

BİMETAL VE GELENEKSEL OLARAK ÜRETİLEN ALÜMİNYUM ESASLI METAL-METAL KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Rıdvan GECÜ
Ahmet KARAASLAN

Yıldız Teknik Üniversitesi
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖZET

Bu çalışmada alüminyum matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak metal ve alaşımlarının kullanıldığı araştırmalar sonuçlarıyla birlikte derlenmiştir. Toz metalurjisi, sıkıştırılmalı döküm, ekstrüzyon, hassas döküm gibi yöntemlerle üretilen metal-metal kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda çelik, titanyum ve magnezyum alaşımlarının alüminyum ile metal-metal kompozit oluşturduğu çalışmalar irdelenmiştir. Bimetal ve geleneksel olarak üretilen Al esaslı metal-metal kompozitlerin mekanik özellikleri, yaygın kullanımı olan seramik takviyeli Al matrisli kompozitlere alternatif olabilecek seviyededir.

1. GİRİŞ

İki veya daha fazla malzemenin, tek bileşenli alaşımların karşılayamadığı özellikleri sağlayacak şekilde, belirgin bir ara yüzey oluşturarak makro düzeyde bir araya getirilmesiyle elde edilen malzemelere kompozit malzeme denir [1]. Bir malzemenin kompozit olarak adlandırılabilmesi için, takviye fazını bir arada tutan sürekli bir matris fazına, matrisin rijitliğini ve dayanımını artıran matris içinde çözünmeyen bir takviye elemanına ve matris ile takviye elemanı arasında oluşan belirgin bir arayüze sahip olması gerekir. Bu nedenle atomal veya moleküler düzeyde birleştirilen malzemeler homojen bir mikroyapıya sahip olduklarından kompozit olarak adlandırılmazlar [2].

Kompozitler matris malzemesine göre, seramik, polimer ve metal matrisli kompozitler olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Seramik matrisli kompozitlerin sahip olduğu düşük tokluk değerleri ve polimer matrisli kompozitlerin yüksek sıcaklıklarda gösterdiği düşük dayanım nedeniyle çalışmalar metal matrisli kompozitler (MMK) üzerine yoğunlaşmıştır. MMK'ler, üretim güçlüğü, yüksek maliyet ve işleme zorluğu gibi dezavantajları olmasına rağmen, yüksek dayanım, şekil alma kabiliyeti, iyi ısı dayanım, titreşim sönümleyebilme, korozyon direnci, yüksek aşınma dayanımı ve hafiflik gibi avantajlı özellikleri sayesinde; havacılık ve savunma sanayiinde, taşımacılıkta, uzay ve enerji sektörlerinde, altyapı ürünlerinde, inşaat sektöründe, tanklarda ve basınçlı kaplarda yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

Hafif yapılara artan ihtiyaçla birlikte, düşük ağırlık ve yüksek dayanım özelliklerini bir arada sağlayabildiklerinden, seramik takviyeli MMK üretimi ön plana çıkmıştır [4-7]. Seramik takviyeli MMK'ler yüksek özgül dayanım ve sertlik göstermelerine karşın matris malzemesinin sahip olduğu süneklik ve tokluğu kaybetmektedirler. Ayrıca seramik parçacık ve matris malzemesi arasında gerçekleşen ıslatma problemleri ile arayüzeyde istenmeyen faz oluşumları da üretim aşamasında ortaya çıkan diğer sorunlardır [8, 9]. Metal takviyeli MMK'ler; seramik takviyeli MMK'lerin aksine, süneklik ve toklukta kayba neden olmaksızın daha ekonomik şekilde üretilme potansiyeline sahiptir.

Uzay, otomotiv, ulaşım ve imalat endüstrileri başta olmak üzere birçok alüminyum alaşımı, kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Alüminyumun diğer metallere kıyasla ergime sıcaklığının düşük olması, Al matrisli kompozitlerin üretim yöntemi çeşitliliğini artırmıştır. Al esaslı metal-metal kompozitler, toz metalurjisi [10], döküm [11], haddeleme [12], ekstrüzyon [13], kaynak [14] gibi pek çok farklı yöntemle üretilmektedir.

Bu çalışmada, farklı yöntemlerle başarıyla üretilen Al matrisli metal-metal kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. ALÜMİNYUM ESASLI METAL-METAL KOMPOZİTLER ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

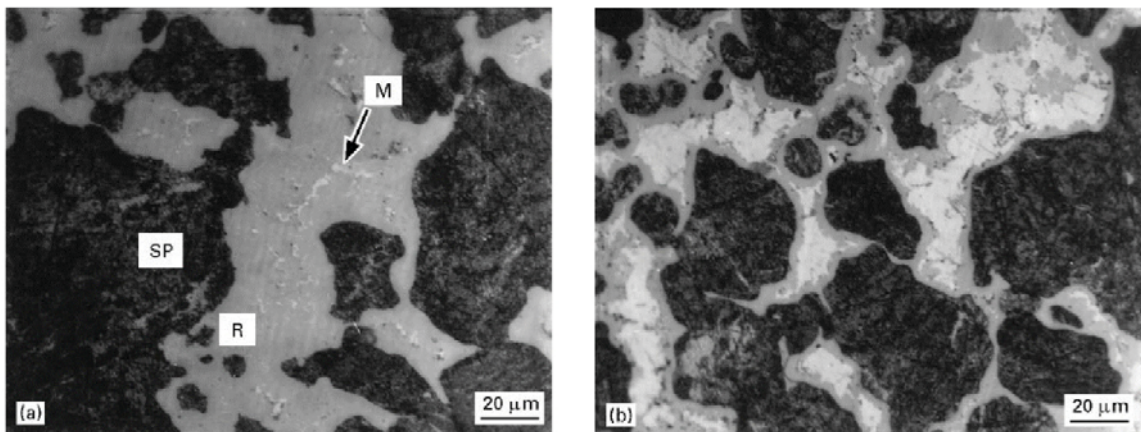
Düşük yoğunlukları ve düşük ergime sıcaklıkları nedeniyle metal matrisli kompozitlerde en sık kullanılan malzemeler alüminyum ve alaşımlarıdır. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme değerleri istendiğinde Al-Si alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik istendiğinde Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris olarak işlev görmektedir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde matris alaşımının

etkisi olduğu kadar takviye malzemesi ve oluşan arayüzeyin de etkisi vardır. Takviye elemanı kompozit üzerine gelen yükün büyük bir kısmını taşımaktadır. Yükün takviye malzemesine iletilebilmesi için güçlü bir arayüzey bağlantısı gerekir. Arayüzey bağı zayıf olduğunda ve malzemeye herhangi bir gerilme uygulandığında, gerilme takviye malzemesine transfer olamadan hasar meydana gelir. Kompozitin dayanımı, yükü taşıyan efektif alan azaldığı için, takviyesiz matristen dahi daha zayıf olur. Bununla birlikte takviye malzemesinin şekli, boyutu, oryantasyonu, hacimce yüzdesi ve matris içerisindeki dağılımı da mekanik özelliklere etki eden faktörlerdendir [15]. Endüstride takviye malzemesi olarak bor karbür, grafit, alümina, silisyum karbür gibi seramiklerin parçacık, whisker veya fiber şeklinde Al matrise ilavesi yaygın bir uygulamadır. Ancak bu takviyeler neticesinde kompozitin tokluğu zayıflamaktadır. Takviye malzemesi olarak metal kullanıldığında ise toklukta düşüş engellenebilmekte ve daha az maliyetle MMK üretimi mümkün olmaktadır [16, 17].

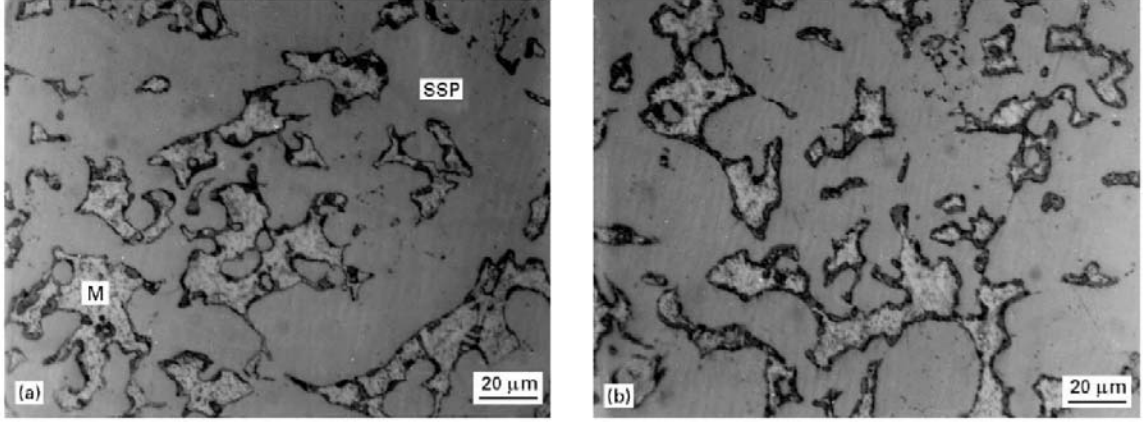
Cratchley [18] toz metalurjisi (TM) yöntemiyle paslanmaz çelik fiber takviyeli Al matrisli kompozit üretmiştir. Çalışmada takviye malzemesi seçimi; malzemelerin elastiklik modüllerindeki farklılık ve paslanmaz çeliğin Al'den daha yüksek dayanıma sahip olması göz önünde tutularak yapılmıştır. Beklenti, kompozitin yükünün önemli kısmını fiberlerin taşıması yönündedir. TM ile üretilen bu kompozitler, beklenildiği gibi, takviyesiz Al alaşımından daha iyi mekanik özellikler göstermiştir. TM yöntemi aynı zamanda, oluşacak intermetalik faz dolayısıyla meydana gelecek olumsuzlukları da elimine etmeyi başarmıştır. Ancak bu yolla üretimde hem ilk takım maliyeti ve metalik toz fiyatları çok yüksektir, hem de presleme aşamasında tozların birbirine paralel

akmaması kaynaklı parça geometrisinde sınırlamalar mevcuttur [19]. Fiber takviyeli kompozitlerin de klasik yöntemlerle üretimi oldukça zor ve pahalıdır, bu nedenle kullanım alanları sınırlı kalmıştır. Bu tür kompozitler, fiber boyuyla paralel yönde çok yüksek çekme dayanımı ve rijitlik özelliklerine sahipken dik yönde düşük mekanik özellikler göstermektedir [20].

Baron vd. [21] sinterlenmiş metal ön şekiller (preform) kullanarak sıkıştırılmalı döküm yöntemiyle Al matrisli metal-metal kompozit üretmiş, döküm koşullarının elde edilen kompozitin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaçla 1080 kalite alaşımsız çelik ve 409 kalite paslanmaz çelik olmak üzere iki farklı preform, 380 kalite yaşlanabilir Al-Si alaşımı ile infiltre edilmiştir. Alaşımsız çelik takviyesi kompozitin çekme dayanımını 182 MPa'ya kadar düşürürken, paslanmaz çelik takviyesi 409 MPa'ya kadar yükseltmiştir (matris alaşımının tam yoğun ve tavlanmış haldeki çekme dayanımı 248 MPa'dır). Dayanımdaki artışı sağlayan; proses esnasında oluşan reaksiyon fazının kompozit arayüzeyinde sıkı bir bağlantı oluşturmasıdır. 1080 takviyeli kompozitte ise bu intermetalik fazın hacim oranı %37'ye ulaşmış ve yüksek hacimdeki faz; takviye-matris arayüzeyini kırılgan hale getirerek çekme dayanımının azalmasına neden olmuştur. Üretilen çelik/Al bimetal kompozitin mikroyapısı Şekil 1'de verilmiştir. Reaksiyon fazı kenar bölgelere oranla numunenin merkezinde daha fazla oluşmuştur, bunun nedeni numune merkezinin geç soğuması ve ergiyik haldeki alüminyuma uzun süre maruz kalmasıdır. Şekil 2'de ise paslanmaz çelik/Al kompozitinin optik mikroskop görüntülerine yer verilmiştir. Bu mikroyapıda, oluşan intermetalik miktarının azaldığı ve merkez ile kenar bölgeler arasında intermetalik miktarı açısından önemli bir fark olmadığı görülmektedir.



Şekil 1. Çelik/Al kompozitinin mikroyapı görüntüsü; (a) malzemenin ortasından, (b) köşe bölgeden (SP: çelik preform, M: Al matris, R: reaksiyon fazı) [21].



Şekil 2. Paslanmaz çelik/Al kompozitinin mikroyapı görüntüsü; (a) malzemenin ortasından, (b) köşe bölgeden (SSP: paslanmaz çelik preform, M: Al matris, paslanmaz çeliği çevreleyen siyah bölgeler reaksiyon fazıdır) [21].

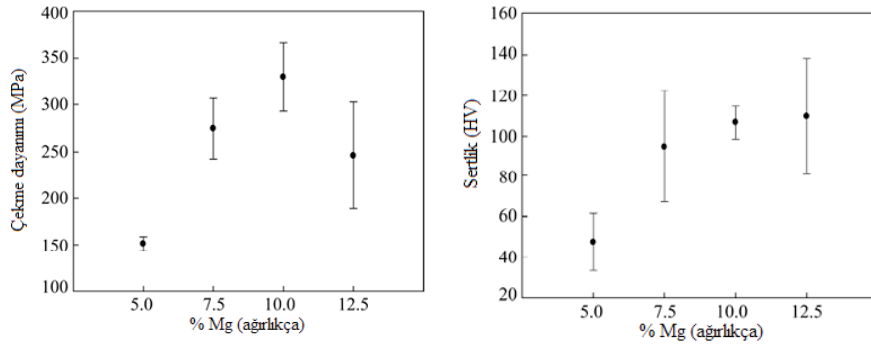
Wu vd. [22] çalışmalarını uzay ve havacılık endüstrilerinde kullanılan grafit fiber takviyeli Al matrisli kompozitlere yoğunlaştırmıştır. Arayüzeyde istenmeyen Al_4C_3 fazının oluşumundan kaçınmak ve grafit fiber ile Al arasındaki ısı genleşme uyumsuzluğunu azaltmak amacıyla kompozite Ti parçacıkları ilave edilmiştir. Görünür bir porozite ve önemli bir döküm kusuru olmadan, sıkıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen bu kompozitin çekme ve eğme dayanımları irdelenmiş, sonuçlar benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Ti parçacıklarının küçük boyutunun ve grafit fiberlerin yüksek dayanımının ortak etkisiyle mekanik özelliklerde artış gözlenmiştir. Saf Al'nin 118 MPa olan çekme dayanımı bu çalışmada 239 MPa'ya yükseltmiştir. Wang vd.'nin [23] ürettiği grafit fiber takviyeli Al matrisli kompozitin 405 MPa olan eğme dayanımı bu çalışmada Ti ilavesi ile birlikte 562 MPa mertebelerine ulaşmıştır. Parçacık takviyeli kompozitlerde mekanik özellikler, parçacık büyüklüğü, parçacıklar arası mesafe ve parçacık yüzdesine bağlı olarak değişmektedir [24].

Titanyum düşük yoğunluğu, yüksek özgül dayanımı, yüksek elastiklik modülü ve iyi yorulma dayanımıyla takviye malzemesi olarak özellikle ilgi çekicidir. Ti'nin diğer bir yararlı etkisi de, plastik deformasyon göstermesi ve uygulanan yükün matris malzemesinden Ti takviye elemanına transfer edilebilmesidir. Ergiyik alüminyuma üç farklı oranda (%3,3, %6 ve %7,5) ağırlıkça Ti ilavesinin gerçekleştirildiği çalışmada [16], Ti miktarı arttıkça malzemenin sertliği, akma ve çekme dayanımları artmıştır. Tablo 1' de Ti_p/Al kompozitinin çekme testi sonuçları seramik takviyeli kompozitlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. SiC katkılı Al matrisli kompozitlere göre Ti ilaveli metal-metal kompozitin mekanik özellikleri daha üstündür. Üstelik Ti katkılı kompozitler, seramik katkılı kompozitlere göre daha sünek ve tok davranış göstermektedir.

Tablo 1. Üretilen Ti_p/Al kompozitlerinin mekanik özellikleri.

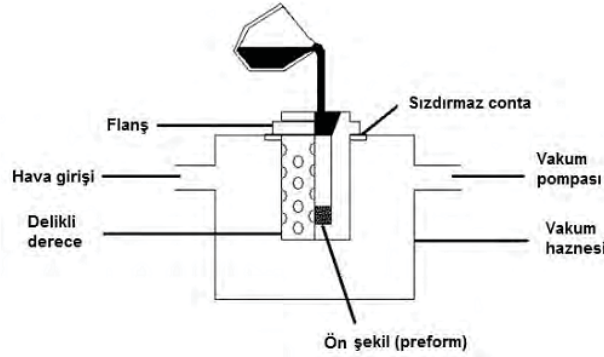
Malzeme		% 0,2 akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	% uzama
Saf Al	[16]	82,81 ± 4,21	118 ± 4,9	35,41 ± 0,75
Al + %3,3 Ti	[16]	118,74 ± 5,68	131,4 ± 4,8	25,07 ± 2,29
Al + %6 Ti	[16]	130,72 ± 6,63	161,1 ± 2,5	17,92 ± 3,61
Al + %7,5 Ti	[16]	104,92 ± 5,64	146,2 ± 5,5	15,76 ± 3,03
Al + %17,7 SiC	[25]	80,5 ± 2,3	120,3 ± 7,9	8,9 ± 2,4
Al + %22 SiC	[26]	-	110	8

Skorpen vd. [27] yaptıkları çalışmada ekstrüzyon yöntemiyle %12,5'a kadar ticari saflıkta Mg içeren 6063 Al matrisli kompozit elde etmişlerdir. Üretilen numunelere yapılan çekme ve sertlik testleri sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. %12,5 Mg takviyeli kompozitte sabit ekstrüzyon hızını korumak zorlaşmış ve malzeme ekstrüzyon haznesinde birikmiştir, üretim aşamasında yaşanan bu sıkıntılardan ötürü malzeme, düşük oranda Mg içeren kompozitlere oranla daha zayıf mekanik özellikler göstermiştir. Proses optimizasyonu yapıldığı takdirde daha yüksek Mg içeriklerinin de çekme dayanımı ve sertlik değerlerini artırabileceği öngörülmüştür.

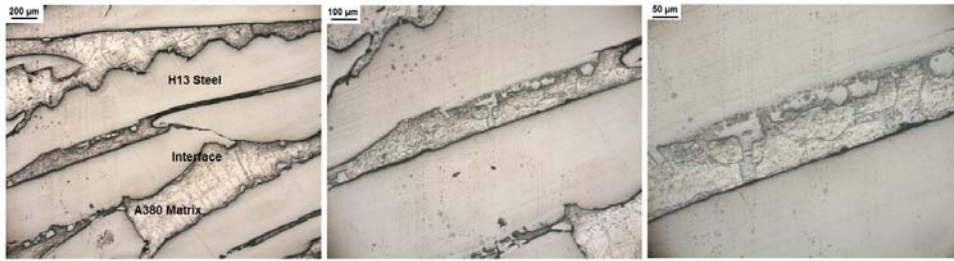


Şekil 3. Mg takviyeli Al matrisli kompozitin (a) çekme dayanımı, (b) sertlik değerleri [27].

Güler vd. [28], H13 kalite sıcak iş takım çeliği talaşlarını presleyerek oluşturdukları ön şekillere hassas döküm yöntemiyle vakum atmosferinde 380 kalite Al alaşımı infiltrasyonu yapmıştır. Gerçekleştirilen hassas döküm işleminin şematik görünümü Şekil 4'te verilmiştir. Çalışmada hassas dökümle metal-metal kompozit üretimi, sıklıkla kullanılan sıkıştırılmış döküme iyi bir alternatif olarak sunulmuştur. Takviye elemanı olarak atık malzeme kullanılması da prosesin ekonomik olarak avantajlı olmasını sağlamıştır. Çelik ön şekle başarıyla tatbik edilen Al matrisinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Hassas döküm işleminin şematik görünümü [29].



Şekil 5. Hassas dökümle üretilen H13/380 Al kompozitinin farklı büyütmelelerdeki mikroyapısı [28].

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çelik, paslanmaz çelik, titanyum ve magnezyum alaşımları, alüminyum matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Farklı yöntemlerle metal-metal kompozitler başarıyla üretilmiş, kullanılan metal takviyelerin matrisin mekanik özelliklerini iyileştirdiği, yapılan çekme ve sertlik deneyleriyle kanıtlanmıştır. Seramik takviyeli matrislerde karşılaşılan üretim sorunları ve seramik takviyenin matrisin tokluğunu düşürmesi gibi problemler, bimetal olarak üretilen metal-metal kompozitlerde elimine edilebilmektedir. Yapılan çalışmalarda genellikle üretilen malzemenin mekanik özellikleri üzerinde durulduğu için metal-metal kompozitlerin aşınma ve korozyon davranışlarını tayin etmek üzere daha çok araştırmaya ihtiyaç vardır.

4. KAYNAKÇA

- [1] K. K. Chawla, "Ceramic Matrix Composites", Composite Materials, 2. baskı, USA: Springer New York, 1998, ss. 212–251.
- [2] Y. Şahin, Kompozit malzemelere giriş. Ankara: Gazi Kitabevi, 2000.
- [3] U. Riedel ve J. Nickel, "Applications of Natural Fiber Composites for Constructive Parts in Aerospace, Automobiles, and Other Areas", Biopolym. Online, 2005.
- [4] L. Geng ve C. K. Yao, "SiC-Al interface bonding mechanism in a squeeze casting SiCw/Al composite", J. Mater. Sci. Lett., c. 14, ss. 606–608, 1995.
- [5] X.-H. Chen ve H. Yan, "Solid-liquid interface dynamics during solidification of Al 7075–Al₂O₃np based metal matrix composites", Mater. Des., c. 94, ss. 148–158, 2016.
- [6] W. Guo, M. Hua, H. W. Law, ve J. K. L. Ho, "Liquid-phase impact diffusion welding of SiCp/6061Al and its mechanism", Mater. Sci. Eng. A, c. 490, sayı 1–2, ss. 427–437, 2008.
- [7] H.-E. Hu ve X.-Y. Wang, "Superplastic deformation behavior and hot-processing map of the TiNp/2014 Al composite", Met. Mater. Int., c. 22, sayı 1, ss. 41–49, 2016.
- [8] A. Ustinov, Y. Falchenko, T. Melnichenko, A. Shishkin, G. Kharchenko, ve L. Petrushinets, "Diffusion welding of aluminium alloy strengthened by Al₂O₃ particles through an Al/Cu multilayer foil", J. Mater. Process. Technol., c. 213, sayı 4, ss. 543–552, 2013.
- [9] K. Landry, S. Kalogeropoulou, ve N. Eustathopoulos, "Wettability of carbon by aluminum and aluminum alloys", Mater. Sci. Eng. A, c. 254, sayı 1–2, ss. 99–111, 1998.
- [10] R. B. Bhagat, "Growth kinetics of interface intermetallic compounds in stainless steel fibre reinforced aluminium matrix composites", J. Mater. Sci., c. 24, sayı 4, ss. 1496–1502, 1989.
- [11] M. Paramsothy, N. Srikanth, ve M. Gupta, "Solidification processed Mg/Al bimetal macrocomposite: Microstructure and mechanical properties", J. Alloys Compd., c. 461, sayı 1–2, ss. 200–208, 2008.
- [12] H. Chang, M. Zheng, W. Gan, C. Xu, ve H. G. Brokmeier, "Texture Evolution of the Mg/Al Laminated Composite by Accumulative Roll Bonding at Ambient Temperature", Rare Met. Mater. Eng., c. 42, sayı 3, ss. 441–446, 2013.
- [13] A. Khosravifard ve R. Ebrahimi, "Investigation of parameters affecting interface strength in Al/Cu clad bimetal rod extrusion process", Mater. Des., c. 31, sayı 1, ss. 493–499, 2010.
- [14] R. Bauri, D. Yadav, C. N. Shyam Kumar, ve G. D. Janaki Ram, "Optimized process parameters for fabricating metal particles reinforced 5083 Al composite by friction stir processing", Data Br., c. 5, ss. 309–313, 2015.
- [15] İ. Uygur ve H. Saruhan, "Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri", Sak. Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., c. 8, sayı 1, 2004.
- [16] S. K. Thakur ve M. Gupta, "Improving mechanical performance of Al by using Ti as reinforcement", Compos. Part A Appl. Sci. Manuf., c. 38, sayı 3, ss. 1010–1018, 2007.
- [17] K. A. Guler, A. Kisasoz, ve A. Karaaslan, "Investigation of Al/Steel Bimetal Composite Fabrication by Vacuum Assisted Solid Mould Investment Casting", Acta Phys. Pol. A, c. 126, sayı 6, ss. 1327–1330, 2014.
- [18] D. Cratchley, "Affecting The Uts Of A Metal/Metal-Fibre Reinforced System", Powder Metall., c. 6, sayı 11, ss. 59–72, 1963.
- [19] G. S. Upadhyaya, Powder Metallurgy Technology. Ohio: Cambridge International Science, 1997.
- [20] F. L. Matthews ve R. D. Rawlings, Composite Materials: Engineering and Science. London, England: CRC Press, 1999.
- [21] R. Baron, J. Wert, D. Gerard, ve F. Wawner, "The processing and characterization of sintered metal-reinforced aluminium matrix composites", J. Mater. Sci., c. 32, ss. 6435–6445, 1997.
- [22] G. H. Wu, J. Su, H. S. Gou, Z. Y. Xiu, ve L. T. Jiang, "Study on graphite fiber and Ti particle reinforced Al composite", J. Mater. Sci., c. 44, sayı 18, ss. 4776–4780, 2009.
- [23] X. Wang, G. Chen, B. Li, G. Wu, ve D. Jiang, "Microstructure and mechanical properties of graphite fiber-reinforced high-purity aluminum matrix composite", J. Mater. Sci., c. 44, sayı 16, ss. 4303–4307, 2009.
- [24] J. K. Shang ve R. O. Ritchie, "Crack bridging by uncracked ligaments during fatigue-crack growth in SiC-reinforced aluminum-alloy composites", Metall. Trans. A, c. 20, sayı 5, ss. 897–908, 1989.
- [25] M. Gupta ve S. Ling, "Regarding the comparative effect of Si / SiC addition on the microstructure and mechanical properties of an Al alloy processed using disintegrated melt deposition technique", Mater. Des., c. 18, sayı 3, ss. 139–147, 1998.
- [26] A. R. E. Singer ve S. Ozbek, "Metal Matrix Composites Produced by Spray Codeposition", Powder Metall., c. 28, sayı 2, ss. 72–78, 1985.
- [27] K. G. Skorpen, E. Mauland, O. Reiso, ve H. J. Roven, "Novel method of screw extrusion for fabricating Al/Mg (macro-) composites from aluminum alloy 6063 and magnesium granules", Trans. Nonferrous Met. Soc. China, c. 24, sayı 12, ss. 3886–3893, 2014.
- [28] K. A. Guler, A. Kisasoz, ve A. Karaaslan, "Fabrication of Al-Steel Composites by Vacuum Assisted Block Mould Investment Casting Technique", Mach. Technol. Mater., c. 8, sayı 10, ss. 47–49, 2014.
- [29] K. A. Guler, A. Kisasoz, ve A. Karaaslan, "The fabrication and characterization of Al/SiC-MMC castings produced by vacuum assisted solidmould investment casting process", Russ. J. Non-Ferrous Met., c. 54, sayı 4, ss. 320–324, 2013.