

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN MAGNEZYUM LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aydın ŞIK

Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü-Ankara, aydins@gazi.edu.tr

ÖZET

Çağımızın en yeni metali olan magnezyum endüstri ve teknolojiye bağlı olarak kullanım alanı genişlemektedir. Hafif, dayanıklı ve uzun ömürlü olması nedeni ile otomotiv ve uzay-uçak sanayilerinde magnezyum kullanımı artmaktadır. Magnezyumdaki bu gelişmelere paralel olarak kaynak tekniğinde de bir takım gelişmeler olmaktadır. Kaynaktan sonra istenilen mekanik özellikler elde edilemez. Magnezyum ve alaşımlarının ergitmeli kaynak yöntemleriyle kaynak yapılmasında bazı güçlükler olmakla birlikte bazılarının kaynağında ise ergitmeli kaynak yöntemleri kullanılmamaktadır. Bir malzemenin kaynak edilebilirliği, o malzemenin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayan ve o malzemeden parça üretim yönteminin tayin edilmesinde önemli rol oynayan bir özelliğidir. Sürtünme ve karıştırma kaynağı yöntemi kullanılarak magnezyum levhalar başarılı bir şekilde kaynak edilmişlerdir. Kaynaklı bağlantıları taşıt hareket halinde iken çeşitli mekanik zorlanmalara özellikle dinamik yüklerle maruz kalmaktadırlar. Dinamik yükler nedeni ile kaynak bölgelerinde kırılmalar meydana gelmektedir. Levhalar alın pozisyonunda birleştirilerek, oluşan bağlantının mekanik özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum alaşımları, kaynak, sürtünme karıştırma kaynağı, eğme yorulması

EXAMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF MAGNESIUM PLATES JOINED BY FRICTION STIR WELDING

ABSTRACT

The use of magnesium, which is the latest metal of our age, is increasing in parallel with the advances in industry and technology. Due to its lightness, durability and long life, its usage is increasing in the automotive and space-craft industries. As a result of the advances in magnesium use, there are innovations in welding methods as well. The desired mechanical properties can't be obtained after welding. While there are some difficulties in fusion welding of magnesium material and its alloys, some of them can't be joined by fusion welding at all. Weldability of a material is the property that plays an important role in enabling its wider use and determines the method of producing products out of this material. Magnesium plates were joined successfully by friction stir welding method. Welded joints are exposed to various mechanic stresses and especially to dynamic loads. Cracks are observed to occur due to dynamic loads. Plates were joined in butt position and the mechanical properties of the occurring joint are examined.

Key Words: Magnesium alloys, welding, friction stir welding, bending fatigue

1. GİRİŞ

Magnezyum, hafifliği ve mukavemeti nedeni ile endüstride kullanımı oldukça yaygın olan bir metaldir. Otomotiv ve uzay-uçak sanayilerindeki ağırlık tasarrufuna yönelik arayışlarda magnezyum metali 1.74 g/cm^3 olan düşük yoğunluğu ile mühendislik uygulamaları açısından en hafif yapısal metal olarak ön plana çıkar. Alüminyumdan % 36, çelikten ise % 78 oranında daha hafiftir. Geçen on yıl boyunca magnezyum alaşımlarının kullanımı her yıl yaklaşık %15 artış göstermiş ve otomobil endüstrisinde Mg uygulamaları 30.000 ton/yıl değerinden 130.000 ton/yıl değerine ulaşmıştır. Bu artış, ağırlık tasarrufunun çok daha önemli olduğu uzay/uçak uygulamalarındaki potansiyeli de işaret eder. Çünkü aynı miktardaki ağırlık tasarrufunun otomobilde sağladığı parasal tasarruf 1 ise ticari bir uçakta 100, savaş uçağında 1000, uzay uygulamasında ise 10.000'dir [1].

Günümüzde magnezyum alaşımlarına olan en büyük ilgi otomotiv sektöründen gelmektedir. Bunun başlıca nedeni, hafif magnezyum alaşımlarının kullanımı ile araç ağırlığında yapılan azalmanın yakıt ekonomisi sağlaması ve bunun sonucu olarak gaz emisyonlarının da azaltılabilecek olmasıdır. Özellikle otomotivde hafif metalik malzemelere yönelik sadece günümüzün otomobilleri ile ilgili değildir. Güneş enerjisi, elektrik veya hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları ile çalışacağı öngörülen geleceğin otomobillerinde hafiflik bugünküne kıyasla çok daha önemli bir gereksinimdir. Önümüzdeki yıllarda binek otomobillerde ulaşılması planlanan yakıt tüketimi 3 litre/100 km gibi zorlu bir hedeftir ve bunun için otomobil ağırlığında yaklaşık %30'luk bir azalma gerekmektedir. Plastikler karşısında magnezyum, geri dönüşebilirliği ile avantaj kazanırken, daha yüksek döküm hızlarında üretim isteyen otomotiv sektörüne yönelik basınçlı döküm uygulamalarında ise alüminyuma rakip olabilmektedir.

Daha az zararlı gaz emisyonu daha az yakıt tüketimi, daha az yakıt tüketimi daha düşük ağırlık, daha düşük ağırlık ise daha hafif malzeme demektir.

Otomobil endüstrisinde yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla yıllardan beri çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla araçlarda lastiklerde sürtünmenin azaltılması, araç ağırlığında azalma, motor ve transmisyon verimliliğinin artırılması, araç ön alanının küçültülmesi gibi yaklaşımlarla çalışılmaktadır. Örneğin bunlardan en önemlisi olan araç ağırlığında yaklaşık 50 kg'lık bir azalma litrede 80-200 metrelik bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır [2-4]. Araç ağırlığını azaltmanın en kolay yolu, düşük yoğunluklu malzeme avantajını kullanmaktır [5-10].

Günümüzde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde magnezyum en hafif olanıdır.

Yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzetilirken, bu malzeme bir metalin mekanik özelliklerine sahiptir. Ayrıca magnezyum mühendislik plastiklerine göre çok daha katı ve çok daha fazla geri dönüşümü mümkün bir malzemedir [11-14].

Otomotiv endüstrisinde kullanılacak malzemeler arasında plastiklerle karşılaştırıldığında daha katı ve daha çok geri dönüşümü mümkün, alüminyum ve çelik ile karşılaştırıldığında çok daha hafif ve yeterli dayanıma sahiptir.

Yüzyılımızın en genç metali olan magnezyum insanların ihtiyaçlarını karşılamak için, endüstri ve teknolojideki ilerlemelere paralel olarak kullanım alanı genişlemekte ve gittikçe önemi artmaktadır. Daha hafif, daha mukavemetli, daha verimli, daha uzun ömürlü ve sonuçta daha ekonomik ürünler için Magnezyum ve alaşımları ilk tercih sıralarında yer almaktadır. Magnezyumdaki bu gelişmelere paralel olarak kaynak tekniğinde de bir takım gelişmeler olmaktadır. Magnezyum levhaların kaynağı ergitme kaynak yöntemleri ile kaynak yapmak zordur. Bu nedenle birleştirilen levhalarda istenilen mekanik özellikler elde edilemez.

Bu çalışmada, yeni bir kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağının farklı parametreleri seçilerek endüstride büyük öneme sahip olan magnezyum malzemelerin sağlam, güvenli ve dayanıklı birleştirmeler yaparak ülkemize ekonomik katkı sağlayacağı amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, VİG makine firması tarafından haddeleme yöntemi ile üretilen 4 mm kalınlığındaki magnezyum AZ31 serisi kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin Tablo 1 ve Tablo 2'de kimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1 AZ31 malzemesinin kimyasal özellikleri

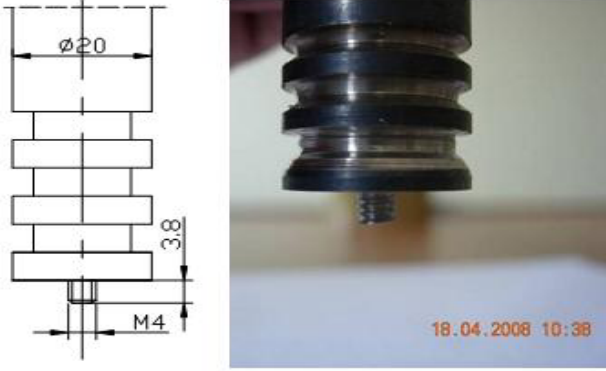
Alaşım	Mg	Al	Zn	Mn	Si<	Fe	Cu<	Ni<	CA	Diğer
AZ31	94-96	2,5-3,5	0,6-1,4	0,2-1,0	0,05	0,002	0,01	0,001	0,04	0,01

Tablo 2 AZ31 malzemesinin mekanik özellikleri

Alaşım	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% uzama	Sertlik (HB) (Kg/mm ²)
AZ31	182	213	3.97	51,3

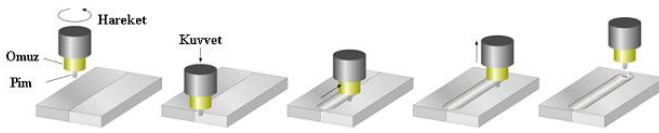
Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan pim Şekil 1'de verilen ölçülerde 2344 sıcak iş takım çeliğinden yapılmıştır. Frezeye bağlanan kısım: çapı 20 mm, boyu 100 mm'dir. Karıştırıcı uç (pim) malzemesi, ergime derecesi magnezyum malzemenin yaklaşık üç katı olan 2344 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiştir. Bunun için 2344 sıcak iş takım

çeliğinden pim istenilen ölçüde kesilerek; daha sonra tornada belirlenen ölçülere getirilmiştir. İstenilen ölçülere getirilen pimin vida uçları M4 paftası ile çekilerek helisel diş açılmıştır (Şekil 1). Isıl işlemler sonucunda karıştırıcı ucun (pim) sertlik değeri HRC 55 Rockwell olması sağlanmıştır.



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan pim

Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılacak pimplere; frezeyle bağlanan bölüm ile vida açılan bölüm arasında kanalları açılmıştır. Bunun sebebi, kaynak sırasında pimin hava ile temas alanını artırarak sürtünmeden dolayı oluşan ısının tahliyesini kolaylaştırmaktır. Omuz kaynak işleminde her iki levhanın üzerine oturduğu kısımdır (Şekil 1 ve Şekil 2). Sürtünme karıştırma kaynak ucunun omuz kısmı, birleştirilecek her iki levha yüzeyine sürtündüğünden, sürtünme karıştırma kaynağında kritik olan sürtünme ısısının elde edilmesinde rol oynamaktadır. Kaynak dikişini üstten örterek, kaynak esnasında hamur kıvamına gelen ve ucun dönmesinden dolayı yukarı doğru hareket eden malzemenin hareketini kısıtlar; bu durumda malzeme omuz tarafından aşağı doğru itilir (Şekil 2).



Şekil 2 Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanması [15]

Sürtünme karıştırma kaynakları yarı otomatik bir freze yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı işlemi magnezyum alaşımı malzemeye kaynak işlemi öncesinde herhangi bir oksit giderme işlemi yapılmamıştır. Sürtünme kaynağına tabi tutulacak levhalar kaynaklanacak kenarları temas edecek tarzda freze tezgahı tablasına bağlama pabuçları yardımıyla bağlanmıştır. 2344 sıcak iş takım çeliği malzemeden özel olarak torna edilmiş 20 mm anma çaplı sürtünme aparatı frezenin düşey miline monte edilerek, sürtünme karıştırma kaynağı Tablo 3'te verilen kaynak parametreleri kullanılarak magnezyum alaşımı levhalara uygulanmıştır.

Tablo 3 Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan kaynak parametreleri

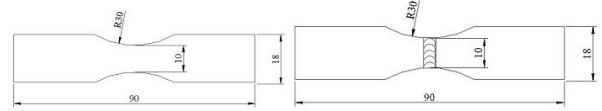
Deney Grupları	Devir Sayısı (dev/dak)	Kaynak İlerleme Hızı (mm/dak)
1.	1000	100
2.	1500	100
3.	2000	100

2.1. Uygulanan Deneyler

2.1.1. Eğmeli Yorulma Deneyleri

Yorulma deneylerinde kullanılan numuneler, kaynak edildikten sonra yorulma deney makinasının özelliklerine uygun olan standard boyutlarda 6-8 adet kesilerek freze de istenilen boyutlara getirilmiştir. Kullanılan numunelerin boyutları Şekil 3.'te gösterilmiştir.

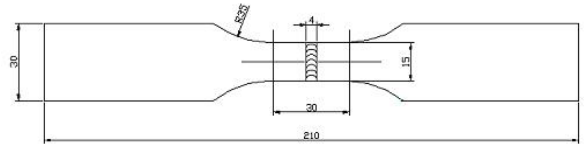
Eğmeli yorulma deneyleri sonucu elde edilen değerler ve Wöhler eğrileri en yüksek gerilmeye karşılık çevrim sayısı logaritmik işaretlenerek çizilmiştir. Bir defaya mahsus mukayese amaçlı esas metalden ve sürtünme karıştırma kaynağının her bir parametresi için 6-8'er adet numune hazırlanarak yapılmıştır. Tüm deneylerde sınır çevrim sayısı olarak literatürde tavsiye edilen titreşim sayısı $N=2 \times 10^6$ alınmıştır [16].



Şekil 3 a) kaynak edilmemiş b) kaynaklı malmelerden çıkartılan eğmeli yorulma deney numuneleri

2.1.2. Çekme Dayanımı Deneyleri

Çekme deneyleri, yorulma numuneleri gibi hazırlanarak kaynaklı olanlar TS 138'e [EN 10002-1] göre kaynak sağlamlığına ait çekme deneyleri ise TS 287'ye (EN 895) uygun olarak yapılmıştır. Her bir deney için 3 numune hazırlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4 Çekme deney numuneleri

2.1.3. Sertlik Ölçümleri

Sürtünme karıştırma kaynağı kullanılarak yapılan kaynaklardaki sertliklerin nasıl ölçüldüğü Şekil 5'te gösterilmiştir. Tüm kaynaklı bağlantılarda alınan numuneler üzerinde sertlik ölçme cihazıyla bir hat boyunca sertlik taraması gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçülürken; esas metal, ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) ve kaynak metali değerleri kaynak orta çizgisine göre çift taraflı mümkün olduğu ölçüde simetrik aralıklarla taranarak alınmıştır.



Şekil 5 Sertlik ölçme aralıkları ve bölgeleri

3.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Eğmeli Yorulma deneyleri

Şekil 6'da kaynak yapılmamış esas malzemeden ve sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kopma yerleri gösterilmiştir.



Şekil 6 a) Esas malzeme, b) sürtünme karıştırma kaynağı numunesinin kopma bölgeleri

Hazırlanan numunelere uygulanan yorulma dayanımı sonrasında kırılan deney parçaları incelenerek yorulma çatlaklarının oluştuğu yer saptanmıştır. Şekil 6 a)'da esas metalden alınmış numunelerin yorulma deneyi sonrası kırılma şekli gösterilmiştir. Esas metale ait numunelerde yorulma çatlama kesitin ince olduğu bölgede oluşmuştur [15-18].

Şekil 6 b)'de sürtünme karıştırma kaynaklı numuneden çıkartılan yorulma deneyi sonrası kırılma şekli görülmektedir. Bu tür bağlantıların kırılma bölgesi incelendiğinde kırılmanın bağlantının en zayıf ve hassas bölgesi olan ısıdan etkilenmiş bölgede meydana geldiği görülmüştür. Şekilde de görüldüğü gibi kopma çentikli olan bölgede kopmamıştır. Bu da kaynağın sağlam yapıldığını göstermektedir. Çentik yorulmada en büyük etken olmasına rağmen çentikli kısımda kopma meydana gelmemiştir. Bu oluşumda gayet normal olup bu konuda çalışan araştırmacıların deney sonuçları ile uyum halindedir. Kaynak dikişinde kopan numuneler ise değerlendirme dışı bırakılmıştır [15-18].

Şekil 7'de sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen levhalarda yapılan numunelerin yorulma dayanımı değerleri karşılaştırmalı olarak tek diyagramda verilmiştir. Burada yorulma dayanımı 1500 dev/dak-100 mm/dak ile 1000 dev/dak-100 mm/dak'ın yorulma değerleri birbirine yakın çıktığı görülmektedir. 2000 dev/dak-100 mm/dak'da en düşük değer çıkmıştır. 2000 dev/dak-100 mm/dak'da diğer parametrelere göre yüksek dönme ve yavaş ilerleme nedeni ile malzemeye ısı girdisi fazla olmuştur.

Yüksek hızla yapılan kaynaklardaki yüksek soğuma hızlarından dolayı mukavemetlendirici partiküllerin kısmen tekrar çökmesi nedeni ile mukavemet özelliklerine olumsuz etki etmektedir [19].

Isı girdisinin fazla olması nedeni ile kaynaklı bağlantının ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) genişlemekte bu da bağlantının yorulma dayanımını düşürmektedir [15,16, 20].

Malzemeye ısı girdisini arttırdığı, ısıdan etkilenen bölgenin genişlediği ve sertlik değeri düştüğü için yorulma dayanımı miktarının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni; kaynak ilerleme hızı sabit iken artan devir hızlarında, malzemeye ısı girdisi artmaktadır. Kaynaklı bağlantının ısıdan etkilenmiş bölgesinde mukavemet artırıcı partiküller (bakır, silisyum, vb.) malzeme içinde daha kaba (inhomojen) şekilde çökme oluşturmaları [19, 21, 22]. Buda bağlantının yorulma dayanımının düşmesine neden olur. Devir hızı artırıldığında, malzemeye giren ısı miktarı artabilmekte ve böylece ısıdan etkilenmiş bölgenin genişliği karıştırıcı uç devir hızı ve kaynak ilerleme hızı gibi değişken parametrelerle kontrol edilebilmektedir.

Şekil 8'de sürtünme karıştırma kaynağı numuneleri kendi aralarında bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda ilerleme hızları sabit dönme hızları artırıldığında çekme mukavemeti değerlerinin düştüğü görülmüştür. Sürtünme karıştırma kaynak parametrelerinin çekme mukavemetine etki ettiği görülmektedir. Karıştırıcı ucun devri artırıldığında 2000 dev/dak-100 mm/dak'daki numunelerin kaynak dikişi kenarlarında çökme ve yığılma oluştuğu tespit edilmiştir. Düşük devirlerde ısı girdisi azaldıkça haddelenmiş ve daha gevrek bir yapıda olan orijinal malzemeye göre daha süreklilik bir grafik ortaya çıkmıştır. Bu da en uygun devir ve ilerleme hızına bağlı olarak oluşan ısıyla homojenize olmuş bir yapıyı varlığını göstermektedir [23].

Devir sayısının artışıyla, malzemeye giren ısı miktarında artış olmaktadır. Artan sıcaklık kaynak dikişinde çökmeye ve kenarlarında çapak yığılmasına, kaynak bölgesinin incelmeye ve kaynak dikişinde çentik etkisi oluşumuna neden olmaktadır. Bundan dolayı 2000 dev/dak-100 mm/dak numunesinde daha düşük değerlerde çekme mukavemeti sonuçları ortaya çıkmıştır.

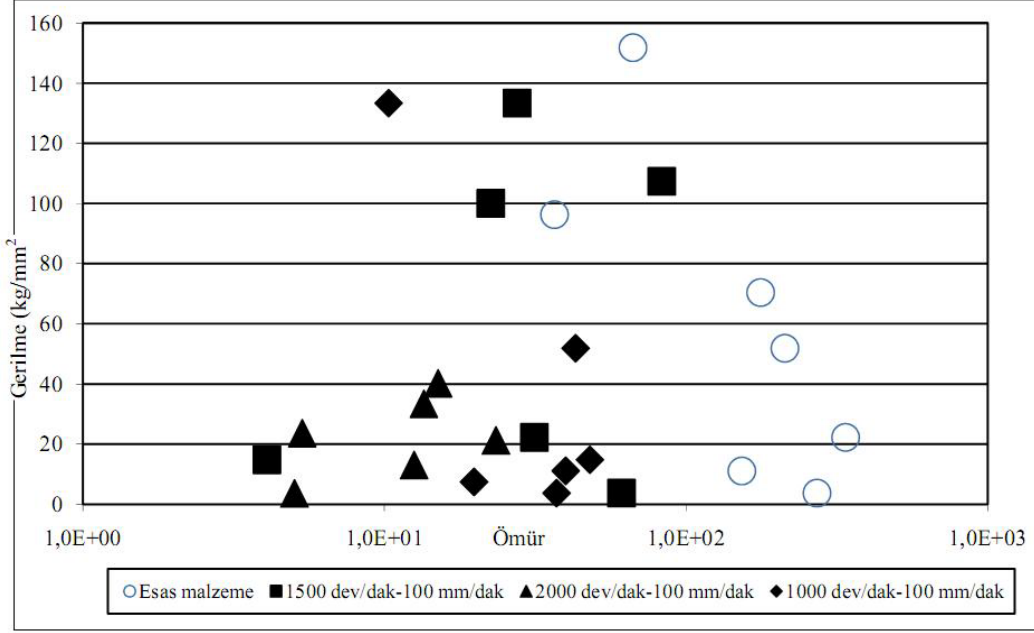
3.3.Sertlik ölçümleri

Şekil 9'da farklı parametrelerle yapılan sürtünme karıştırma kaynağındaki levhaların sertlik değerleri tek grafikte karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Şekil 9'da en yüksek sertlik değeri 1000 dev/dak-100 mm/dak en düşük sertlik değeri ise 1500 dev/dak-100 mm/dak görülmüştür. Sertlik değerleri genelde IEB'de daha düşük çıktığı görülmektedir. SKK parametrelerinde farklı

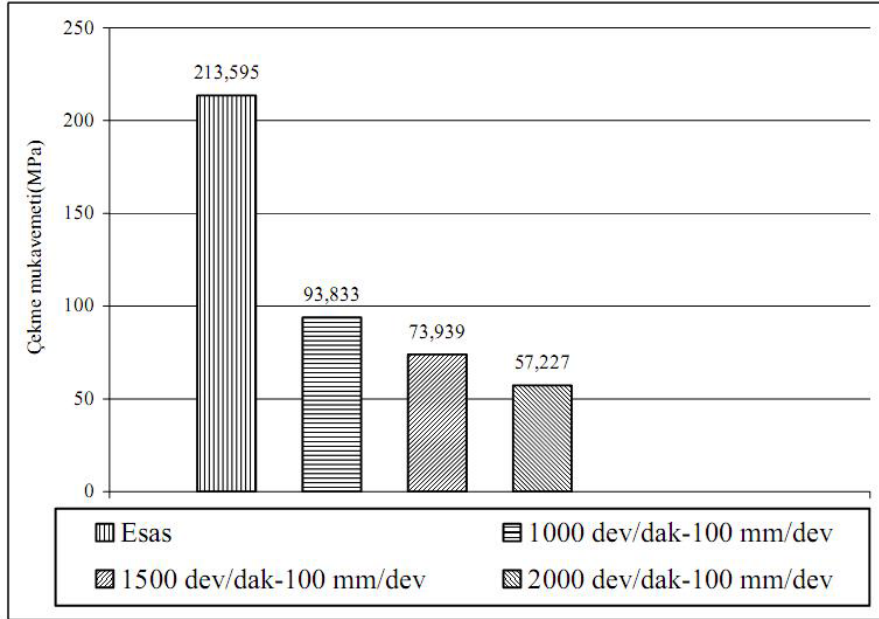
devirlerdeki kaynak esnasında malzemeler üzerinde oluşturduğu ısı farklılıkları mikroyapıyı ve çekme-yorulma mukavemetini etkilediği gibi bu sonuçlardan bağımsız olmayan sertlik değerini de etkilediği bilinmektedir. Isıdan etkilenmiş bölgede karıştırıcı ucun mekanik etkisi olmamasına rağmen kaynak dinamik olarak yeniden kristalleşmiş bölgeye yakın olduğu için malzemeden ısıdan

dolayı bir yumuşama meydana gelmiştir. Devir sayısı arttıkça (2000 dev/dak-100 mm/dak) sertlik değerinde bir düşme meydana gelir. Bunun nedeni yüksek devirde malzemeye giren ısı miktarının fazla olmasından dolayı malzemelerin soğuması daha yavaş olmakta ve buda sertliği düşürmekte bir etken olmaktadır.

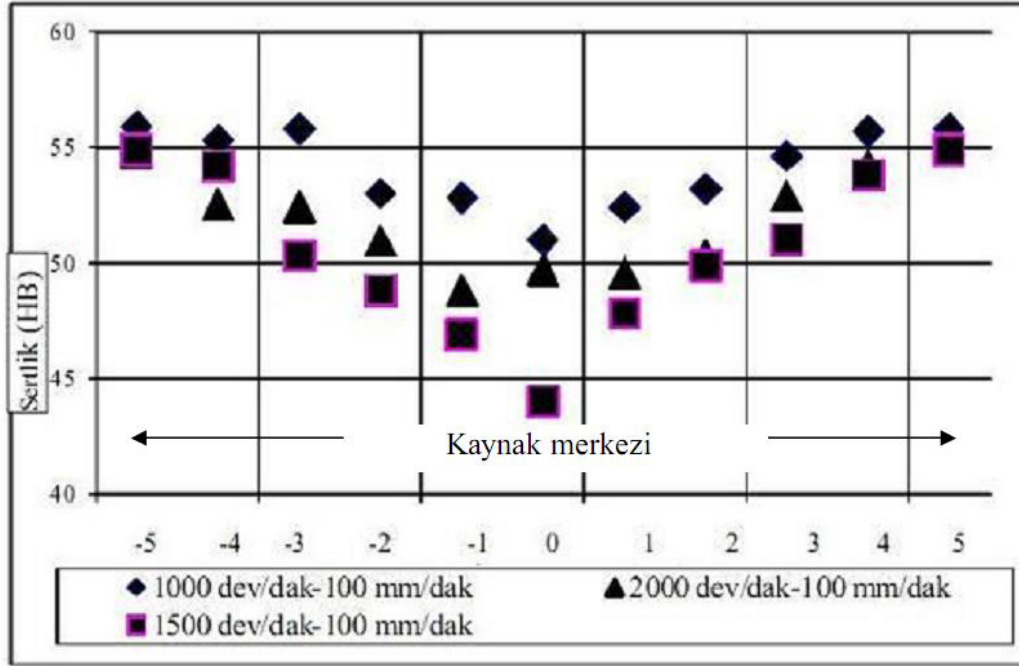


Şekil 7 Farklı parametreler kullanılarak yapılan SKK numunelerin yorulma dayanım değerleri

3.2.Çekme dayanımı deneyleri



Şekil 8 Esas malzeme ve SKK ile birleştirilen deney numunelerinin çekme dayanımı değerleri



Şekil 9 SKK kaynağı ile birleştirilen levhaların sertlik değerleri (HB)

Yüksek dönme ve yavaş ilerleme hızı nedeni ile malzemeye ısı girdisi fazla olmaktadır. Bunun sonucunda da sertlik değeri düşük çıkmaktadır [24].

Artan kaynak hızı ile kaynak metalinin yönlenmesi artmakta ve ancak düşük kaynak hızında kaynak metali yönlenmesi fazla belirgin görülmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının artması ısı girdisini azaltacağından artan kaynak hızı ile kaynak metali sertliği de değişmektedir [25].

4.SONUÇLAR

4 mm kalınlığındaki AZ31 alaşımı levhalar başarılı bir şekilde sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir.

1. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen numunelerin, kaynak dikişi görüntüsünün, diğer kaynak yöntemlerine göre çok daha düzgün olduğu ve herhangi bir temizlik, talaş, v.b. işleme gerek olmadığı görülmüştür. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde kaynaklı levhalarda ergitme kaynak yöntemlerine göre ısı girdisi daha az olduğundan çarpılma görülmemiştir.

2. Kaynak ilerleme hızı sabit iken artan kaynak devir hızlarında kaynak dikişlerinin ondüleli görüntüsünde, malzemeye giren ısı miktarının artmasıyla az da olsa dönme

yönünde süreksizlikler, bozulmalar meydana geldiği tespit edilmiştir (2000 mm/dak-100 mm/dak).

3. 1000 dev/dak-100 mm/dak parametresi ile yapılan sürtünme karıştırma kaynağı numunelerinde en yüksek, 1500 dev/dak-100 mm/dak parametresi ise en düşük sertlik değeri görülmüştür.

4. Sürtünme karıştırma kaynağında farklı parametrelerle yapılan birleştirmelerde en yüksek çekme mukavemeti değeri 1000 dev/dak-100 mm/dak, en düşük değer ise 2000 dev/dak-100 mm/dak'da ortaya çıkmıştır.

5. 1500 dev/dak-100 mm/dak parametresi ile yapılan sürtünme karıştırma kaynağı numunelerinde en yüksek eğme yorulma dayanımı değeri görülmüştür. 2000 dev/dak-100 mm/dak parametresi ile yapılan sürtünme karıştırma kaynağı numunelerinde en düşük eğme yorulma dayanımı değeri çıkmıştır.

6. 1000 dev/dak-100 mm/dak ile 1500 dev/dak-100 mm/dak'nın yorulma değerleri birbirine yakın çıkmasından dolayı yüksek devire çıkılamayan makinalarda 1500 dev/dak-100 mm/dak ilerleme hızı ile de yapılabilir.

7. Yukarıda belirtilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi kaynak metaline giren ısı miktarı, karıştırıcı uç ve devir hızı ayarlanarak; kontrol edilebilmektedir.

Bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, ergitme kaynak yöntemleriyle oldukça zor kaynaklanan magnezyum alaşım malzemelere, başarıyla uygulanabilmektedir. Bu çalışmada AZ31 malzemede

gerçekleştirilen kaynak ve sonrasında yapılan muayene ve deneyler sonucunda bu yöntemin başarısı görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1]. ZEYTİN, H.K.; Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği”, Marmara Araştırma Merkezi, Gebze Kocaeli, 1999
- [2]. DAVIS. J, "The Potential for Vehicle Weight Reduction Using Magnesium", SAE Technical Paper Series, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, 25 February-1 March, 1991
- [3]. REINASS, G. Magnesiumguss, Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften Giesserei, 79, Nr.21-26, s.903-911, October 1992
- [4]. BARNES, L.T, "Rolled Magnesium Products", 49th. Annual World Conference Magnesium, Chicago, Illionis, USA, 7 Apr. 1994
- [5]. DECKER. R. F., "The Renaissance in Magnesium" Advanced Materials and Processes, 9, pp.(31-33), 1998
- [6]. BERTZ, G; FUCHS A; ZEUMER, N." Neue Entwicklung beim Giessen von Magnesium", Gisserei, 75, Nr.8, s.246-250, April 1988
- [7]. FROES, H. F., "The First International Conference on Magnesium Science and Technology", November 10-12, Dead Sea, Israel, 1997
- [8]. WELLS. P, NIEUWENHUIS. P, "Automotiv Materials", The Challenge of Globalisation and Technological Chance, Persians Professional Limited, Maple House 149 Tottenham Court Road, Londra WIP 9LL, 1998
- [9]. SCHEMME, K, "Magnesiumwerkstoffw für die neunziger Jahre", Aluminium, 67. Jahrgang, 2, s.167-179, 1991
- [10]. OLSEN A.L, "Korrosioneigenschaften von neun Magnesiumlegierungen", Metall, 46.Jahrgang, Heft 6, s. 570-574, Juni 1992
- [11]. HAWKE. D; OLSEN.A., "Corrosion Properties of New Magnesium Alloys", International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, 1-5 March 1993
- [12]. KAPLAN, H. " The Making of Magnesium", Light Metal Age, s.18, June 1990
- [13]. HERURTH. K; "High-Tech-Guss in der Anwendung-Sonderschau der GIFA 89, Magnesiumlegierungen", Gisserei 76, Nr. 15 S.482, Juli 1989
- [14]. BUSK, S.R, "Magnesium Products Design", International Magnesium Association, Marcel Dekker, Inc, New York Basel, 1986
- [15]. ŞIK A., Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Alimünyum Levhaların Eğme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt: 9, Sayı: 2, 2005
- [16]. ŞIK, A., "Otomobil Saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2002
- [17]. GÜLENC, B., "MIG/MAG kaynağında koruyucu gaz karışımının kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1995
- [18]. ŞIK, A., ERTÜRK İ. ve ÖNDER, M, "AA2024 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynağında farklı parametrelerin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Cilt: 16, Sayı: 2, Sayfa: 141-150, 2010
- [19]. ÇAM, G., "Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): al-alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi", Mühendis ve Makina Cilt:46 Sayı:541, 2005
- [20]. KULEKÇİ, M. K., ŞIK A., KALUÇ, E., "Effects of tool rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints" Int J Adv Manuf Technol, 36:877-882 DOI 10.1007/s00170-006-0901-z, 2008
- [21]. GÜRLER, M., "Alüminyum alaşımlarının sürtünme kaynak özellikleri", Doktora tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000
- [22]. KULEKÇİ, M.K., ŞIK, A., "Effects of Tool Rotation and Transverse Speed on Fatigue Properties of Friction Stir Welded AA 1050-H18 Aluminium Alloy", Archives of Metallurgy and Materials, 51/2, 213-218, 2006
- [23]. BULUT, R., "Magnezyum AZ31 Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009
- [24]. KAYABAŞ, Ö., "Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Yapılan Alüminyum Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Dönem Projesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2005
- [25]. KURT, A., ÖZDEMİR, M., BOZ, M., "Alüminyum Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, 89-99, Kocaeli 2003