

PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE BİR DERLEME

Ertan KÖSEDAĞ^{1,2} (ORCID: 0000-0002-5580-0414) *
Recep EKİCİ¹ (ORCID:0000-0002-4420-8431)

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye
²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

Geliş / Received: 03.01.2018
Kabul / Accepted: 25.06.2018

ÖZ

Kompozit malzemeler endüstriyel uygulamalarda ani yüklenme, darbe, düşme ve çarpma gibi dinamik etkilere maruz kalabilmektedir. Bu tür etkiler tasarımda kullanılan malzemelerde gözle görülen hasara ya da görülemeyen iç hatalara sebep olmaktadır. Yapılan literatür taramaları, partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin darbe davranışının incelendiği çalışmaların sınırlı sayıda olduğunu göstermektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, mevcut duruma dikkat çekmek istenilmiş olup konu hakkında genel bilgiler verilmiş ve son olarak da gerçekleştirilen çalışmalar özetlenmiştir. Buna göre, yapılan çalışmalarda genel olarak sıcaklığın, takviye partikül tipinin, hacim oranı ve boyutunun, ısıl işlemin ve ikincil mekanik işlemler gibi üretim parametrelerinin partikül takviyeli kompozit malzemelerin darbe dayanımına etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmaların literatür açısından henüz yeterli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, birçok alanda ve çok önemli uygulamalarda dinamik yükleme şartları altında kullanılan partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin darbe davranışları üzerine daha fazla çalışma yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler Partikül takviyeli metal matrisli kompozitler, Mekanik özellikler, Dinamik yükleme, Darbe.

A REVIEW ON IMPACT BEHAVIORS OF PARTICLE REINFORCED METAL MATRIX COMPOSITES

ABSTRACT

Composite materials can be subject to dynamic effects such as sudden loading, impact, drop and strike in industrial applications. Such effects cause visible damage or invisible internal defects in materials used in a design. Literature surveys show that the studies on the impact behavior of particle-reinforced metal matrix composites are limited. In this study, it was requested to draw attention to the current situation and the general information was given about the subject, and finally the studies carried out were summarized the literature review. Accordingly, the effects of production parameters such as temperature, reinforcement particle type, volume fraction and size, heat treatment and secondary mechanical processes on the impact strength of particulate reinforced composite materials were generally investigated in the studies carried out. It has been determined that the studies performed have not yet reached sufficient level in terms of the literature. Therefore, it has been concluded that it should be done more studies on the impact behaviors of particle-reinforced metal matrix composites used in many fields and in very important applications under the dynamic loading conditions.

Keywords: Particle-reinforced metal matrix composites, Mechanical properties, Dynamic loading, Impact.

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 352 207 66 66; e-mail / e-posta: ekosedag@erciyes.edu.tr

PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE BİR DERLEME

1. GİRİŞ

Uzay, havacılık, savunma ve otomotiv gibi sektörlerin her geçen gün giderek gelişmesi beraberinde yeni yapısal malzemelere olan gereksinimi arttırmaktadır. Metal, seramik, polimer gibi yalın haldeki geleneksel malzemeler ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu durum uzun yıllar boyunca araştırmacıları kompozit malzeme yaklaşımı üzerine yoğunlaştırmıştır. Kompozit malzemeler, çeşitli malzemelerin kombinasyonu ile istenilen özellikte yeni malzemeler elde etmek amacıyla üretilen malzemelerdir. Kullanım yerlerine göre metal, seramik ve polimer matrisli olarak üretilen kompozit malzemeler günlük hayatın birçok alanında karşımıza çıkmaktadır. Örneğin havacılıkta düşük yoğunluklu, rijit, yüksek dayanıma sahip, darbe ve aşınmaya dirençli bunun yanında korozyon direnci yüksek malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özellikleri geleneksel monolitik bir malzemede bir arada bulmak mümkün değildir. Metal, seramik, polimer gibi monolitik malzemelerde yoğunluğu düşük olan malzemelerin dayanımı nispeten daha düşükken, yüksek yoğunluktaki dayanımı daha yüksek olan malzemelerde tokluk düşmektedir. Kompozit malzemeler, matris ve takviye elamanlarının kullanım oranlarının uygun seçilmesi ile bu değerleri en uygun seviyede tutma amacı taşımaktadır. Kompozit malzemeler genel olarak matris türlerine göre metal, polimer, seramik matrisli kompozitler olmak üzere birbirlerinden ayrılırken, takviye açısından parçacık, elyaf takviyeli ve yapısal kompozit malzemeler olmak üzere üç grupta sınıflandırılırlar.

Bu çalışma, temel olarak iki bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde, partikül takviyeli kompozit malzemeler hakkında kısa bir bilgilendirme yapılmış ardından darbe dayanımının mühendislik malzemeleri açısından önemi vurgulanmıştır. İkinci bölümde ise literatürdeki partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin darbe davranışlarının çeşitli parametrelere göre nasıl değiştiğini konu alan çalışmalar sunulmuştur. Bu çalışma, söz konusu kompozitlerin sıcaklık, partikül tipi, hacim oranı ve boyutu, ısıl işlem, ikincil mekanik işlemler (Ekstrüzyon, haddeleme vb.) ve diğer üretim parametreleri ile darbe davranışının nasıl değiştiğinin ortaya konulması bakımında toparlayıcı özelliktedir.

2. PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER VE DARBE ETKİSİ

Metal matris içerisinde, takviye elemanı olarak düzenli yada düzensiz geometriye sahip ve genellikle seramik takviye elamanlarının dağıtılması ile elde edilen kompozit malzeme türüne partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler denir. Partikül takviyeli metal matrisli kompozitler fiber takviyelilerin aksine izotropik mekanik özelliklere sahiptirler. Dövme, haddeleme, ekstrüzyon gibi geleneksel metal işleme teknikleri ile şekillendirebilmelerinin yanı sıra ham madde maliyetinin düşük olması ve ayrıca yüksek özgül modülleri, rijitlikleri ve mukavemetleri, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, mükemmel aşınma dayanıklılığı, daha düşük ısıl genişleme katsayısı ve izotropik özellikleri partikül takviyeli metal matris kompozitleri performans ve fiyat bakımından hassas uygulamalarda tercih edilebilecek önemli bir aday haline getirmektedir [1-13].

Bu kompozitlerde mukavemet artışını tetikleyen temel iki etken; seramik partiküllerin mekanik özellikleri ve matris ile partikül ara yüzeyinde meydana gelen etkileşim şeklindedir. Bunun yanı sıra, partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini, partiküllerin boyutları, şekilleri, matris içerisindeki hacimsel oranları ve matris içerisindeki dağılımları da etkilemektedir.

Partikül takviyeli kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemeleri genellikle karbürler (SiC, B₄C), oksitler (Al₂O₃, SiO₂), nitrürler (Si₃N₄, AlN), paslanmaz çelik, Si, C, gibi elementlerden meydana gelmektedir. Ayrıca, bu kompozit malzemeler üretim esnasında matris fazının durumuna göre temelde üç kategoride değerlendirilebilirler bunlar aşağıdaki gibidir [14,15] :

i) Katı faz üretim yöntemleri

- Toz metalürjisi
- Difüzyon ile bağlanma
- Mekanik alaşımlama

ii) Sıvı faz üretim yöntemleri

- Karıştırmalı döküm
- Sıkıştırılmalı döküm
- Kompo döküm

E.KOSEDAG, R.EKİCİ

iii) İki aşamalı (katı-sıvı) üretim yöntemleri

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitler kullanıldığı birçok alanda darbe gibi ani dinamik yüklemelere maruz kalabilirler bu sebeple darbe etkisi altında malzemenin verebileceği cevabı önceden bilmek önemli bir tasarım parametresidir [16,17]. Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemelerin maruz kalınan çok eksenli ani darbelerle karşı bütünlüğünü muhafaza edebilecek kabiliyette olması istenir. Malzemelerin kullanıldığı alanlara göre karşılaşılabileceği ani yüklemeler (darbeler) farklı şekillerde gerçekleşebilir. Bu durum darbe üretmek için çeşitli test teknikleri kullanılmasını beraberinde getirmiştir. Maalesef kompozit malzemelerin darbe davranışlarını tespit etmek adına kullanılan standart bir yöntem veya bu konudaki uluslararası otoriteler tarafından ortak kabul edilen bir standart bulunmamaktadır. Bununla birlikte günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir [18]:

i) Sarkaç testleri: Charpy ve Izod testi

ii) Ağırlık düşürme testleri

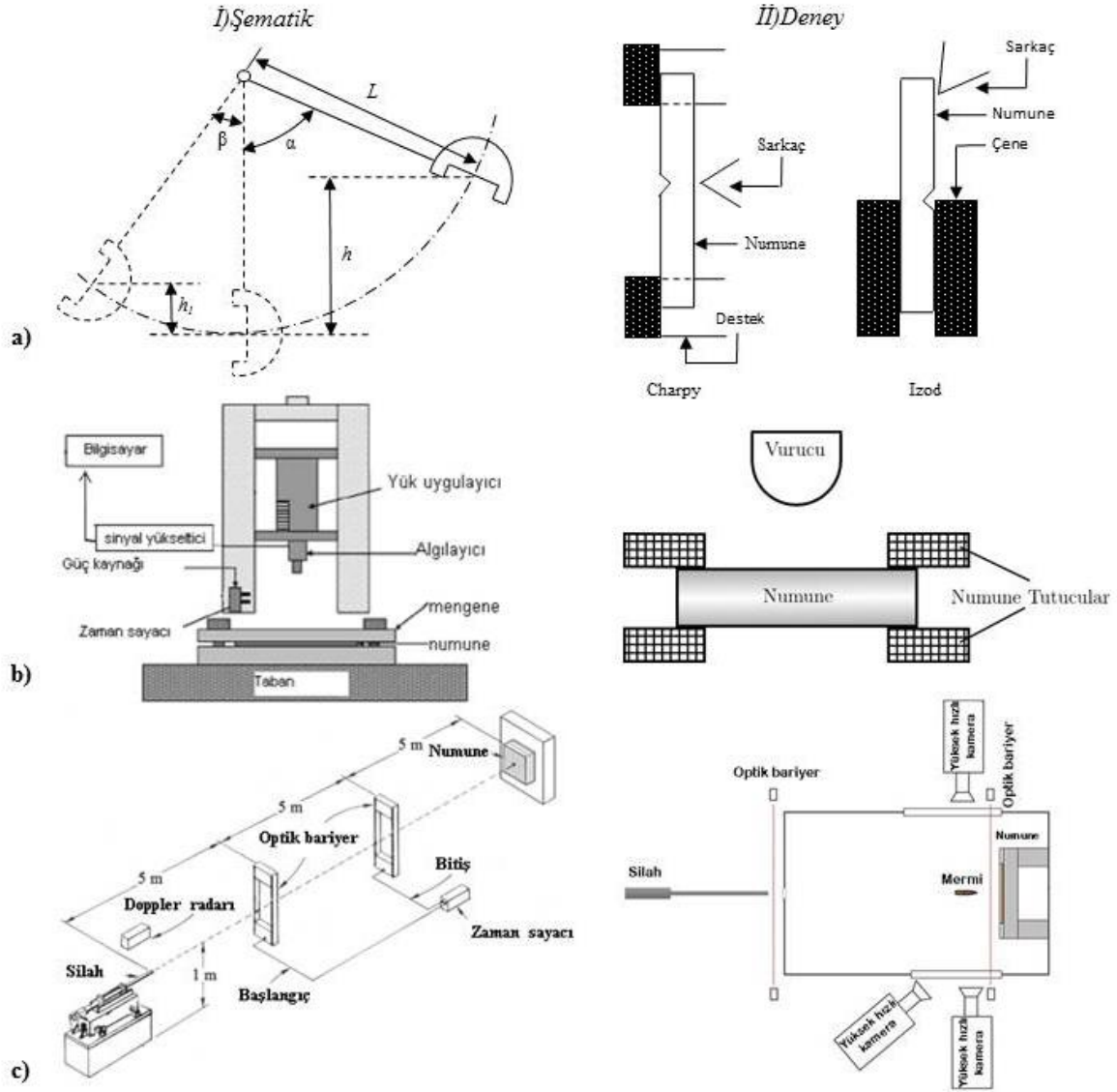
iii) Gazlı ve havalı silah (balistik) testleri

Bu yöntemlerle ilgili şematik diyagramlar ve detayları Şekil 1' de verilmiştir. Pratikte mühendislik malzemeleri çok eksenli ve ani yüklemelere yani darbeli yüklemeye maruz kalmaktadırlar. Özellikle havacılık sektöründe bu etki oldukça önemli bir problemdir. Örneğin yapılan bir araştırmaya göre [19], Boeing 747 uçağında yapılan onarımların %13'ünün darbe sebepli hasarlardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Aynı doğrultuda yapılan bir başka çalışmada [20] darbe etkisi ile meydana gelen hasarların çoğunlukla uçağın burun kısmında, kapı civarında ve kargo bölümünde meydana geldiği rapor edilmiştir. Darbe etkisinden kaynaklanan bu hasarlar genellikle pistteki yabancı maddeler (60 m/s), dolu yağışları (yeryüzündeki hızı 25-60 m/s), bakım esnasında meydana gelen düşük hızlı (10 m/s) alet düşmelerinin meydana getirdiği mikro çatlaklar, kuş çarpmaları gibi sebeplerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu tür yüklemelerle karşılaşılabilecek malzemelerin sadece çekme, basma, sürünme gibi testlerle tek eksenli yüklemeye neticesinde dayanım özelliklerinin tespiti tasarım için yeterli olmayacaktır. Bu malzemelerin aynı zamanda ani ve çok eksenli darbeler karşısında gösterecekleri reaksiyonlar da tespit edilip tasarım parametreleri arasına konulmalıdır.

Darbeli yüklemeler genellikle yüksek hızlı ve düşük hızlı olarak kategorize edilmelerine rağmen, bu ikisi arasında net bir ayırım bulunmamaktadır. Bununla birlikte yüksek hızlı ve düşük hızlı darbe ile kompozit malzemeye aktarılacak enerji miktarı farklı hasarlara sebep olacağından dolayı, bunların sınıflandırılması büyük bir öneme sahiptir. Bu alanda yapılan araştırmaların bir kısmı düşük hızlı darbeyi, çarpan cismin kütle ve rijitliğine, hedefin rijitliğine ve malzeme özelliklerine bağlı olarak 1-10 m/sn arasında değişen hızlar olarak belirtmektedir [21,22].

Darbe tipinin tespiti için, hız ve enerji miktarının sahip olduğu önem kadar hasarın türünün de sınıflandırmadaki önemi büyüktür. Düşük hızlı darbeler, çarpışma anında malzeme içyapısında küçük hasarlar ve kalıcı deformasyon oluşumlarına sebep olan darbelerdir. Düşük hızlı darbeye, malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir. Yüksek hızlı darbeler ise çarpan cismin kompozit malzemeye tamamen nüfuziyetinin söz konusu olduğu darbe türüdür. Yüksek hızlı darbeye çarpan cismin malzeme üzerinde oluşturduğu gerilme dalgası etkisinde malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olmaz ve malzemede çarpan cismin nüfuziyeti ile hasar oluşumu gözlenir [26]. Sarkaç veya ağırlık düşürme darbe test cihazlarının bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş darbe test cihazlarının kompozit malzemelerin düşük hızlıdaki darbe testlerini karakterize etmek için kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır. Ağırlık düşürme test yöntemi, kompozit malzemelerin darbe testleri için ağırlıklı olarak tercih edilen yöntem olmaya başlamıştır. Bu durumun en önemli nedeni, daha geniş bir alanda test parametrelerinin belirlenmesinin mümkün olmasıdır. Ayrıca, sonuçlar çok daha kolay analiz edilebilmektedir. Ağırlık düşürme test yönteminde kullanılan yeni cihazlar yer değiştirmeyi veya ivmelenmeyi ölçmektedirler. Bu sayede yük, yer değiştirme ve ivmelenmenin çarpma anındaki değişimi kaydedilmekte ve bu sonuçlar, darbe yükü-zaman ve darbe enerjisi-zaman değişimlerine dönüştürülebilmektedir. Bunlar sayesinde, en uç noktadaki yük ve absorbe edilen enerji gibi özellikler malzemede meydana gelen kırılma işlemiyle ilişkilendirilebilmektedir [26].

PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE BİR DERLEME



Şekil 1. Yaygın olarak kullanılan darbe deney yöntemleri: a) Sarkaç testleri (Carpy ve Izod), b) Ağırlık düşürme testleri, c) Gazlı ve havalı silah (balistik) testleri [23-25].

3. PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür taramaları partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin darbe davranışları üzerine yapılan araştırmaların genellikle düşük hızlı darbe yüklemesi altında gerçekleştirilen çalışmalar olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalarda, genel olarak partikül takviyeli metal matrisli kompozitler için önemli bir ortam değişkeni olarak sıcaklığın, mikro-yapısal değişkenlerinden partikül tipi, boyutu ve hacim oranının, ısıl işlem, ikincil mekanik işlemler (ekstrüzyon, haddeleme vb.) ve alaşımlama gibi üretim parametrelerinin bu malzemelerin darbe davranışlarına etkileri incelenmiştir.

Sıcaklığın partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin darbe davranışları üzerindeki etkisinin incelendiği ilk çalışmalardan biri Surappa ve Sivakumar [27] tarafından yürütülmüştür. -196 °C, 24 °C ve 100 °C sıcaklıklarında, %10 Al₂O₃ takviye elemanı barındıran Al 2024 matrisli kompozitlerin darbe davranışı incelenmiştir. Artan sıcaklıkla birlikte kompozitlerin darbe enerjilerinin düştüğünü ve buna karşın takviyesiz alaşımlarının darbe enerjilerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi, kırılğan Al₂O₃ partiküllerinin kompozitlerin darbe

dayanımını düşürmesi olarak rapor edilmiştir. Bonollo vd. [28], 25 °C den 200 °C' ye değişen bir sıcaklık aralığında Al 2014-T6 + %17 Al₂O₃ ve Al 6061-T6 + %20 Al₂O₃ kompozitlerin darbe dayanımlarını incelenmişlerdir. Al 2014-T6 + %17 Al₂O₃ ve Al 6061-T6 + %20 Al₂O₃ kompozitlerin darbe dayanımlarının Al2014-T6 ve Al6061-T6 alaşımlarıyla karşılaştırıldığında, en yüksek darbe dayanıma Al6061-T6 alaşımının sahip olması ile birlikte kompozitlerin bünyelerinde ihtiva ettikleri kırılğan partiküllerden dolayı daha düşük, alaşımların ise daha yüksek darbe dayanımı gösterdiklerini ifade etmişlerdir. Bonollo vd., ayrıca deney sıcaklığının, genel olarak darbe enerjilerini arttırırken, hasar mekanizmalarına önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmaların ardından öne çıkan kapsamlı bir çalışma Ozden vd. [29] tarafından gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın yanı sıra mikro-yapısal değişkenlerin, ısıl işlem ve üretim yönteminin etkilerinin incelendiği çalışmada, SiC (ağırlıkça % 10) takviyeli Alüminyum matrisli metal matrisli kompozitler döküm yoluyla üretilip -176' °C den 300 °C' ye değişen sıcaklıklarda Charpy darbe testine tabi tutulmuşlardır. Ozden vd. çalışmalarında Al 2124, Al 5083, Al 6063, Al 6063-T6 alüminyum alaşımları ile 157 µm ve 511 µm olmak üzere iki farklı boyutta SiC partikül kullanılmışlardır. İlave olarak, 13,63:1 ve 19,63:1 olacak şekilde iki farklı ekstrüzyon oranı kullanılmışlardır. Sonuç olarak, kompozitlerin takviyesiz alaşımlara kıyasla daha düşük bir darbe dayanımı gösterdikleri rapor edilmiştir. Bu duruma üretimden kaynaklanan partikül topaklanması ve kümelenmenin sebep olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, Al 6063 alaşımının en iyi darbe dayanımına sahip olduğunu vurgulanmış, ekstrüzyon oranı ve partikül boyutu artışının darbe dayanımında iyileşmelere neden olduğu tespit edilmiştir. Son olarak sıcaklıkta meydana gelen değişikliklerin darbe davranışı üzerinde önemli bir değişiklik yaratmadığı ve yapay yaşlandırma işleminin tüm kompozit ve yalın alaşımların darbe dayanımında bir düşüşe neden olduğu ifade edilmiştir. Sıcaklığın darbe davranışı üzerindeki etkisini inceleyen bir diğer çalışmada Wang vd. [30], TiB₂/Al kompozitlerin -50' den 200 °C' ye değişen sıcaklıklarda takviye elemanın ve ısıl işlem etkilerini değerlendirilmiştir. Hem TiB₂ güçlendirici fazının matris içerisindeki varlığının hem de ısıl işlemle yapılan yaşlandırmanın sebep olduğu çökelmelerin darbe tokluğunu düşürdüğüne dikkat çekilmiştir. Bununla birlikte, oda sıcaklığı ile kıyaslandığında sıfırın altında ve daha yüksek sıcaklıklarda TiB₂/Al kompozitler daha yüksek darbe dirençleri sergilemişlerdir. Son olarak, Kurzawa ve Kacmar [31], Al₂O₃ ile takviyeli Al alaşım (AC-44200) matrisli kompozitleri basınçsız infiltrasyon yöntemi ile ürettikleri numunelerine farklı sıcaklıklarda darbe testleri uygulamışlardır. Takviye oranı %10-30 aralığında olan bu kompozitlerin test sıcaklıkları 23-300°C olarak uygulanmıştır. %10 ve %30 takviye oranına sahip kompozitlerin darbe dayanımı sırası ile %30 ve %60 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca test sıcaklığının artması ile darbe dayanımında bir artış gerçekleştiği vurgulanmıştır.

Özellikle partikül hacim oranı ve boyutu gibi mikro-yapısal parametrelerin darbe davranışı üzerine etkilerini inceleyen birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunlar arasında ilklerden sayılabilecek olan çalışma Kim vd. [32], tarafından yürütülmüştür. Kim vd., hacimce % 5, 10, 15, 20, 30 oranlarında SiC parikülleri ile takviye edilmiş Al6061-T6 matrisli kompozitler üretmişlerdir. Üretilen bu kompozitlerin kırılma tokluğu üzerindeki mikro-yapısal unsurların etkisi araştırılmış ve takviye oranındaki artış ile birlikte kompozit numunelerin kırılma tokluğunda bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ahlatcı vd. [33], basınçlı infiltrasyon yöntemi ile hacimce %60 SiC partikül takviyeli Al matrisli kompozitler üretmiş olup partikül boyutunun bu kompozitlerin darbe davranışı, basma mukavemeti ve aşınma direnci üzerine nasıl bir etki bıraktıklarını incelemişlerdir. Darbe testleri Charpy yöntemi ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucu artan SiC boyutu ile darbe dayanımında bir miktar düşme tespit edilmiştir. Yazarlar bu durumun sebebini partikül boyutunun artışı ile partiküllerdeki kırılma hasarının artması olarak açıklamışlardır. Partikül boyutunun darbe dayanımına etkisini inceleyen Ozden vd. [29] tarafından yapılan çalışma ile çelişen bu sonucun kullanılan takviye oranları arasında yaklaşık %50' lik farktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Zahedi vd. [34], basınçsız eriyik infiltrasyon yöntemi ile Al/SiC kompozitler üretmişlerdir. Bu üretim metodunda SiC' den imal edilmiş boşluklu yapıya sahip preformlar kullanılmıştır. 950 °C' deki eriyik halde bulunan Al bu preformlara basınç kullanmaksızın argon koruyucu atmosfer ortamında sızdırılmıştır. SiC oranları hacimce % 40, 50, 60 olarak seçilmiş ve kullanılan SiC partikül boyutları sırası ile 20, 50, 90 µm olarak belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin teorik yoğunluğa %90-95 aralığında ulaştığı tespit edilmiştir. Üretilen numunelere Charpy darbe testleri uygulanmış olup, partikül boyutunun artması ve takviye hacim oranının azalması ile darbe dayanımında bir iyileşmenin söz konusu olduğu rapor edilmiştir.

SiC ve Al₂O₃ gibi partiküllere göre daha sert ve aynı zamanda daha hafif olan B₄C partikülleri ile takviye edilen Al matrisli kompozitlerin sertlik ve darbe davranışlarının inceleyen Topcu vd. [35], ortalama partikül boyutu 10 µm, takviye oranı ise ağırlıkça % 5, 10, 15, 20 olarak kullanmışlardır. Darbe ve sertlik analizleri sonucu takviye oranı arttıkça kompozitlerin darbe dayanımında bir düşme, sertlik değerlerinde ise bir artış olduğunu kaydetmişlerdir. Şahin [36], AlMg₃ alüminyum alaşım esaslı SiC_p partikülleri ile takviye edilmiş ve %20 oranında haddeleme ile şekillendirilen kompozit malzemelerin darbe davranışlarını çentik darbe deneyleri ile incelemiştir. Takviye hacim oranı arttıkça kompozitlerin kırılması için gerekli darbe enerjisinin düştüğü

PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE BİR DERLEME

belirtmiştir. Gevrek SiC takviye parçacıklarının yapıya ilavesinin kompozitleri gevrekleştirdiği ve darbe dayanımlarının düşmesinde etkin rol oynadığı belirtilmiştir. Ayrıca, haddeleme işleminin AlMg₃/SiCp kompozit malzemelerin çekme dayanımı, akma dayanımı, sertlik gibi mekanik özelliklerini arttırdığı halde çentik darbe dayanımını düşürdüğü gözlenmiştir. Cerit [37], toz metalürjisi üretim yöntemini kullanarak yapmış olduğu çalışmada tek ve çift parçacık boyutlu SiC partiküllerinin Al 2124 alaşım matrisli kompozitlerin darbe davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. SiC takviye elemanı boyutu ve kullanım oranları Tablo 1' deki gibidir. Ağırlık düşürme yöntemi ile yapılan testler sonucu çift partiküllü SiC içeren kompozitlerin tek partiküllü olanlara kıyasla daha iyi darbe dayanımı gösterdikleri tespit edilmiştir.

Tablo 1. SiC partikül takviye elemanına ait boyut ve kullanım oranları [37].

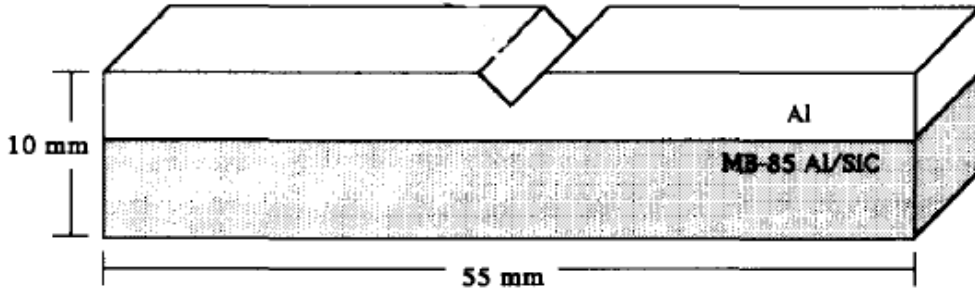
Sembol	SiC Partikül Boyutu (µm)	Takviye Oranı (hacimce %)
Al2124	-	Takviyesiz
TP2 (Tek partiküllü 2)	2	10
TP53	53	10
TP167	167	10
ÇP2-53 (Çift partiküllü 2)	2 ve 53	5+5
ÇP2-167	2 ve 167	5+5
ÇP-53-167	53 ve 167	5+5

Ekici ve Kaburcuk [38], toz metalürjisi yolu ile üretmiş oldukları Al 6061 matrisli SiC takviyeli kompozitlerin darbe davranışlarının darbe hızı, takviye partikül oranı ve boyutu ile nasıl değiştiğini incelemiştir. Hacimce %10, 20, 30 oranında ortalama 37, 102, 356 µm boyutlarında SiC kullanılan çalışma deneysel olarak yapılmanın yanı sıra ABAQUS/Explicit paket programı ile de modellenmiş ve sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda partikül hacim oranının azalması ve partikül boyutunun artması ile kompozitlerin darbe absorbe etme yeteneklerinin geliştiği görülmüştür. Ayrıca, yapılan modelleme ile deneysel sonuçlarında örtüştüğü vurgulanmıştır. Ekici [39], SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin dinamik davranışına partikül hacim oranının ve darbe enerjisinin etkisini aynı toplam enerji seviyesinde düşük hızlı tekrarlı ve tek darbe yüklemesi altında incelemiştir. Toplam darbe enerjisinin artmasıyla çarpma süresi ve temas kuvvetinin arttığı belirtilmektedir. Tekrarlanan darbeler ile kompozit yapılar yoğun bir deformasyon sertleşirmesine maruz kaldığından rijitliklerinin artmasından dolayı, temas kuvvetinde bir artış ve darbe süresinde kısalma olduğu ifade edilmiştir. Buna paralel olarak, tekrarlı darbenin partikül takviyeli kompozitlerin enine merkezi deformasyonlarda azalma ve darbe absorbe etme kabiliyetlerinde düşüşe neden olduğu gözlenmiştir. Ekici ve Kosedag [40], SiC ve Pomza partikülleri ile takviye edilmiş Al esaslı metal matrisli kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışlarını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemiştir. Pomza partikül takviyeli kompozitlere göre SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin düşük hızlı darbe altında daha rijit bir davranış sergilediği belirtilmiştir. Ayrıca, takviye partiküllerin kalıcı eşdeğer gerilme ve şekil değiştirme dağılımlarını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Temas kuvveti ve süresinin darbe hızı arttıkça arttığı bununla birlikte, hacim oranının artması ile temas kuvvetinin arttığı ve temas süresinin kısalacağı ifade edilmiştir.

Isıl işlem etkilerini içeren araştırmaların başında gelen çalışma Hasson vd. [41] tarafından yürütülmüştür. Çalışmada ağırlıkça % 20 SiC (whisker) takviye elemanı içeren Al 6061 matrisli kompozitleri ekstrüzyon yolu ile üretilip bu kompozitlerin darbe dayanımına T6 yapay yaşlandırmanın etkileri incelenmiştir. Ayrıca, takviyesiz Al6061 T6 alaşımı ile kompozit numunelerden elde edilen darbe dayanımı sonuçları kıyaslanmıştır. Al 6061-T6 alaşımının darbe dayanımının Al 6061/SiC-T6 kompozitin dayanımından daha düşük olduğu ve ısıl işlemin kompozitin darbe dayanımında ciddi bir değişikliğe sebep olmadığı belirtilmiştir. Al 6061 alaşım matrisli %20 Al₂O₃ takviyeli kompozitler üreten Unsworth ve Bandyopadhyay [42], bu kompozitlerde yaşlandırma süresi ile darbe davranışlarının nasıl değiştiğini incelemiştir. Artan yaşlandırma süresi ile takviye ve matris faz ara yüzeylerinde giderek artan ve bir takım reaksiyonlar sonucu oluştuğu düşünülen inter-metalik Mg₂Si bileşikler söz konusu kompozitlerin gevrekliğini arttırmıştır. Bundan dolayı, sert kırılmalı Al₂O₃ fazları barındıran kompozit numunelerin daha da kırılmalı hale gelip darbe esnasında enerji absorbe etme yeteneğinin düştüğü belirtilmiştir. Ayrıca, 4 saat süre ile 175 °C sıcaklıkta yaşlandırma işlemine tabi tutulan kompozitlerin darbe dayanımında büyük bir düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durumun sebebinin, yaşlandırma sertleşirmesinden kaynaklanan gevrekleşme olduğu ifade edilmiştir.

E.KOSEDAG, R.EKİCİ

Seramik takviye partiküllerin metal matrisli kompozit yapıyı gevreklettiğini ve darbe dayanımını düşürdüğünü gören araştırmacılar, malzeme yapısını iyileştirmeye yönelik farklı üretim yöntemleri, takviye elemanları ve darbe dayanımını arttıran alaşımlama gibi yapısal parametreler üzerinde de durmuşlardır. Bu amaçla, Prewo [43], % 30 SiC partikül ile güçlendirilmiş Al-6061 metal matrisli kompozitler üretmiş ve bu kompozitlerin darbe davranışını çentiksiz ve çentikli olmak üzere charpy testine tabi tutmuştur. Al 6061-T6/SiC kompozitlerin yalın haldeki 6061 Al-T6 alaşımından daha aşağı değerlerde darbe direnci gösterdiği ve çentikli numunelerde darbe enerjisinin yaklaşık 10 kat azaldığını belirtmiştir. İki tabaka halinde kompozit malzeme üreten Ellis ve Lewandowski [44], MB-85 Al (Al-Cu- Mg)/SiC kompozitinin üzerine Şekil 2’ de görüldüğü gibi takviye elemanı içermeyen bir Al tabaka ilave etmişlerdir. Partikül takviyeli kompozitlerin içerdiği kırılğan takviye elemanı sebebiyle gevrekleştiğini dolayısıyla, darbe absorbe edebilme kabiliyetinin düştüğünü belirten yazarlar ilave edilen takviyesiz Al tabakası ile kompozitin sünekliğinin arttığını böylece darbe absorbe edebilme yeteneğinin yükseldiğini belirtmişlerdir.



Şekil 2. Tabakalı kompozit Numunesi [44].

Celaya vd. [45], basınçsız infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al/SiC_p kompozitlerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında siyah ve yeşil SiC renklere sahip olan iki tür SiC kullanılmıştır. Sonuç olarak, yapıda Mg oranı %6’ dan %9’ a arttıkça darbe dayanımında bir artış, istenmeyen Al₄C₃ fazının oluşumu ile düşüş kaydedilmiştir. Ayrıca, Al₄C₃ faz oluşumu engellediği için siyah SiC kullanılan numunelerde yeşile göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun sebebinin yeşil SiC’ in Al₄C₃ faz sentezlenmesine sebep olması ve bu fazın mekanik özellikleri kötü yönde etkilemesi olarak açıklamışlardır. Alaşımda Mg miktarının artışının daha düşük gözenekliliğe ve sonuç olarak, yapının daha yüksek darbe dayanıklılığına neden olduğu ifade edilmiştir. Jiang vd. [46] tarafından SiC/ZL108 kompozitlerinin karıştırılmalı döküm ile üretildiği bir çalışmada kullanılan SiC takviye partikül boyutu ortalama 25 µm olarak seçilmiştir. Ayrıca, matris ve takviye ara yüzey enerjisinin minimize edilmesi için magnezyum kullanılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmaların aksine oda sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda darbe dayanımında bir artış kaydedilmiş ve bu durumun üretilen kompozitlerin darbe testi öncesi yapılan tekrarlı plastik deformasyon işlemlerinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Lapin vd. [47], santrifüj döküm yöntemi ile insitü yapıda TiAl matrisli (TiNb)₂AlC takviyeli kompozitleri Ti-44,5Al-8Nb-0,8Mo-0,1B-XC (X % 1,4 ile 4,8 aralığında değişmektedir.) şartlarında üretmiş ve ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır. Üretilen kompozitlere mikroyapı karakterizasyonunun yanı sıra Charpy darbe testleri de yapılmıştır. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen Charpy darbe testleri sonuçlarına göre, kompozit yapıda karbon (C) miktarının artışının beraberinde darbe dayanımında bir düşüşe neden olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin üretim esnasında meydana gelen inter-metalik bileşikler olduğu ifade edilmektedir. Al₄TiC, Al₄Fe₃C, Al₄Mo₂C, Al₄WC ile güçlendirilmiş Al matrisli sıcak dövülmüş kompozitlerin darbe davranışlarının incelendiği çalışmalarında Narayan ve Rajeshkannan [48], darbe dayanımı en büyükten en küçüğe saf Al, Al₄Mo₂C/Al, Al₄TiC/Al, Al₄WC/Al, Al₄Fe₃C/Al şeklinde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, doğrudan soğutulan numuneler için fırında soğutma tekniğinin su soğutma tekniğinden daha iyi bir darbe mukavemeti sağladığı kaydedilmiştir. Bunun fırında soğutma tekniğinin sağladığı düşük soğuma hızı nedeniyle daha düşük dislokasyon yoğunluğu oluşumunun bir sonucu olabileceği vurgulanmıştır.

4. SONUÇLAR

Günümüz endüstrisindeki hızlı gelişmeler ile birlikte üstün özellikli malzemelere olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu ihtiyaca bir çözüm yolu olarak kompozit malzeme yaklaşımı ortaya atılmış ve üzerinde yoğun bir biçimde çalışılmaktadır. Kompozit malzemeler üretim yöntemine, matris ve takviye elemanı çeşidi, şekli ve boyutlarına göre olmak üzere birçok sınıfa ayrılmaktadır. Bu kompozit malzeme sınıflarından biri de partikül

PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE BİR DERLEME

takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerdir. Metal matrisli partikül takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmeye yönelik bir çok çalışma yapılmakla birlikte yapılan bu çalışmaların çoğu elde edilen kompozit malzemenin çekme, basma dayanımı, sertlik, süneklik gibi özelliklerinin iyileştirilmesine yöneliktir. Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin yukarıda sayılan özellikleri elbette çok önemlidir ancak tasarımda bu özelliklere ek olarak darbe dayanımını göz önüne alınmaması uygulamada birçok problem ile karşılaşmaya sebebiyet verecektir. Yapılan literatür incelemeleri ile söz konusu kompozitlerin darbe dayanımını araştıran çalışmalar tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, hem yapılacak yeni çalışmalara ilham olacak şekilde konu üzerine dikkat çekmek hem de darbe dayanımı ile ilgili yapılan bazı çalışmaları özetleyerek bu konuda elde edilen bilgi birikimini paylaşmaktır. Genel olarak yapılan çalışmalarda sıcaklığın, takviye partikül tipi, hacim oranı ve boyutunun, ısıl işlemin ve ikincil mekanik işlemler gibi üretim parametrelerinin partikül takviyeli kompozit malzemelerin darbe dayanımına etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, konu hakkındaki literatürün henüz yeterli doyuma ulaşmadığı ve partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin darbe davranışları konusunda araştırmacılara ve tasarımcılara ilave bilgiler sunacak yeni çalışmalara ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] CHAWLA, K.K., Composite Materials-Science and Engineering-2nd ed. Springer, New York, 483, 1997.
- [2] CHAWLA, N., CHAWLA, K. K., Metal Matrix Composites, Springer, New York, 401, 2006.
- [3] LLOYD, D.J., "Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites", International Materials Reviews, 39 (1), 1-21, 1994.
- [4] IBRAHİM, İ.A., MOHAMMED, F.A., LAVERNİA, E.J., "Particulate reinforced metal matrix composites-A review", Journal of Materials Science, 26 (5), 1137-1156, 1991.
- [5] ARSENAULT, R. J., "The strengthening of aluminum alloy 6061 by fiber and platelet silicon carbide", Material Science Engineering, 64, 171-181, 1984.
- [6] CLYNE, T.W., WITHERS, P.J., An Introduction to Metal Matrix Composites, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- [7] MCDANEALS, D.L., "Analysis of stress, strain, fracture and ductility behavior of Al matrix composite containing discontinuous SiC reinforcement", Metallurgical and Materials Transactions A, 16A, 1105-1115, 1985.
- [8] SRIVATSAN, T.S., İBRAHİM, İ.A., MOHAMMED, F.A., JAVERNİA, E.J., "Processing techniques for particulate-reinforced metal aluminium matrix composites", Journal of Materials Science, 26 (22), 5965-5978, 1991.
- [9] BHANUPRASAD, V.V., BHAT, R.B.V., KURUVİLLA, A.K., PRASAD, K.S., PANDEY, A.B., MAHAJAN, Y.R., P/M "Processing of Al-SiC composites, The International Journal of Powder Metallurgy", 27 (3), 227-235, 1991.
- [10] LI, M., GHOSH, S., RICHMOND, O., WEILAND, H., ROUNS, T.N., "Three dimensional characterization and modeling of particle reinforced metal matrix composites: part I: Quantitative description of microstructural morphology", Materials Science and Engineering A, 265 (1-2), 153-173, 1999.
- [11] LI, M., GHOSH, S., RICHMOND, O., WEILAND, H., ROUNS, T.N., "Three dimensional characterization and modelling of particle reinforced metal matrix composites: part II: Damage characterization", Materials Science and Engineering A, 266 (1-2), 221-240, 1999.
- [12] AYYAR, A., CHAWLA, N., "Microstructure-based modeling of crack growth in particle reinforced composites", Composites Science and Technology, 66 (13), 1980-1994, 2006.
- [13] CHAWLA, N., CHAWLA, K.K., "Microstructure-based modeling of the deformation behavior of Particle reinforced metal matrix composites", Journal of Materials Science, 41 (3), 913-925, 2006.
- [14] EKİCİ, R., Alüminyum esaslı SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin darbe davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2004.
- [15] KOSEDAG, E., Pomza Takviyeli Magnezyum matrisli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 2017.
- [16] TIRTOM, I., GUDEN, M., YILDIZ, H., "Simulation of the strain rate sensitive flow behavior of SiC-particulate reinforced aluminum metal matrix composites", Computational Materials Science, 42, 570-578, 2008.
- [17] SAKTHIVEL, A., PALANINATHAN, R., VELMURUGANB, R., RAO, P.R., "The effect of silicon carbide particulates on tensile, fatigue, impact and final fracture behaviour of 2618 aluminium alloy matrix composites", International Journal of Aerospace Innovations, 3, 193-205, 2011.

- [18]SJOBLEM, P.O., HARTNESS, J.T., CORDELL, T. M., “On low velocity impact testing of composite materials”, *Journal of Composite Materials*, 22 (1), 30-52, 1988.
- [19]VLOT, A. “Impact properties of fiber-metal laminates, *Composites Engineering*”, 3, 911-927, 1993.
- [20]VLOT, A., Low velocity impact loading on fiber reinforced aluminium laminates (Arall and Glare) and other aircraft sheet materials. Rept. LR-718. Delft, The Netherlands: Delft Univ. of Technology, 1993.
- [21]SRIVATSAN, T.S., IBRAHIM, I.A., MOHAMED, F.J., LAVERNIA, E.J., “Processing Techniques for Particulate Reinforced Metal Matrix Composites”, *Journal of Materials Science*, 26, 5965-5978, 1991.
- [22]ATAS, E., GÜR, H., “Determination of properties of SiC reinforced aluminium metal matrix composites by ultrasonic Techniques”, 15th World Conference on Nondestructive Testing, 15-21, Roma, Italy, 2000.
- [23]CEYHUN, V., TURAN, M., “Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 44 (516), 35-41, 2003.
- [24]LUZ, F.S., JUNIOR, E.P.L., LOURO, L.H.L., MONTEIRO, S.N., “Ballistic test of multilayered armor with intermediate epoxy composite reinforced with jute fabric”, *Materials Research*, 18 (2), 170-177, 2015.
- [25]STRASSBURGER, E., HUNZINGER, M., PATEL, P., MCCAULEY, J.W., “Analysis of the fragmentation of AION and spinel under ballistic impact”, *Journal of Applied Mechanics- -Transactions of the ASME*, 80 (3), 031807, 2013.
- [26]RAY, S., “Review synthesis of Cast Metal Matrix Particulate Composites”, *Journal of Materials Science*, 28, 5397-5413, 1993.
- [27]SURAPPA, M.K., SIVAKUMAR, P., “Fracture toughness evaluation of 2024-Al/Al₂O₃ particulate composites by instrumented impact”, *Composites Science and Technology*, 46 (3), 287-292, 1993.
- [28]BONOLLO, F., CESCHINI, L., GARAGNANI, G.L., “Mechanical and impact behaviour of (Al₂O₃)p/2014 and (Al₂O₃)p/6061 Al metal matrix composites in the 25-200 °C range”, *Applied Composite Materials*, 4, 173-185, 1997.
- [29]OZDEN, S., EKICI, R., NAIR, F., “Investigation of Impact Behaviour of Aluminium Based SiC Particle Reinforced Metal–Matrix Composites”, *Composites: Part A*, 38 (2), 484–494, 2007.
- [30]WANG, F., MA, N., LI, Y., LI, X., WANG, H., “Impact behavior of in situ TiB₂/Al composite at various temperatures”, *Journal of Materials Science*, 46, 5192-5196, 2011.
- [31]KURZAWA, A., KACMAR, J.W., “Impact strength of composite materials based on EN AC-44200 matrix reinforced with Al₂O₃ particles”, *Archives of Foundry Engineering*, 17, 73-78, 2017.
- [32]KIM, H.J., KOBAYASHI, T., YOON, H.S., “Micromechanical fracture process of SiC particulate reinforced Al alloy 6061-T6 MMCs”, *Materials Science and Engineering A*, 154, 35-41, 1992.
- [33]AHLATCI, H., CANDAN, E., ÇIMENOĞLU, H., “Effect of particle size on the mechanical properties of 60 vol. % SiCp reinforced Al matrix composites”, *Zeitschrift für Metallkunde*, 93 (4), 330-333, 2002.
- [34]ZAHEDI, A.M., REZAIE, H.R., JAVADPOUR, J., MAZAHARI, M., HAGHIGHI M.G., “Processing and impact behavior of Al/SiC_p composites fabricated by the pressureless melt infiltration method, *Ceramics International*”, 35 (5), 1919-1926, 2009.
- [35]TOPCU, I., GULSOY, H.O., KADIOGLU, N., GULLUOGLU, A.N., “Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites”, *Journal of Alloys and Compounds*, 482(1), 516-521, 2009.
- [36]ŞAHİN, E., AlMg₃/SiC_p Kompozit malzemelerinin darbe davranışının takviye oranı ile değişiminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2011.
- [37]CERIT, A.A., “Investigation of the low-speed impact behavior of dual particle size metal matrix composites”, *Materials & Design*, 57, 330-335, 2014.
- [38]EKICI, R., KABURCUK, M., “Low-velocity impact behavior of Al 6061/SiC particulate metal matrix composites”, *Journal of Composite Materials*, 49(7), 853-871, 2015.
- [39]EKICI, R., “Repeated low-velocity impact behavior of particle-reinforced metal matrix composites”, 2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2016), 1877-1882, Sarajevo, BOSNA HERSEK, 24-28 Mayıs, 2016.
- [40]EKICI, R., KOSEDAG, E., “Comparison of the low-velocity impact behaviors of SiC and Pumice particle-reinforced metal matrix composites”, *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 5 (10), 101-105, 2017.
- [41]HASSON, D.F., HOOVER, S.M., CROWE, C.R., “Effect of Thermal Treatment on the Mechanical and Toughness Properties of Extruded SiC_w/Aluminium 6061 Metal Matrix Composites”, *Journal of Materials Science*, 20 (11), 4147-4154, 1985.
- [42]UNSWORTH, J.P., BANDYOPADHYAY, S., “Effect of thermal ageing on hardness, tensile and impact properties of an alumina microsphere-reinforced aluminium metal-matrix composite”, *Journal of Materials Science*, 29 (17), 4645-4650, 1994.

PARTİKÜL TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN DARBE DAVRANIŞLARI ÜZERİNE BİR DERLEME

- [43]PREWO, K.M., “The impact of fibre and particulate reinforced MMCs”, In: Proceedings conference on mechanical behavior of metal matrix composites, 111th AIME Annual Meeting, 181-194. Dallas, TX, USA, 1982.
- [44]ELLIS, Y.L., LEWANDOWSKI, J.J., “Effects of layer thickness on impact toughness of Al/Al-SiCp laminates”, Materials Science and Engineering A, 183 (1-2), 59-67, 1994.
- [45]CELAYA, F.O., PECH, M.I.C., LOPEZ, J.C., “Rendon J.C.A, Pech M.A.C., Microstructure and impact behavior of Al/SiCp composites fabricated by pressureless infiltration with different types of SiC_p”, Journal of Materials Processing Technology, 183 (2), 368-373, 2007.
- [46]JIANG, J.H., MA, A., WU, Y., SONG, D., AN, S., ZHANG, W., YANG, D., CHEN, J., “Enhanced low-temperature impact toughness of ultra-fine grained SiC_p/ZL108 composites”, Materials Science Forum, 706, 1793-1798, 2012.
- [47]LAPIN, J., KLIMOVA, A., GABALCOVA, Z., PELACHOVA, T., BAJANA, O., STAMBORSKA, M., “Microstructure and mechanical properties of cast in-situ TiAl matrix composites reinforced with (Ti,Nb)₂AlC particles”, Materials & Design, 133, 404-415, 2017.
- [48]NARAYAN, S., RAJESHKANNAN, A., “Hardness, tensile and impact behaviour of hot forged aluminium metal matrix composites”, Journal of Materials Research and Technology, 6, 213-219, 2017.