

Vortex Yöntemiyle Üretilen FeB takviyeli AA1050 Kompozitlerde FeB Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi

The Effect of FeB Content on Mechanical Properties in FeB-reinforced AA1050 Composites Produced by Vortex Method

¹Sadettin ŞAHİN  ²Muharrem PUL 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale, Türkiye

²Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Kırıkkale, Türkiye

¹ssahin@kku.edu.tr, ²mpul@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 16 April 2021

Accepted : 3 May 2021

Keywords:

Vortex Method, Composite, AA 1050, FeB, Microstructure, Mechanical Property

ABSTRACT

In this study, composite samples were produced by reinforcing 2%, 4% and 8% FeB (ferroboron) into 99.5% commercial purity aluminum material by vortex method. Then, hot pressing was applied to the composite samples produced in order to compress the microstructure. SEM images were taken for microstructural analysis. Hardness measurements, tensile tests and abrasive wear tests were carried out to determine some mechanical properties. From the SEM images, it was understood that the amount of clumping pore in the composite structure increased with the increase in the amount of FeB reinforcement. With the increase in the FeB ratio in the composite structure, the hardness, tensile strength and abrasive wear resistance values firstly increased and then decreased. It has been concluded that the FeB reinforcement ratio in such composite structures increases the mechanical strength up to a certain rate, but when it is higher, it has a decreasing effect on the mechanical strength.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 16 Nisan 2021

Kabul : 3 Mayıs 2021

Anahtar Kelimeler:

Vortex Yöntemi, Kompozit, AA 1050, FeB, Mikroyapı, Mekanik Özellik

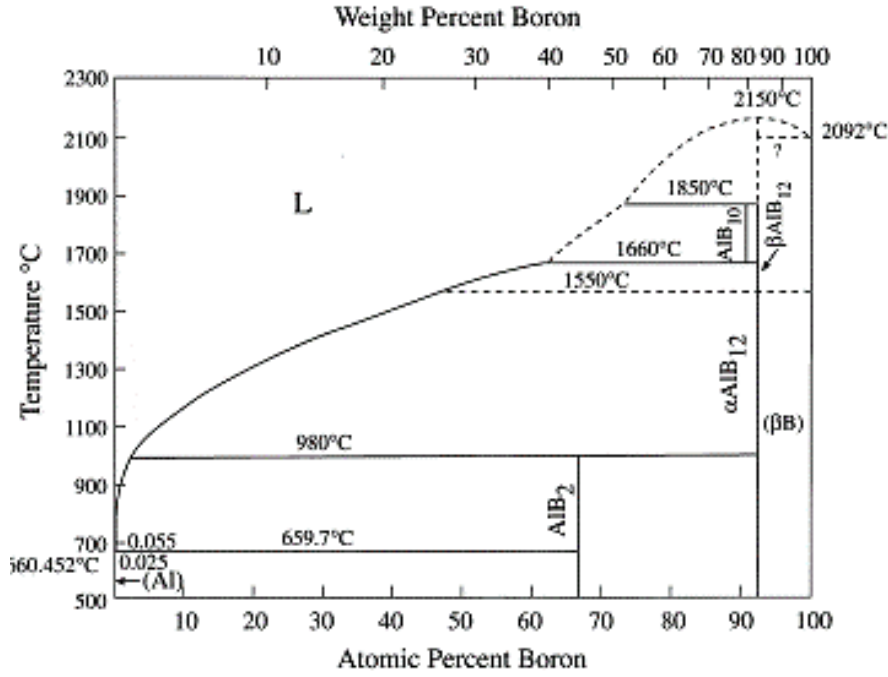
ÖZET

Bu çalışmada %99,5 ticari saflıktaki alüminyum malzeme içine vortex yöntemiyle %2, %4 ve %8 oranında FeB (ferrobor) takviye edilerek kompozit numuneler üretilmiştir. Daha sonra üretilen kompozit numunelere, mikroyapının sıkıştırılması amacıyla sıcak presleme işlemi uygulanmıştır. Mikroyapı analizleri için SEM görüntüleri çekilmiş ve bazı mekanik özellikleri belirlemek üzere sertlik ölçümleri, çekme testleri ve abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. SEM görüntülerinden FeB takviye miktarının artmasıyla kompozit yapıdaki topaklanma gözenek miktarının arttığı anlaşılmıştır. Kompozit yapı içindeki FeB oranını artmasıyla sertlik, çekme dayanımı ve abrasif aşınma dayanımı değerleri önce artmış daha sonra azalmıştır. Her üç mekanik deneyde de kompozit yapı benzer davranış sergilemiştir. Bu tür kompozit yapılarda FeB takviye oranının belli bir orana kadar mekanik dayanımı arttırdığı ancak daha yüksek oranlara çıktığında ise mekanik dayanımı azaltıcı etki yaptığı sonucuna varılmıştır.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı guruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir [1]. Metal, polimer veya seramik esaslı kompozit malzemeler içine çok faklı özellikte takviye malzemeleri ilave edilmektedir. Metal esaslı kompozitlerde genellikle alüminyum, magnezyum, bakır, çinko gibi demir dışı metaller daha çok tercih edilmektedirler. Bunlar içinde alüminyum ve alaşımları ise en büyük paya sahip olan metal grubunu oluşturmaktadır. Alüminyum ve alaşımları, yoğunluklarının düşük, elektrik ve ısı iletkenliklerinin ise yüksek olması nedeniyle üretim ve imalat sektöründe tercih edilen malzemelerdendir. Ancak Al ve alaşımlarının aşınma dirençlerinin düşük olması, uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının mevcut özelliklerini geliştirmek için whisker, fiber veya partikül biçimli sert takviye elemanı karışımıyla alüminyum matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir [2]. Metal matrisli kompozitlerden (MMK) olan alüminyum matrisli kompozitlerde genellikle SiC, SiO₂, B₄C, TiB₂, TiC, MgO, Al₂O₃ gibi seramik özellik gösteren, partikül biçimli ve mikron mertebesinde boyuta sahip takviye elemanları kullanılmaktadır. Ancak FeB (ferrobor) takviyeli ve alüminyum matrisli kompozitler üzerine yapılmış çalışmalar literatürde pek yer almamaktadır. Bilindiği üzere bor elementi tabiatta saf halde bulunmayıp çeşitli bileşikler halinde yer almaktadır. Çelik endüstrisinde veya diğer metalürjik işlemlerde Bor'un farklı bileşikleri metal içine ilave edilerek ergiyik malzeme içinde çözünmesi beklenmektedir. Metalik malzemelerde mukavemet artırma mekanizmalarından biri de "Katı eriyik" elde edilmesidir. Saf demirin mukavemeti çok düşük olduğu halde, demir içinde eriyen çok az miktardaki C sayesinde "çelik" vasfını almaktadır. Saf Cu, düşük mukavemetli bir malzemedir ancak içinde çözünen Ni ve Cu elementleriyle çok ciddi mukavemet artışları sağlanabilmektedir. Alüminyum, düşük yoğunluğu sebebiyle özellikle havacılık sektöründe çok kullanılan bir malzeme olmasına rağmen düşük mukavemet değerleri sebebiyle, kullanımı sınırlı kalmaktadır veya kesit kalınlaştırma yoluna gidildiği için ağırlığı artmaktadır. Alüminyum içinde B eriyebilirliğinin son derece düşük olduğu, Al-B faz diyagramında görülmektedir ancak bu değerde bile Al-B alaşımı üreterek yapılmış bir çalışma literatürde bulunamamıştır. Metalik saf Bor'un bulunma ve aşılama zorluğu sebebiyle ferrobor kullanılması yoluna gidilmiştir. Ferrobor içinde, demirle beraber çözünmüş elementel bor bulunmaktadır. Sıvı alüminyuma ilave edilen ferrobor'daki bu elementel bor'un; sıvı alüminyuma geçerek, katılaşma sonucunda katı Al-B çözeltisi elde edilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen bu katı çözeltinin mekanik özelliklerinde iyileşme olacağı öngörülmüştür. Elde edilen mekanik sonuçlar, bu öngörümüzü destekler mahiyette olmuştur. Alaşımın daha geliştirilmesi halinde nispi olarak yüksek mukavemetli alüminyum alaşımı elde edilmesi mümkün olabilecektir. Ferrobor, ağırlıkça %10-20 arasında bor ihtiva eden bir demir-bor alaşımıdır. Katı haldeki demir içinde bor, sıcaklığa bağlı olarak %0,1-0,15 arasında çözünmektedir. Demir-bor ikili faz diyagramına bakıldığında metaller arası iki bileşik görülmektedir. Bunlar FeB ve Fe₂B bileşikleridir. FeB ortorombik kristal yapısına, Fe₂B ise tetragonal kristal yapısına haizdir. Fe₂B'nin bileşiminde %9, FeB'nin bileşiminde ise %16 bor bulunur. İkili denge diyagramına göre, yüzde 9-16 arasında bor içeren alaşımın faz yapısı Fe₂B ve FeB kristallerinden ibarettir. Yüzde 16'dan fazla bor içeren alaşım ise FeB ve B kristallerinden oluşur [3]. Ferrobor çoğunlukla çelik ve sürekli manyetik malzeme üretiminde kullanılır. Ferrobor'un diğer kullanım alanları; plastisitesi yüksek (malleable) dökme demir, amorf metaller, bakır ve alüminyum üretimleridir. Bor, çeliğin sertliğini karbür oluşturmak suretiyle artırır. Diğer karbür yapan elementlerle kıyaslandığında, çeliğe aynı derecede sertlik kazandırmak için çok az miktarda bor gerekmektedir [3]. Alüminyum ile Bor'un birlikte yer aldığı çalışmalar literatürde çok az yer almaktadır. Kimyasal ve metalürjik açıdan bakıldığında alüminyum metali içinde bor elementinin çözünmesi ve birlikte alaşım meydana getirmelerinin zorluğu nedeniyle bu araştırmaların yapılamadığı düşünülmektedir. Şekil 1'de verilen Al-B faz diyagramı incelendiğinde bu durum daha net olarak anlaşılabilir.



Şekil 1. Al-B faz diyagramı

Şekil 1'deki Al-B faz diyagramında, oda sıcaklığında Al içinde B'un eriyebilirliği %0 görünmektedir. Literatürde yer alan bir çalışmada, oda sıcaklığındaki Al-B alaşımında %0,0002 (2 ppm) katı eriyik halinde B tespit edildiği ifade edilmiştir [4]. Bu kadar küçük bir değer, faz diyagramında gösterilememektedir ancak analizde tespit edilmiştir. Al içinde B'un bu kadar düşük çözünme oranı, Hume Rothery kuralıyla açıklanabilir. Periyodik tabloda atom çapları, sağdan sola doğru büyümektedir. Atom numarası 5 olan Bor'un atom çapı, atom numarası 6 olan Karbon atomunun çapından daha büyüktür. Bor atom çapı 0,168 nm, Al atom çapı 0,242 nm'dir. Katı çözelti için aradaki farkın %15'ten fazla olmaması gerekirken buradaki fark %69'dur. Elektronegatiflik değerleri de 2,04 ve 1,5 olarak çok farklı olduğu için bileşik yapmaya yatkındırlar. Dolayısıyla Bor elementinin Alüminyum içinde katı çözelti yapması her açıdan zor olmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında sınırlı sayıda yayın yer almakta olup bu çalışmalarda da daha çok Al ile B arasındaki termodinamik ilişki incelenmiştir [5-8]. Bu deneysel çalışma ile yumuşak ve aşınma direnci düşük özellikte olan alüminyuma bor ilave edilerek mekanik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla vortex (ergimiş metal karıştırma) yöntemi kullanılarak %99,5 ticari saflıktaki alüminyum içine farklı ağırlık oranlarında tanecik biçiminde FeB tozu takviye edilmiştir. Tanecik takviyeli MMK malzemelerin üretim yöntemlerinden olan ergimiş metal karıştırma yöntemi, genel amaçlı uygulamalarda düşük maliyetli MMK malzeme üretimi için iyi bir potansiyele sahiptir [9]. Yapılan deneysel çalışma ile üretilen FeB takviyeli ve AA1050 esaslı kompozitlerin mikroyapıları incelenmiş ve bazı mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla sertlik, çekme ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre elde edilen verilerden oluşturulan grafikler değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deneysel çalışmada kompozit malzemelerin üretimi için matris malzemesi olarak 1050 kalite alüminyum, katkı elemanı olarak ortalama 44 mikron partikül boyutunda FeB kullanılmıştır. Deney malzemelerine ait bazı teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney malzemelerinin teknik özellikleri

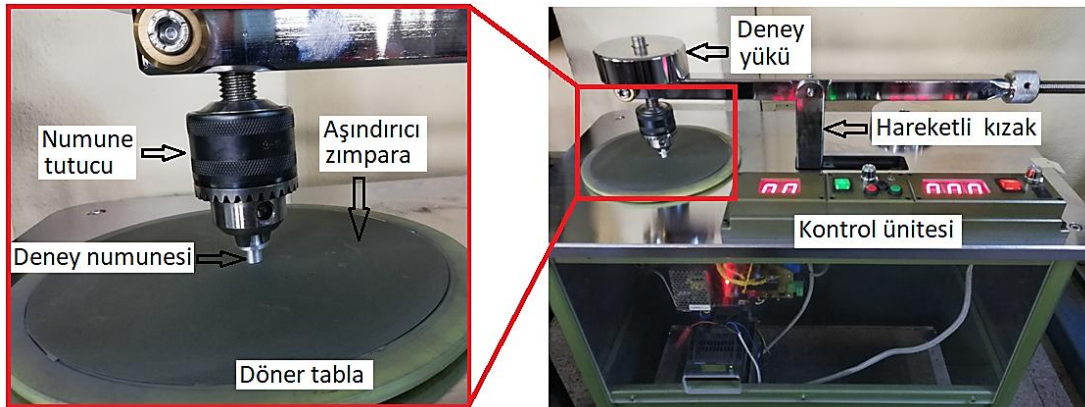
Al 1050							
% Fe	% Si	% Cu	% Mg	% Mn	% Zn	% Al	
0,4	0,25	0,05	0,05	0,05	0,07	Kalan	
Yoğunluk		Sertlik	Çekme Dayanımı		Erime Noktası		
2,71 kg/m ³		34 HB	105-145 MPa		650 °C		
FeB							
% B	% Si max	% Al max	% C max	% P max	% S max	% Cr max	% Fe
17-20	2,0	1,0	0,5	0,05	0,05	0,1	Kalan
Erime Noktası				Yoğunluk			
>1500°C				3,3g/cm ³			

Yapılan literatür araştırmasında bu tür kompozitlerin üretimi için kullanılan deney parametreleri incelenmiştir. En fazla tercih edilen eritme sıcaklıkları, karıştırma devir ve süreleri tespit edilerek bu çalışmada kullanılacak deney parametreleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında AA1050 külçe malzeme elektrikli ergitme ocağındaki pota içine konularak 750°C sıcaklıkta sıvı ergiyik haline getirilmiştir. Daha sonra karıştırılabilir döküm cihazının pervaneleri sıvı alüminyum içine daldırılarak 600 dev/dak hızda karıştırma işlemi başlatılmıştır. Bu esnada hesaplanan ağırlık oranında FeB tozu, karıştırma devam ederken pota içine ilave edilmiştir. Bu şekilde 10 dak süre boyunca karıştırma işlemi devam ettirilerek sonlandırılmıştır. Son olarak sıvı karışım vakit kaybetmeden önceden hazırlanmış olan 150 mm çapında 150 mm boyunda ve 30 mm çapında 180 mm boyunda çelik kalıplar içine dökülmüştür. Bu işlemler %2, %4, %8 FeB katkılı kompozitler ve katkısız saf AA1050 malzeme için tekrar edilerek malzeme üretim işlemleri tamamlanmıştır. Ancak bu tür kompozit yapılarda sıklıkla karşılaşılan ve genellikle döküm işlemleri sonrasında görülebilen yapısal kararsızlıkların giderilmesi ve kompozit yapının sıkılaştırılması amacıyla sıcak presleme işlemi yapılmıştır. Bunun için soğuduktan sonra kalıplar içinden çıkarılan kompozit numuneler ısıtılma fırını içinde 400°C sıcaklıkta ısıtılarak, 50 tonluk pres altında tek yönde boyuna olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Şekil 2’de preslenmiş kompozit numuneler gösterilmektedir.



Şekil 2. Kompozit numuneler

Daha sonra çalışmanın ikinci aşaması olan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini tayin edebilecek deney ve incelemelere geçilmiştir. Bu amaçla her farklı deney için deney numuneleri hazırlanmıştır. İlk olarak TS EN ISO 6506-1 standardına göre Brinell yöntemiyle sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde her malzemenin 5 farklı bölgesinden ölçülen sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak grafiğe aktarılmıştır. Daha sonra kompozit numuneler üzerinde TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak çekme deneyleri yapılmıştır. Son olarak ise kompozit malzemelerin aşınmaya karşı davranışlarını belirleyecek abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri pin-on disk yöntemi ile iki (60 s ve 120 s) farklı aşınma süresi ve 20 N yük altında yapılmıştır. Aşındırıcı eleman olarak 600 mesh tanecik büyüklüğünde Al₂O₃ zımpara kullanılmıştır. Aşınma deneyleri her üç takviye oranındaki kompozit malzemelere ve saf Al1050 malzemeye ayrı ayrı uygulanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri aşınma deneyi öncesi ve aşınma deneyi sonrası 0,0001 gr ölçme hassasiyetindeki terazide tartılarak aşınma kayıpları belirlenmiştir. Aşınma deneyleri sırasında çekilen fotoğraf Şekil 3’te verilmiştir.

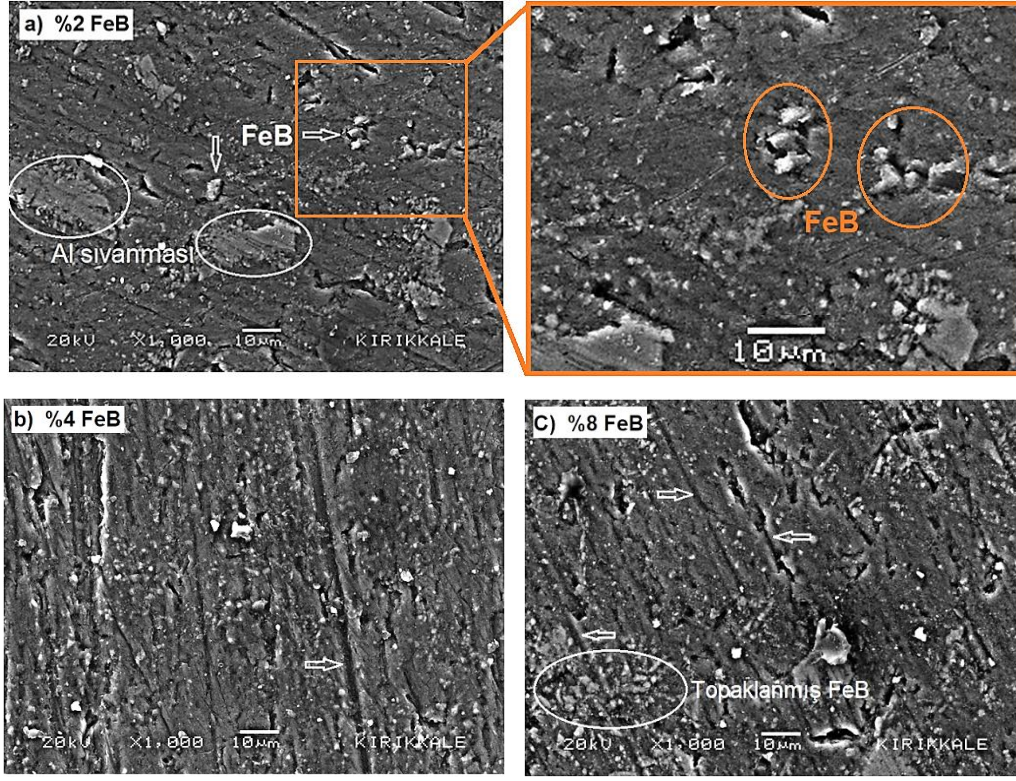


Şekil 3. Abrasif aşınma deney düzeneği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mikroyapı Değerlendirmesi

Vortex yöntemiyle üretilmiş olan %2, %4, %8 FeB katkılı kompozitlerin Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) $\times 1000$ büyütmede çekilen görüntüleri Şekil 4'te toplu olarak verilmiştir.



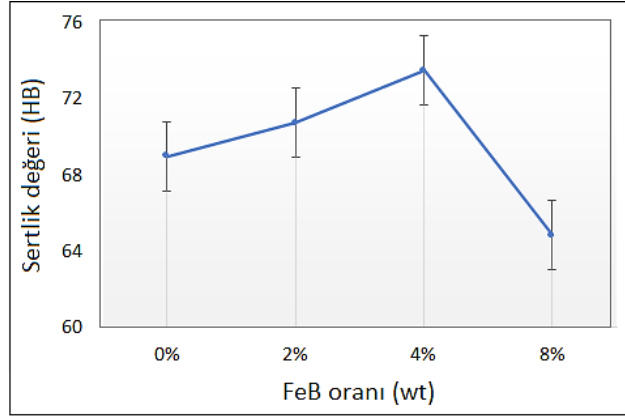
Şekil 4. %2, %4, %8 FeB katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri

Şekil 4'teki görüntülere bakıldığında ilk etapta FeB taneciklerinin yapı içindeki etkisi ön plana çıkmaktadır. FeB oranının artmasıyla kompozit yapı içindeki dağılımın kötüleştiği yer yer FeB taneciklerinin biri araya gelerek topaklanmış bölgelerin oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum Şekil 1c'de görülen %8 takviyeli numunede daha fazla ön plana çıkmaktadır. Ayrıca SEM görüntülerinin çekilmesinden önce yapılan yüzey hazırlama işleminde, sert fazdaki FeB taneciklerinin yüzeyi çizdiği ve derin oyuklara neden olduğu da görülmektedir. Bu çiziklerin oluşturduğu oyuklar Şekil 1b ve 1c'de ok işareti ile gösterilmiştir. 1050 kalite alüminyumun yumuşak yapısının sebep olduğu sıvanmalar ise Şekil 1a'da görülmektedir. Alüminyuma göre daha sert fazdaki FeB taneciklerinin oranının az olması sebebiyle, %2 takviyeli kompozit yapıdaki matris fazı Al 1050 ön plana çıkarak yüzey hazırlama sırasındaki zımparalamanın sürtünme etkisiyle alüminyum sıvanmalarının olduğu bölgeler meydana gelmiştir.

Kompozitlerin mikroyapı değerlendirmesinde diğer önemli husus matris-takviye arasındaki ıslatma problemidir. Özellikle karıştırılmalı döküm tekniği ile üretilen parçacık takviyeli metalik kompozitlerde düşük veya yetersiz ıslatma en çok rastlanan olumsuzlukların başında gelmektedir [10]. Kompozit yapının elemanlarından olan Al 1070 ve FeB farklı yüzey enerjilerine sahiptir. Dolayısıyla farklı termodinamik davranışlar sergilemekte ve matris ile takviye ara yüzeylerinde yeterli seviyede ıslatma olamamaktadır. Hem yetersiz ıslatma hem de farklı yoğunluk değerleri sebebiyle sıvı matris içindeki FeB çökmesi ve topaklanmasıyla kompozit içinde bölgesel olarak gözenekli bir yapı oluşabilmektedir [10-12]. Bütün bu olumsuzluklar kompozit malzemenin mekanik özelliklerine değişik biçimlerde etki yapmaktadır.

3.2. Sertlik Ölçümü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

%2, %4, %8 FeB katkılı kompozitlerin Brinell yöntemi ile yapılan sertlik ölçümlerinden elde edilen verilere göre çizilen grafik Şekil 5'te verilmiştir.

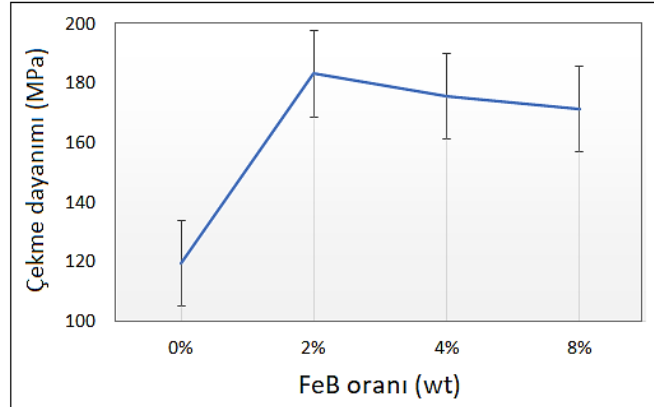


Şekil 5. Kompozitlerin sertlik değerleri

Şekil 5'e bakıldığında FeB takviye oranının artışına bağlı olarak sertlik değerlerinin önce yükseldiği daha sonra tekrar düştüğü görülmektedir. Sertlik değeri %4 FeB takviye oranına kadar yükseldikten sonra %8 FeB takviye oranında aniden düşerek saf haldeki Al 1050 malzemenin sertlik değerinin de altına indiği anlaşılmaktadır. Parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerde bu sertlik davranışıyla karşılaşılabilir [13,14]. Takviyenin belli bir orana kadar yükselmesiyle, takviye elemanının sertliğine bağlı olarak kompozit yapının sertliği yükselmektedir ancak takviye miktarının belli bir oranın üzerine çıkmasıyla kompozit yapıdaki gözeneklilik (porozite) artış göstermekte ve sertlik ölçümü sırasında sertlik cihazının ölçme probu bu gözenekli bölgelerden ölçüm yapabilmektedir. Dolayısıyla sertlik değerleri normalden daha fazla düşmekte veya karasız ölçüm sonuçları ortaya çıkabilmektedir. Şekil 2'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, artan FeB takviye oranıyla birlikte kompozit yapıdaki gözenekli bölgelerin de artış gösterdiği gözlenmektedir. Sertlik değerlerini etkileyen diğer husus ise sıvı alüminyum içine takviye edilen ferrobör içindeki elementel bor'un, alüminyum matris içinde çözülmüş olması ihtimalidir. Son zamanlarda Bor elementinin ilave edilebildiği malzemelerin, bazı teknik özelliklerini geliştiği bilinmektedir. Çekme deneylerinin yorumlandığı bölümde bu konuda daha fazla açıklama yapılmıştır.

3.3. Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Vortex yöntemiyle üretilmiş olan %2, %4, %8 FeB katkıli kompozitlerin çekme testlerinden elde edilen verilere göre çizilen grafik Şekil 6'da verilmiştir.



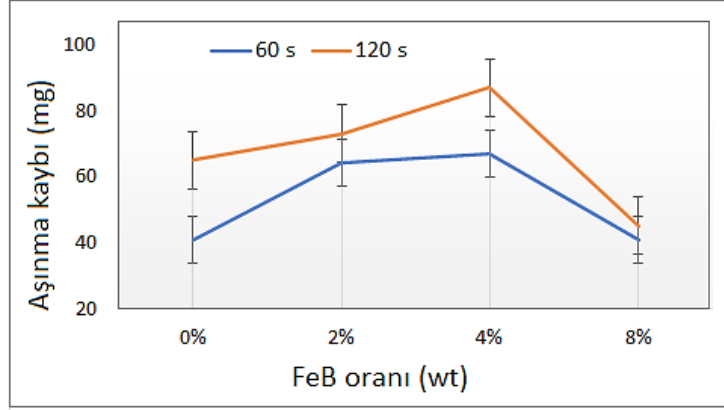
Şekil 6. Kompozitlerin çekme dayanımı değerleri

Şekil 6'daki grafiğe bakıldığında, Şekil 5'teki sertlik grafiğine benzer bir durum göze çarpmaktadır. FeB takviyesiz saf Al 1050 malzemeye göre, %2 FeB takviyeli malzemenin çekme dayanımında önemli ölçüde artış olduğu görülmektedir. Çekme dayanımı değeri 119,5 MPa'dan 183,2 MPa'a yükselmiştir. Bu durumda FeB takviyesinin çekme dayanımı değerini %50 kadar yükselttiği ifade edilebilir. %4 ve %8 FeB takviyeli numunelerde ise çekme dayanımı değerleri sırasıyla 175,6 MPa ve 171,4 MPa olarak ölçülmüştür. Bir miktar düşme olsa da yine %45 civarında bir çekme dayanımı artışından bahsetmek mümkündür. FeB takviye oranının yükselmesiyle çekme dayanımı değerlerinin biraz azalmasını, yapı içindeki takviye toplanmasına bağlı olan gözeneklilikle açıklamak mümkündür. Zira kompozit yapı içindeki düzensiz şekilli ve yer yer keskin köşeli FeB tanecikleri aynı zamanda çentik etkisi yaparak çekme deneyi esnasında kompozit yapının birbirinden ayrılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak esas önemli sonuç FeB katkısının Al 1050 matris malzemesinin çekme dayanımı değerini dikkate değer oranda arttırmış olmasıdır. Bu durumu FeB içindeki elementel Bor'un Al 1050 malzeme içinde çok az miktarda da olsa çözülmüş olabilme ihtimali ile açıklamak mümkündür. Literatürdeki bir

çalışmada %99,99 saflıktaki alüminyum içinde %0,0016 oranında Bor çözünerek AlB_2 oluşturduğu tespit edilmiştir [4]. Farklı bir çalışmada ise Al-B master alaşım üretiminde KBF₄'ten redüklenen bor, Al/cüruf arayüzünde AlB_{12} katmanı halinde biriktiği ve harici kuvvet etkisiyle sıvı alüminyum içine itilen AlB_{12} , alüminyum ile peritektik reaksiyona girerek AlB_2 'ye dönüştüğü bildirilmiştir [7]. Literatürdeki bu sonuçlardan yola çıkarak yapılan bu çalışmada da çok düşük miktardaki B'un sıvı Al içinde çözünerek katı çözelti oluşturduğu düşünülmektedir. Çekme dayanımındaki bu artış, kompozit yapı içindeki B'un mekanik dayanımı artırıcı etkisine atfedilmiştir.

3.4. Abrasif Aşınma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Vortex yöntemiyle üretilmiş olan %2, %4, %8 FeB katkılı kompozitlerin 60 s ve 120 s sürede yapılan abrasif aşınma deneylerinden elde edilen aşınma kaybı değerlerine göre çizilen grafikler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Aşınma kaybı değerleri

Aşınma kayıplarını gösteren grafik incelendiğinde, sertlik ve çekme deney sonuçlarıyla benzer karakterde bir grafik eğrisi olduğu görülmektedir. Aşınma kayıpları %4 FeB oranına kadar yükselirken, %8 FeB oranında ani bir azalma göstererek saf Al 1050 malzemenin aşınma kaybı değerine yaklaşmıştır. Sertlik değeri en yüksek olan %4 FeB takviyeli numunede en fazla aşınma kaybı meydana gelmiştir. Bu tür kompozit yapılar içinde sert fazdaki takviye parçacıklarının aşınmayı artırıcı bir etki yaptığı söylenebilir. Kompozit yapı içinde sert takviye fazının artmasıyla sertlik değerleri de artış göstermektedir ancak sertliğin artması aşınma direncini azaltmıştır. Literatürde benzer sonuçlar yer almaktadır [15-18]. Aşınma deneyleri sırasında kompozit yapı içinden koparak uzaklaşan FeB parçacıklarının ikinci bir abrasif aşınma mekanizması olarak hareket ettiği ve aşınma deneylerinde kullanılan zımpara gibi görev yaptığı değerlendirilmektedir. Dolayısıyla kompozit yapı içindeki takviye miktarına bağlı olarak bu ikinci aşındırma işlemi daha fazla etkili olabilmektedir. Ancak burada %8 takviye oranında daha fazla aşınma kaybı olması beklenirken tersi olmuştur. Bunun sebebi, kompozit yapı içindeki FeB topaklanma bölgeleri ve yüksek gözenekliliğe bağlı olarak devreye giren farklı bir aşınma davranışının ortaya çıkmasıdır. Bu durumda, aşınma deneyleri sırasında daha büyük kütleler halinde FeB parçacıkları koparken oluşturduğu oyuk ve gözeneklerin yerine yumuşak fazdaki Al 1070 malzemenin dolarak sıvandığı anlaşılmaktadır.

Şekil 7'deki grafiklerde dikkati çeken diğer husus aşınma süresiyle aşınma kayıpları arasındaki orantısız değerlerdir. Normal olarak aşınma deney süresi iki katına çıktığında aşınma miktarının da yaklaşık iki katına çıkması beklenir. Bu beklenti saf Al 1050 malzemede nispeten gerçekleşmiştir. Ancak FeB takviyeli kompozit numunelerde aşınma süresinin artışı kadar aşınma miktarları artmamış ve %8 takviyeli numunede neredeyse biri birine yakın sonuçlanmıştır. Bunun farklı sebepleri olabilmekle birlikte en önemli sebebinin aşınma deneylerinde meydana gelen yüzey altı gerilim sertleşmesi olduğu düşünülmektedir. Nitekim benzer sonuç literatürde yer almaktadır [19]. Kompozit numunelere yapılan ilk aşınma deneyinde uygulanan yükün ve oluşan ısının sebebiyle aşınma yüzeyinde meydana gelen sertleşme, aynı yüzey üzerinde yapılan ikinci 120 saniyelik aşınma deneyinde etkisini göstermiştir. Bu deneyde nispeten sertleşmiş ve kayganlaşmış olan numune yüzeyinden aşındırıcı zımparanın malzeme kaldırması zorlaşmıştır. Diğer bir deyişle, zımparanın malzeme yüzeyine tutunması ve dalması işlemi güçleşerek, birim zamandaki aşınma kayıplarının azalmasına sebep olmuştur.

4. SONUÇ

Bu deneysel çalışmada %99,5 ticari saflıktaki Al 1050 alüminyum alaşımı içine vortex yöntemiyle %2, %4 ve %8 ağırlık oranlarında toz FeB takviye edilerek kompozitler malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozitler üzerinde yapılan sertlik, çekme, abrasif aşınma deneyleri ve SEM incelemelerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Matris malzemesi Al 1050 ile takviye elemanı FeB arasında yeterli seviyede ıslatmanın olmadığı görülmüştür. Takviye oranının artmasıyla FeB topaklanması oluşmuş ve buna bağlı olarak kompozit yapı içinde gözenekli bölgeler meydana gelmiştir.
- Kompozit numunelerin sertlik değerlerinde %4 FeB takviye oranına kadar yükselme meydana gelmiştir ancak %8 FeB takviyeli numunede aniden düşerek saf Al 1050 malzemenin sertlik değerinin altına inmiştir. Bu durum kompozit yapının içindeki aşırı gözenekliliğe atfedilmiştir.
- En kararlı veriler çekme deneylerinden elde edilmiştir. FeB takviyesi Al 1050 matris malzemesinin mekanik dayanımını arttırmış ve çekme mukavemeti değerlerini yükseltmiştir. Bu sonuç tespit edilememiş olmasına rağmen B elementinin Al 1050 matris içinde çok düşük miktarda çözünmüş olabileceği ve bunun da dayanım artışı sağladığı şeklinde değerlendirilmiştir.
- Kompozit malzemelerin abrasif aşınma deneylerinden elde edilen değerler ile sertlik değerleri arasında ters orantılı sonuçlar elde edilmiştir. Kompozit yapının sertlik değerinin artmasıyla aşınma kayıpları da artış göstermiştir. Bu duruma, kompozit yapının FeB oranına bağlı olarak artan gözenekliliğinin sebep olduğu ifade edilmiştir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] A. Ulutaş ve H. Turhan, "Investigation Of Microstructure And Electrical Characteristics Of Cu-FeB Composite Materials Produced By Powder Metallurgy", *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, vol. 12, no. 2, pp. 43-52, 2017.
- [2] S. Buytoz ve H. Eren, "Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi", *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, vol. 19, no. 2, pp. 209-216, 2007.
- [3] Ferrobör Ön Fizibilite Etüdü, Planlama ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü, Ankara, ss. 1-48, 2003.
- [4] N. J. Finch, "The Mutual Solubilities of Titanium and Boron in Pure Aluminum", *Metallurgical Transactions* vol. 3, pp. 2709-2711, 1972.
- [5] J. Fjellstedt, A.E.W. Jarfors, T. El-Benawy, "Experimental investigation and thermodynamic assessment of the Al-rich side of the Al-B system", *Materials and Design*, vol. 22, pp. 443-449, 2001.
- [6] D. Mirković, J. Gröbner, R. Schmid-Fetzer, O. Fabrichnaya, H. L. Lukas, "Experimental study and thermodynamic re-assessment of the Al-B system", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 384, pp. 168-174, 2004.
- [7] X. Wang, "Boride phase formation in the production of Al-B master alloys", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 722, pp. 302-306, 2017.
- [8] A. Khaliq, M.A. Rhamdhani, G.A. Brooks, J. Grandfield, "Analysis of Boron Treatment using AlB₂ and AlB₁₂ based Master Alloys", *TMS Annual Meeting & Exhibition*, pp. 1-7, 2014.
- [9] G. Sur, Y. Şahin, ve H. Gökçaya, "Ergimiş Metal Karıştırma Ve Basınçlı Döküm Yöntemi İle Alüminyum Esaslı Tanecik Takviyeli Kompozitlerin Üretimi", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* vol. 20, no. 2, pp. 233-238, 2005.
- [10] J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, "The Enhancement of Wettability of SiC particles in Cast Alüminium Matrix Composites", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 119, pp. 329-335, 2001.
- [11] V. Baydaroğlu, M. Pul, "Effect of Reinforcement Ratios on Mechanical Properties and Wear Behavior of B4C + SiC Reinforced AA 7075 Composites", *TURKEYTRIB'18 2nd International Conference on Tribology*, pp. 18-20, 2018.
- [12] Pul, M., 2019. Alüminyum 7075 Matrisli Kompozitlerde SiC, B4C ve TiB₂ Takviye Elemanlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Karşılaştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 180-193.
- [13] A. M, Rajesh and M. Kaleemulla, "Experimental investigations on mechanical behavior of aluminium metal matrix composites," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 149, no. 012121, 2016.
- [14] C. S. Ravindra Sagar and T. K Chandrashekar, "Effect of heat treatment on mechanical properties of aluminum LM13-MgO_p metal matrix composites," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 8, no. 2, pp. 284-288, 2018.

- [15] H. Hasırcı, F. Gül, “B₄C/Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”,SDU International Technologic Science, vol. 2, no. 1, pp. 15-21, 2010.
- [16] S. Islak, H. Çelik, “Effect of Sintering Temperature and Boron Carbide Content on the Wear Behavior of Hot Pressed Diamond Cutting Segments”, Science of Sintering, vol. 47, pp. 131-143, 2015.
- [17] L. E. G. Cambrono, E. Sánchez, J.M. Ruiz-Roman and J. M. Ruiz-Prieto “Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics”, Journal of Materials Processing Technology, vol. 143-144, pp. 378-383, 2003.
- [18] O. Yılmaz, S. Buytoz, “Abrasive wear of Al₂O₃-reinforced aluminum-based MMCs”, Compos. Sci. Technol., vol. 61, pp. 2381-2392, 2001.
- [19] M. Singh, D.P. Mondal, S. Das, Abrasive wear response of aluminium alloy-sillimanite particle reinforced composite under low stress condition, Mater. Sci. Eng. 419 (2006) 59-68.