaydedilmiştir. Bu değer ana malzemelerle karşılaştırıldığında AA1050'den yüksek (100MPa), AA5083 alaşımından (300MPa) ise oldukça düşüktür. Çekme sonucu oluşan kırılmaların tamamı, daha düşük mukavemet değerlerine sahip olan AA1050 tarafındaki TEB bölgesinde, tek taraflı boyun verme şeklinde meydana gelmiştir. İlerleme hızındaki artış ile devir başına taşınan ve geriye doğru ekstrüze edilen malzeme miktarı artmaktadır. Vida olukları yardımı ile karıştırılıp geriye doğru ekstrüze edilen malzeme miktarındaki artış, şiddetli ekstrüzyona yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak, birleşme bölgesinde (DKB) meydana gelen tane küçülme ve plastik deformasyonun kaynaklı bağlantının mekanik özellikleri üzerine olumlu etki yaptığı düşünülürse, bütün kırılmaların birleşme bölgesine komşu TEB bölgesinde meydana gelmesi gayet doğaldır. Çünkü iri taneli yapıya sahip bu bölgede tavlama etkisiyle süneklik artmaktadır. Ayrıca, kaynak ilerleme hızındaki artış, birleşme bölgesinde düşük sıcaklık oluşturarak [18], ITAB'ın daralmasına yol açmaktadır. Bu durum, mikroyapısal bozunumun derecesinin azalmasıyla, bağlantının mekanik davranışını olumlu etkileyeceği sonucunu doğurmaktadır.

N5 numunesinin N4 numunesinin altında bir mukavemet değerine ulaşması, çok yüksek ilerleme hızının (400 mm/dak), karıştırma kabiliyeti üzerinde olumsuz etki oluşturmasıyla doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü kaynak esnasında ara bölgede yüksek ilerleme hızıyla, birim zamanda daha fazla malzeme tabaka halinde taşınmaktadır. Bu durum kaynak ara bölgesinde yetersiz karışım oluşturarak, tabakalar arasında yerel çatlaklar oluşturması ve böylece kısmi mukavemet düşüşlerine yol açtığı düşünülmektedir. Bu yerel çatlakların varlığı, 400 mm/dak ilerleme hızıyla birleştirilen numunelerden alınan mikroyapı fotoğraflarının tamamında da tespit edilmiştir.



Şekil 6. N1, N2, N3, N4 ve N5 hızı numunelerine ait gerilme-uzama grafiği

4.Sonuçlar

- AA1050 ve AA5083 alüminyum alaşımları, alın pozisyonunda sabit devir (1400 dev/dak) ve sabit uç profilinde (konik vida) beş farklı ilerleme hızlarında, başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
- Kaynaklı bağlantıların ara kesitlerinden alınan mikroyapı incelemelerinde, bütün numunelerde birbirinden farklı olarak dört değişik yapı formu oluşmuştur. Bu bölgeler; Ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge (IEB), termo mekanik etkilenen bölge (TEB) ve dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) olarak tanımlanmıştır. DKB bölgesinde karıştırıcı ucun teması neticesinde oluşan dövme etkisiyle tanelerin TEB bölgesine nazaran daha incelendiği belirlenmiştir. Ayrıca komşu TEB bölgesinde ise DKB de oluşan aşırı sıcaklığın ve ekstrüzyonun etkisiyle tanelerin irileşerek dönme hareketine bağlı lokal deformasyon bantlarını oluşturduğu belirlenmiştir. Bu yapısal farklılıkların oluştuğu kaynak bölgesinin (ITAB), artan ilerleme hızı ile

daraldığı tespit edilmiştir. Ayrıca karıştırıcı uçta, dönme etkisiyle DKB bölgesinde soğan halkaları olarak tanımlanan mikroyapısal oluşumlara rastlanmıştır.

- Çekme deneylerinde en yüksek mukavemet değeri, N4 numunesinde 173 N/mm^2 gerilme ve %11,88 uzama olarak elde edilmiştir. Artan ilerleme hızının oluşturduğu daha düşük sürtünme sıcaklığı nedeniyle kaynaklı bağlantının mukavemet değerlerini kademeli olarak artırdığı belirlenmiştir. N5 numunesinde ise bu duruma aykırı olarak yüksek ilerlemenin aşırı deformasyona neden olmasıyla DKB bölgesinde görülen kısmi çatlak sonucu çekme değerlerinde bir miktar düşüş meydana gelmiştir.. Çekme deneylerinin tamamında oluşan kırılmalar, daha sünek yapıda olan AA1050 tarafında meydana gelmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde FÜBAP-1250 no'lu proje ile destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1] Thomas W.M., Nicholas E.D. Friction stir welding for the transportation industries, *Materials and Design* 1997; 18 4/6, 269–273.
- [2] Çam G., Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) –Al alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi, *Mühendis ve Makine*, 2005; 46, Sayı 541: 30-39.
- [3] Cabello M. A., Rückert G., Huneau B., Sauvage X. Comparison of TIG welded and friction stir welded Al–4.5Mg–0.26Sc alloy, *J. Mater. Process. Tech.* 2008; 197: 337-343.
- [4] Fujii H., Cui L., Maeda M., Nogi K., Effect of tool shape on mechanical properties and microstructure of friction stir welded aluminum alloys, *Mater. Sci. Eng. A* 2006; 419 : 25–31.
- [5] Oğuz B. Demirdışı metaller kaynağı metalurji-uygulama, Oerlikon Yayınları; 1990, İstanbul.
- [6] Çam G. Sürtünme karıştırma kaynağı ve uygulamaları. 9. *Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 2002; 450-458.

- [7] Elangovan K., Balasubramanian V., Influences of pin profile and rotational speed of the tool on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy, *Mater. Sci. Eng. A* 2007; 459 : 7–18.
- [8] Kurt A., Boz M., Özdemir M., Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 2004; 19 (2): 191-197.
- [9] Elangovan K., Balasubramanian V., Influence of tool pin profile and tool shoulder diameter on the formation of friction stir processing zone in AA 6061 aluminum alloy, *Mater Design*, 2008; 29: 362-373.
- [10] Murr L.E., Liu G., McClure J.C., TEM study of precipitation and related microstructures in friction-stir-welded 6061 aluminium, *J. Mater. Sci.* 1998; 33 : 1243–1251.
- [11] Özsoy M., Kaluç E., Sürtünen Eleman İle Birleştirme Kaynağının Esasları, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Sayı 513, 2002.
- [12] Kwon Y.J., Shigematsu I., Saito N., Dissimilar friction stir welding between magnesium and aluminum alloy, *Materials Letters*, 2008; 62: 3827-3829.
- [13] Rhodes C.G., Mahoney M.W., Bingel W.H., Spurling R.A. Bampton C.C., Effect of friction stir welding on microstructure of 7075 aluminium, *Scripta Mater.* 1997; 36 : 69–75.
- [14] Su J.-Q., Nelson T.W., Mishra R., Mahoney M., Microstructural investigation of friction stir welded 7050-T651 aluminum. *Acta Materialia*, 2003; 51: 713–729.
- [15] Lee W. B., Yeon Y. M. and Jung S. B., Evaluation of the microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6005 aluminum alloy, *Materials Science and Tech.* 2003; 19: 513-518.

[16] Çam G. Sürtünme karıştırma kaynaklı bir Al alaşımının içyapı ve mekanik karakterizasyonu. *Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 2003; 65-75.

[17] Taban E., Kaluç E., EN AW-5083-H321 alüminyum alaşımının MIG, TIG ve sürtünme karıştırma kaynaklı (FSW) bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özellikleri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 2005; 46, 541: 40- 51.

[18] Sarsılmaz F., Özdemir N., Özel S., Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen AA6061/AA7075 çiftinde karıştırıcı uç omuz genişliğinin mekanik özellikler üzerine etkisi, *Selçuk Üniv. Teknik Online Dergisi*, 2008; Cilt 7, No. 1.