



T/M yöntemiyle üretilmiş Mg-Ti alaşımının difüzyon kaynağı ile birleştirilmesine aratabakanın etkisi

Haluk KEJANLI*

Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

kejanli@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0002-4987-6316, Tel: (412) 248 8217 (3597)

Mustafa AVCI

Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

kmustafaavci002@gmail.com

Geliş: 12.11.2017, Kabul Tarihi: 15.12.2017

Öz

Titanyum ve magnezyum gibi hafif malzemelerin, havacılık, tıbbi implantlar ve hafif yapı gibi çeşitli teknik uygulamalarda çok önemli olduğu iyi bilinmektedir. Magnezyum otomotiv, uzay ve havacılık sektöründe, düşük yoğunluğu ve yüksek özgül ısı kapasitesi nedeniyle kullanımı gittikçe artmaktadır. Bütün stabil metallerin en hafiflerinden biri olması nedeniyle özellikle tercih edilmektedir. Magnezyum ve alaşımlarının kaynağı, endüstrilerdeki artan uygulamaları nedeniyle önemli bir konudur. Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş Mg-Ti alaşımının katı faz difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliği ve birleşmeye ara tabakanın etkisi araştırılmıştır. Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş numuneler mikroskop ile incelenmiş ve birleşme bölgesinde oluşabilecek difüzyon analiz edilmiştir. Elde edilen numuneler argon atmosferli fırında 450 °C sıcaklıkta 60 dk. sinterlenerek difüzyon kaynağına uygun hale getirilmiştir. Numuneler; 500, 520 ve 540 °C sıcaklıklarda, 75 dakika süreyle, 5MPa basınç altında argon gazı atmosferinde, ara tabakasız ve Alüminyum ara tabaka kullanılarak difüzyon kaynağı tekniğiyle birleştirilmiştir. Kaynak sonrası numuneye uygulanan kuvvet ve basınç sonrası numunelerin birbirinden ayrılmadığı gözlemlenmiştir. Numunelerin kaynak bölgesi optik mikroskopla, incelenmiş ve difüzyon alanındaki alüminyum ara tabakanın dağılımı gözlenmiştir. Belirlenen sıcaklıkta birleştirilen numunede ana malzemelerde (Mg-Ti) belirli aralıklarda değişen oranlarda Al ara tabaka difüzyonu izlenmiştir. Sonuç olarak toz metalürjisi ile üretilen Mg-Ti alaşımının belirli sıcaklıkta ve bekleme süresinde argon gazı altında difüzyon kaynak yöntemiyle uygun bir şekilde birleştirilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mg-Ti; Toz metalürjisi; Difüzyon kaynağı, Al aratabaka; Mikrosertlik;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Magnezyum alaşımları, hafiflik ve yüksek özgül mukavemet özelliklerinden (Mukavemet/yoğunluk) dolayı savunma ve otomotiv sanayisindeki yeri çok önemlidir. Ayrıca yüksek ısı iletkenlik, iyi yüzey kalitesi, yüksek boyutsal hassasiyet, iyi elektromanyetik koruma, yüksek sönümlenme, iyi işlenebilme ve kolay geri dönüşüm özelliklerine de sahiptir. Bu özellikleri Mg alaşımlarını otomotiv, bilgisayar, havacılık gibi pek çok endüstride de değerli kılmaktadır. Düşük ağırlık ve metabolizmaya uyumu açısından implant malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Alaşımsız olarak düşük mukavemet ve tokluk değerlerine sahip olduğundan alaşımlandırılarak kullanılmaktadır (Öztürk ve Kaçar, 2012).

Toz metalurjisi yöntemi (T/M), metal veya seramik tozların mekanik sıkıştırma ve ısı ışıleme (sinterleme) birleştirilerek istenilen parça haline getirilmesi işlemidir (Şevki, 2011). Hem sinterleme hem sıkıştırma işleminin asıl amacı metal tozları arasında kuvvetli bir bağ oluşturmaktır (Şevki, 2011). Hatta döküm veya klasik üretim metotlarıyla elde edilmesi mümkün olmayan parçaların yapımı toz metalurjisi yöntemiyle gerçekleştirilebilmektedir (Söyler, 2007).

Bu yöntemle sıvı fazda hiç çözünmeyen elementlerden mekanik alaşımlama ile yüksek dayanımlı parçalar üretilebilir. Elementel toz olarak üretilebilen birçok metal ve alaşımlarının bu yöntem ile şekillendirilebilmeleri mümkün olmaktadır (Şevki, 2011).

T/M ile karmaşık şekilli parçaların, hem yüksek kalitede hem de ekonomik olarak üretilebilmesi bu yöntemin öne çıkmasını sağlamaktadır. Ayrıca düşük enerji tüketimi, düşük malzeme kaybı ve yüksek boyutsal hassasiyet nedeniyle otomatikleşmiş işlemleri verimli kullanıldığı için sanayinin istediği birçok parametreyi de içinde barındırır (Söyler, 2007).

Difüzyon kaynağı, birleştirilecek malzemelerin ergime noktaları altındaki bir sıcaklıkta (0.5-0.8 Tm), malzemelerde akmaya sebebiyet vermeyecek bir basınçta katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalürjik bir bağ oluşuncaya kadar, optimum bir süre tutulmasıyla uygulanan bir katı hal kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi, birçok ileri teknolojik malzeme için, özellikle geleneksel ergitme kaynağı işlemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda etkili bir birleştirme yöntemidir (Aydın vd., 2012). Difüzyon kaynağı çok eskiden beri bilinmesine rağmen, özellikle son yıllarda uzay teknolojisinde, nükleer santrallerde ve elektronik sanayindeki hızlı gelişmeler, bu yöntemin kullanımını adeta zorlamıştır. Uçak sanayinde, askeri ve yolcu uçaklarının uzun ve dayanıklı olan kanat parçalarında difüzyon kaynağına vardır. Soğuk hava depolarında, gaz dolmuş tesislerinde ve silah teknolojilerinde de aynı yöntem kullanılmaktadır (Çelik ve Ay, 1999).

Titanyum ise üretilmesi zor ve pahalı olmasına rağmen yüksek erime sıcaklığı, düşük özgül ağırlığa oranla yüksek mukavemet değeri ve nispeten yüksek sıcaklıklarda bile yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı uçak, uzay, otomotiv vb. sektörlerde yoğun olarak kullanılmaktadır. Hatta bazı alaşımlı çeliklerle aynı dayanıklılığa sahiptir. Ti alaşımlarının döküm yöntemleri ile imal edilmesi durumunda, talaşlı işleme zorlukları ortaya çıkmaktadır. Maliyetin düşürülmesi ve talaşlı işlemeyi en aza indirmek için, toz metalürjisi yöntemi tercih edilmektedir (Yalçın ve Varol, 2009).

Cai vd. güçlü fakat düşük termal dirence sahip olan nanokristalin metallerini, mekanik alaşımlama ve daha sonra yüksek sıcaklık ve basınç kullanarak sağlamlaştırarak yüksek termal dirençli Mg-1.5 ve %Ti alaşımını üretmeyi başarmışlar. Nanokristallerin yüksek termal direncinin, titanyum atomlarının tane sınırlarındaki segregasyonuna atfedileceğinden bahsetmiştir (Cai vd., 2017).

Song vd. magnetron püskürtme yoluyla paslanmaz Mg-Ti alaşımı oluşturabilmeyi araştırmışlar. Magnetron püskürtülmüş Mg-Ti alaşımlarının elektrokimyasal davranışını NaCl çözeltisi içinde ölçmüşler ve alaşım yüzeyindeki filmi XPS, SEM ve TEM ile incelemişler. Yüksek korozyon direncinin Ti içeriğinin yükselmesi ile yükseldiğini fakat yüzeyde devamlı koruyucu pasif film oluşturma davranışına Titanyum seviyesinin atomik yüzde olarak Magnezyum seviyesinden daha yüksek olana kadar ulaşamadığını belirtmişler (Song vd., 2016).

Suryanarayana ve Froes mekanik alaşımlama ile nanokristalin Ti-Mg alaşımlarını üretmişler. Mekanik alaşımlama ile Ti-Mg tozlarından 10-15 nm boyutlarında Ti-Mg katı çözelti tanelerini elde etmiş. Bu çözeltinin yarı kararlı bir yapıda olup ağırlıkça %3 Mg içerdiğini ve bunun nedeni olarak da nanokristal yapıda bulunan sınırlardaki yüksek hacim bölümünü göstermişlerdir (Suryanarayana ve Froes, 1990).

Liang ve Schulz mekanik alaşımlama ile Mg ve Ti toz karışımından Mg esaslı Mg-Ti alaşımını nanokristal boyutta üretmişler. Sonuç olarak uygun boyut faktörü ve Magnezyum ile Titanyumun uygun izomorf yapısından dolayı Titanyumun Magnezyum içinde çözünürlüğünün arttığını ifade ediyor. Mg kafesi içinde çözünen Titanyumun, Magnezyumun birim hücrelerinin hacmini daraltmış. Ayrıca aşırı doymuş Mg (Ti) katı çözeltisi, 250°C'nin altındaki sıcaklıklarda nispeten kararlı olup oluşan fazın 300°C 'de hızlı bir şekilde ayrıştığını ifade etmişler (Liang ve Schulz, 2003).

Haiping vd. Mg bazlı nanokristalin Mg_xTi_{100-x} ($x= 95, 90, 85$) kompozit tozlarını mekanik frezeleme yöntemiyle başarılı bir şekilde üretmiş ve Titanyumun Magnezyum içindeki katı çözünürlüğünün öğütme süresi ve Titanyum içeriğiyle yakın ilişkili olduğunu belirtmişler (Haiping vd., 2015).

Wilkes vd. mekanik alaşımlama yöntemiyle Titanyum içinde ağırlıkça %9 Magnezyum olan

katı çözeltisini üretmişler. Kafes ölçümleri ve SEM gözlemi sonucu 48 saatlik işlemten sonra tüm Magnezyumun katı çözeltide olduğu görülmüş ve TEM sonucu ile de Titanyum içinde Magnezyumun kümelenme veya çökme göstermeden homojen dağıldığını belirtmişler (Wilkes vd., 1996).

Liu vd. toz metalurjik Ti-Mg tozlarını kullanarak $Ti-xMg$ alaşımını ağırlıkça $x = 5, 10$ ve 15 değerlerinde mekanik alaşımlama ve kıvılcım plazma sinterleme yöntemiyle üretmişler. Alaşımın çoğunlukla Magnezyumun Titanyum matrisi içinde aşırı doymuş olduğunu gözlemlemişler. Toz metalurjik Ti-Mg alaşımlarının diğer alaşımlara oranla çok daha düşük sıkıştırma modülüne sahip olduğunu belirtmiş ancak bu haliyle bile yüksek sıkışma mukavemeti elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Magnezyum miktarının artmasıyla; alaşımların sıkıştırma modülü ve korozyon direnci azalmasına karşın biyolojik aktivite artmakta ve elektrokimyasal koşullar altında simule edilmiş vücut sıvısında hala iyi bir kararlılık gösterdiğini belirtmişler. Sonuç olarak alaşımın iyi biyoyumluluk ve biyoaktivite gösterdiği için biyomedikal uygulamalar için umut verici bir aday olduğunu ifade etmişler (Liu vd., 2015).

Tan vd. AZ31B magnezyum alaşımı (Mg-3% Al-% 1 Zn) ve TC4 Titanyum alaşımını (Ti-6Al-4V), AZ91 (Mg-9 %Al-1 %Zn) ve AZ31Mg (Mg-3%Al-1%Zn) dolguları kullanarak lazer kaynak-lehimleme yöntemiyle başarılı bir şekilde birleştirmişler. Magnezyum ve Titanyum metalurjik bağının, Alüminyum atomlarının Titanyum tarafına difüzyonuyla sağlandığı ve TEM analizi ile AZ91 yüzeyinde gözlemlenen Ti_3Al fazının, çatlak yayılımını etkin bir şekilde önlediği ve böylece AZ91 dolgu maddesiyle elde edilen bağlantı kuvvetinin AZ31 dolgusuyla elde edilen kuvvetten %85 daha fazla olduğunu belirtmişler (Tan vd., 2016).

Xu vd. magnetron püskürtme yöntemiyle ile Mg-Ti alaşımlarını üretip korozyon performansını incelemişler. Alaşım ince

filmlerini artan Titanyum oranlarında üretip değişik solüsyonlarla elektrokimyasal davranışına bakmışlar. Sonuç olarak korozyon dirençlerinin artan Titanyum oranıyla arttığını ve %80 ve üstü Titanyum içeren alaşımlarda ise metal kaybı ve korozyon olayının görülmediğini gözlemlemişler (Xu vd., 2011).

Candan vd. ağırlıkça %5 mikro Titanyum eklemeli AZ91 Mg alaşımlarını döküm yoluyla üretip mikro alaşımlama ve soğutma hızının korozyon dayanımına etkisini araştırmışlar. Kimyasal test sonuçlarına göre; AZ91 ve Titanyum ekli alaşımlar aynı soğutma koşullarında karşılaştırıldığında, Titanyum ekli alaşım yüksek korozyon direnci göstermiş ve farklı soğuma hızlarında ise AZ91 alaşımının korozyonu artan soğutma oranıyla azalmış fakat Titanyum ekli alaşımda ise soğuma hızı korozyon değerlerine çok az etki etmiştir (Candan vd., 2016)

Tan vd. AZ31B Magnezyum alaşımı ve Ti-6Al-4V Titanyum alaşımını AZ91 Mg esaslı dolgu malzemesi kullanarak lazer kaynak-lehimleme yöntemiyle birleştirmişler. İşlemden Alüminyum dolgudan ayrılarak Titanyum ile reaksiyona girip Ti_3Al fazını meydana getirmiş ve buda Mg-Ti eklemesinin metalürjik bağlantısını oluşturmuş. Ara fazın olduğu bölgenin mikrosertliği Alüminyum difüzyonu nedeniyle aniden yükselmiş ve kaynak bölgesinden daha yüksek çıkarak Titanyum tabakasına yakın değerlere ulaştığını belirtmişler. Bağlantının maksimum kesme kuvvetini 2057 N bulmuş olup, Magnezyum bazlı metale göre %50 daha fazla bağlantı verimliliği elde edildiğini belirtmişler. Bunun nedenini ise yeni oluşmuş reaksiyon ürünlerinin Titanyum alt katmanına yapışarak çatlak yayılımını etkin bir şekilde önlediği şeklinde ifade etmişler (Tan vd., 2016).

Zhou vd. Ti ilaveli nanokristalin AZ31 Magnezyum alaşımını mekanik frezeleme yöntemiyle üretilmişler. Öğütme işlemi süresinin artmasıyla magnezyum matrisli kristallerin boyutunun devamlı azaldığını gözlemlemişler. Soğuk presle sıkışmış %27 Titanyum ekli Mg alaşımının sertliği 147 HV ulaştığını ve bu

değerin Titanyum eklenmeyen Magnezyum alaşımının neredeyse 3 katına denk geldiğini ve ayrıca akma dayanımının da oda sıcaklığında 293 MPa gibi yüksek değerde olduğunu ifade etmişler (Zhou vd., 2016).

Yu vd. %10 Titanyum katkılı AZ61 nanokristalin kompozit tozlarını mekanik frezeleme yöntemiyle üretip, kullanılan yöntemin mikro yapıya etkisini araştırmışlar. Sonuçta artan öğütme süresi ile tozların incelme hızı artmış. XRD analiziyle Alüminyum ve Titanyumun Magnezyum matrisinde katı çözünürlüğünün artışı görülmüş ve 110 saatlik öğütmeden sonra Alüminyum matris yapıda tamamen çözülmüş. Titanyumun ise Magnezyum matrisindeki çözünürlüğünün %3.18 olduğunu ifade etmişler. Artan öğütme süresiyle tozların mikrosertliği artmış ve Titanyum ekli alaşımın mikrosertliği 120,42 HV ulaşmış olup bu değer ham AZ61 alaşımın 2.1 katı olduğunu belirtmişler (Yu vd., 2016)

Yu vd. AZ61 Mg ve AZ61 Mg ile %10 titanyum katkılı alaşımları mekanik öğütme yöntemiyle üretip, Titanyumun mikroyapı gelişimine etkisini incelemişler. Titanyum dağılımı, dislokasyonların ve tane sınırlarının hareketini engellemiş ve dislokasyon yığılmasını hızlandırmış ve sonuçta Magnezyum tane incelmeye neden olduğunu belirtmişler. Ayrıca işlemde kaynak ve çatlama etkisi ile Titanyum partikülleri Magnezyum partiküllerine girmiş ve Titanyum fazı Magnezyum matrisinde dağılmış. Sonuçta Titanyum ile aşırı doymuş Magnezyum katı çözeltisi katı çözünürlüğü %1.07 olarak üretilmiş (Yu vd., 2017).

Maweja vd. %50 Titanyum %50 Magnezyum toz karışımının katı çözünürlüğünü yüksek enerjili bilyalı öğütme yöntemiyle üretip, alaşımın mikroyapı ve kristal yapısını incelemişler. EDX analizi sonucu 48-72 saat öğütülen ürünlerdeki nihai katı eriyiklerin kimyasal bileşimi $Ti_{56}:Mg_{44}$ ve $Ti_{50}:Mg_{50}$ arası değişkenlik göstermiş olup bu sonuçların toz karışımlarının ilk eşmolar bileşimine ve hedeflenen $Ti_{50}:Mg_{50}$ bileşimine çok yakın

değerlerde olduğunu belirtmişler (Maweja vd., 2010).

Qiang vd. çeşitli ağırlık oranlarına sahip Mg-Ti alaşımlarını kıvılcım plazma sinterlemesi (SPS) tekniğiyle üretmiş ve yoğunlaştırma işlemini araştırmışlar. %75 Titanyum değerine kadar olan alaşımlar, Magnezyumun kaynaması ve az miktarda Mg-Ti katı çözelti oluşması nedeniyle 560°C’ de tam olarak yoğunlaştırılmış ve sonuç olarak 1.74 g/cm³ ile 3.23 g/cm³ arasındaki yoğunluk oranlarında fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme olan Mg-Ti alaşımını başarılı bir şekilde ürettiklerini belirtmişler (Qiang vd., 2003).

Sun vd. nanometre boyutunda Ti_xMg alaşımını x=4, 9, 12, 15, 21, 24 değerlerinde bilyeli öğütme yöntemiyle üretmişler. XRD analizi sonucunda, Magnezyumun Titanyum tane sınırında çözündüğünü ve daha sonra tane içine tamamen difüzyon olduğunu tespit etmişler. Ti_xMg alaşımlarında Magnezyum içeriğinin artmasıyla ortalama tane boyutunun azaldığını, tane sınırlarının hacim bölgesinin ise arttığını bulmuşlar. Bu sonuçtan da tane sınırlarının Magnezyumun Titanyum içindeki katı çözünürlüğünün artmasında önemli rol oynadığı sonucuna vardıklarını belirtmişler (Sun vd. 2002).

Asano vd. HCP, FCC ve BCC yapıları Mg_xTi_{100-x} alaşımlarını (35≤x≤80) değerleri arasında bilyeli öğütme yöntemiyle üretmişler. Sonuç olarak bu yöntemle üretilen alaşımların kristal yapılarının, öğütme topları ve işlemin gerçekleştiği kazanın malzemesine bağlı değişkenlik gösterdiğini ifade etmişler. Alaşımların kafes parametrelerininse Magnezyum içeriğinin artmasıyla arttığını belirtmişler (Asano vd., 2009).

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Mg-Ti alaşımları farklı sıcaklıklarda alüminyum ara tabakalı ve ara tabakasız difüzyon kaynağı ile birleştirilmiştir. Birleştirilen alaşımların mikroyapıları ve mikrosertlikleri incelenmiştir.

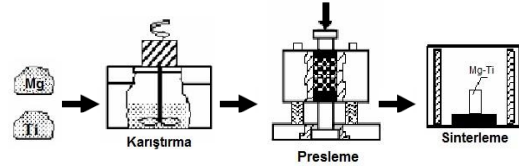
Materyal ve Yöntem

Kullanılan malzemeler

Ticari olarak temin edilen %99.9 saflıkta ve 100 µm tane boyutuna sahip Mg tozu ile %99.5 saflıkta ve 50 µm tane boyutuna sahip Ti tozu kullanılıp ağırlıkça %95 Mg, %5 Ti olacak şekilde 10⁻⁴ hassasiyetli dijital terazide tartılarak toz karışımı hazırlanmış ve karışıma 0.005-0.008 oranında çinko stearat kalıp yağlayıcısı katılarak tozların akması kolaylaştırılmıştır. Ara tabaka olarak %99.50 saflığında ve 50 µm kalınlığında alüminyum folyo kullanılmıştır.

Presleme ve sinterleme işlemi

Karışımı hazırlanan toz malzemelerin homojen dağılımını sağlamak için 250 dev/dak.’da 30 dakika süreyle karıştırılarak hazırlanan tozlar 20 MPa basınç altında 30 sn bekletilerek soğuk olarak preslenmiştir. Soğuk presleme sonrası Ø12x11mm boyutlarında elde edilen numuneler argon atmosfer kontrollü fırında 450°C sıcaklıkta 60 dakika sinterlenerek difüzyon kaynağına uygun hale getirilmiştir (Şekil 1).

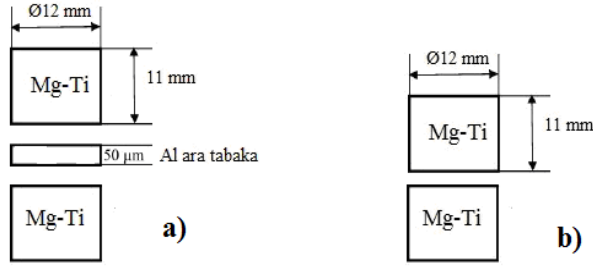


Şekil 1. Hazırlanan numunelerin şematik gösterimi (Dikbaş vd., 2008)

Difüzyon kaynağı

Sinterlenen numuneler hassas kesme makinasına yatay bir şekilde konularak kesildi. Kesilen numunelerin yüzey pürüzlülüğünü minimuma indirmek ve kaynak için en uygun yüzeyi elde etmek için 400, 600, 800 ve 1000 grit zımpara ile zımparalanmış ve alkol ile ultrasonik olarak temizlenmiştir. Daha sonra numuneler ara tabakalı ve tabakasız olarak gruplandırılarak Şekil 2’de görüldüğü gibi difüzyon kaynağına hazır hale getirilmiştir. Difüzyon kaynak işlemleri, oksitlenmeyi engellemek için silisyum karbür çubuklu fırına 3 lt/dak debide %99.9 saflıkta argon gazı gönderilerek 5 MPa sabit kaynak basıncı altında, 75 dakika bekleme süresinde, 500, 520 ve 540°C farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Difüzyon kaynakları Şekil 3’de

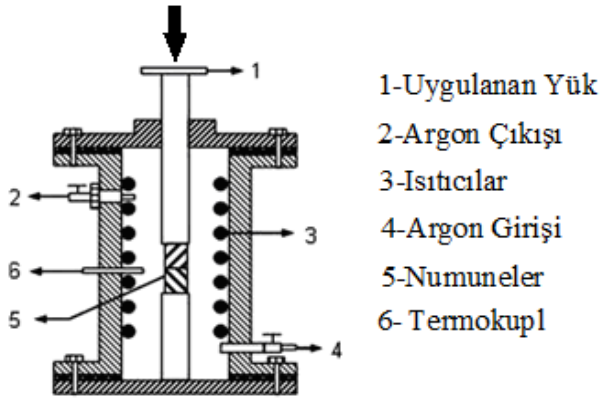
görülen difüzyon kaynak aparatı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Difüzyon kaynağına hazır numunelerin şematik görünümü a) Al aratabakalı b) Aratabakasız

Tablo 1. Difüzyon kaynak parametreleri

MALZEME	Sıcaklık (°C)	Al Aratabakalı süre (dk.)	Aratabakasız süre (dk.)
Mg-Ti	500	75	75
	520	75	75
	540	75	75



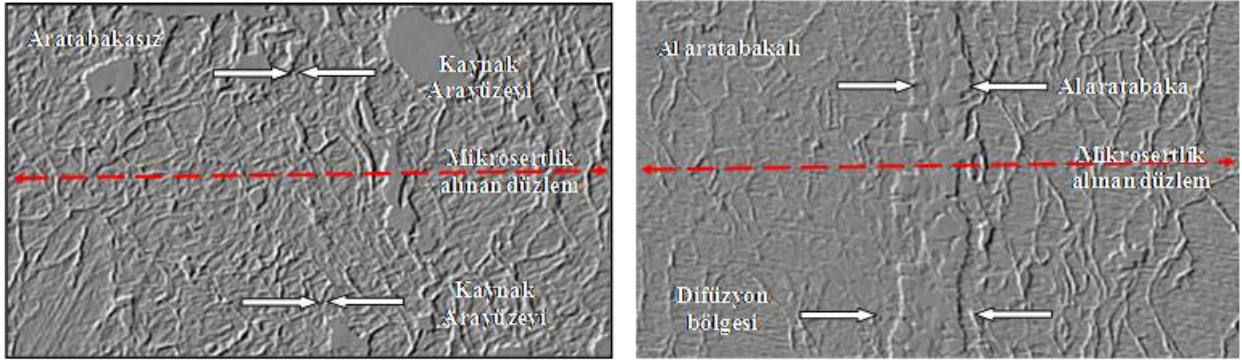
Şekil 3. Difüzyon kaynak aparatının şematik gösterimi (Aydın, 2002)

Mikroyapı incelemeleri

Mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri için difüzyon kaynak işleminden sonra alınan numuneler hassas kesme cihazında ara tabaka yüzeyine dik doğrultuda kesilerek, ölçüm alınacak yüzeyler 240–400–600–800–1000 ve 2000 gridlik SiC zımpara ile su altında zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler parlatma makinesinde 3-6 µm elmas pasta kullanılarak parlatılan numuneler, mikrosertlik ve optik mikroskopla incelemeye hazır hale getirmek için, 19 ml saf su (H₂O), 0.2 ml hidroflorik asit (HF), 0.3 ml hidroklorik asit (HCl) ve 0.5 ml nitrik asit (HNO₃) ile hazırlanan dağlayıcıda 15 sn bekletilerek dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra numuneler önce su daha sonra alkolle yıkanarak temizlenip kurutularak testlere hazır hale getirilmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri

ASTM E384 standartlarına göre bitişik iki ölçüm arasındaki mesafe, girinti çizgisinin üç katı uzunluğunda olmalı. Dolayısıyla mikrosertlik testinde iki bitişik girinti arasındaki boşluk, herhangi bir potansiyel etkiden kaçınmak için en uygun ölçüde seçildi (Chowdhury vd., 2013). Kaynak ara yüzeyinden itibaren sertlik değişimini görebilmek amacıyla hem ara tabakalı hem ara tabakasız numunelerde (0.1 HV) 100 gr'lık yük 10 saniye uygulanarak, 20 ve 40 µm aralıklarla 7 farklı noktadan ölçümler gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümlerinin alındığı numunelere ait resimler Şekil 4'de görülmektedir.

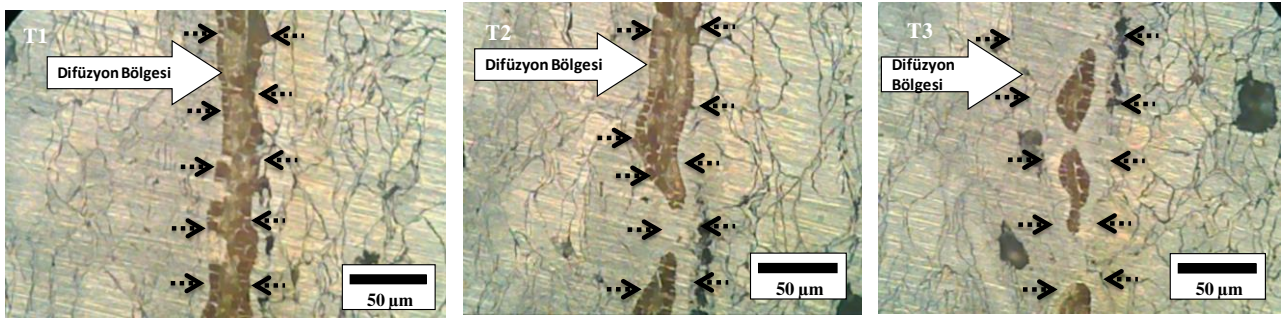


Şekil 4. Mikrosertlik ölçümünün alındığı düzlem ve kaynaklanmış numunelerin birleşme yüzeyleri

Mikroyapı sonuçları

Mg-Ti alaşımları ara tabakasız ve Al aratabaka kullanılarak difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Alüminyum aratabakalı numunelerin optik mikroskopla alınan mikroyapı resimleri incelendiğinde; 500 °C sıcaklıkta birleştirilen T1 numunesinde aratabakanın yaklaşık 15-20 µm kadar ana malzemelere difüzyon olduğu, 520 °C'de

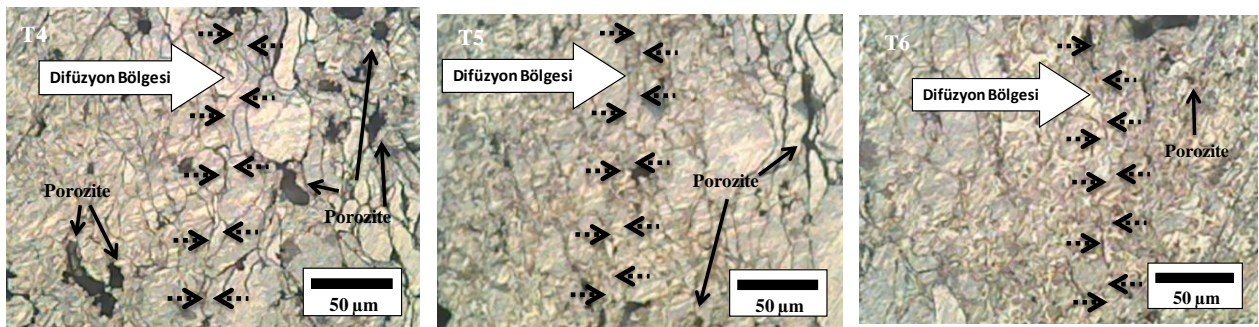
birleştirilen T2 numunesinde ise bazı bölgelerde aratabakanın tamamen difüzyon olduğu görülmüştür. 540 °C kaynaklanan T3 numunesi incelendiğinde, Alüminyum aratabakanın yaygın olarak ana malzemelere difüze olduğu görülmüştür. Kaynaklı bağlantılara ait optik resimler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6 Alüminyum aratabakalı kaynaklı bağlantılara ait optik resimler.

Aratabakasız numuneler incelendiğinde; 500 °C sıcaklıkta birleştirilen T4, 520 °C'de birleştirilen T5 ve 540 °C kaynaklanan T6 numunesi incelendiğinde, tüm numunelerde malzemelerin

birleşme bölgelerinin tamamen kaybolduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı bağlantılara ait optik resimler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Aratabakasız kaynaklı bağlantılara ait optik resimler.

Mikrosertlik sonuçları

Sertlik ölçümleri 100 gr'lık yükün 10 saniye uygulanmasıyla, 20 ve 40 µm aralıklarla 7 farklı

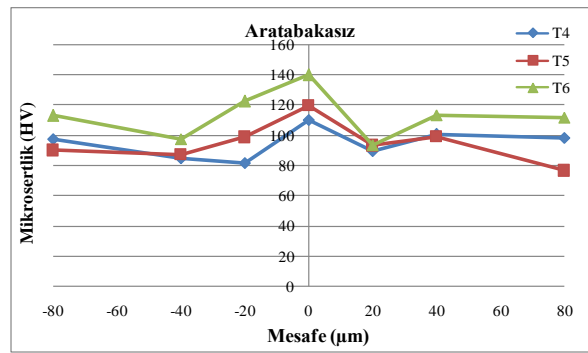
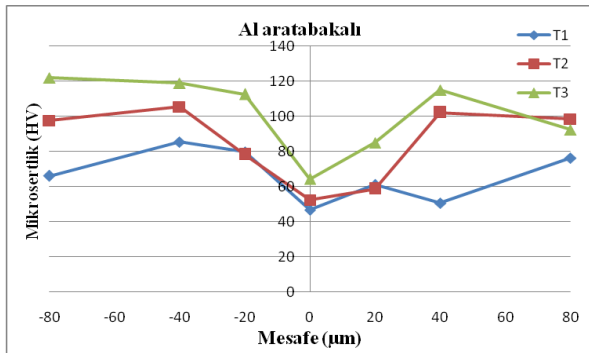
noktadan alınarak mikrosertlik (HV) ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 2'de, mikrosertlik grafiği de Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 2. Ara tabakasız numunelerin mikrosertlik sonuçları*a) Al Aratabakalı numunelerin mikrosertlik sonuçları (HV)*

MESAFE							
(µm)							
MALZEME	-80	-40	-20	0	20	40	80
T1	66	85.4	79.8	46.7	60.9	50.5	76.3
T2	97.6	105.3	78.2	52.4	58.7	102	98.5
T3	121.9	118.9	112.5	64.3	85	115	92.4

b) Aratabakasız numunelerin mikrosertlik sonuçları (HV)

MESAFE							
(µm)							
MALZEME	-80	-40	-20	0	20	40	80
T4	97.6	85.1	81.7	110.2	89.7	100.4	98.5
T5	90	87.3	98.9	120.1	93.2	99.4	76.6
T6	113.1	97.8	122.6	140	93.9	113.6	112

*Şekil 8. Ara tabakalı ve Ara tabakasız numunelerin mikrosertlik grafikleri*

Tablo 2 ve Şekil 8'deki sonuçlar incelendiğinde, Al aratabakanın bulunduğu noktalarda sertlik değerlerinin nispetten düşük ve yine Al aratabakanın difüze olduğu noktalarda sertliğin ana malzemelerin sertlik değerlerine yakın çıktığı ve ana malzemelerde ise sertlik değerlerinin, önceki çalışmalarda (farklı üretim yöntemleriyle elde edilen) sertlik değerlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Aratabaka bölgesinde, Alüminyum dolgudan ayrılarak Titanyum ile reaksiyona girip Ti_3Al fazını meydana getirmemiş (Tan vd., 2016) ve $TiAl$ gibi fazlar oluşmadığı için yeterli sertlik değerlerine ulaşamamıştır, bununla

birlikte, metalürjik alaşımlanmanın termodinamik olarak imkansız olmasını sağlayan Mg-Ti denge faz diyagramında (Murray, 1986) herhangi bir ikili faz oluşmamaktadır. Titanyumun Magnezyum içindeki katı çözünürlüğünün öğütme süresi ve Titanyum içeriğiyle yakın ilişkili olduğunu belirtmişler (Haiping vd., 2015).

Aratabakasız numunelerin sertlik grafikleri incelendiğinde, numunelerin kaynaklanma bölgelerinde ana malzemelerden daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. En yüksek sertlik değerine 540°C'de birleştirilen T6 numunesinde

ulaşmıştır. Buna tane sınırındaki, titanyum atomlarının tane sınırlarındaki segregasyonuna atfedileceğinden bahsetmiştir (Cai vd., 2017).

Al-Mg faz diyagramı incelendiğinde düşük sıcaklıklarda çok geniş bir erime yelpazesine sahip Al-Mg sistemi olduğu görülmektedir. 520 ve 540°C sıcaklıkta birleştirilen numunelerde aratabakanın, homojen olmayan geniş bir alanda kimyasal bir bileşim dağılımı, yani sıvı fazın varlığı gözlemlenmiştir (Sato vd., 2010).

Muhtemelen başlangıç sıvısı olan Al ile zengin olan, aratabakanın ve Alüminyum-Magnezyum alaşımları ısının artması ile ara bölgede sıvı miktarının artması bileşimi homojen hale getirmiştir.

Genel sonuçlar

Mg-Ti alaşımları, aratabakasız ve alüminyum aratabaka kullanılarak, argon koruyucu gaz atmosferinde sabit basınç (5MPa), sabit süre (75 dak.) ve 500, 520 ve 540°C sıcaklıklarda

difüzyon kaynak yöntemiyle başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.

Üretilen aratabakalı numuneler metalografik açıdan incelendiğinden en iyi birleşmenin 540°C sıcaklıkta birleştirilen T3 nolu numune olduğu görülmüş ve numunelerde 5–20 µm arasında değişen oranlarda ana malzemelere Al difüzyonu izlenmiştir.

Kaynaklanmış malzemelerin mikrosertlik sonuçları incelendiğinde; Al aratabaka kullanılan numunelerin tüm sıcaklık değerleri için kaynak bölgesindeki sertlik değerleri, faz oluşumu gözlemlenmediğinden ana malzemelerdeki sertlik değerlerinden biraz daha düşük çıkmıştır. Aratabakasız olarak kaynak edilen numunelerde ise genel olarak kaynak bölgesi sertliği ana malzeme bölgesinden nispeten yüksek çıkmış, artan sıcaklık değerleriyle beraber kaynak bölgesindeki sertlik değerleri de artmıştır.

Kaynaklar

Aydın K., Hıdıroğlu M., Kaya Y., Kahraman N., (2012). Titanyum ve Bakır Malzemelerin Difüzyon Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 28 (1), 15-26.

Aydın M., TR2002 02710 U, Patentli Difüzyon Kaynak Makinesi, *Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya.*

Suryanarayana C., Froes F.H. (1990). Nanocrystalline titanium-magnesium alloys through mechanical alloying, *Journal of Materials Research*, 5 (9), 1880-1886.

Tan C., Chena B., Meng S., Zhang K., Song X., Zhoua L., Feng J. (2016). Microstructure and mechanical properties of laser welded-brazed Mg/Ti joints with AZ91 Mg based filler, *Materials and Design*, 99, 127–134.

Tan C., Song X., Chen B., Li L., Feng J. (2016). Enhanced interfacial reaction and mechanical

properties of laser welded-brazed Mg/Ti joints with Alelement from filler, *Materials Letters*, 167, 38-42.

Çelik S., Ay İ., (1999). Koruyucu Gaz Altında Difüzyon Kaynağı ve Uygulaması, *Tr. J. of Engineering and Environmental Science*, 23, 63 - 70.

Wilkes D.M.J., Goodwin P.S., Ward-Close C.M., Bagnall K., Steeds J. (1996). Solid solution of Mg in Ti by mechanical alloying, *Materials Letters*, 27, 47-52.

Sun F., Froes F.H. (2002). Synthesis and characterization of mechanical-alloyed Ti-x Mg alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 340, 220–225.

Song G.L., Unocic K. A., Harry III M., Cakmak E., Brady M.P., Gannon P.E., Himmer P., Andrews Q. (2016). The corrosion and passivity of sputtered Mg-Ti alloys, *Corrosion Science*, 104, 36–46.

Zhou H., Hu L., Sun Y., Zhang H., Duan C., Yu H. (2016). Synthesis of nanocrystalline AZ31

magnesium alloy with titanium addition by mechanical milling, *Materials Characterization*, **113**, 108–116.

Dikbaş H., Çalgılı U., Taşkın M. (2008). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Ni-Ti Kompozitinin Difüzyon Kaynağında Sıcaklığın Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **1**, 1-6.

Yu H., Sun Y., Hu L., Zhou H., Wan Z. (2016). Micro structural evolution of AZ61-10 at. %Ti composite powders during mechanical milling, *Materials and Design*, **104**, 265–275.

Yu H., Sun Y., Hu L., Wan Z., Zhou H. (2017). The effect of Ti addition on microstructure evolution of AZ61 Mg alloy during mechanical milling, *Journal of Alloys and Compounds*, **704**, 537-544.

Maweja K., Phasha M., Berg N. (2010). Microstructure and crystal structure of anequimolar Mg–Ti alloy processed by Simoloyer high-energy ball mill, *Powder Technology*, **199**, 256–263.

Asano K., Enoki H., Akiba E. (2009). Synthesis of HCP, FCC and BCC structure alloys in the Mg–Ti binary system by means of ball milling, *Journal of Alloys and Compounds*, **480**, 558–563.

Liang G., Schulz R. (2003). Synthesis of Mg-Ti alloy by mechanical alloying, *Journal of Materials Science*, **38**, 1179-1184.

Murray J.L., (1986). The Mg-Ti (Magnesium-Titanium) system. *Bull. Alloys Phase Diagr.*; **7**:245–248. doi: 10.1007/BF02868999

Öztürk F., Kaçar İ., (2012). Magnezyum Alaşımları ve Kullanımlarının İncelenmesi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt **1**(1), 12-20.

Candan S., Celik M., Candan E. (2016). Effectiveness of Ti-micro alloying in relation to cooling rate on corrosion of AZ91 Mg alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, **672**, 197-203

Chowdhury S.H., Chen D.L., Bhole S.D., Cao X., Wanjara P. (2013). Lap shear strength and fatigue behavior of friction stir spot welded dissimilar magnesium-to-aluminum joints with adhesive, *Materials Science & Engineering A*. **562** (53–60

Qiang S., Lian-meng Z., Hua T., Fu-qian J. (2003). Preparation of Mg–Ti system alloy and FGM with density gradient by spark plasma sintering technique, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, **19** (1), 58-60.

Söyler M., (2007). Toz Metalurjisi ve Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Şevki Y.G., (2011). Toz Metalurjisi ve Metalik Köpükler, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, **2** (1), 22-28

Cai X.C., Song J., Yang T.T., Peng Q.M., Huang J.Y., Shen T.D. (2018). A bulk nano crystalline Mg–Ti alloy with high thermal stability and strength, *Materials Letters*, **210**, 121–123.

Sato Y. S., Shiota A., Kokawa H., Okamoto K., Yang Q., Kim C. (2010). Effect of interfacial microstructure on lap shear strength of friction stir spot weld of aluminium alloy to magnesium alloy, *Science and Technology of Welding and Joining*, **15**: 4,319-324,DOI: 10.1179/136217109X12568132624208

Yalçın B., Varol R. (2009). Sinterlenmiş Titanyum Alaşımlarının Aşınma Performansı ve Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Gazi Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt **24** (1) 63-72.

Liu Y., Li K., Luo T., Song M., Wua H., Xiao J., Tan Y., Cheng M., Chen B., Niu X., Hu R., Li X., Tang H. (2015). Powder metallurgic allow-modulus Ti–Mg alloys for biomedical applications, *Materials Science and Engineering C*, **56**, 241–250.

Xu Z., Song G.L., Haddad D. (2011). Corrosion Performance of Mg-Ti Alloys Synthesized by Magnetron Sputtering, *Magnesium Technology*, 611-615.

Haiping Z., Lianxi H., Hongfei S., Xianjue C. (2015). Synthesis of nanocrystalline Mg-based Mg–Ti composite powders by mechanical milling, *Materials Characterization*, **106**, 44–51.

Effect of interlayer of Mg/Ti alloy produced by T/M method with diffusion welding

Extended abstract

Light materials such as titanium and magnesium are well known to be very important in a variety of technical applications such as aerospace, medical implants and lightweight construction.

Magnesium is increasingly used in the automotive, aerospace and aviation industries due to its low density and high specific heat capacity. It is especially preferred because it is one of the lightest of all stable metals.

The source of magnesium and its alloys is an important issue because of the increasing applications in the industry. In this study, the effect of powder metallurgy on Mg-Ti alloy with solid-phase diffusion source and the effect of intermetallic junction were investigated.

The specimens combined with the diffusion source were examined with a microscope and the diffusion that could occur in the fusion zone was analyzed. The obtained samples were heated in an argon atmosphere at 450°C for 60 min. sintered to adequate for diffusion welding. Sintered samples are sanded with 400, 600, 800 and 1000 grit abrasives to minimize surface roughness and ultrasonically cleaned to obtain the most suitable surface for welding. Subsequently, the samples were grouped as stratified and non-stratified and prepared for diffusion welding.

Diffusion welding processes were carried out at 500, 520 and 540°C under a constant welding pressure of 5 MPa for 75 minutes, by sending at the rate of 3 l/min with 99.9 % pure argon into a silicon carbide rod furnace to prevent oxidation. The samples were sanded, polished and etched after the diffusion welding process for microstructure and microhardness analyzes.

It was observed that the samples were not separated from each other after the force and pressure applied to the samples after welding.

The welding region of the samples was examined by an optical microscope and the diffusion of the aluminum interlayer in the diffusion zone was observed. When the microhardness results of the welded materials are examined; The hardness values of the welding zone for all the temperature values of the samples used in the Al alloy were slightly lower than the hardness values in the main materials since no phase formation was observed .

In the welded samples without interlayers, the welding zone hardness was relatively higher than the main material zone, and the hardness values in the welding zone increased with increasing temperature values.

The highest hardness value was reached at T6 sample, which was combined at 540°C. Al interlayer diffusion was observed at varying ratios in the main materials (Mg-Ti) in the specimens bonded at the certain temperatures. It is mentioned that the titanium atoms at the grain boundaries would be attributed to the segregation of grain boundaries (XC CAI Et Al. 2017).

The presence of a liquid phase was observed in a chemical compound distribution in a wide, inhomogeneous area of the intermediate layer bonded at temperatures of 520 and 540°C. As a result, the Mg-Ti alloy produced by powder metallurgy can be bonded with the diffusion welding method under argon gas and at a certain temperature and welding time.

Keywords: Mg-Ti; Powder metallurgy; Diffusion welding, Al interlayer; microhardness;