



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

---

**Karbon/Poliamid 12 Film Kompozit Üretimi**

**Carbon/Polyamide 12 Prepreg Production**

Seçkin ERDEN, Hasan YILDIZ  
Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Aralık 2015 (30 December 2015)

---

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Seçkin ERDEN, Hasan YILDIZ (2015): Karbon/Poliamid 12 Film Kompozit Üretimi, Tekstil ve Mühendis, 22: 100, 32-37.

**For online version of the article:** <http://dx.doi.org/10.7216/1300759920152210004>



*Araştırma Makalesi / Research Article*

# KARBON/POLİAMİD 12 FİLM KOMPOZİT ÜRETİMİ

**Seçkin ERDEN\***  
**Hasan YILDIZ**

Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 20.08.2015*

*Kabul Tarihi / Accepted: 02.10.2015*

**ÖZET:** Karbon elyafın sağladığı hafiflik ve dayanım, bunlarla üretilen film kompozitlerini (prepreg) de önemli kılmaktadır. Film kompozitler, elyaf hacim oranının kontrolü ve tabakalı kompozit üretiminde kolaylık sağlaması gibi avantajları yönünden tercih edilen yarı mamüllerdir. Diğer yandan, reçine olarak son yıllarda tercih edilmeye başlanan termoplastikler ise, geri dönüşüm ve çevre kirliliğini azaltma gibi olumlu katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada, karbon/poliamid 12 termoplastik film kompozitlerin imalatı, laboratuvar ölçekli bir sürekli üretim hattında gerçekleştirilmiştir. Üretimde etkili olan parametrelerle ilgili çalışmalar detaylı olarak açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon elyaf, termoplastik reçine, film kompozit, sürekli üretim

## CARBON/POLYAMIDE 12 PREPREG PRODUCTION

**ABSTRACT:** Lightweightness and strength of carbon fibers also give importance to prepregs produced using them. Prepregs are semi-finished products preferred especially for their advantages such as the control of fiber volume fraction and the easiness in the production of laminated composites. On the other hand, thermoplastics, which have been preferred recently as resin materials, provide positive contributions such as recycling and reduction of environmental pollution. Within this study, carbon/polyamide 12 thermoplastic prepregs have been manufactured using a lab-scale continuous production line. Parameters affecting the production have been explained in detail.

**Keywords:** Carbon fiber, Thermoplastic matrix, Prepreg, Continuous production

\* *Sorumlu Yazar/Corresponding Author: seckin.erden@gmail.com*

*DOI: 10.7216/1300759920152210004, www.tekstilvemuhendis.org.tr*

## 1. GİRİŞ

Polimerik kompozit malzemeler, hafiflik ve mekanik dayanım gibi iki temel özelliği bir arada sunabildikleri için giderek yaygınlaşmaktadır. Başlarda raket, bisiklet gibi spor ekipmanları ile uçak ve uzay endüstrisindeki uygulamalarda rastladığımız kompozitler, daha sonra otomotiv, tıbbi protez, iş güvenliği, müzik aletleri gibi pek çok alanda karşımıza çıkmaya başlamıştır. Nanoteknolojik gelişmelerle birlikte, karbon nanotüp ve grafen gibi nanoparçacık katkılarıyla, ısıl ve elektriksel özelliklerin iyileşmesi de sağlanmış, böylece elektronik endüstrisinde kullanım söz konusu olmuştur.

Mekanik destek sağlayan dolgu maddesi ve bunları bağlayan matris malzemesi, kompozitlerin iki temel bileşenidir. Güçlendirici olarak parçacık, elyaf, dokuma gibi dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. Elyaf, kesikli formda olabileceği gibi sürekli fitil formunda da olabilmektedir. Bunlardan üretilen keçe benzeri non-woven veya dokuma benzeri kumaş formunda takviye elemanları da kullanılmaktadır.

Yine sürekli fitillerden ya da kumaşlardan üretilen film kompozitler (prepreg) de önemli bir yarı mamul üründür. "Pre-impregnated" teriminin kısaltılması olarak yerleşen prepreg terimi, önceden reçine emprenye edilmiş fitil ya da kumaşlarla elde edilen kısmen pişmiş (kürleşmiş) film yapısında yarı mamul kompozitler için kullanılmaktadır [1]. Kullanılan fitil ve kumaşa bağlı olarak, kalınlığı genelde 0,15 - 0,3 mm civarında olan bu film kompozitler, termosetlerin yanı sıra termoplastik reçinelerle de üretilmektedir. Termoset reçinelerle (epoksi, vb) üretilen film kompozitler, reçinenin jelleşme sıcaklığında, jelleşme süresi boyunca tepkimeye tabi tutulur. Sonrasında ise, oda sıcaklığında kısa süreli ya da genelde -18°C'de bir yıl süreyle depolanabilmektedir. Termoplastik reçinelerle (polietilen, polipropilen, poliamid, vb) film kompozit üretiminde ise, fitil ya da kumaşa polimer çözeltisi emdirilip sonrasında çözgenin buharlaşması sağlanır. Böylece fitil ya da kumaş yüzeyinde toplanan polimerin, erime sıcaklığına çıkarılıp iyice nüfuz etmesi de sağlandıktan sonra, sıcaklık ve basınç altında sıkıştırma (konsolidasyon) gerçekleştirilir. Termoplastik

film kompozitin depolanması için soğuk ortama ihtiyaç yoktur, çünkü termosetler gibi oda sıcaklığında kendiliğinden ağır ağır da olsa tepkimeye girip pişmezler; yani, tekrar şekillendirilebilmeleri için erime sıcaklığına çıkarılmaları gerekmektedir. Film kompozitlerin en önemli avantajları, üretime hazır ve elyaf hacim oranı belirli (genellikle %60) ham madde olmalarıdır. Böylece, elde edilecek nihai kompozit ürünün elyaf hacim oranı da baştan bellidir; üretim sırasında bunu tutturma sorunu böylece ortadan kalkmaktadır.

Son dönemlerde, karbon fitil, kumaş ya da kesik karbon elyafı birlikte PEEK, PPS, PEI ve PEKK gibi termoplastik reçineler (proses sıcaklığı 250-400 °C civarında) kullanılarak havacılık uygulamaları için ve ABS, PA 6, PA 6.6, polietilen, polipropilen, PMMA, PCL, PET ve polikarbonat gibi termoplastik reçineler (proses sıcaklığı 100-200 °C civarında) kullanılarak da endüstriyel uygulamalar için film kompozitlerin üretimi ticari olarak gerçekleştirilmiştir [2-8]. Örnek olarak, %60 elyaf hacim oranına sahip karbon/poliyamid 6 film kompozit için 0,16 mm kalınlık ve 1,45 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerleri verilmiş, ayrıca bununla üretilen kompozitin çeki, bası ve eğilme dayanımları sırasıyla 1900, 375 ve 950 MPa, çekme ve eğilme modülleri de sırasıyla 100 ve 97 GPa olarak belirtilmiştir. Tabakalararası ve arayüzey kalitesinin bir göstergesi olan kısa kırıç kayma dayanımı ise 43 MPa olarak ölçülmüştür [2]. %35 elyaf hacim oranına sahip karbon/poliyamid 6 film kompozit için 0,15 mm kalınlık değeri verilmiştir. Bununla üretilen kompozitin çekme ve eğilme dayanımları sırasıyla 1155 ve 1050 MPa, çekme ve eğilme modülü ise 90 ve 80 GPa olarak belirtilmiştir [3]. Başka bir ticari ürün olan naylon-6/karbon termoplastik film kompozitin kalınlık değeri ise 0,25 mm olarak verilmiştir [9]. Termoplastik reçine olarak çalışılan ticari ürünler arasında PA 66, PA 612, FEP de sayılabilir [10]. Diğer ticari ürünler olarak, poliimid, PFA ve PVDF film kompozitler de bulunmaktadır [11]. Karbon/PPS film kompozit üretimi ile ilgili, fitilin iyice yayılmasının sağlandığı bir çalışmada ise kalınlığın 0,05 mm civarına indiği belirtilmiştir [12]. Karbon/Nylon66 ve karbon/PEI termoplastik film kompozit üretiminin

elle yapıldığı bir çalışmada ise kalınlık değerinin 0,2 mm civarında olduğu görülmüştür [13].

Bu çalışmada, güçlendirici dolgu elemanı olarak karbon fitil ve termoplastik reçine olarak da poliamid 12 kullanılarak, laboratuvar ölçekli bir sürekli üretim hattında, film kompozit imalatı gerçekleştirilmiş ve üretim parametreleri açıklanmıştır.

## 2. MALZEMELER

Dolgu malzemesi olarak seçilen HexTow™ AS4 12K sürekli, yüksek dayanımlı, yüksek birim uzamalı (HSn), dolgusuz (unsized) ve endüstriyel yüzey işlemi görmüş (industrially oxidized) PAN-bazlı karbon fitiller, Hexcel Corporation (Duxford, Cambridge, Birleşik Krallık) tarafından sağlanmıştır. Matris malzemesi olarak kullanılan VESTOSINT® 2158 doğal renkli PA 12, Evonik Degussa GmbH'den (Essen, Almanya) tedarik edilmiştir. Polimer tozunun ortalama parçacık boyutu (d50) 20 µm'dir. Polimerin erime sıcaklığı, üretici tarafından 184 °C olarak belirtilmiştir. Polimer çözeltisinin hazırlanmasında yüzey aktif madde olarak Cremophor A25 Fatty alcohol ethoxylate (BASF SE, Ludwigshafen, Almanya) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan karbon fitil ve PA 12'nin bazı özellikleri, imalatçı firmalar tarafından Tablo 1'deki gibi verilmiştir [14, 15].

## 3. FİLM KOMPOZİT ÜRETİMİ

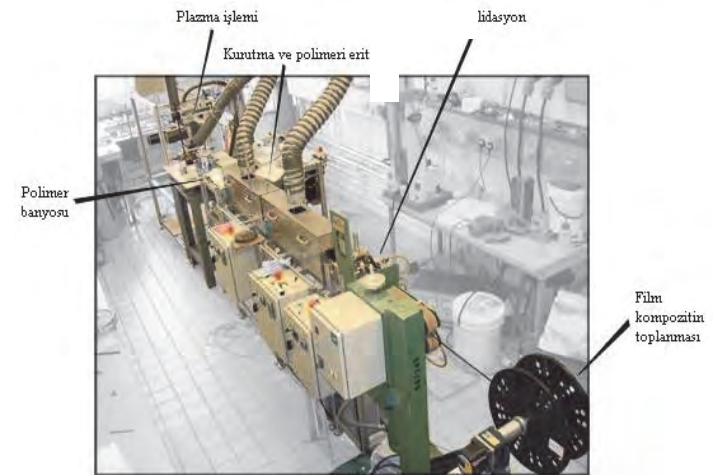
Üretim prosesi, Imperial College London'da gerçekleştirilmiştir. Film kompozit üretim hattı, polimer banyosu, kurutma ve polimer eritme tünel fırınları ve sıkıştırma (konsolidasyon) aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 1). Üretim hattının hızını belirleyen bir konveyör bant sistemi ile çekilen sıkıştırılmış film kompozit şeridi makaraya sarılarak toplanmaktadır. Konveyör bandın hızı ayarlanarak 1 m/dak hızla üretim yapılmıştır. Hattaki fitil demetinin düzgünlüğünü ve gerginliğini sağlamak için besleme makaralarına burulma gerilmesi uygulanarak fitillerin gerilmesi gerçekleştirilmektedir.

Üretim işlemi sırasında, fitillerin üretiminden kaynaklanan burulmalar (twist) nedeniyle, fitil demetinin düzgünlüğünü kaybetmesi söz konusudur. Bu ne-

denle, polimer banyosuna girmeden önce fitil demetini düzgün hale getirmek için hat gerginliğinin ayarlanması, demetin yayılmasını sağlamak için gerginlik arttırıcı paslanmaz çelik çubukların çeşitli aralıklarla hatta eklenmesi ve demete basınçlı hava püskürtülmesi gibi teknikler uygulanabilir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan karbon fitil ve PA 12'nin özellikleri

	HexTow AS4 12K	VESTOSINT 2158
Çekme dayanımı [MPa]	4.480	43
Young modülü [GPa]	231	-
Kopma uzaması [%]	1,8	>100
Akma uzaması [%]	-	6
Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	1,79	1,016
Filaman çapı [µm]	7,1	-
Birim ağırlık [g/m]	0,858	-
Erime noktası [°C]	-	184
Su absorpsiyonu [%]	-	1.9
Nem absorpsiyonu [%]	-	0,5-1,3



**Şekil 1.** Film kompozit üretim hattı [16].

Polimer banyosunda fitillerin azami polimeri emebilmesi için mümkün olduğunca enine yayılmaları gerekmektedir. Bunun için de, paslanmaz çelik bir kafes yapı kullanılmıştır. Yapıdaki paslanmaz çelik çubuklar arasından geçirilen fitil demetinin yayılma miktarı, çubukların konumunu ayarlayan pim konumlarına bağlıdır.

Polimer banyosunda ıslanan ve polimeri emen fitiller, öncelikle kurutma fırınında yaklaşık 120 °C'de kurutulmuştur. Sonra da, 200 °C'deki ikinci fırında kuru-



yup toz haline gelen polimerin eritilmesi ile onları emmiştir ve böylece tutunma meydana gelmiştir.

Son olarak, sertleşip katılaşmaları için yaklaşık 200 °C'deki üç çubuk direnç arasından geçip yük altında soğuyup sıkıştırılan fitil demeti, yaklaşık 10 mm genişliğinde ve 0,2 mm kalınlığında film kompozit haline gelmiş olur (Şekil 2). Bundan sonra, imal edilmiş olan bu sürekli düzgün doğrultulu film kompozitler, konveyör bantlar arasından geçip toplama makarasında biriktirilirler.

Polimer çözeltisi, başlangıçta %10 polimer konsantrasyonu ile hazırlanmıştır. Bunun için 2,5 lt, yani 2,5 kg DI-H<sub>2</sub>O, %10'u kadar (250 g) PA 12 tozu ve polimerin %2'si kadar (5 g) yüzey aktif madde paslanmaz çelik kaptaki mikserle iyice karıştırılmış ve paslanmaz çelik polimer banyosuna konulmuştur. Polimer banyosu içindeki polimerin çökmemesi için, altına manyetik karıştırıcı yerleştirilerek sürekli karışması sağlanmıştır. Bu şekilde elde edilen film kompozitlerin elyaf hacim oranı ( $v_f$ ) ortalama %35 gibi bulunmuş, bunun üzerine polimer konsantrasyonu düşürülerek  $v_f$ 'nin artırılması amaçlanmıştır.  $v_f$  hesabı, aşağıdaki formülden yola çıkılarak yapılmıştır. Burada,  $\rho_m$  ve  $W_m$  matrisin yoğunluğu ve ağırlığını,  $\rho_f$  ve  $W_f$  de fitilin yoğunluğu ve ağırlığını göstermektedir:

$$v_f = \frac{\rho_m W_f}{\rho_f W_m + \rho_m W_f} \quad (1)$$

Üretilen film kompozitlerin %60 elyaf hacim oranına sahip olması amaçlanmış ve  $\pm$ %5'lik hata payı gözönüne alınmıştır. Yani,  $v_f$ 'nin %57-63 arasında tutulması uygun bulunmuştur. Bunun kontrolü, 1 m

uzunluğundaki film kompozitlerin belirli zamanlarda kesilip tartılması ve ağırlığın 1,144-1,225 g arasında tutulması ile sağlanmıştır (Tablo 2).

$W_c$  film kompozit ağırlığının hesabında (2) denkleminde yararlanılır:

$$W_c = \frac{W_f}{v_f \rho_f} [\rho_m + v_f (\rho_f - \rho_m)] \quad (2)$$

Film kompozit ağırlığının belirlenen aralıkta kalmasını sağlamak için gerekli polimer konsantrasyonu aralığı olan %2,5-2,7 ise, çeşitli zaman aralıklarında banyo konsantrasyonunun ölçülmesi ile ortaya çıkarılmıştır (Tablo 3). Zamana (t) göre konsantrasyon (X) değerleri için doğrusal regresyon analizi ile eğri uydurulmuştur (Şekil 3).

Elde edilen film kompozit yüzeylerinin, 10x ve 40x büyütmeyle dijital kamera görüntüleri alınmıştır. Bunlara göre, düzgün yüzeyli film kompozitler elde edildiği ve karbon lif yüzeyinde PA 12 bulunduğu görülmüştür (Şekil 4). Tablo 2'de belirtilen %2,5-2,7 PA12 çözelti konsantrasyonu aralığında ve 1 m/dak üretim hızında, %57-63 elyaf hacim oranına sahip karbon/PA 12 film kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Özetlemek gerekirse, sürekli film kompozit üretimini etkileyen pek çok parametre mevcuttur. Bunlar genel olarak, fitilin yayılma miktarı, fitil gerginliği, reçine çözeltisinin konsantrasyonu, banyo karıştırma hızı, çözelti kurutma fırınının sıcaklığı, polimerizasyon fırınının sıcaklığı, konsolidasyon sıcaklığı şeklinde sıralanabilir. Tüm bunların belirlenmesinde, fitilin ortamda kalış süresi, yani üretim hattının hızı da etkili olmaktadır.



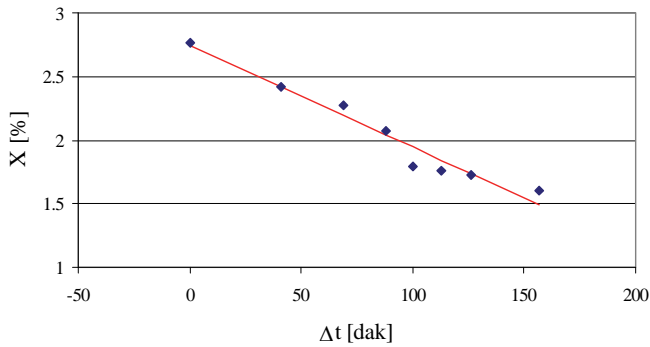
Şekil 2. Üretilen karbon/poliamid 12 termoplastik film kompozit

**Tablo 2.** Film kompozitin elyaf hacim oranı aralığının hesabı

<b>İşlem hattı hızı [m/dak]</b>		1	
<b>Zaman aralığı [dak]</b>		1	
<b>Film kompozit uzunluğu [m]</b>		1	
<b>Fital</b>	$\rho_f$ [g/cc]	$w$ [g/m]	$W_f$ [g]
AS4_12k_u	1,79	0,858	0,858
<b>Matris</b>	$\rho_m$ (g/cc)	$w$ (g/m)	$W_m$ (g)
PA 12	1,016	0,325	0,325
<b>Hacim [%]</b>	60	0,6	$X$ [%]
<b>Hassasiyet [<math>\pm</math> %]</b>	5	0,57	2,7
		0,63	2,5
<b>Kompozit</b>		<b>Aralık (<math>\pm</math> g)</b>	$W_c$ (g)
C/PA 12		1,225	1,183
		1,144	

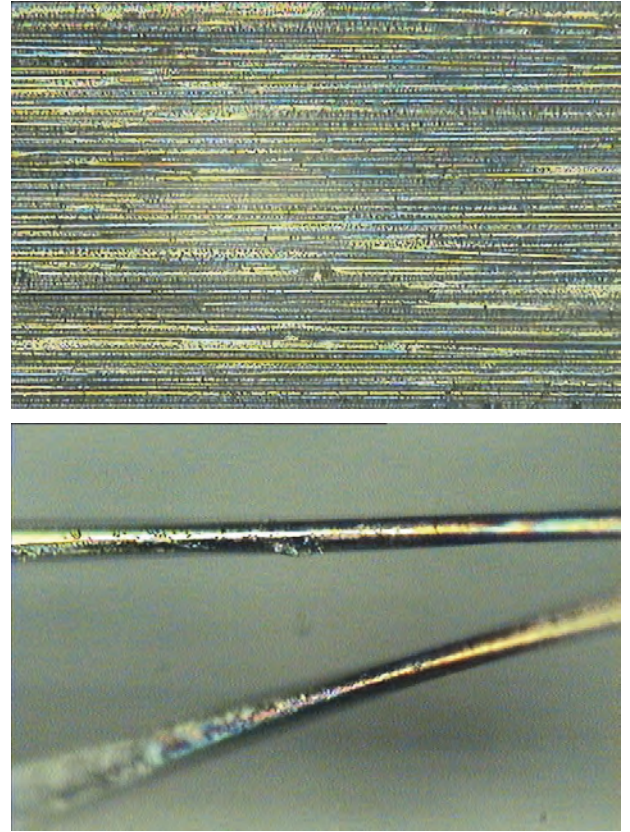
**Tablo 3.** Polimer konsantrasyonu ölçümleri

$\Delta t$ [dak]	Polimer $X$ [%]	Tahmini $X$ [%]
0	2,76	2,74
41	2,42	2,41
69	2,27	2,19
88	2,07	2,04
100	1,79	1,94
113	1,76	1,84
126	1,73	1,74
157	1,6	1,49

**Şekil 3.** Polimer konsantrasyonu değişiminin hesaplanması.

Karbon/PA 12 film kompozit üretimi ile ilgili benzer bir çalışmada, yine bir sürekli üretim hattından faydalanılmıştır [17]. Fakat burada, karbon fitil yerine, kumaş kullanılmış ve reçine banyosundaki çözültiden karbon geçirilerek emdirme yapılması yerine, karbona reçinenin spreyleneşmesi yoluyla emdirme işlemi

gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, üretim hızı 0,25-1 mm/dak aralığında tutulduğunda, 2 mm kalınlığındaki kumaşlara reçinenin 6 saniyede emdirildiği, 50 m/dak hat hızında ise 5 m uzunluğunda bir emdirme bölgesi gerekeceği belirtilmiştir. Diğer hızlar için de teorik hesaplamalar yapılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla, bu çalışmadaki film kompozit kalınlığı (0,2 mm) ve üretim hızı (1 m/dak) değerlerine göre orantı kurularsa, referans yayında yaklaşık 10 cm uzunluğunda emdirme bölgesi ve 2,5 m uzunluğunda polimerizasyon fırını gerekeceği hesaplanabilir. Bu değerler mevcut çalışmada, 20 cm ve 1 m civarındadır.

**Şekil 4.** Karbon/PA 12 film kompozitin yüzeyi (10x ve 40x).

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, polimerik kompozit ürünlerin imalatında önemli bir yarı mamül ham madde olarak kullanılan film kompozitlere örnek olarak, bir üretim süreci detaylı olarak anlatılmıştır. Özellikle geri dönüşüm özelliği nedeniyle, günümüzde yaygınlaşmakta olan termoplastik kompozitlerden birisi olarak, karbon/PA 12 film kompozit üretimi, bunun için kullanılan üre-

tim hattı ve üretim parametreleri detaylı olarak anlatılmıştır.

### **Teşekkür**

*Bu çalışma, TÜBİTAK 2214 yurt dışı araştırma bursu ve Ege Üniversitesi 06-MÜH-030 no.lu BAP projesi desteği ile gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, çalışmadaki destek ve yardımları için Profesör Alexander Bismarck'a, Dr Kingsley K. C. Ho'ya, Dr Steven Lamoriniere'ye minnettardır. Ayrıca yazarlar, karbon fitili sağlayan Hexcel ve PA 12 polimeri temin eden Evonik Degussa'ya teşekkür etmektedirler.*

### **KAYNAKLAR**

1. SPM Kompozit, Prepreg, <http://www.spmkompozit.com/prepreg-nedir/>, (20.08.2015).
2. TenCate Advanced Composites, <http://www.tencate.com/advancedcomposites/products/thermoplastic/default.aspx>, (11.11.2015).
3. Jonam Composites, <http://www.jonam.co.uk/products/prepreg/prepreg.html>, (15.11.2015).
4. Sakai Ovex Composites, <http://www.sakaiovex.co.jp/english/carbon/prepreg.html>, (17.11.2015).
5. Cytec Engineered Materials, [https://www.cytec.com/sites/default/files/datasheets/APC-2\\_PEEK\\_031912-01.pdf](https://www.cytec.com/sites/default/files/datasheets/APC-2_PEEK_031912-01.pdf), (20.11.2015).
6. Chopped carbon fiber/thermoplastic prepreg, <http://www.compositesworld.com/products/chopped-carbon-fiberthermoplastic-prepreg>, (23.11.2015).
7. Unidirectional fibre-reinforced thermoplastic prepregs, <http://www.jeccomposites.com/news/composites-news/unidirectional-fibre-reinforced-thermoplastic-prepregs>, (30.11.2015).
8. TPone – a thermoplastic prepreg. [http://www.hacotech.com/cms/en/tpone\\_thermoplastic\\_prepreg](http://www.hacotech.com/cms/en/tpone_thermoplastic_prepreg), (02.12.2015).
9. Mei Z, Chung D D L., (2000), *Kinetics of autohesion of thermoplastic carbon-fiber prepregs*, International Journal of Adhesion & Adhesives; 20, 173-5.
10. Fibrtec Thermoplastic Composite Material, <http://www.fibrtec.com/solutions.html>, (04.12.2015).
11. A New Material Captures the Market, [https://www.sulzer.com/es/-/media/Documents/Cross\\_Division/STR/1999/1999\\_02\\_4\\_kaerger\\_e.pdf](https://www.sulzer.com/es/-/media/Documents/Cross_Division/STR/1999/1999_02_4_kaerger_e.pdf), (07.12.2015).
12. El-Dessouky H M, Lawrence C A., (2013), *Ultra-lightweight carbon fibre/thermoplastic composite material using spread tow technology*. Composites: Part B; 50, 91-7.
13. Liu B, Xu A, Bao L., (2015), *Preparation of carbon fiber-reinforced thermoplastics with high fiber volume fraction and high heat-resistant properties*. Journal of Thermoplastic Composite Materials; DOI: 10.1177/0892705715610408.
14. Hexcel Ürün Bilgisi, [http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/5659C134-6C31-463F-B86B-4B62DA0930EB/0/HexTow\\_AS4.pdf](http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/5659C134-6C31-463F-B86B-4B62DA0930EB/0/HexTow_AS4.pdf), (2009).
15. Evonik Degussa, Vestosint 2158 Ürün Bilgisi, [http://www.degussa-hpp.com/dl/pi/vestosint\\_2158\\_nf\\_e6\\_bn.pdf](http://www.degussa-hpp.com/dl/pi/vestosint_2158_nf_e6_bn.pdf), (2009).
16. Erden, S., (2009), *Karbon Fiberlerden İmal Edilen Kompozit Yapılarda, Fiber Yüzey İşlemlerinin Fiber, Ara Bölge Ve Kompozit Yapı Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
17. Wakeman M D, Zingraff L, Blanchard P, Manson J-A E., (2014), *Stamp-Forming of Reactive-Thermoplastic Carbon Fiber/PA12 Composite Sheet*. 7th International Conference on Flow Processes in Composite Materials, 7-9 July 2004.