

Boeing tarafından hazırlanan olağanüstü hafif olacak bu uçak tamamiyle kompozit malzemeden yapılacaktır.

KOMPOZİT MALZEMELER

Mehmet KARABATUR
Makina Y. Mühendisi

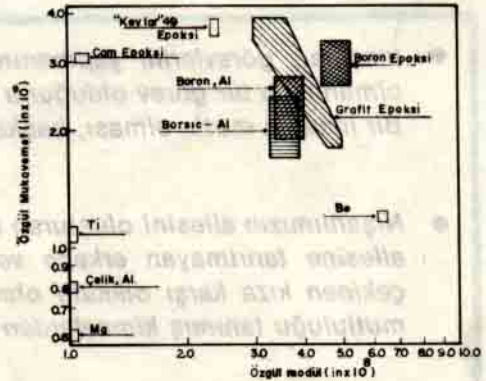
I. GİRİŞ

Alüminyumdan daha hafif, çelikten daha kuvvetli, korozyona dayanıklı, paslanmaz, çürümez, ısı ve elektrik yalıtkanı, manyetik olmayan bir madde gerçekten bir önceki nesil için efsanevi bir nitelik taşımakta idi. Ancak çağımızın gelişen teknolojisi, bu teknolojinin gereksindirdiği yüksek performansı verebilecek malzeme araştırmaları, bugün o efsanevi niteliklere sahip kompozit malzemelerin kullanımına izin vermiştir. İki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile oluşan kompozit katılar fikri yeni değildir. Ancak yüksek performanslı elyaf kompozitlerin geliştirilmesi ve geniş bir şekilde kullanılması son 18 yılı kapsamaktadır. Kompozit malzemelerin kullanılmalarının 1971-1976 yılları arasında iki katına çıktığı bilinmektedir (1). Kompozit malzemeler bilinen metallere göre daha yüksek mukavemet/ağırlık oranı, daha iyi yorulma ve korozyon özellikleri gösterirler. Çeşitli fiber takviyeli kompozitlerin özellikleri bilinen önemli metallerle karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de gösterilmektedir (1).

II. KOMPOZİT MALZEME TÜRLERİ

Kompozit malzemeler esas olarak bir epoksi matriksinin cam, grafit, boron veya benzeri bir

filaman ile doldurulması sonucu oluşan malzemelerdir. Düşük elastisite modülüne rağmen fiber camı epoksisi kompozitlerin en geniş kullanılanıdır. Uçak sanayiinde, çok yüksek olmayan yükler taşıyan yapılarda eskiden beri kullanılmaktadır. Cam fiberlerinin düşük modülü, kırıl-



Şekil 1. Kompozit malzemelerin özelliklerinin çeşitli metallerle kıyaslanması.

Malzeme	Çekme modülü (psi)	En fazla çekme mukavemeti (psi)	Yoğunluk (lb./in ³)
Camelyaf - epoksi	5×10^6	240×10^3	0.075
Boron - epoksi	30×10^6	200×10^3	0.073
Grafit - epoksi	$20 - 40 \times 10^6$	200×10^3	0.057
Boron - Alüminyum	28×10^6	174×10^3	0.100
PRD - 49 / III	11×10^6	160×10^3	0.050
Alüminyum (7075)	10×10^6	78×10^3	0.100
Ti - 6Al - 4V	16×10^6	170×10^3	0.160
Çelik (4340)	29×10^6	180×10^3	0.283
Magnezyum	6.5×10^6	40×10^3	0.064
Berilyum	42×10^6	80×10^3	0.067

TABLO: 1. Kompozit malzemelerin tipik özelliklerinin metallerle karşılaştırılması.

ma ve çatlamlara neden olabilecek yüksek birim uzamalarına olanak tanır. Bu özellik yorulma mukavemetini sınırlandırır. Ancak düşük maliyeti ve diğer pahalı, fakat yüksek modüllü kompozitlerle birlikte kullanılabilme özelliği büyük avantaj sağlamaktadır. Fiber cam epoksisinin diğer metaller ve diğer kompozitlere göre, özgül mukavemet ve modül değerleri Şekil 1'de görülmektedir. Boron filamanları yüksek modül ve yüksek mukavemetlidirler, ancak pahalıdır. Modülleri yüksek olduğu için birim uzamaları az, böylece yorulma mukavemetleri fazladır. Boron epoksisinin gerilim-birim uzama değerlerinin metallerle karşılaştırılması Şekil 2'de verilmektedir. Uçağın yapısal kısımları sert ve mukavemetli olarak dizayn edildikleri için Boron bu düşük sehim ve yüksek mukavemet uygulamaları için uygundur fakat, Boron fiberlerinin çok sert ve kırılğan olmaları gibi bazı dezavantajları vardır.

Bu tür kompozitleri işlemesi çok masraflıdır. Bunun için karbit ya da elmas uçlu kalemler gerekir.

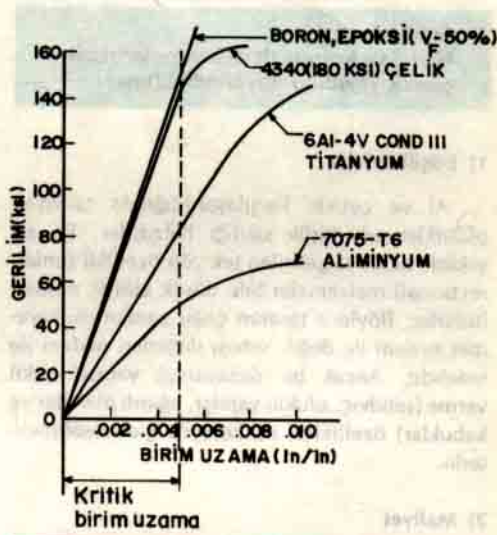
Grafit filamanları yüksek modüllü ve yüksek mukavemetlidirler. Fiatları daha makuldür. Bu filamanlar bu gruptaki en yüksek modüllü olma özelliğini taşırlar ve alüminyum, titanyum ve çeliğe göre 7 - 11 kez daha serttirler. Grafit kompozitleri, çok iyi işlenme ve şekillendirilme özelliklerine sahiptirler. Böylece, imalat maliyetleri Boron kompozitlere göre çok düşüktür. Yukarıda anlatılan inorganik filamanlar yanında organik filamanlar da geliştirilmiştir.

Dupont firmasının geliştirdiği PRD-49 III ve IV isimli polimerik filamanlar A1 ve cam fiberine denk özellik göstermelerine karşın Boron ve grafitten çok daha ucuzdurlar ve aynı zamanda fiberlerin içinde yoğunluğu en düşük olanıdır. Bu fiberlerde mukavemet/ağırlık oranı alüminyumun 10 katı ve Ti-6Al-4V kodlu titanyum alaşımının 8 katıdır.

Kompozit örnekler ve bazı makina elemanları üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri boron-epoksi ve grafit epoksi kompozitlerinin metallerin dayanabildiği gerilmelerin çok daha üzerindeki yorulma gerilmelerine dayandıklarını göstermiştir. Boron ve grafit kompozitleri için yorulma eğrileri alüminyum, titanyum ve çelikle karşılaştırılmalı olarak Şekil 3'de gösterilmektedir.

III. KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIM ÜSTÜNLÜK VE SINIRLAMALARI

Bu malzemelerin üstünlüklerini şöyle sıralayabiliriz (3):



Şekil 2. Boron ile çeşitli metallerin gerilim-birim uzamasının karşılaştırılması.

1) Şekillendirme

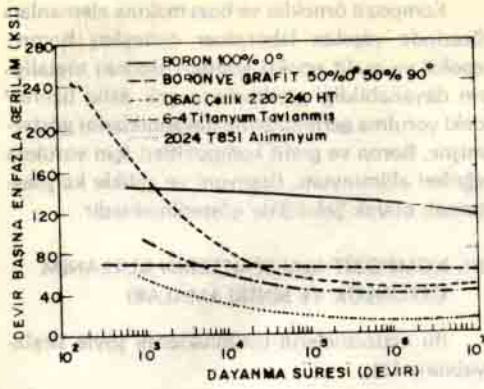
Takviyeli plastiklerin önceden belirli bir şekilleri yoktur. Basit kalıplar ile istenilen şekil verilebilir. Tasarımcı diğer malzemelere göre çok özgürce davranabilir.

2) Mukavemet ve Hafiflik

Yapısal malzemeler içinde ağırlıklarına göre en kuvvetli malzemelerdir. Çatlama mukavemetleri çok iyi olduğu için diğer malzemelere göre daha ince yapılabilirler. Maruz kalmaları sözkonusu gerilmelere göre tasarım değişikliklerini tolere edebilirler.

3) Işık Geçirgenliği

Tüm yapısal malzemeler içinde ışık geçirgenliği olan tek malzeme türü takviyeli plastiklerdir. Kullanım sınırlamaları ise;



Şekil 3.
Metal ve kompozit malzemelerin sabit genlik yorulma dayanıklılıkları.

1) Düşük Sıklık

Al ve çelikle karşılaştırıldığında takviyeli plastikler en düşük sıklığı haizdirler. En sık şekilde biraraya getirilen tek yön özellikli (unidirectional) malzemeler bile düşük elastik modülüdürler. Böylece tasarım çoğu zaman mukavemet nedeni ile değil, sehim değerleri nedeni ile sınırlıdır. Ancak bu dezavantaj yapısal şekil verme (sandviç, oluklu yapılar, eğimli plakalar ve kabuklar) özellikleri ile kolayca giderilebilmektedir.

2) Maliyet

Kompozit malzemelerin bugün için mevcut en büyük dezavantajları yüksek fiyatlarıdır. Kompozitlerin 1980 yılına kadarki tahmini maliyet projeksiyonu ABD Doları cinsinden Şekil 4'de gösterilmektedir. Malzeme maliyeti üretim hacmini etkileyen oldukça önemli bir faktördür. İmalat yöntemlerinin geliştirilmesi ve üretim hacminin büyütülmesi malzeme maliyetinin düşmesine yardımcı eder. Boron fiberlerin daha bir süre yüksek maliyetlerini korumaları beklenmekle birlikte grafit fiberlerin giderek ucuzlaması olasıdır.

3) Sınırlı İmalat Hacmi

Her tasarım için gereksinmeyi karşılayacak çok amaçlı standart birimler (silindirik, profil vs.) biçiminde imalat henüz bu tür malzemeler için geliştirilememiştir. Hernekadar çeşitli prefabrikte parçalar yapılmakta ise de bu parçaların montajı zaman zaman sorun yaratmaktadır. Epoksi matrisli kompozitlerinin diğer bir dezavantajı da

genellikle 180°C'nin üzerine çıkamayan çalışma sıcaklığıdır. Yüksek sıcaklık uygulamaları için polimer matrisleri yerine metal matrisler tercih edilmektedir. Uçak motorlarının hemen her parçasında titanyum-boron filamanları, nikel-silikon karbid filamanları ve çeşitli refrakter metal alaşımları ile süper alaşım matrislerinin kullanıldığı bilinmektedir.

IV. ÜRETİM YÖNTEMLERİ

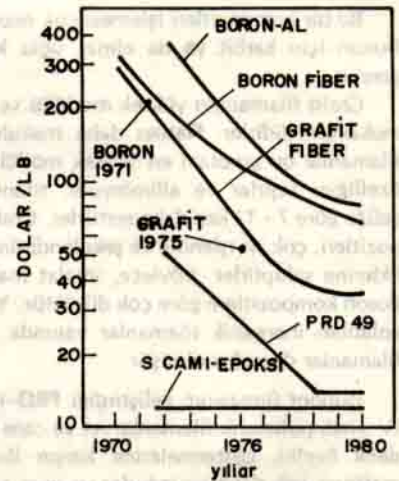
Takviyeli plastiklerin üretim yöntemleri genellikle 3 kategoride incelenebilir:

A. TABAKALAMA

Bu işlem için önceden hazırlanmış filaman şerit veya bez bir plaka üzerine hafif bir yapıştırıcı sürüldükten sonra istenen açılarda, istenen kat miktarında yayılır. Burada kullanılan plakanın işlem sonunda elde edilecek kompozit tabakadan biraz daha kalın olması gereklidir. Bu işlemin elle ve istenen her açıda yapılması çok vakit alıcı bir işlemdir. Bu nedenle otomotiv gibi kitlesel üretim yapan sanayilerde tercih edilmez. Ancak hem enine hem boyuna çalışabilen özel serme makinalarının geliştirilmesi ile bu yöntem giderek değer kazanmaktadır (2).

B. FİLAMAN SARMA

Bu işlemde simetrik bir mandrel simetri eksenini etrafında döndürmek için torna tipi bir tezgah kullanılabilir. Burada sarılacak filaman bir araba üzerine yerleştirilen bir makara sisteminde tornadaki mandrel üzerine beslenir (5). Aynı



Şekil 4.
Kompozit malzemelerin maliyet projeksiyonu.



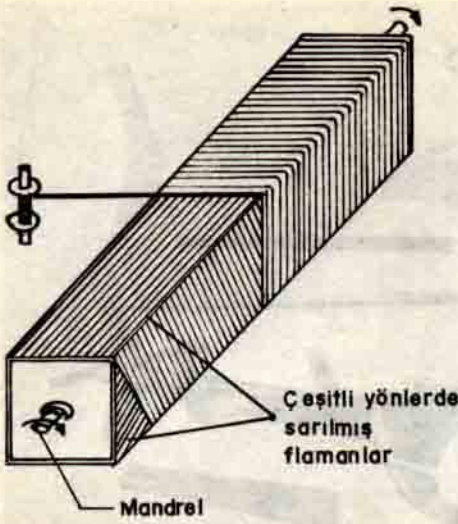
Deney olarak yapılan bütün parçaları kompozit malzemeden bir Helikopter.

anda makara sistemi de mandrel eksenine paralel olarak ileri geri hareket etmektedir. Böylece makara sisteminin ileri geri hareketi ve mandrelin dönme hızı birbirine uyduurularak istenen açılarda sarım yapılır. Fiber mandrel üzerine sarıldığı esnada reçine ile de ıslatılmaktadır. Böylece, gerilim altındaki fiberlerle düşük viskoziteli reçine uygun bir ağ kurmuş olurlar.

Daha çok silindirik ve küresel mandrellerle filaman sarma yapılmakta ise de Şekil 5'de görüldüğü gibi (2) prizmatik mandrel üzerine de sarma yapılarak çeşitli (I, J, T, Z kesitli) kirişler elde etmek olanağı vardır. Ayrıca titanyum ve alüminyum ile birlikte kompozit kirişler kullanılmaktadır. Buna ait bir örnek de Şekil 6'da verilmektedir (2).

C. FIŞKIRTMA KALIPLAMASI

Bant ile tabakalama sayesinde düz veya hafif eğimli plakalar; filaman sarma tekniği ile de silindirik ve küresel yapılar elde edilebilmekte ise de uçak sanayiinde çok sık karşılaşılan daha karmaşık yapılar için bu yöntemler yeterli olamamaktadır. Bu tür konstrüksiyonlar için kalıplama ve sonra yapıştırma diye sınıflandırabileceğimiz yöntemler kullanılır. Fıskırma kalıplaması esas olarak termoplastik malzemelerin biçimlendirilmesi için kullanılmakta idi. Termoplastiklerin yumuşama noktalarının çok düşük olması önceleri fıskırma kalıplamasını bugün kompozit malzemelerin kullanım alanlarından uzak tutmakta idi. Ancak gelişen plastik teknolojisi ile birlikte



Şekil: 5.
Prizmatik filaman sarıma'ya bir örnek.

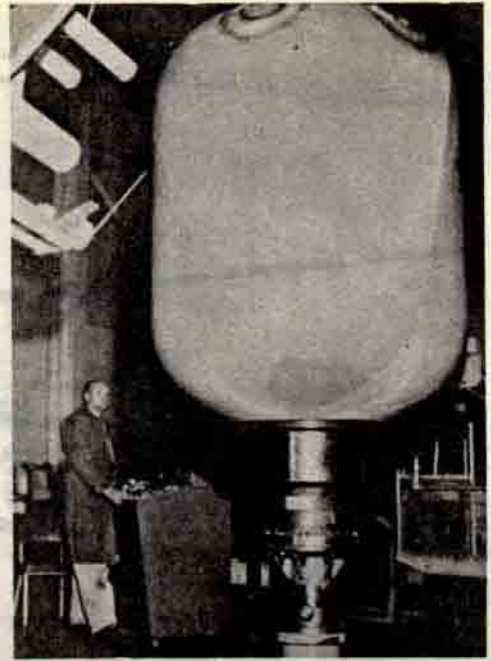
yüksek yumuşama noktalı termoplastikler eldesi; bu malzemelerin cam ve diğer fiberlerle takviyelenmesini mümkün kılmıştır. Böylece polisiten, polipropilen, polikarbonat, naylon, polimetakrilat ve teflon ile fiber takviyeli fişkırtma kaplamaları yapılabilmektedir. Bu yöntemde sıcak reçine basınç altında daha soğuk kalıp oyduğuna fişkırtılır. Kalıp duvarlarına temas eden reçine burada katılır ve kalıbın şeklini alır. Eğer reçine cam veya grafit fiberleri ile takviye edilirse yüksek mukavemetli, ısıya dayanıklı bir kompozit malzeme elde edilir. Bu yöntemle büyük miktarlarda üretim olanağı olduğu için kompozit malzeme üretiminde giderek daha çok önem kazanmaktadır.

V. UYGULAMA ALANLARI

Kompozit malzemelerin uygulama alanlarını 3'e ayırmak mümkündür:

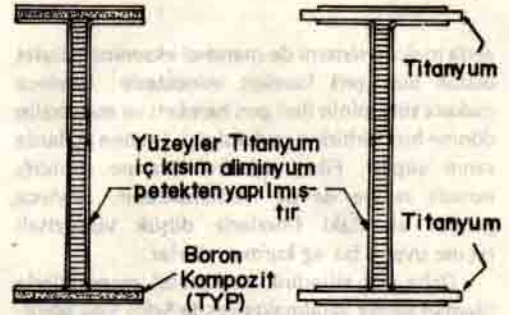
A. UZAY VE UÇAK SANAYİİ

Bu alanda helikopter, uzay araçlarının pek çoğu, askeri ve sivil uçaklar, çeşitli füzeler gibi çok sayıda yüksek performans gerektiren ürünün bir veya birkaç parçasında kompozit malzemeler kullanıldığını görmek olanaklıdır. Bugün helikopterlerin rotor kanatçıkları, uçak kanat ve kuyruklarının büyük bir kısmı, bazı radarların radomları, çeşitli füzelerin motorları ve lüle gövdelerinde çok miktarda kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Örnek olarak F-14 uçaklarının iniş takım



Şekil: 7.
Minuteman Füzesi 3. kademe motor gövdesinin camelyafının sarılması.

kapıları, F-5 uçaklarının gövde kapısı, F-16 ve B-1 bombardıman uçaklarının çeşitli parçaları, Boeing 737 uçakları kanat spoylerleri, ATS-F uydusunun parçaları, VEW-400, Sikorsky VS-300, Piasecki H-21, Bell H-13, Hiller H-23, MBB BO-105 kısa mesafe kalkış - iniş uçakları ve helikopterlerinin çeşitli aksamı verilebilir (4). Şekil 7 Minuteman füzesinin 3. kademe motor gövdesinin cam elyafı sarılmasını göstermektedir (7).



Şekil: 6.
a) Kompozit malzemeden yapılan bir kiriş.
b) Tamamen titanyumdan yapılan bir kiriş.