

Atf İçin: İmak A, 2022. AZ63 Magnezyum Alaşımının Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2): 967-977, 2022.

To Cite: İmak A, 2022. Investigation of the Friction Welding Weldability of AZ63 Magnesium Alloy. Journal of Institute of Science and Technology, 12(2): 967-977, 2022.

AZ63 Magnezyum Alaşımının Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması

Anıl İMAK^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada, magnezyum alaşımlı anot çubuklarının (AZ63) sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla magnezyum alaşımlı çubuklar, sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilmiştir. Sürtünme kaynakları, 1800 dev dak⁻¹, 2000 dev dak⁻¹ ve 2200 dev dak⁻¹ devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminin ardından, yapılan kaynakların etkilerinin incelenmesi için mikro yapı incelenmeler ve mekanik testler yapılmıştır. Bu amaçla, kaynaklı birleştirmelerin mikro yapı incelenmeleri için SEM görüntüler alınmıştır. Mekanik dayanımlar için ise sertlik ölçme ve çekme testler gerçekleştirilmiştir. Çekme testi neticesinde en yüksek çekme kuvveti 2000 dev dak⁻¹ ile birleştirilen numunede 2969.68 N olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonunda, magnezyum alaşımlı anot çubukların sürtünme kaynak yöntemi ile problemsiz bir şekilde kaynak edilebildiği gözlemlenmiştir. Ancak SEM ve mekanik testler sonucunda en iyi birleşmenin 2000 dev dak⁻¹ parametresinden elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AZ63, sürtünme kaynağı, çekme testleri, kırılma yüzeyleri

Investigation of the Friction Welding Weldability of AZ63 Magnesium Alloy

ABSTRACT: In this study, the weldability of magnesium alloy anode bars (AZ63) by friction welding method was investigated. Friction welding was used to join magnesium alloy bars for this work. Friction welds were carried out at 1800 rpm, 2000 rpm and 2200 rpm. Microstructure analyses and mechanical tests were performed after the welding process to determine the effects of the welds. SEM pictures of the microstructure of the welded joints were acquired for this purpose. For mechanical strengths, hardness measurement and tensile tests were carried out. As a result of the tensile test, the highest tensile force was obtained as 2969.68 N in the sample combined with 2000 rpm. The magnesium alloy anode bars may be welded without any problems using the friction welding method, according to the experiment results. However, as a result of SEM and mechanical tests, it was seen that the best coupling was obtained from the 2000 rpm parameter.

Keywords: AZ63, friction welding, tensile testing, fracture surfaces

¹Anıl İMAK ([Orcid ID: 0000-0001-6091-1584](https://orcid.org/0000-0001-6091-1584)) Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Anıl İMAK, e-mail: aimak@bingol.edu.tr

GİRİŞ

Endüstriyel uygulamada kullanılan malzemelerde dayanım ve hafiflik önemli bir parametredir. Metalik malzemeler içerisinde en hafifi magnezyumdur. Ağırlık olarak magnezyum, alüminyumdan %36, demir ve çelikten %78 daha hafiftir. Buna bağlı olarak magnezyum esaslı kompozitlerin kullanımını her geçen gün artış göstermektedir. Magnezyum aynı zamanda mühendislik plastiklerine nazaran geri dönüşümü daha fazla olan bir malzemedir. Hafifliğinin yanında geri dönüşüm özelliği ile hammadde ve enerji kaynaklarının korunması için malzeme seçiminde önemli bir etkidir. Düşük ergime sıcaklığı ve iyi kaynak kabiliyetine sahip olan magnezyum, elektronik, otomotiv, uzay ve havacılık sanayisinde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır (Park ve ark., 2003; Koç, 2008; Bulut, 2009; Katı ve ark., 2012; Akgün ve ark., 2014).

Bu alaşımlar içerisinde anot çubukların birçok uygulamasının da var olduğu düşünüldüğünde bu çubukların sorunsuz bir şekilde birleştirilmelerinin de gerekliliğini ortaya koymaktadır. Magnezyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmelerinde birçok olumsuz sonuç ortaya çıkmaktadır bunların başlıcaları kaynak kırılmaları, kılcal çatlaklar, ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) sertliği ve tane irileşmesi gibi olumsuzluklardır. Bu olumsuzlukları minimize etmek maksadıyla sürtünme kaynağı tercih edilmektedir. Sürtünme kaynağı, eksenel düzlemde karşılıklı olarak bir biriyle hizalanmış temas eden iki parçadan biri belirli bir devirde dönerken, diğeri dönmesi engellenerek sabitlenir ve hidrolik bir basınç yardımı ile bastırılır. Temas eden yüzeylerde sürtünmeden dolayı mekanik enerji ısı enerjisine dönüşür ve ortaya çıkan ısı sonucu eksenel basınçla ara yüzeyde plastik deformasyonla yardımıyla yapılan bir birleştirme biçimidir(Kırık, 2012).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, magnezyum alaşımlı çubukların kaynak edilebilirliği ve sürtünme kaynağı ile ilgili çalışmaların olduğu görülmüştür. Bu çalışmalardan bazıları, Çalığılı ve ark. 2018, AZ63 ve AA6063 sürtünme kaynağıyla birleştirerek radyografik olarak incelemiştirlerdir. Kaynak işlemi için farklı yığıma basıncı, devir sayısı ve sürtünme basıncı uygulayıp geri kalan parametreleri sabit tutmuşlardır. X-Ray incelemeleri neticesinde uyguladıkları parametrelerin iki malzemenin birleşmesinde yetersiz olduğunu gözlemlemişlerdir. Akgün ve ark. 2014, Döküm yöntemi ile üretmiş oldukları AZ91 magnezyum alaşımının işlenebilirliğini incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından yapmış oldukları incelemede ilerleme hızının azalmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde de azalma gözlemlemişlerdir. Katı ve ark. 2012, AM50 ve AM60 magnezyum alaşımlarının sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliğini incelemiştirlerdir. Kaynak bölgelerinde makro ve mikro düzeyde çatlaklara, bağlantısız bölgelere rastlamamışlardır. Kırık ve Özdemir, 2012, sürtünme kaynağı ile birleştirdikleri AISI1040/DUPLEX paslanmaz çeliğin birleştirme aşamasında sürtünme süresinin etkisini incelemiştirlerdir. Mikroyapı analizi ve mekanik testler neticesinde sürtünme süresinin bağlantı mukavemetine önemli bir etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Torun, 2019, sürtünme kaynağıyla farklı süreler kullanarak saf bakır ve AZ91 magnezyum alaşımını birleştirmiştir. Mikroyapı ve mekanik analizler neticesinde sorunsuz bir kaynak gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Torun ve Çelikyürek, 2019, AZ91 ve Fe₃Al alaşımlarının sürtünme kaynağına sürtünme basıncının etkisini incelemiştirlerdir. Numuneleri silindirik olarak 8 mm çapında ve 40 mm uzunluğunda işlemişlerdir. Sürtünme kaynağı işlemleri 20, 40 ve 60 MPa sürtünme basınçlarında 12 sn sürtünme süresi, 100 MPa yığıma basıncı, 10 sn yığıma süresi ve 1000 rpm dönme hızı altında gerçekleştirmişlerdir. Optik ve mikroyapı incelemeleri neticesinde kaynak ara yüzeylerinde herhangi bir çatlak veya gözenek olmaksızın düzgün bir morfolojiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Mirzaei ve ark. 2020, AZ91 magnezyum alaşımının çift omuzlu sürtünme karıştırma kaynağı üzerine sayısal bir çalışma yapmıştır. Pim profilinin sıcaklık ve gerinim dağılımları, malzeme akışı, malzeme birleşmesi, tane boyutu ve

çekme özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Baradarani ve ark. 2019, Ultrasonik destekli sürtünme karıştırma kaynağının AZ91-C magnezyum alaşımının mikro yapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişler ve AZ91-C magnezyum alaşımı UaFSW tarafından başarıyla kaynaklamışlardır. 1400 dev dak⁻¹ takım dönüş hızı ve 40 mm dak⁻¹ hareket hızı uygulanarak kusursuz birleştirme gerçekleştirmişlerdir. Sarsılmaz ve ark. 2017, SCR 420/AISI 1040 çelik çiftlerini sabit sürtünme süresi ve yığma süresi ile üç farklı devir, yığma basıncı ve sürtünme basıncı ile sürtünme kaynağıyla birleştirmişlerdir. Kaynak ara yüzeyinde herhangi bir bağlantısız bölge, çatlak görünmemesinin yanı sıra artan devir sayısına bağlı olarak ısı tesiri altındaki bölgenin genişlemesi ve aşırı deformasyona uğramış alanda martenzit oluşumuyla birlikte sertliğin arttığını gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada, magnezyum alaşımlı AZ63 anot çubuklarının katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme işleminde üç farklı devir sayısı kullanılmıştır. Devir sayılarının birleştirme bağlantıları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için mikroyapı (SEM) analizleri ve mekanik testler gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada kullanılan AZ63 anot çubukları 18 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda ticari olarak Yıldırım Döküm Anot Sanayi firmasından temin edilmiştir. Kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. AZ63 kimyasal özellikleri

Malzeme	Alaşım Elementleri (%)							
	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Fe	Ni	Mg
AZ63	5.3-6.7	2.5-3.5	0.25-0.40	0.3	0.08	0.03	0.003	Kalan

Kaynak ile birleştirme işlemi yapılmadan önce ticari olarak temin edilen magnezyum alaşımlı anot çubukların birleşme yüzeyleri aseton ile temizlenerek kir ve pastan arındırılmıştır. Sürtünme kaynakları Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde Çizelge 2’de verilen kaynak parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Şekil 1’de sürtünme kaynak işlemlerinin yapıldığı kaynak makinesi verilmiştir.

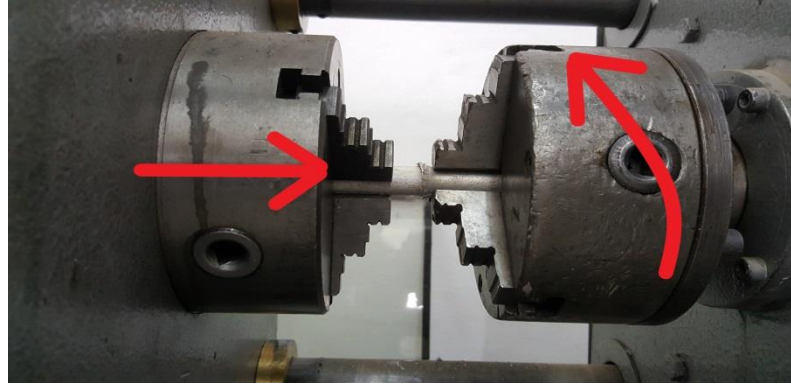
Çizelge 2. Numunelerin birleştirmelerinde kullanılan sürtünme kaynak parametreleri

Numune No	Devir Sayısı (dev dak ⁻¹)	Sürtünme Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığma Basıncı (MPa)	Yığma Süresi (sn)
S1	1800	6	40	80	12
S2	2000	6	40	80	12
S3	2200	6	40	80	12

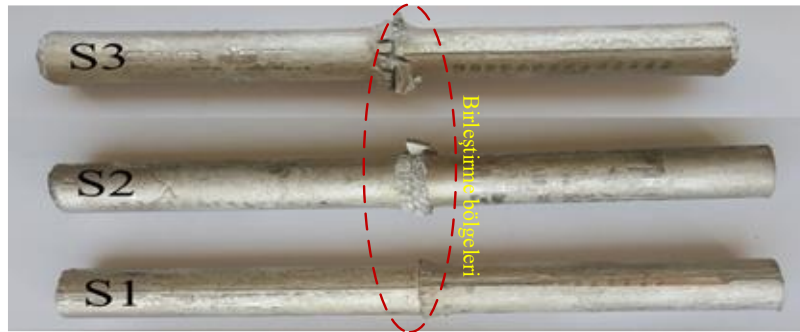


Şekil 1. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi

Birleştirilmek üzere eşleştirilen AZ63 anot çubuklar, Şekil 2’deki düzende, tezgâha bağlanmış ve Şekil 3’teki gibi numuneler elde edilmiştir.



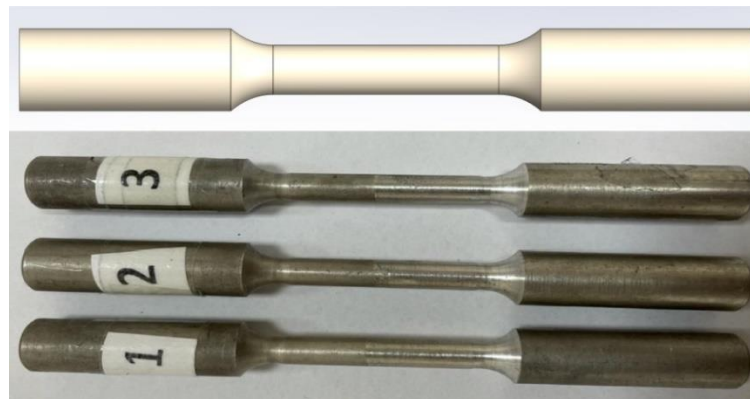
Şekil 2. Magnezyum alaşımlı anot çubukların tezgâha bağlanma şekli



Şekil 3. S1, S2 ve S3 nolu numuneler

Kaynak işleminin ardından, bağlantıların birleşme yüzeyinde oluşan yapısal değişimi incelemek için, magnezyum alaşımlı numuneler birleşme yüzeyine dik kesilip yüzeyleri 80-1200 mesh'lik zımpara ile zımparalanmasının ardından 3 μm 'lik Elmas pasta ile parlatılmış ve mikroyapı incelemeleri için Nital kimyasal dağlayıcı kullanılarak dağlama işlemi yapılmıştır. Daha sonra hazırlanan numunelerin mikroyapı incelemeleri için optik ve SEM incelemeleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Bingöl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarında AOB marka cihazda 20 gr yük altında 1 mm aralıklarla kaynak bölgesine dik kesitte Vickers (Hv) biriminde ölçümler alınmıştır. Ölçülen değerler bilgisayar ortamına alınarak mikrosertlik grafikleri oluşturulmuştur.

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen AZ63 çubukların mekanik özelliklerini incelemek için bütün numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Bunun için öncelikle çekme numuneleri CNC torna tezgâhında ASTM E8 standartlarına göre işlenmiştir. İşlenen numunelerin makro görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Çekme deneyleri, 50 000 N yük kapasitesine sahip SHIMADZU marka çekme cihazında, 1 mm dak^{-1} çekme hızı uygulanarak yapılmıştır. Ayrıca çekme sonrası kırık yüzey incelemeleri için SEM analizleri yapılmıştır.

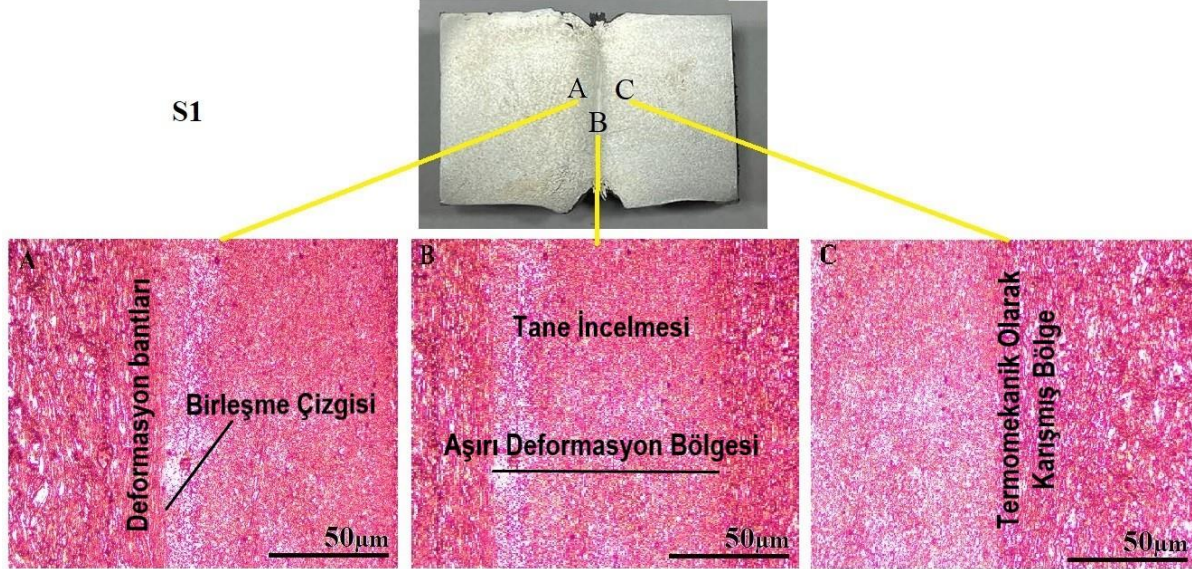


Şekil 4. SolidWorks çizimi ve CNC torna tezgâhında işlenmiş numunelerin makro görüntüsü

BULGULAR ve TARTIŞMA

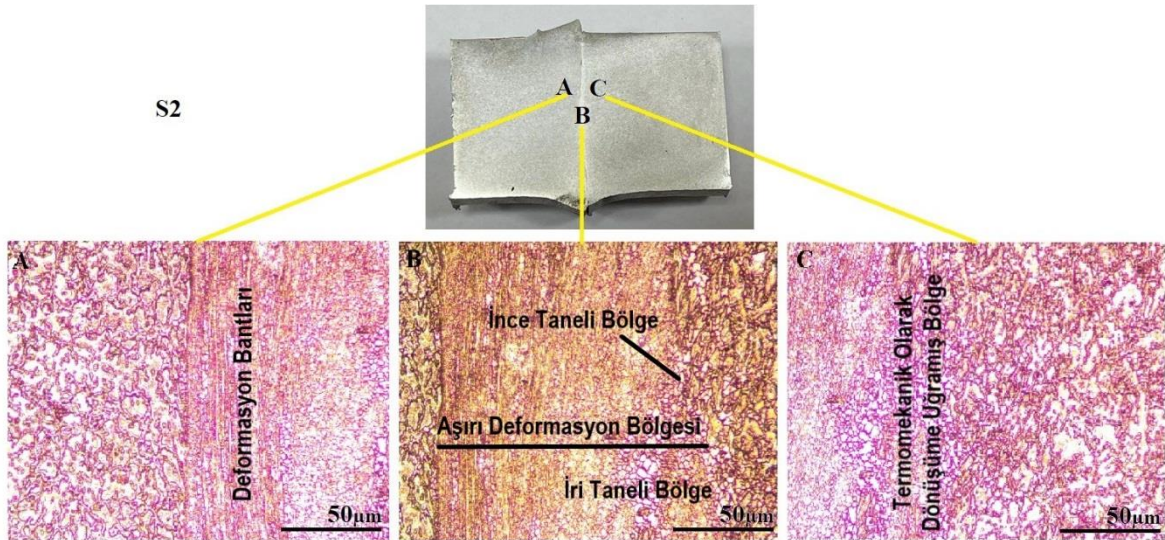
Mikroyapı İncelemeleri

1800 dev dak^{-1} devir sayısı ile birleştirilen S1 nolu numuneye ait sürtünme kaynak sonrası birleşme bölgesine ait optik görüntüler Şekil 5'te verilmiştir.



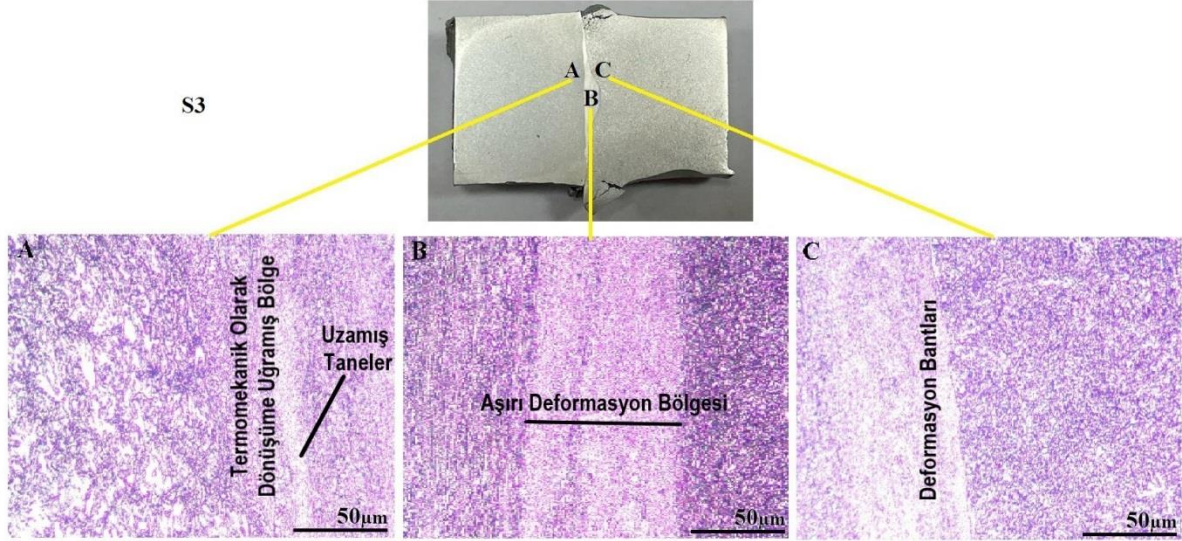
Şekil 5. S1 nolu numunenin optik görüntüsü

Optik resimlerde açıkça görüldüğü gibi devir sayısı ve sürtünme basıncına bağlı olarak meydana gelen plastik deformasyon etkisiyle dışarı taşan flanş miktarında bir farklılık olduğu gözlemlenmiş ve düşük devir sayısında flanş miktarının çok düşük olduğu açıktır. Ayrıca optik fotoğraflarından literatüre uygun üç farklı bölgenin var olduğu görülmüştür (Cetkin ve ark., 2019; Cetkin ve ark., 2020). Bu bölgeleri aşırı deformasyon bölgesi (ADB), termomekanik olarak karışmış bölge (TMOKB) ve esas malzeme bölgesi (EMB) olarak tanımlanabilir. ADB yaklaşık olarak 100 μm genişliğinde ve tane incelmeye maruz kalmıştır. Plastik deformasyon ve dönmenin etkisiyle deformasyon bantları aşırı deforme olmuş bölgenin hemen bitişiğinde görülmektedir (Kırık ve ark., 2013).



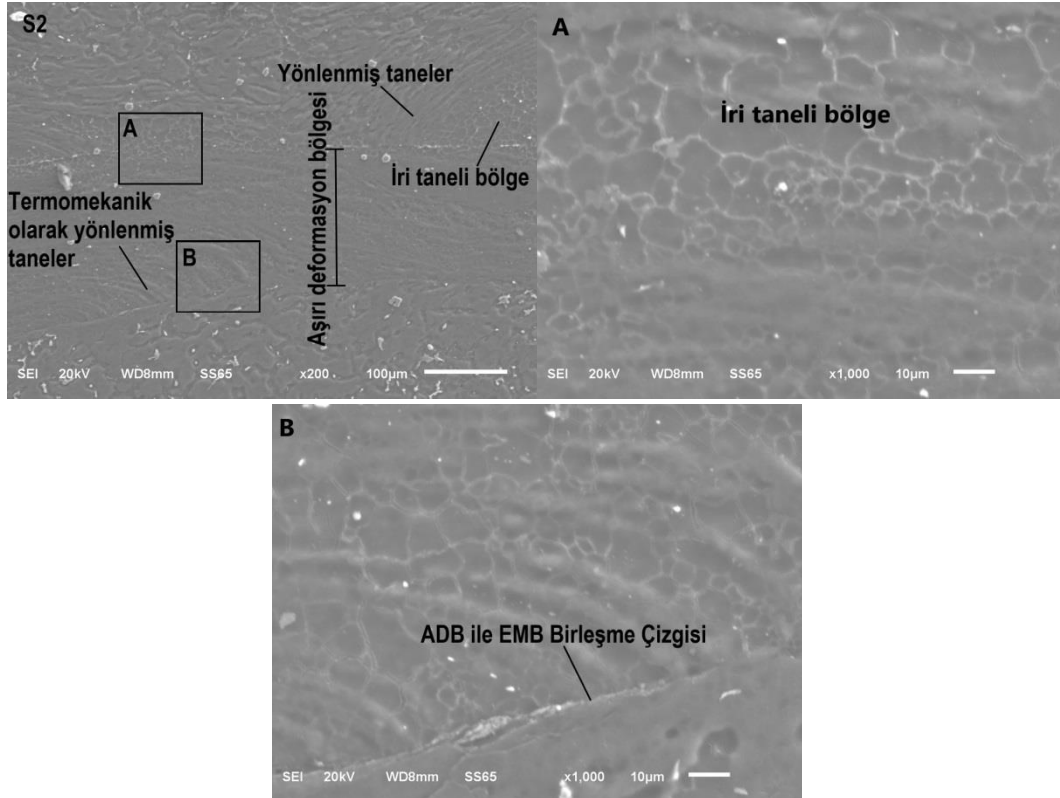
Şekil 6. S2 nolu numunenin mikroyapı optik görüntüsü

Devir sayısının 200 dev dak^{-1} artırılmasıyla birleştirilen S2 nolu numuneye ait mikroyapı optik görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi herhangi bir çatlak, bağlantısız bölge veya kaynak hatasının olmadığı görülmektedir. ADB'nin artan devir sayısı ile genişlediği ve kaynak ara bölgesinde birbirinden farklı iri ve ince taneli bölgelerin var olduğu görülmüştür.



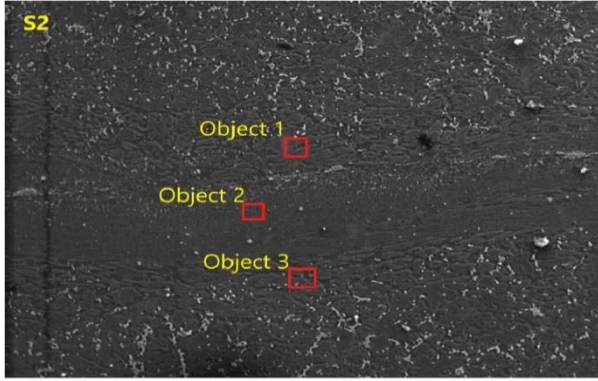
Şekil 7. S3 nolu numunenin optik resmi

$2200 \text{ dev dak}^{-1}$ kullanılarak birleştirilen S3 nolu numuneye ait mikroyapı resimleri Şekil 7'de verilmiştir. Artan devir sayısı ile sürtünme basıncından kaynaklı birleştirilen numunelerin temas yüzeylerinde viskozitesi artan malzeme daha kolay dışarı doğru flanş olmasından kaynaklı ADB'de bir daralmanın var olduğu gözlemlenmiştir. Devir sayısının yüksek olması ve aksel basıncın etkisiyle ayrıca tane incelmeleriyle beraber uzamış tanelerinde var olduğu görülmüştür (Sarsılmaz ve ark., 2017).



Şekil 8. S2 nolu numunenin SEM görüntüsü

Sürtünme kaynağıyla birleştirilen S2 nolu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 8’de verilmiş olup herhangi gözenek bağlantısız bölge ve çatlak görülmemiştir. Ancak termomekanik etki ile sürtünme ve aksel basınçtan kaynaklı tercihli yönelmiş tane grupları görülmektedir. SEM görüntülerinden iri taneli bölgelerin varlığı net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca birleşme bölgesinin daha yüksek büyütmelelerdeki görüntüleri Şekil 8. A ve B de görüldüğü birleşme çizgisi açık bir şekilde görülmüştür.



Object 1

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	28.68	2.162	15.959	wt.%	
Mg	Ka	554.51	8.679	73.878	wt.%	
Al	Ka	26.67	2.148	9.051	wt.%	
Si	Ka	1.63	0.907	0.456	wt.%	
Mn	Ka	1.29	0.738	0.380	wt.%	
Ni	Ka	0.63	0.466	0.276	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Object 3

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	23.86	1.959	19.588	wt.%	
Mg	Ka	329.57	6.698	69.265	wt.%	
Al	Ka	19.35	1.807	9.666	wt.%	
Si	Ka	1.33	0.765	0.553	wt.%	
Mn	Ka	1.64	0.769	0.732	wt.%	
Ni	Ka	0.29	0.553	0.196	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

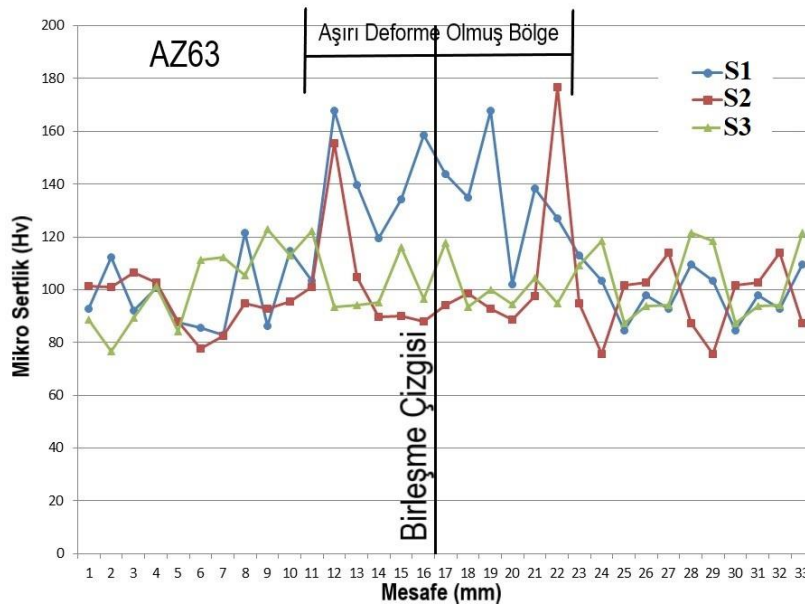
Object 2

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	16.24	1.664	28.741	wt.%	
Mg	Ka	102.94	3.770	54.738	wt.%	
Al	Ka	13.72	1.502	14.064	wt.%	
Si	Ka	1.09	0.635	1.000	wt.%	
Mn	Ka	0.53	0.411	0.544	wt.%	
Ni	Ka	0.60	0.282	0.913	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 9. S2 nolu numunenin EDS analizi sonuçları

Sürtünme kaynaklı bağlantıya ait Şekil 9’da verilen EDS analiz sonucunda ADB’nin hemen bitişiğinde alınan object 1 nolu bölgeden object 2’ye göre oksijen miktarı düşüktür. Ayrıca object 3’ün de ADB’e göre oksijen miktarının düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ara bölgedeki sıcaklığın yüksek olmasından dolayı bu bölgedeki Mg’nin O’ya olan eğiliminin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca ADB’de Mg oranının düştüğü, Al miktarının arttığı görülmüştür.

Mikrosertlik analizi

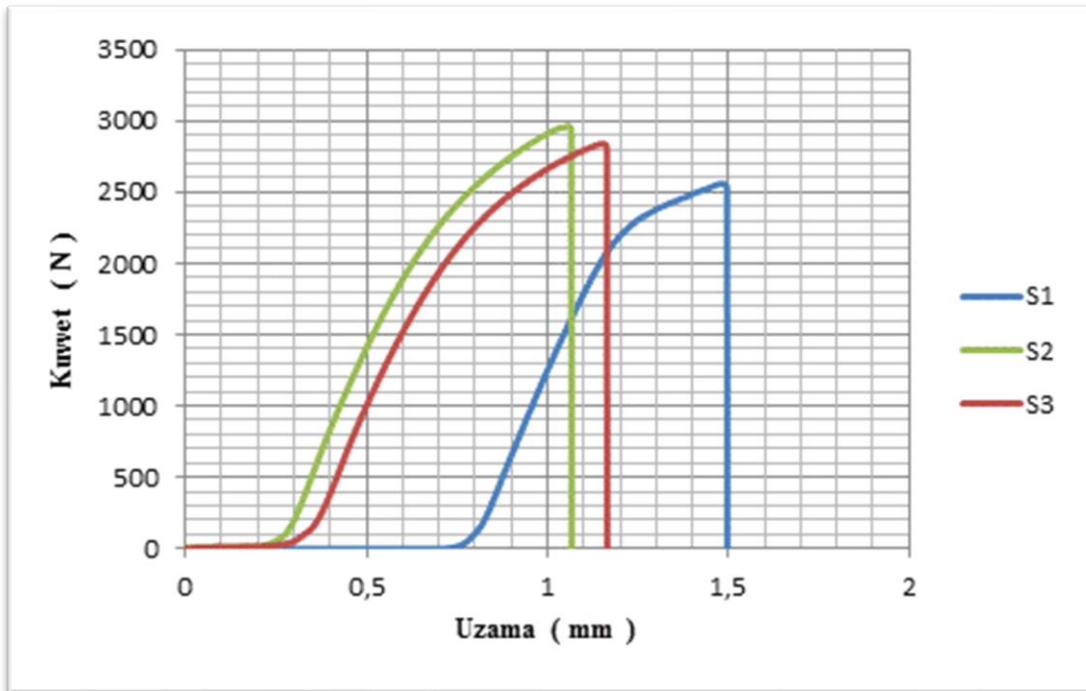


Şekil 10. S1, S2 ve S3 nolu numunelerin mikrosertlik sonuçları

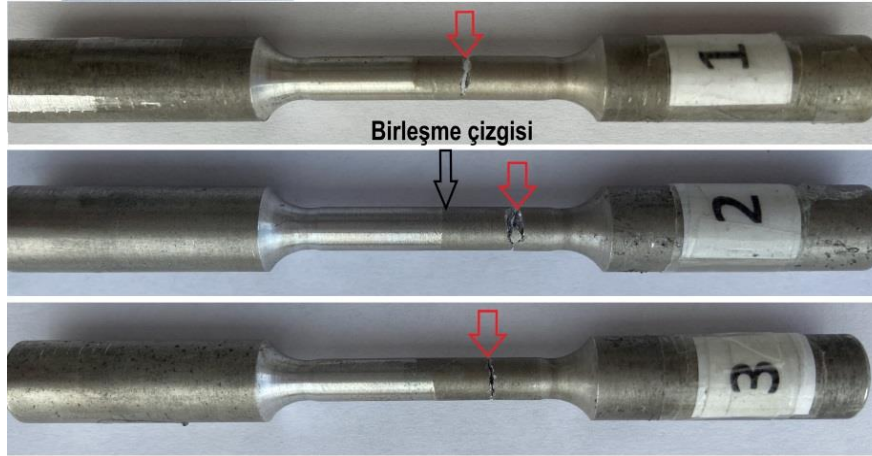
Birleştirilen magnezyum alaşımının sertlik grafikleri Şekil 10'da incelendiğinde neredeyse her üç numunede de sertliğin ara kesitte yüksek olduğu görülmektedir. Birleşme çizgisinin hemen bitişiğinde bir miktar düşüş sergilese de hemen akabinde 5 mm mesafeye kadar yüksek olduğu ardından esas malzemenin sertliğine inmiştir. Düşük devir sayısında birleştirilen S1 ve S2 nolu numunelerde sertliğin aşırı deforme olmuş bölgede en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. S1 ve S2 nolu numunelerde ADB'lerin geniş olmasından da kaynaklanan sertlikte yüksek olmuştur ve en yüksek sertlik 176.8 Hv ölçülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalarda incelendiğinde kaynak bölgesinde yüksek sıcaklığa çıkılmasından kaynaklı meydana gelen yapısal değişim ve metaller arası bileşiklerden kaynaklanan bir sertlik artışının var olduğu aktarılmaktadır (Kırık ve ark., 2013).

Çekme testi ve kırık yüzey analizi

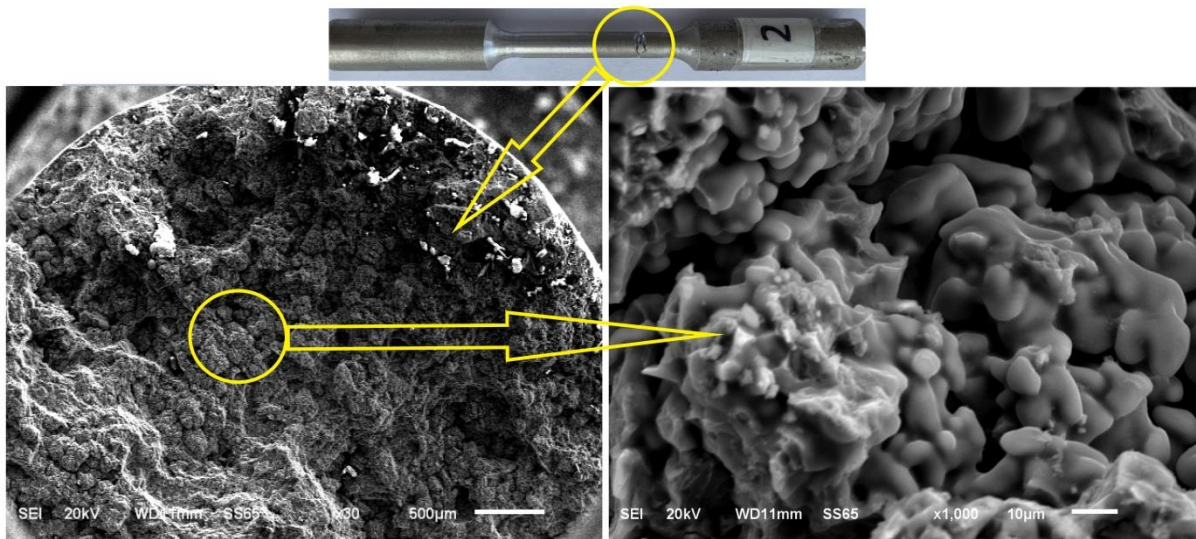
Birleştirilmiş numunelerin kuvvet-uzama diyagramı Şekil 11'de ve çekme testinden sonraki makro resimleri Şekil 12'de verilmiştir. Çekme dayanımları incelendiğinde en yüksek çekme kuvveti S2 nolu numunede 2969.68 N olarak elde edilmiştir. Çekme sonrası makro fotoğraflarından S1 ve S3 nolu numuneler kaynak bölgesine yakın ancak S2 nolu numunede kaynak bölgesi dışında herhangi bir boyca uzama göstermeden gevrek kırılma örneği sergilemiştir. Artan devir sayısına bağlı olarak çekme dayanımlarında artış olmuştur. Bu sonuçlardan devir sayısını sürtünme kaynağı ile birleştirilen AZ63 magnezyum alaşımının dayanımları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenilebilir.



Şekil 11. Numunelerin kuvvet-uzama diyagramı



Şekil 12. Çekme testi sonrası sürtünme kaynaklı numunelerin makro resimleri



Şekil 13. S2 nolu numunenin kırık yüzey SEM görüntüleri

2000 dev dak⁻¹ kullanılarak birleştirilen S2 nolu numuneye ait çekme testi sonrası kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 13'te verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi kırılma mekanizması gevrek bir kırılma davranışı sergilemiş ve SEM yüzeylerinde ani kopmalar olduğu gözlemlenmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, magnezyum alaşımlı AZ63 anot çubuklarının sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilebilirliği incelenmiştir. Bu amaçla AZ63 anot çubukları 1800, 2000 ve 2200 dev dak⁻¹ kaynak parametrelerinde kaynak edilmiştir. Parametrelerin etkilerinin incelenmesi için kaynaklı birleştirmelerin SEM analizleri ve mekanik testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1800, 2000 ve 2200 dev dak⁻¹'da sürtünme kaynağıyla birleştirilen AZ63 çubukların kaynak bölgelerinde herhangi bir çatlak veya birleşmeme sorunuyla karşılaşılmamıştır.
- Numunelerin mikroyapı sonuçlarında literatüre uygun, aşırı deformasyon bölgesi (ADB), termomekanik olarak karışmış bölge (TMOKB) ve esas malzeme bölgesi (EMB) olmak üzere üç farklı bölge görüntülenmiştir.
- Artan devir sayısına bağlı olarak numunelerde taşan flanş miktarında bir farklılık olduğu ve artış gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

• Mikrosertlik analizlerinde üç numunede de sertliğin ara kesitte yüksek olduğu görülmektedir. Düşük devir sayısında birleştirilen S1 ve S2 nolu numunelerde sertliğin aşırı deforme olmuş bölgede en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. En yüksek sertlik değeri S2 nolu numunede 176.8 Hv olarak tespit edilmiştir.

• Çekme testi sonrası makro fotoğrafları incelendiğinde S1 ve S3 nolu numuneler kaynak bölgesine yakın ancak S2 nolu numunede kaynak bölgesi dışında gevrek kırılma gerçekleşmiştir. Artan devir sayısına bağlı olarak çekme dayanımlarında artış olmuştur. Maksimum çekme kuvveti 2000 dev dak⁻¹ ile birleştirilen S2 nolu numunede 2969.68 N elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akgün M, Özger G, Ulaş HB, 2014. Döküm Yöntemiyle Üretilmiş AZ91 Magnezyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30(5): 323-328.
- Baradarani F, Mostafapour A, Shalvandi M, 2019. Effect of Ultrasonic Assisted Friction Stir Welding on Microstructure and Mechanical Properties of AZ91-C Magnesium Alloy, Transactions Nonferrous Metals Society of China, 29: 2514-2522.
- Batı S, Kılıç M, Kırık İ, 2016. Friction Welding of Dissimilar AISI 304 and AISI 8460 Steels, European Journal of Technic, 6(2):79-86.
- Bulut R, 2009. Magnezyum AZ31 Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi(Basılmış).
- Cetkin E, Celik YH, Temiz S, 2019. Microstructure and Mechanical Properties of AA7075/AA5182 Joined by FSW, Journal of Materials Processing Technology, 268: 107-116.
- Cetkin E, Celik YH, Temiz S, 2020. Effect of Welding Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of AA7075/AA5182 Alloys Joined by TIG and MIG Welding Methods, 42(34):34.
- Çalgülü U, Türkmen M, Katı N, Kalli R, 2018. Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş AZ63-AA6063 Alaşımının Radyografik Olarak İncelenmesi, The 1st International Engineering and Technology Symposium (IETS'18), 3-5 Mayıs, Batman.
- Katı N, Akkaş M, Kırık I, Ozan S, 2012. AM50/AM60 Magnezyum Alaşım Çiftinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması, 2. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı Ve Sergisi, 23-25 Mayıs, Ankara.
- Kırık I, 2012. Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 1040/AISI 304L Çelik Çiftinin Elektrokimyasal Korozyon Davranışının Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi(Basılmış).
- Kırık I, Özdemir N, 2012. Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmiş AISI 1040/DUPLEX Paslanmaz Çelik Çiftinde Sürtünme Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 16(2):69-75.
- Kırık I, Özdemir N, Çalgülü U, 2013. Effect of Particle Size and Volume Fraction of the Reinforcement on the Microstructure and Mechanical Properties of Friction Welded MMC to AA6061 Aluminum Alloy, Kovove Materials, 51: 221-227.
- Koç E, 2008. Alaşım Elementlerinin Magnezyum Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi(Basılmış).
- Mirzaei M, Asadi P, Fazli A, 2020. Effect of Tool Pin Profile on Material Flow in Double Shoulder Friction Stir Welding of AZ91 Magnesium Alloy, International Journal of Mechanical Sciences, 183:1-35.

- Park SHC, Sato YS, Kokawa H, 2003. Effect of Micro-Texture on Fracture Location in Friction Stir Weld of Mg Alloy AZ61 During Tensile Test, Scripta Material, 49.
- Sarsılmaz F, Kırık I, Ay M, 2017. Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş SCR 420/ AISI 1040 Çelik Çiftlerinin Arayüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(2): 51-56.
- Torun O, 2019. Saf Bakır Ve AZ91 Magnezyum Alaşımının Sürtünme Kaynağı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(2):110-115.
- Torun O, Çelikyürek I, 2019. The effect of The Friction Pressure on the Friction Welding of AZ91 and Fe₃Al Alloys, The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering, Mathematics, 7: 175-180.