

Alüminyumoksit ve Baca Külü Hibrid Dolgularının Polyester Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

The Effect of Aluminum Oxide and Fly Ash Hybrid Fillers on Mechanical Properties of Polyester Matrix Composites

İlyas Kartal^{1*}, Halil Demirel²

¹Department Metalurgy and Materials Engineering/Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul, Turkey

²Department Metalurgy and Materials Engineering/Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul, Turkey

*Corresponding author: ilyaskartal@marmara.edu.tr

⁺Speaker: ilyaskartal@marmara.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral

Özet – Partikül takviyeli ve/veya dolgulu kompozit malzemeler üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Kompozit malzemelerde takviye edici olarak Al_2O_3 partikülleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada Al_2O_3 ile beraber kömürün yanması sonucu yan ürün olarak elde edilen kül kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak polyester tercih edilmiş ve matrise baca külü ve Al_2O_3 partiküllerinin farklı oranlarda ilave edilmesiyle mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Önce baca külü % 10, 20 ve 30 oranlarında, sonra % 9 baca külü + % 1 Al_2O_3 , %18 baca külü + % 2 Al_2O_3 ve %27 baca külü + % 3 Al_2O_3 kombinasyonları ile karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlara % 1,5 oranında metil etil keton peroksit eklenerek polyester çapraz bağlanmıştır. Reaksiyonda hızlandırıcı olarak % 0,25 oranında kobalt naftalat ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlar teflon kalıpta sertleştirilerek numuneler hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polyester, partikül takviyeli kompozit, mekanik özellikler, kül dolgu, Al_2O_3 partikül

Abstract – This several studies have been conducted on particulate reinforced and/or filled composite materials. Al_2O_3 particles are commonly used as reinforcement in composite materials. In this study, the fly ash (a result of the combustion of coal as a by-product) and Al_2O_3 were used as filling material. Polyester was preferred as the matrix material and the effect of fly ash and Al_2O_3 particles on the mechanical properties was investigated. First, 10% fly ash, 10% fly ash + 1% Al_2O_3 , 18% fly ash + 2% Al_2O_3 and 27% fly ash + 3% Al_2O_3 combinations were prepared. 1.5% methyl ethyl ketone peroxide was added to the mixtures. In the reaction, cobalt naphthalate was added at a rate of 0.25%. The prepared mixtures were hardened in Teflon mold and samples were prepared.

Keywords – Polyester, particle filled composite, mechanical properties, ash filling, Al_2O_3 particle

I. GİRİŞ

Termosetler, birincil ortak kullanılan bağlara sahip molekül yapısında bir molekül ağı oluşturarak şekillendirilir. Bazı termosetler ısı etkisiyle veya ısıyla basıncın birlikte etkisiyle çapraz bağlanırlar. Diğerleri ise oda sıcaklığında (soğukta sertleşen termosetler) meydana gelen kimyasal tepkimeyle çapraz bağlanabilir [1].

Termoset plastiklerin yoğunlukları plastik malzemelerin çoğundan daha yüksek olup 1.34 ile 2.3 g/cm³ arasında bir değerdedir. Termosetlerin çekme dayanımları ise nispeten düşük olup yoğunlukla 28 ile 103 MPa arasında değişmektedir. Fakat farklı takviye ediciler kullanıldığında termosetlerin çekme dayanımları 200 MPa gibi değerlere kadar yükseltilebilmektedir. Termoset plastiklere örnek olarak en yaygın kullanılanlar fenolikler, epoksi reçineleri, doymamış polyesterler ve amino reçineleridir [2].

Doymamış polyesterler, sahip oldukları tepkimeye girmeye eğimli olan çift karbon bağlarıyla termoset malzemeler olarak

çapraz bağlanabilirler. Çapraz bağlanma için hızlandırıcı kullanılır. Oda sıcaklığında yaygın olarak tercih edilen hızlandırıcı MEKP hızlandırıcısıdır. Ayrıca amin hızlandırıcı kullanımı da oldukça yaygındır. Peroksit kullanımında daima sistemin reaksiyon için ihtiyacı olandan biraz daha fazla peroksit ilavesi yapmak lazımdır. Amin sistemler çok hızlı reaksiyona girerler. Buna karşılık reaksiyonun tamamlanması cobalt sistemler ile mükemmel olmaktadır [3].

Bu tür reaksiyonlarda reaksiyonun %100 oluşması mümkün değildir. Bu nedenle sertleşme işlemi bittikten sonra oluşan numunenin bir süre ısıtılması daima iyi sonuç verir. Kullanılan reçinenin tipine göre birkaç saat 60-100 °C arasında bir sıcaklıkta polimerizasyon tamamlanması sağlanır [4-5].

Bir reçinenin kalıplanarak kullanılabilmesi için katalizör, hızlandırıcı, dolgu ve farklı katkıları gibi ilave olarak bazı yardımcı maddelere ihtiyaç vardır. Kalıplama öncesi reçine karışımı çok dikkatli olarak hazırlanmalıdır. Reçine ve tüm

katkılar, katalizör ilave öncesinde homojen dağılım sağlamak üzere dikkatli bir şekilde karıştırılmalıdır. Karıştırma işlemi dikkatli yapılmayıp hava kabarcıklarının oluşması durumunda kalıplama kalitesini büyük ölçüde etkileyecektir [6-7]

Doymamış polyesterler birçok şekilde işlenebilmekle birlikte, çoğunlukla herhangi bir şekilde kalıplanırlar. Açık kalıba döşemek veya püskürtmeyle kalıba doldurmak, küçük hacimli parçaların birçoğu için kullanılan yöntemdir. Otomobil panelleri gibi büyük hacimli parçalarda çoğunlukla basınçlı döküm kullanılır [8-9].

Parçacık takviyeli kompozitlerde takviye ediciler büyük ve küçük parçacık şeklinde kullanılırlar. Büyük parçacık olarak kullanılan kompozitlerde, yük bileşenler tarafından birlikte taşınır. Küçük parçacıklar ise, dislokasyonların hareketlerini engelleyerek kompozitin mukavemetini artırır. Bu tür parçacık boyutları 1 µm'yi geçmez. En yaygın kullanımı plastik matris içerisinde yer alan metal ve/veya seramik parçacıklarıdır. En çok kullanılan parçacıklar ise Al₂O₃ ve SiC'den oluşan kompozitlerdir. Bu kompozitler dayanımı iyileştirmekten ziyade beklenilmeyen alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır [10].

Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler [11].

Uçucu kül, termik santrallerde kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri ince (0.5-150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO, SO₃, alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır.[12]

II. MALZEME VE METOD

Bu çalışmada Hekron 6295 genel amaçlı polyester kullanılmıştır. Ortoftalik esaslı düşük reaktivitede hacimsel çekmesi düşük genel amaçlı CTP tipi polyester reçinesi olup kompozit firmalarından temin edilmiştir. Katalizör olarak katılan MEKP, Akzo Nobel Butanox M-60 türüdür. Bu madde hem polyester hem de vinilester reçinelerde sertleştirici olarak kullanılmaktadır. Kullanım miktarı ağırlıklı olarak gerekli çalışma süresine, ortam sıcaklık ve nemine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu çalışmada formülasyona %1,5 oranında katılmıştır. Ticari olarak %6'luk CoNap (kobalt naftanat) olarak bilinen hızlandırıcı Aldrich firmasından temin edilmiştir. Dolgu amaçlı kullanılan baca külünün özgül ağırlığı 2,42 gr/cm³ olup teknik özellikleri tablo 1'de verilmiştir.

ASTM C 618 standardına göre bu çalışmada kullanılan kül tipi F sınıfına aittir. [13] Bu sınıfa bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ yüzdesi %70'den fazla olan

uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu kül, puzolanik (kendi başına bağlayıcılık özelliği göstermeyen ve fakat çimento veya kireç gibi harca karıştırıldığında bağlayıcılığı arttıran toz haldeki yapı malzemeleri) özelliğe sahiptirler.

Tablo 1. Baca külünün analizi

Kimyasal Analiz	%
Silisyum Oksit	44,6
Alüminyum Oksit	21,45
Demir Oksit	5,677
Kalsiyum Oksit	13,81
Kalsiyum Oksit	8,61
Magnezyum Oksit	3,222
Potasyum Oksit	2,19
İncelik	% Oran
45 µ elek üzeri	25,04
90 µ elek üzeri	9,83

Numune hazırlamada ilk olarak 100 gr polyestere ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranında kül eklenip homojenlik sağlanıncaya kadar karıştırılmıştır. Önce bu karışımlardan numuneler hazırlanmıştır. Sonra kül içerikli bu numunelere ayrıca ağırlıkça % 1, 2 ve 3 oranında Al₂O₃ ilave edilerek farklı bir grup daha numuneler hazırlanmıştır. Bu karışım gruplarına önce % 1,5 oranında MEKP, sonra % 0,25 oranında kobalt naftalat eklenip kalıplara dökülmüştür.



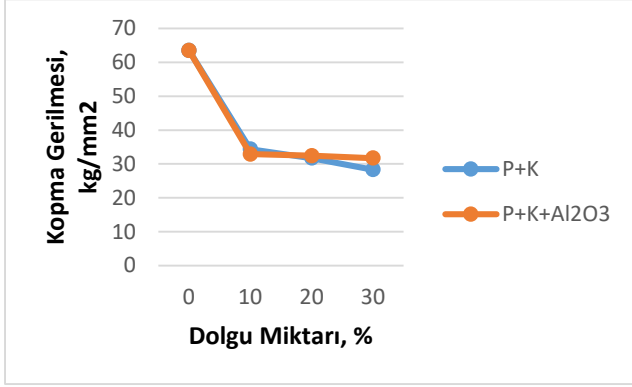
Şekil 1. Çekme ve darbe numuneleri

III. SONUÇLAR

Bu çalışmada, polyester matrisle belirli oranlarda Al₂O₃ ve kül dolguları ilave edilerek mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelendi.

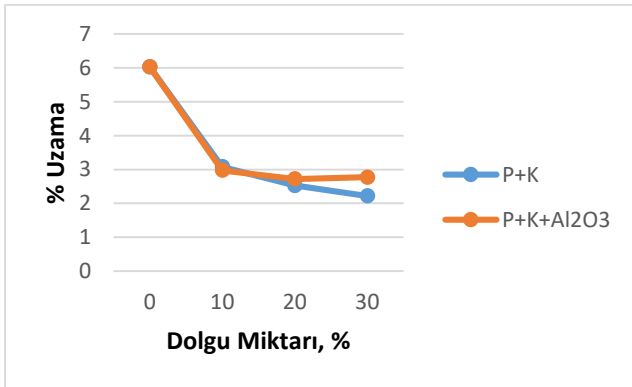
Polyester matrisli kompozitlerin kopma gerilmesi testi sonuçları grafiksel olarak şekil 2'de verilmiştir. % 10 baca külü dolgulu polyesterin kopma dayanımı katkısız polyesterin kopma dayanımı neredeyse yarıya düşmüştür. %20 ve % 30 kullanımın da ise bu değer çok az miktarda düşüş göstermiştir. Yani kül kullanımı arttıkça kopma mukavemet

değeri daha da düşmüştür. %9 baca külü + % 1 Al₂O₃ dolgulu kompozit, % 10 baca külü dolgulu kompozite göre kopma mukavemetinde çok az miktarda düşüş gözlemlenmiştir. Bu grubun dolgu oranı arttıkça kopma mukavemeti neredeyse sabit kalmıştır. Al₂O₃ miktarı arttıkça kopma mukavemeti kül içerikli numunelere göre kısmi olarak daha yüksek tespit edilmiştir.



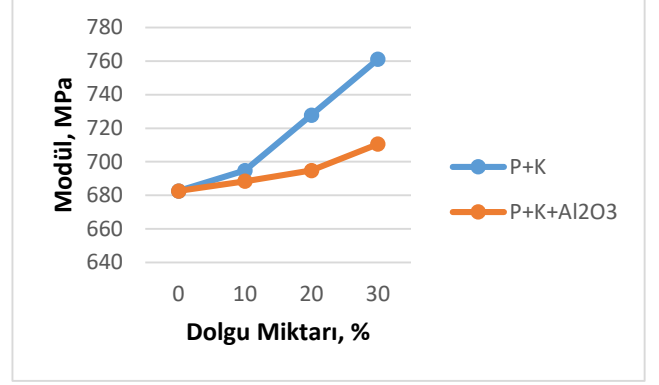
Şekil 2. Kopma gerilmesinin dolgu miktarına göre değişimi

Polyester matrisli kompozitlerin uzama değerleri şekil 3’de verilmiştir. Polyester matrisli kompozitlerin uzama miktarı % 10 dolgu miktarında yarı yarıya düşmüştür. Her iki numunede dolgu miktarı % 30’a kadar artmasına rağmen % 10 dolgu miktarındaki uzama değeri kısmi olarak değişmiştir. Uzama miktarı sadece kül dolgulu numuneler için kısmen biraz daha azalmıştır. Burada dikkat çeken nokta kül artışının uzama miktarını düşürmesidir, bununla beraber Al₂O₃ kullanımının artması bu düşüşü yavaşlatmaktadır.



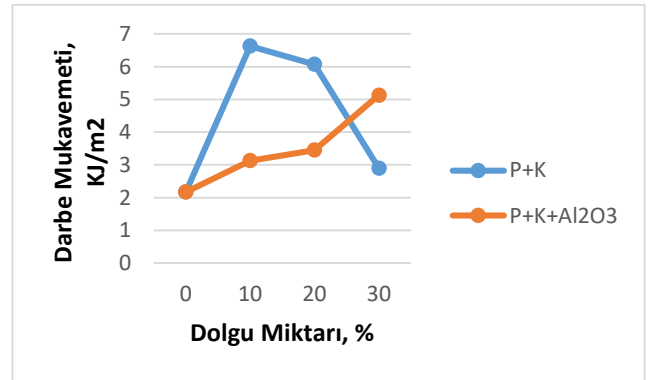
Şekil 3. % uzamanın dolgu miktarına göre değişimi

Polyester matrisli kompozitlerin modül değerleri şekil 4’de verilmiştir. Baca külü miktarı arttıkça modül değeri artmış, kompozit daha rijit bir hal almıştır. % 30 oranında kül miktarında yaklaşık olarak 760 MPa değerine ulaşmıştır. Baca külü ile Al₂O₃ dolgulu kompozit numunelerde dolgu oranı arttıkça kısmi bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Elastiklik modülünün dolgu miktarına göre değişimi

Polyester matrisli kompozitlerin darbe mukavemeti değerleri şekil 5’de verilmiştir. Baca külü miktarı % 10 miktarında maksimum darbe mukavemeti elde edilmiş, yaklaşık olarak 3 kat artmıştır. Diğer % 20 ve 30 oranlarında mukavemet değeri azalmıştır. Baca külü ile Al₂O₃ dolgulu kompozit numunelerde dolgu oranı arttıkça darbe dayanımı artış göstermiştir. % 30 dolgu miktarında maksimum artış göstermesine rağmen sadece % 10 kül dolgulu kompozit numunenin darbe dayanımına yine ulaşmamıştır. Dolayısı ile % 10 kül dolguyla kompozit doyum noktasına ulaşmıştır.



Şekil 5. Darbe mukavemetinin dolgu miktarına göre değişimi

IV. TARTIŞMA

Polyester matrise belirli oranlarda Al₂O₃ ve kül dolguları ilave edilerek mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Polyester matrise Al₂O₃ ilavesinin yapılarak kullanılması çok uzun süredir bilinen bir durumdur. Kopma mukavemeti ve % uzama değerlerinde yaklaşık olarak aynı sonuçlar elde edilmiştir. Modül değerleri incelendiğinde baca külü miktarı arttıkça modül değeri artmış ve kompozit daha rijit bir hal almıştır. Baca külü % 10 miktarında kompozite ilave edildiğinde darbe mukavemeti yaklaşık olarak 3 kat artmıştır. Bu çalışmada baca külü ve alüminyum oksit birlikte dolgu amaçlı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] May, C. A.; Epoxy Resins Chemistry and Technology, 2nd, ed., Marcel Dekker, Inc.: New York, 1988
- [2] McGarry, F. J. In Polymer Toughening, Arend, C. B., ed., Marcel Dekker, Inc.: New York, 1996, pp 175-188

- [3] Z.G. Shaker, R.M. Browne, and M.T. Blanda. Epoxy Toughened Unsaturated Polyester Interpenetrating Networks, Polymer Preprint, 41(1), p.311, 2000
- [4] Z.G. Shaker, R.M.Browne, H.A.Stretz, P.E.Cassidy and M.T.Blanda, Epoxy- Toughened Unsaturated Polyester Interpenetrating Networks, Journal of Applied Polymer Science, vol. 84, p.2283-2286, 2002
- [5] Xia Cao, Integrated Analysis of Low Profile Unsaturated Polyester and Vinylester Resins Cured at Low Temperatures, Phd Thesis, Ohio State University, 2002
- [6] E.Martuscelli, P.Musto, G. Ragosta, Advanced Routes for Polymer Toughening, Polymer Science Library, Elsevier 1996
- [7] Chang-J You, De-M Jia, Jia-R Shen, Nanocomposites Based on Unsaturated Polyester/Acrylate-Terminated Polyurethane /Organo-Montmorillonite, Polymer Preprint, 2003
- [8] Boztoprak Y., Kartal İ. ve Çakır M. (2006). Cam Kürecik ve Vollaistonit İlavelerinin Polyester Reçinenin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, 13. Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul.
- [9] Kartal İ., Çakır M., Boztoprak Y. ve Demirer H. (2005). Polyester-Epoksi Karışımının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi 7. Uluslararası Kırılma Konferansı, Kocaeli
- [10] A. Mortensen, A. Needleman, S. Suresh, Fundamentals of Metal-Matrix Composites, Butterworth-Heinemann,1993
- [11] Riccardo Casati, Maurizio Vedani, Metal Matrix Composites Reinforced by Nano-Particles—A Review, *Metals* 2014, 4(1), 65-83
- [12] Türker P, Erdoğan B, “Türkiyedeki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, AR-GE TCMA, 2004 Ankara
- [13] ASTM C618 - Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete