

T.C.

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**PREPREG TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİLEN KOMPOZİT
MALZEMELERİN PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI**

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS BİTİRME PROJESİ

DENİZLİ, OCAK - 2017

T.C.

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**INVESTIGATE TO PERFORMANCE OF THE COMPOSITE
OBTAINED BY THE PREPREG TECHNOLOGY**

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS BİTİRME PROJESİ

DENİZLİ, OCAK - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Barış OĞUZ tarafından hazırlanan “Prepreg Teknolojisi ile Üretilen Kompozit Malzemelerin Performanslarının Araştırılması” adlı proje çalışması yapılmış olup Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Tezsiz Yüksek Lisans Bitirme Projesi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman: **Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ**

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..../..... tarih ve .../... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu yüksek lisans projesinin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim

.....

BARIŞ OĞUZ

ÖZET

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS BİTİRME PROJESİ
BARIŞ OĞUZ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. NUMAN BEHLÜL BEKTAŞ)

DENİZLİ OCAK - 2017

Bu proje kapsamında kompozit malzemeleri ve kompozit malzeme üretim yöntemi olan Prepreg Teknolojisi ile Üretilen Kompozit Malzemelerin Performanslarının Araştırılması yapılmıştır. Öncelikle kompozit malzemelerin bileşenleri, kullanım alanları ve avantajları anlatılmıştır. Kompozit malzemenin üretim aşamasında kullanılan matrisler ve kullanılacak endüstrideki yerine göre incelenmiştir. Gelişen Prepreg Teknolojisi ile Üretilen Kompozit Malzemelerin özellikleri, üretim aşamaları ve kullanım alanları üzerine araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda Prepreg Teknolojisi ile Üretilen Kompozit Malzemelerin diğer üretim yöntemleri ile üretilen kompozit malzemelere göre bir çok avantajlar sergilediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, prepreg, epoksi, karbon fiber

ABSTRACT

**NON-THESIS MASTER'S PROGRAM DISSERTATION
BARIŞ OĞUZ
PAMUKKALE UNIVERCITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF. DR. NUMAN BEHLÜL BEKTAŞ)

DENİZLİ, JANUARY - 2017

In this project, the performance of composite materials produced with Prepreg Technology, which is a composite material production method and composite material production method, has been investigated. Firstly, the components of composites, their usage areas and their advantages are explained. The matrices used in the production phase of the composite material and the industry to be used were examined. Researches on properties, production stages and usage areas of Composite Materials produced with Developing Prepreg Technology. As a result of the research, it has been determined that Composite Materials Produced by Prepreg Technology exhibits a number of advantages compared to composite materials produced by other production methods.

Keywords: Composite material, prepreg, epoxy, carbon fiber

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
1.GİRİŞ	1
1.1 Yüksek Performanslı Kompozitler İçin Teknolojiler.....	1
1.2 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları ve Kullanım Amacı	1
1.2.1 Otomotiv Endüstrisinde Kompozit Malzeme Kullanımı	1
1.2.2 Uçak Yapılarında Kompozit Malzeme Kullanımı	4
1.2.3 Kompozitlerin Basınçlı Gaz Tasarımlarında Kullanımları	7
1.3 Prepreg	9
1.3.1 Reçine Elyaf Oranı Kontrolü	9
1.3.2 Üretim standardizasyonu.....	9
1.3.3 Kullanım Kolaylığı	10
1.4 Prepreg Malzemelerin Kullanım Alanları	11
2.LİF VE KUMAŞIN ÖZELLİKLERİ	12
2.1 Lifin Özellikleri	12
2.2 Kumaşın Farklı Dokuma Şekilleri	13
2.3 Takviye Edilen Malzemelerin Seçilmesinin Esas sebepleri.....	14
3. MATRİS	15
3.1 Matrisin Özellikleri	15
3.1.1 Epoksi Reçine Matrisler.....	16
3.1.2 Polyester Reçine Matrisler	17
3.1.3 Vinylester Reçine Matrisler	17
3.1.4 Fenolik Reçine Matrisler.....	18
3.1.5 Silikon Reçineler.....	18
3.2 Metal Matrisler.....	18
3.3 Elyaflar.....	19
3.3.1 Cam Lifler	20
3.3.2 Karbon Lifler	20
3.3.3 Aramid Lifler	20

3.3.4 Bor Lifler	21
3.3.5 Silisyum Karbür Lifleri.....	21
3.4 Farklı Termoset Matrisin Özellikleri	22
3.5 Mekanik veya Isısal Performansın Karşılaştırılmasında Matris Yapılması	23
4.PREPREGİN ÖZELLİKLERİ.....	24
4.1 Prepreg Kullanılma Sebepleri	24
4.2 Prepreg Üretim Yöntemleri.....	25
4.2.1 Çözdürme.....	25
4.2.2 Serim.....	25
4.2.3 Vakum Torbalama.....	25
4.2.3.1 Soyma Kumaşı	25
4.2.3.2 Ayırıcı Film.....	26
4.2.3.3 Vakum Keçesi	26
4.2.3.4 Kürleme.....	26
4.3 Yüksek Performanslı Prepregler İçin Epoksiler.....	27
4.3.1 Ep – 350 Epoksi.....	27
4.3.1.1 Ürün	27
4.3.1.2 Uygulamalar.....	28
4.3.1.3 Kürleme.....	28
4.3.1.4 Jelleşme Zamanı.....	28
4.3.1.5 Kullanım.....	29
4.3.2 Ep – 284 Epoksi.....	29
4.3.2.1 Ürün	29
4.3.2.2 Uygulamalar.....	30
4.3.2.3 Kürleme.....	30
4.3.2.4 Jelleşme Zamanı.....	31
4.3.2.5 Kullanım.....	31
4.3.3 Ep – 280 Epoksi.....	32
4.3.3.1 Ürün	32
4.3.3.2 Uygulamalar.....	32
4.3.3.3 Kürleme.....	33
4.3.3.4 Jelleşme Zamanı.....	33
4.3.3.5 Kullanım.....	34
5.PREPREG PROSESİ	36
5.1 Parçaların İçinde Prepreglerin Birleştirilme Yöntemi.....	36
5.1.1 Kalıp.....	36

5.1.2 El Yatırması	36
5.1.3 Otomatik Bant Döşemesi	37
5.1.4 Otomatik Fiber Yerleştirme	37
5.2 Farklı Prepreg İşlem Teknikleri	38
5.3 Vakumlu Fırın ile Basıncılı Kap Arasındaki İşlem Farkı	39
5.3.1 Vakum Torbası Prosesi	40
5.3.2 Otoklav Prosesi	40
5.4 Vakumlu Fırındaki Montajın Her Bir Katmanı.....	41
5.4.1 Vakum Torbası Prosesi Sarf Malzemeleri	41
5.5 Vakumlu Fırın ve Basıncılı Kaptaki İşlemler	42
5.6 Vakumlu Fırın ve Basıncılı Kaptaki İşlemlerin Esas Parametleri.....	43
5.6.1 Konsolidasyon.....	43
5.6.2 Vakum.....	44
5.6.3 Isıtma Hızı ve Ara Bekleme Sıcaklığı.....	44
5.6.4 Sıcaklık Toleransları	44
5.6.5 Kür Zamanı	44
5.6.6 Soğutma Hızı	45
5.6.7 Bitmiş Parçanın Kalite Kontrolü.....	45
5.7 Kalın Endüstriyel Parçalardaki En İyi İşlem Metodu	45
5.8 Kalın Endüstriyel Parçalardaki En İyi Kür Çevrimi	45
5.9 Prepreg Sandviç Yapılar ve Özellikleri	46
5.10 Sandviç Yapının İmalatı	47
6. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİ.....	48
6.1 Kompozit Malzemelerin Özellikleri	48
6.1.1 Elyaflı Kompozitler.....	49
6.1.2 Parçacıklı Kompozitler	49
6.1.3 Tabakalı Kompozitler	50
6.1.4 Karma (Hibrit) Kompozitler:	50
6.2 Prepregin İmalatından Önce veya Sonraki Fiziksel/Kimyasal Testler.....	51
6.2.1 Kürlenmemiş Prepreg	51
6.3 Kompozit Malzemelerin Mekanik Değerler ve Testleri	53
7. PREPREGİN DEPOLANMASI VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİ.....	56
7.1 Prepreglerin Depolanması.....	56
8. SONUÇ	60
KAYNAKÇA.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1: Prepreg Üretim Süreci	1
Şekil 2: Çeşitli metaryellerin kompozit malzemeler ile karşılaştırılması.	8
Şekil 3: Prepreg malzemelerin kullanım alanları	11
Şekil 4: Malzemelerin yoğunluk, çekme dayanımı ve modülü değerleri.....	12
Şekil 5: Örgü tipleri.....	13
Şekil 6: Matrisin lif ve bağlayıcılarla olan süreci	15
Şekil 7: Prepreg kullanımının avantajları.....	24
Şekil 8: Prepreglerin proses süreci	27
Şekil 9: Manuel el yatırma örneği	36
Şekil 10: Otomatik bant döşeme makinası.....	37
Şekil 11: Fiber yerleştirme makinası örneği	38
Şekil 12: Prepreg işlem teknikleri	39
Şekil 13: Esnek torba kapatıldıktan sonra sisteme vakum uygulanması.....	40
Şekil 14: Vakum torbası yatırılmasına örnek.....	41
Şekil 15: Vakum torbası ile otoklav prosesi tekniklerinin süreci	42
Şekil 16: Vakum torbası ile otoklav prosesi tekniklerinin süreci	43
Şekil 17: Sandviç yapı örneği	46
Şekil 18: Sandviç yapının özellikleri	46
Şekil 19: Sandviç yapı imalat örneği	47
Şekil 20: Lif yönelimi	51
Şekil 21: Lif yönelimi	51
Şekil 22: Mekanik testler	53
Şekil 23: Mekanik testler	54
Şekil 24: Epoksinin bir bileşenle oluşan matris ve elyafın yoğunluk değerleri.....	58
Şekil 25: Epoksinin bir bileşenle oluşan kürün kalınlığı ve lifin alansal ağırlığı	59

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1: Takviye edilen malzemelerin kullanım alanları	14
Tablo 2: Epoksi, fenolik ve bizmalemidin avantajları ve uygulama alanları.....	22
Tablo 3: Matrislerin özelliklerine göre çalışma sıcaklığı.....	23
Tablo 4: Kürlenme sıcaklık – zaman tablosu	28
Tablo 5: Jel sıcaklığı – zaman tablosu	28
Tablo 6: 1 saat kür döngüsündeki malzemenin değerleri.....	29
Tablo 7: Kürlenme sıcaklık – zaman tablosu	30
Tablo 8: Jel sıcaklığı – zaman tablosu	31
Tablo 9: 1 saat kür döngüsündeki malzemenin değerleri.....	31
Tablo 10: Kürleme sıcaklık – zaman tablosu	33
Tablo 11: Jel sıcaklığı – zaman tablosu	33
Tablo 12: 1 saat kür döngüsündeki malzemenin değerleri.....	33
Tablo 13: Reçine filmi	34
Tablo 14: Düşük sıcaklıkta kürlenmiş prepregler	34
Tablo 15: Prepreg Takımları	35
Tablo 16: Yangın geciktirici prepreg	35
Tablo 17: Sertleştirilmiş yüksek darbe prepregleri	35
Tablo 18: Balistik düzeyde prepreg	35
Tablo 19: Vakum torbası ve otoklav işleminin bileşenlerine göre maliyetleri	40
Tablo 20: Kumaşın içeriğinde bileşenlerine göre mukavemet değerleri	55
Tablo 21: Kumaşın içeriğinde bileşenlerine göre termal değerler	55

1.GİRİŞ

Lif takviyeli reçine olan prepregler ısı ve basınç altındaki bileşim sayesinde son derece güçlü ve hafif yapıda bileşkindir.

1.1 Yüksek Performanslı Kompozitler İçin Teknolojiler

Prepreg teknolojisinin üretim sürecindeki durumu aşağıdaki grafikte belirtilmiştir.



Şekil 1: Prepreg Üretim Süreci

Yukarıdaki grafikte gösterildiği üzere prepreglerin kompozit malzeme içerisindeki performansı ve kompozit malzemeye katkısı diğer üretim yöntemlerindeki göre daha yüksektir.

1.2 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları ve Kullanım Amacı

1.2.1 Otomotiv Endüstrisinde Kompozit Malzeme Kullanımı

Otomobilin ağırlığını azaltmak; yakıt tüketiminde hatırı sayılır tasarruflara yol açtığından, otomobil üreticileri ağırlığı azaltacak yeni malzeme arayışlarına girmiş bulunmaktadır. Buna ilaveten petrol yakıtlarına alternatif olarak geliştirilmeye çalışılan elektrikli arabaların motorları nispeten daha az güç ürettiğinden, arabanın

ağırlığı fevkalade ehemmiyet kazanmaktadır. Kompozit malzemeler, katılığın özgül ağırlığa oranı bakımından çelik ve alüminyum ile karşılaştırıldığında, bu değer birkaç kat daha fazla olabilmektedir. Bu sebeple kompozit malzemeler ağırlık azaltmada en önemli adaylardandır.

Kompozit malzemeler arasında en yaygın olarak polimer matrisli kompozitler kullanılmaktadır. Polimer matrisli olmalarına rağmen metaller kadar emniyetli tasarımları mümkündür. Ön kısmı cam elyaf takviyeli polimer kompozitten yapılmış bir araba 50 km/saat çarpma testini geçmiş bulunuyor. Çarpışmalarda çelik kadar güvenlik sağladığı gibi, polimer kompozitler titreşim kontrolü gibi özellikleriyle de daha üstün performans göstermeye adaydır.

Polimer kompozitler matrisi, termoset veya termoplastik olmak üzere ikiye ayrılır. Termoplastik polimerler (nylon gibi), uzun molekül zincirlerinden oluşur. Yüksek sıcaklıklarda bu zincirlerin birbirleri üzerinde kaymaları sonucu, termoplastikler eriyebilme özelliğine sahiptirler. Termosetler ise umumiyetle başlangıçta monomerlerden veya kısa zincirlerden oluşan sıvı bir halde bulunur. Yüksek sıcaklıklara çıkarıldığında, bunların aralarında karşılıklı bağların oluşmasıyla büyük bir moleküle dönüşerek katılırlar. İyileştirme denen bu işlemde sonra artık polimerin erimesi söz konusu olmaz. Termoset ve termoplastik polimerlerin mikro yapılarındaki bu farklılık; mekanik özelliklerine, imalat tekniklerine ve yeniden dönüşüm imkanlarına da yansır. Termoplastikler molekül zincirlerinin hareket kabiliyetinden dolayı termosetlere göre daha az kırılığandır. Mukavemet ve katılık gibi kompozitin mekanik özelliklerini ağırlıklı olarak elyaf takviyesi belirlediğinden, polimer matrisinin bu gibi özellikleri çok önemli değildir. İmalat yöntemine gelince, termoplastikler yüksek sıcaklıklarda eritilerek şekil verilir, sonra soğutulularak katı haline getirilir. Ancak imalatındaki en büyük zorluk, eriyik halde bile viskozitesi çok yüksek olduğundan elyafla karıştırılması çok zordur. Viskozitesini düşürmek için daha yüksek sıcaklıklara çıkarıldığında ise polimer ayrışır ve bozulur. Termosetler ise yaygın olarak içinde örülü elyaf bulunan bir kalıba sıvı olarak aktarılır, sonra sıcaklık artırılarak iyileştirme işlemi yapılır. Bu işlemde sonra şekil vermek mümkün olmadığından termosetlerin yeniden dönüşüm imkanı yoktur. Ayrıca bu iyileştirme işlemi kimyasal bir süreç olduğundan, imalat süresini uzatmaktadır. Bazı

otomotiv uygulamalarında iyileştirme işlemi 5-10 dakikaya kadar inmişse de çelik veya termoplastiğin işlenmesine nazaran bu süre uzundur.

Otomotiv sanayiinde şu ana kadar termosetler, termoplastiklere nazaran daha fazla kullanım alanı bulmuştur. Otomobil gövdelerinde termoset kullanımı yaygın olmakla birlikte, termoplastiklere rağbet görülmeye başlandı. Golf A4 ve POLO A03 dahil olmak üzere bütün yeni VW arabalarının ön kısımları cam elyaf örgülü termoplastik tabakalardan yapılmıştır. Son zamanlarda hava giriş manifoldları ekseriyetle alüminyumdan imal edilmektedir. Fakat bu parçaların şekilleri daha karmaşık hale geldikçe ve tek kalıpla üretilen cam elyaf takviyeli termoplastikler ağırlıktan tasarruflar sağladıkça, termoplastikler tasarımcılara cazip gelmeye başladı. Ford Mondeo'nun 4 silindirli 16 valfli motorunun hava giriş manifoldu cam elyaf katkılı PA'dan imal edilmiştir. Chevrolet giriş manifoldlarında cam elyaf katkılı naylon kullanılmaktadır. Plastik ağırlıktan tasarruf sağladığı gibi motorun performansını da artırmıştır. Giriş manifoldlarının iç yüzeyi son derece pürüzsüz olmalıdır. Aksi takdirde oluşacak türbülans, motorun verimliliğini azaltır. Düzgün yüzeyleriyle plastik manifoldlar alüminyumla yapılanlara göre motorun verimini %5 kadar artırabilmektedir. Malzemenin düşük ısı iletkenliği; manifold içindeki havanın motorun sıcaklığından daha iyi yalıtılmasına yol açmakta; manifoldun havayı daha yoğun olarak tutmasıyla, yanma daha randımanlı gerçekleşmektedir. Plastik titremeyi azalttığından motorun gürültüsü azalmaktadır. Avrupalı motor üreticisi PSA da Peugeot 406, Citroen Xantia ve XM modellerinde kullanılmakta olan motorun giriş manifoldunda naylon kullanarak benzer faydaları elde etmektedir. Alüminyumdan Naylon 46'ya geçmekle PSA manifoldun ağırlığını %50, imalat maliyetini %20, 30 azaltabilmiş, döküm sonrası işlemeyi ortadan kaldırmıştır. (BREGENZER, 2000)

Chrysler gibi otomobil üreticileri de valf kapaklarını termoset kompozitlerinden yaparak maliyetleri %15-20 indirebilmişlerdir. Plastik kompozitlerin önemli bir potansiyel uygulama alanı ön koltukların monte edildiği çatıdır. Kompozitlerin fanlarda da kullanımı görülmeye başlanmıştır. Plastik kompozitlere ilaveten, mühendisler matrisi metal olan kompozitleri de ciddi olarak düşünmeye başlamışlardır. GM elektrikli taşıtının çatısında metal matrisli Boralyn kompozitini kullanılmaktadır. Boralyn'in rijitliğinin özgül ağırlığa oranı, çelik ve alüminyumunkinin 15 katıdır, yoğunluğu ise alüminyumun yoğunluğuna yakındır.

Bütün avantajlarına rağmen kompozitlerin otomotiv sanayiinde yoğun olarak kullanılmasının önündeki iki önemli engel vardır. Birincisi, kompozit parçaların hala çelikten daha maliyetli olmalarıdır. İmalatı çelik gibi yüksek basınç gerektirmediğinden, plastik kompozitleri işleyen makineler daha hafiftir ve dolayısıyla ilk yatırım maliyeti daha düşüktür. Fakat malzemenin maliyetinin fazla olması ve imalat sürecinin nispeten emek yoğun olması toplam maliyeti arttırmaktadır. Ancak ileride imalat teknolojisinde olabilecek yeniliklerle ve kompozit malzemelerin daha yoğun kullanımının getireceği malzeme maliyetlerindeki düşüşle, kompozit parçaların daha ucuza imal edilebileceği beklenmektedir. Şu anda birçok büyük ölçekli araştırma projelerinde daha verimli imalat teknolojilerinin geliştirilmesi için çalışılmaktadır.

Kompozitlerin endüstride yoğun olarak kullanılmasının önündeki ikinci önemli engel, kompozitlerin tasarımı ve imalatı konusunda tecrübeli ve bilgili mühendis ve teknisyen sayısının yetersizliğidir. Bununla birlikte bu engellerin zamanla aşılacağı ve kompozit malzemelerin üstün özelliklerinden otomotiv endüstride daha çok faydalanılacağı öngörülmektedir. (Sönmez, 2000)

1.2.2 Uçak Yapılarında Kompozit Malzeme Kullanımı

Havacılıkta son yıllarda yapılan temel bir atılım metal malzeme yerine kompozit malzeme kullanımı konusudur. Uçak yapılarında kullanılan ileri kompozitler, elyaf takviyeli kompozitlerdir. Genellikle epoksi matris içinde sürekli elyaflar kullanılmaktadır. Uçak yapılarında alüminyum alaşımları gibi konvansiyonel malzemelerin yerini alan kompozit malzemeler, düşük ağırlığa oranla yüksek mukavemet özelliğine sahiptirler. Uçak yapısı için malzeme seçiminde önemli bir kriter olan mekanik özelliğin yoğunluğa oranı ile ifade edilen spesifik mukavemet değerleri karşılaştırıldığında bor/epoksi ve karbon/epoksi kompozitlerin konvansiyonel malzemelerden önemli farklarla üstün oldukları görülmektedir. (Hoskin, Baker, 1986)

Uçak tasarımında ilk olarak kullanılan kompozitler cam elyaf kompozitlerdir. 1944'lerde "Vultee BT-15" eğitim uçaklarında gövdenin arka kısmında kaplama malzemesi olarak cam elyaf reçineli kompozit plakalar ağaç çekirdeğin yüzeylerine yapıştırılarak sandviç paneller şeklinde kullanılmıştır.

Cam elyafli kompozitler, mukavemetlerinin ağırlıklarına oranı metallere göre yüksek olmasına rağmen ana yapı elemanlarında kullanılmamaktadır. Bunun nedeni ise sertliklerinin ağırlığa oranının düşük olmasıdır ve bu oran yüksek hız uçaklarında oldukça büyük bir önem taşımaktadır.

Kompozit yapıların uçak tasarımındaki yaygın kullanımı 1960'larda başlamıştır (A.B.D'de bor elyaflar, İngiltere'de ise grafit elyaflar). A.B.D'de 1970'lerde bor/epoksi kompozitler F-111'lerin yatay kuyruklarında ve F-4'lerin istikamet dümeninde kullanılmışlardır. Bor/epoksi kompozitler yüksek performanslı askeri uçakların dizaynında kullanılmışlar ve başarılı olmuşlardır. Bu kullanıma örnek olarak F-14'lerin yatay kuyruk yüzey kaplaması ve F-15'lerin yatay ve dikey kuyrukları verilebilir.

İngiltere'de grafit epoksinin gelişimi çok yavaş olmuştur. Strikemaster'ler için istikamet dümeni gibi küçük parçalar üretilmiştir ve Jaguar'ların aerodinamik frenlerinin yapımında kullanılmıştır. 1970'lerin ortalarında A.B.D bor/epoksi'den grafit/ epoksi'ye geçmiştir. Bunun en önemli nedeni maliyet problemidir. 1979'da uçak yapımcıları tarafından "prepreg" adı altında üretilen grafit/epoksi malzemenin maliyeti 40 \$/lb iken bor/epoksi'nin maliyeti 180 \$/lb'dir A.B.D'de bu geçiş askeri uçaklarda hızlı olmuştur. F-16'larda grafit/epoksi yatay ve dikey kuyruk yüzeyleri kaplamasında ve kumanda yüzeylerinde kullanılmıştır ve yapısal ağırlığın %3'ünü oluşturmaktadır. Grafit/epoksi kompozitlerin F-18'lerde kullanımı ise yapısal ağırlığın %10'unu, toplam alanın ise %50'sini oluşturmaktadır.

AV-8B uçaklarında ise tüm kanat kaplaması ve yapısal elemanlar grafit/epoksidir. Aynı zamanda yatay kuyruk yüzeylerinde gövdenin ön kısımlarında ve çeşitli kumanda yüzeylerinde kullanılarak ağırlıktan % 26'lık bir kazanç sağlanmıştır.

Avrupa'da üretilen askeri uçaklar ele alındığında, İtalyan-İngiltere-Almanya yapımı Tornado uçaklarında grafit/epoksi yatay kuyruk kumanda yüzeylerinde kullanılmıştır. Fransa yapımı Mirage 2000'lerde ise bor-grafit/epoksi karma kompozitler kanat kumanda yüzeylerinde ve düşey kuyrukta kullanılmıştır.

Gelişmiş kompozitlerin sivil uçaklardaki uygulaması askeri uçaklardan daha sonra gerçekleştirilmiştir. Ancak bu konuya ilgi hızla artmaktadır. Grafit/epoksi kompozitlerin sivil yolcu uçaklarındaki ilk uygulamaları Boeing 727'lerin gövde kaplamasında gerçekleştirilmiş ve %14 ağırlık kazancı sağlanmıştır. Boeing 737'lerin aerodinamik frenleri grafit epoksi kompozitten üretilmiştir ve 1981'den itibaren 22000 uçuş saatlik kullanımları esnasında önemli bir problemle karşılaşmamıştır. Bu uçaklarda kompozit kullanımıyla %15'lik bir ağırlık kazancı sağlanmıştır.

Uçak tasarımında ağırlık kazancı önemli miktarda yakıt kazancıda sağladığından NASA'nın Uçak Enerji Verimliliği programları çerçevesinde uçak yapısı için Kompozit malzeme geliştirimine gidilmiştir. 1980'lerde sadece ikinci dereceden yapısal elemanlarda kompozit kullanılırken, 1985'lerde birinci dereceden temel yapısal elemanlar için kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzeme kullanımı ile konvansiyonel malzemelere oranla elde edilen ağırlık kazançları verilmektedir. Bu kazançların %11 ile %44 arasında değiştiği görülmektedir. 1980'lerde Boeing 757 ve 767'lerde kuyruk grubunda, kumanda yüzeylerinde, kanatçıklarda ve flaplarda grafit/epoksi kullanılmıştır.

Bir başka gelişmiş kompozit tipi ise Kevlar (aramid)/epoksidir. Uçak yapısında oldukça yaygın bir kullanımı söz konusudur. Özellikle karma kevlar-grafit/epoksi yapılar kullanılmaktadır. Boeing 767'lerde bu karma yapı motor kaplaması ve kanat hücum kenarı yapılarında kullanılanıştır. Kevların düşük basma mukavemeti bu karma yapılarda ortadan kaldırılmıştır.

Küçük bir yolcu uçağı olan Lear Fan 2100'de grafit/epoksi ağırlıklı olmak üzere tüm yapı kompozittir. İki kişilik "Rutan Voyager" ise durmaksızın dünyanın çevresini dolaşan bir uçaktır ve karbon/polyester ağırlıklı olmak üzere, tamamen kompozitten imal edilmiştir.

Aerospatiale yapımı süpersonik yolcu uçağı Concorde'da grafit epoksi kompozit, iniş takımı kapaklarında kullanılmıştır. Airbus A300 yolcu uçağında grafit/epoksi kompozitler istikamet dümeni, aerodinamik fren ve kanat hücum kenarında kullanılmıştır. Aynı uçağın kanat firar kenarı ve irtifa dümeni kevlar/epoksi kompozitten üretilmiştir. A320'lerde bu kısımlara ek olarak radar konisi, motor kaplaması ve tüm kuyruk grubu grafit/epoksi kompozitten üretilmiştir.

Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin uçak tasarımında geniş bir kullanım alanı söz konusudur. Verilen tüm örneklerden görüldüğü gibi bor/epoksi, grafit/epoksi ve kevlar/epoksi uçak yapısında kullanılan en önemli kompozitlerdir. (Kaya, 1987).

1.2.3 Kompozitlerin Basınçlı Kap Tasarımlarında Kullanımları

Basınçlı kapların tasarımı konusunda, değişik malzemeler ile çok sayıda alternatif çözüm bulunmaktadır. (Örneğin çelik, alüminyum, cam elyaf takviyeli plastikler gibi.) İstenen yüksek emniyet faktöründen dolayı bu tür basınçlı kapların ağırlıkları genel olarak çok farklıdır. Daha önceden sıkıştırılmış gazlar için hafif basınç kapları geliştirilmeye başlanmıştır. Bu kaplar, aynı büyüklükteki bütünü ile çelik olan kaplara göre çok daha hafif olup, bu hafiflik kompozit malzeme ile sağlanmıştır. Cam elyafla kaplanmış alüminyum gövde gibi. Bu kombinasyon alüminyum ve cam elyafın optimum malzeme özelliklerinin kullanılmasına imkan vermektedir.

Bu kapların avantajları şu şekilde gösterilebilir:

- Doğalgaz ile çalışan otobüs ve kamyonların şase ağırlığı azaltılır. Şase ağırlığı, cam elyaflı kaplar ile %35 oranında azalmaktadır.
- Bu şekildeki doğalgaz depolama tankeri, çelik gövdeli bir tankere oranla yaklaşık 2 kat daha fazla gaz taşıyabilmektedir.
- Bu kaplar yüksek işletme performansı sağlayan kaliteli ürünlerdir. Bu kapların pazara sürülmesi ile ucuz doğal gazın kullanımı artacak aynı zamanda sıvı yakıtlı motorların sebep olduğu hava kirliliği azalacaktır.

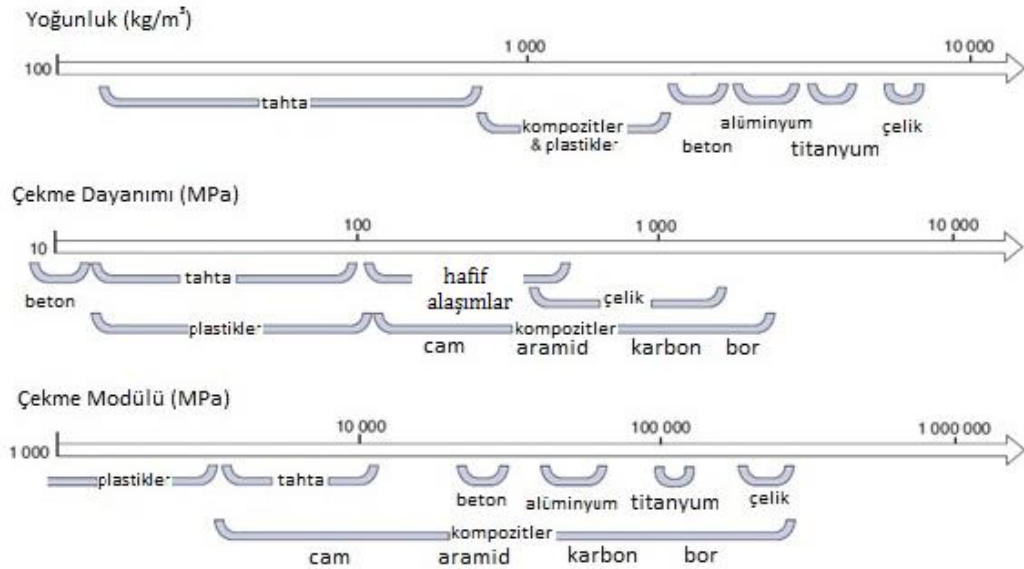
Diğer kullanım alanları:

- Motorlar
- Spor malzemelerinin üretimi (kayak, tenis raketleri)
- Dişli çarklar
- Özel takımlar
- Kamyon yaprak yayları
- Karoseri elemanları
- Boru tesisatları

- Depolar
- Yapı işleri
- Deniz araçları yapımında
- Elektrik kontak malzemeleri
- Nükleer reaktörler
- Sürünme dirençli manyetik malzemeler
- Batarya ızgaraları
- Elektrik elemanları, ısıtıcılar

Kompozit malzemeler belirli avantajlar sağlayan özel ürünlerdir. Günümüzde geniş hammadde temin olanakları ve birleştirme metotları kullanıcıya maksimum avantajı sağlayan çok sayıda kombinasyonları mümkün kılmaktadır. Kompozit malzemelerin yüksek ve homojen bir kaliteyi garanti edebilmesi ve üretim maliyetlerinin kabul edilebilir düzeyde tutulabilmesi için yüksek teknolojiye dayalı bir işlemin uygulanması şarttır. Dezavantajı ise, kompozit olmayan malzemelere göre daha pahalı oluşlarıdır. Ancak son kullanıcı açısından ekonomik çözüm arz etmektedir. Bu husus günün ve yarının kompozitleri için daha geniş ve yeni uygulama olanları açacak olan itici güç niteliğindedir.

Farklı materyallerin kompozit malzemeler ile karşılaştırılması Figure1 de verilmiştir.



Şekil 2: Çeşitli metaryellerin kompozit malzemeler ile karşılaştırılması.

Yukarıdaki şekilde farklı materyallerin yoğunlukları, çekme dayanımı ve çekmedeki elastisite modülleri gösterilmiştir. Bu diyagramdan faydalanılarak istenilen özelliklerdeki kompozit malzemeyi oluşturmak için gerekli materyaller seçilebilmektedir. (Özbay, 1987)

1.3 Prepreg

Prepregler özellik olarak karbon, cam ve aramid gibi malzemelerle takviye edilmiş reçine matris sistemidir. Dokunmuş ya da tek yönlü cam, karbon ve aramid kumaşlar üzerine reçine sisteminin emdirilmesi ve yarı kürleştirilmesi ile oluşmaktadır. Prepregler, kurlenme için gerekli reçine ve sertleştirici karışımını içerdiğinden ilave reçine işçiliği gerektirmeden serime hazır haldedir.

Prepreg en son üretilen kompozit malzemedir. Isınınca sertleşen yüksek sıcaklıktaki reçine, kimyasal reaksiyon sırasında prepreg materyali oldukça sağlam, sıcaklığa dayanıklı, son derece sert ve hafif bir yapı olur.

1.3.1 Reçine Elyaf Oranı Kontrolü

Kumaşa reçine emdirilmesi sırasında, reçine elyaf oranı ayarlanmaktadır. Genellikle prepreglerde uygulama yeri ve müşteri talebine göre reçine oranı ağırlıkça %35-%50 arasında oranlarda ayarlanabilmektedir. Prepreg dışındaki kompozit imalat yöntemlerinde reçine/elyaf oranı ayarının zor olması nedeniyle fazla reçine miktarı parçanın ağırlaşmasına ve fiziksel özelliklerinin düşmesine neden olmaktadır.

1.3.2 Üretim standardizasyonu

Prepregler ile yapılan kompozit parça üretimlerinde kalınlık, ağırlık ve yüzey kalitesi gibi son ürün özellikleri diğer yöntemlere kıyasla standardize edilebilir ve tekrarlanabilir, yüksek ürün kalitesi sağlanarak düşük fire oranlarına ulaşılabilir. Ayarlanmış reçine oranı reçine zengin bölge, kuru bölge, hava boşlukları gibi problemleri ortadan kaldırdığı için proses verimliliğini artırır.

1.3.3 Kullanım Kolaylığı

Kuru kumaşların kalıba serilmesine kıyasla prepreg serimi oldukça basittir. Önceden emdirilmiş reçine, kumaş liflerinin bir arada kalmalarını sağladığından ve hiçbir ilave işleme gerek olmadan kalıba ve kendi üzerine yapışabildiğinden kesimi ve serimi oldukça kolaydır. Diğer yöntemlerdeki reçine hazırlama sürecini ortadan kaldırdığından çalışma alanı temizliği ve işçi sağlığı açısından en ideal yöntemdir.

1990'ların başlarında prepregler önemli malzeme sayılırdı. Uçak tasarımlarında % 5 kadar ve yan ürünlerde kullanılırdı. Günümüzde havacılık sektörünün temel parçası olup Airbus A350 XWB ve Boeing 787'nin gövdelerinde %50'den fazla bulunmaktadır. Gelişmeyi uzay teknolojisi, rüzgar enerjisi, otomotiv, spor aletleri ve diğer endüstriyel ekipmanlar takip etti. Son uygulamalarda prepreglerden yararlanılarak petrol ve gaz işletmelerinde boru hattı ve yüksek basınçlı tank yapımında kullanılmaktadır. (*Spm Kompozit*)

Gelişen prepregler, kompozit malzemeler de daha yüksek güç ve özgün tasarımlar çıkmasını sağlamıştır.

1.4 Prepreg Malzemelerin Kullanım Alanları



Havacılık

Sicil havacılık

Ana yapı

İç dizayn

Uçak motoru

Hava savunma

Helikopterler

Uzay

Endüstriyel

Rüzgar Enerjisi

Nakliye

Makine

Süsleme

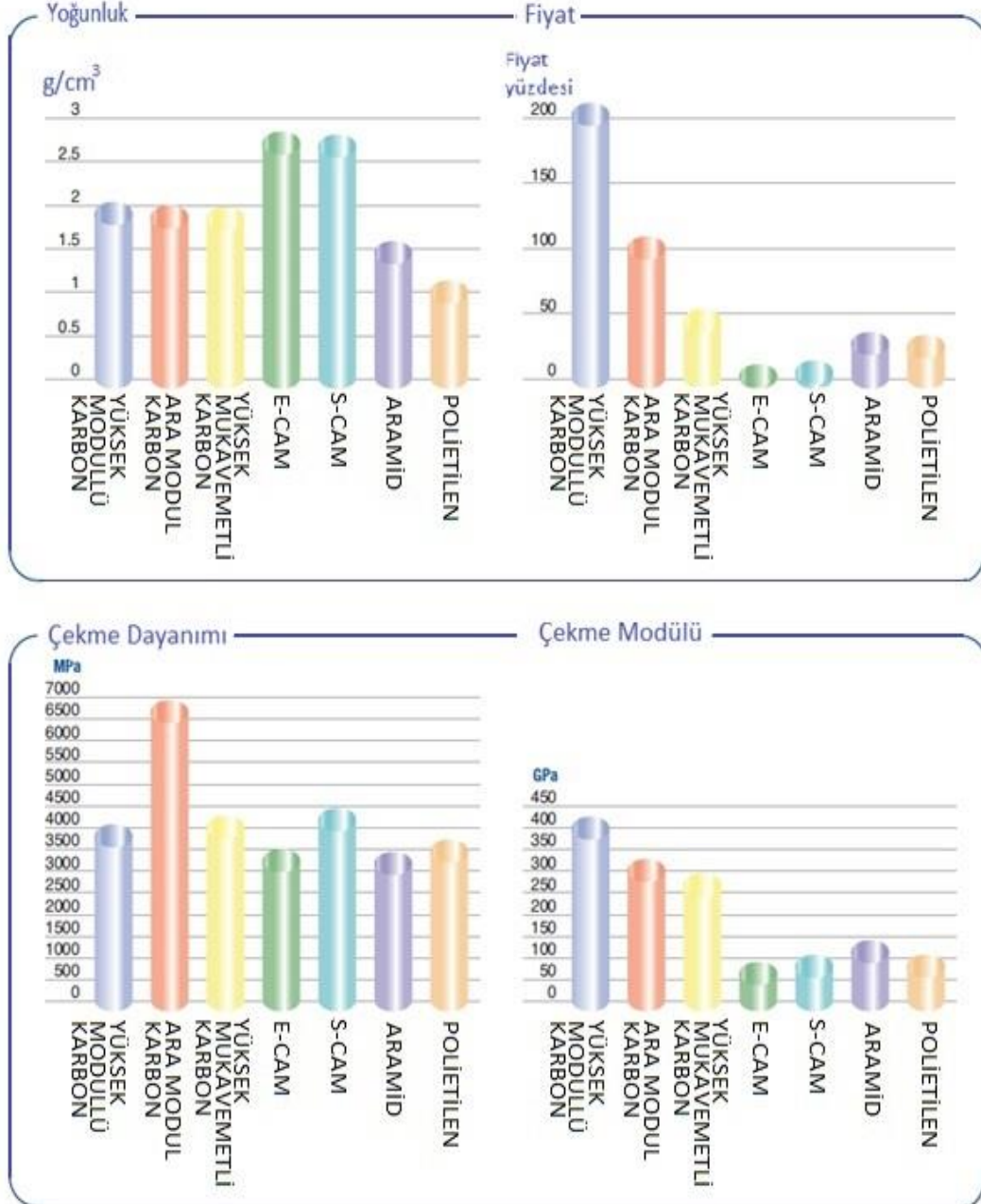
Şekil 3: Prepreg malzemelerin kullanım alanları

Prepregler gelişen teknolojiye gün geçtikçe birçok alanda yer almaktadır.

2.LİF VE KUMAŞIN ÖZELLİKLERİ

2.1 Lifin Özellikleri

Malzemelerle takviye edilmiş kompozitlerdeki mekanik performansı çok iyi sertlik ve dayanım, iyi sıcaklığın yanı sıra kimyasal özellik, metallerde ağırlığı korur. Lif aralığının kapsamı, lif seçiminin ana kriterleri aşağıdaki diyagramlarda gösterilmiştir.

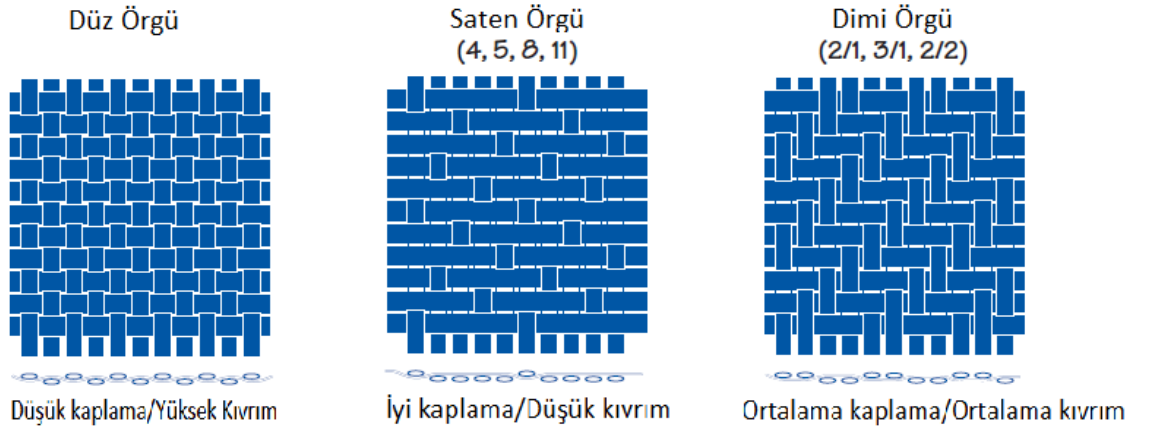


Şekil 4: Malzemelerin yoğunluk, çekme dayanımı ve modülü değerleri

Yukarıdaki diyagramlarda farklı yoğunluklardaki malzemelerin maliyetleri, çekme dayanımları ve modüllerinin değerleri belirtilmiştir. Optimum özelliklerdeki kompozit malzemeyi elde etmek için yukarıdaki diyagramlardan yararlanılabilir.

2.2 Kumaşın Farklı Dokuma Şekilleri

Kumaşlar dokumayla beraber atkı ve örgü olmak üzere asgari iki parçacıktan oluşur. Kumaş biçimi kıvrıma ve kaplamasına göre farklılık gösterir. Az kıvrımların mekanik performansları daha yüksektir. Çünkü matrisin içine yayılan kumaş ve lifler daha fazla yük taşır.



Şekil 5: Örgü tipleri

Yukarıdaki şekilde örgü tiplerine mekanik performansları gösterilmiştir.

2.3 Takviye Edilen Malzemelerin Seçilmesinin Esas sebepleri

Aşağıda gösterildiği gibi çeşitli formlarda takviye edilen malzemelerin farklı alandaki uygulamaların avantajları gösterilmiştir.

Takviye Edilenler		Avantajları	Uygulamalar
Tek Yönlü	Tek Yönlü Prepreg Şerit	Tek yönde mukavemet ve sertlik Düşük lif ağırlığı	Spor Ekipmanları Havacılık Rüzgar Enerjisi
	Düz Kısa Yün	Filaman sarımı için uygunluk Doğru lif yerleşmesi için boyut	Basınçlı Tank Tahrik Milleri Tüpler
	Kesik Bant	Tek yönde mukavemet ve sertlik Düşük lif ağırlığı	Havacılık Ana Yapılar
	Kumaş > %80 eğmek	İyi dokuma özellikleri Ağırlık 160-1000 g/m ² Tek yönde ihtiyaç duyulan bileşenler için güç ve sertlik	Havacılık Endüstriyel Spor
Örgülü Kumaş	Dengeli Kumaş	Çift yönlü güç ve sertlik Daha iyi dokuma özellikleri İyi kaplamak Örgü stillerinin seçimi	Havacılık Endüstriyel Spor Rüzgar Enerjisi
Çok Eksenli	NCF	Kıvrım yok Sonsuz eğilim yönelimi Çoklu talimat içindeki güç ve sertlik Kumaş için homojen ağırlık dağılımı Proses dışı indirgeme Zaman kazandıran, uygun maliyetli teknoloji	Rüzgar Enerjisi
	NC2		Otomotiv

Tablo 1: Takviye edilen malzemelerin kullanım alanları

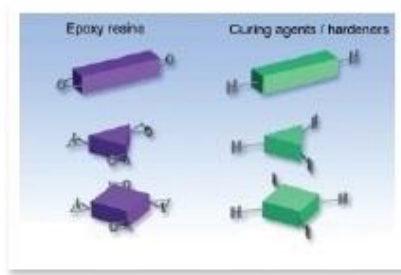
Yukarıdaki tablodan takviye edilen malzemelerin hangi endüstriyel alanda ne gibi avantajlarının olduğu görülmektedir.

3. MATRİS

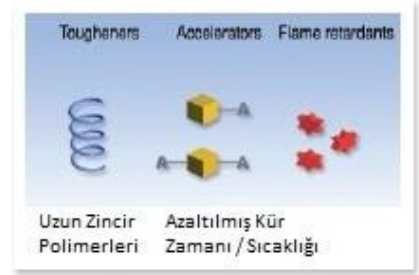
3.1 Matrisin Özellikleri

Matrisin rolü, kompozit malzeme içerisindeki lif ve bağlayıcıları desteklemektedir. Ayrıca matris prepregin çevresel direncini ve maksimum çalışma sıcaklığını belirler. Uygun prepreg matris seçilirken en önemli kriter, prepregin maksimum çalışma sıcaklığıdır.

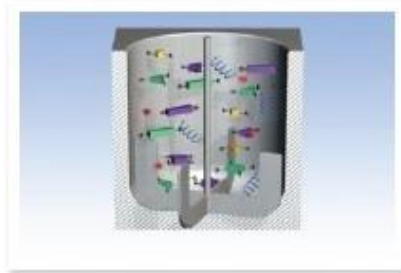
1. Reaktif Bileşenler Çok Farklı Türleri Mevcuttur



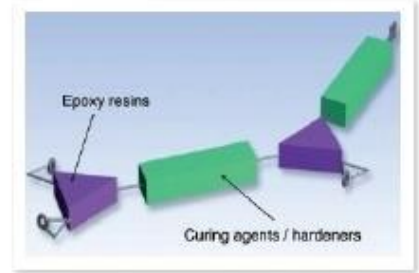
2. Katkı Maddeleri (Reaktif ve Reaktif Olmayan)



3. Formül Seçimi ve Sıcaklık ve/veya Çözücüyle Beraber karıştırma



4. Sıcaklık, Basınç ve Zamanla Reaksiyonun Başlaması



5. Matris Jelleri ve Sonra Katılaşması



6. 3D Örgüde Katıkların Bağlanması Formülasyonda Son Özelliklerin Bağlanması



Şekil 6: Matrisin lif ve bağlayıcılarla olan süreci

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla

geçebilmelidir. Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonların yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünülüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gösterir. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlak yön değıştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse, elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise, elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğru bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris malzeme tipleri epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçinelerdir. Yüksek mukavemet göstermeyen durumlarda en çok kullanılan en çok kullanılan matris malzemesi polyester reçinesidir. Gelişmiş kompozitlerin üretiminde ise genellikle epoksi reçinesi kullanılmaktadır. Matris iyileştirmesi çalışmaları özellikle yüksek sıcaklıkta kullanıma uygun ve düşük nem duyarlılığına sahip yapıların üretilmesi doğrultusundadır.

3.1.1 Epoksi Reçine Matrisler

Epoksiler iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar. Polifenolün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Epoksilere uygulanan kür işlemleri ile yüksek sıcaklıklara dayanımı 150-200 °C'a artırılabilir. Büzülmesi %2'den azdır.

Avantajları:

- Kapma mukavemetleri yüksektir.
- Elyaf yapılarda yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.

- Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
- Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
- Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.

Dezavantajları:

- Polyesterle karıştırıldığında pahalıdırlar.
- Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur.
- Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerde kullanılabilme nedeniyle, uçak yapısında da yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar.

3.1.2 Polyester Reçine Matrisler

Polyester matrisler dibazik asitlerin, dihidrik alkoller (glikol) ya da dihidrik fenollerle karışımının yoğunlaşması ile şekil alırlar. Polyesterlerin ana tipleri polyester bileşenin doymuş asitle ya da alternatif malzeme olarak glikolle modifikasyonu temeline dayanır. Ayrıca kür işlemi ile matrisin esnekliği iyileştirilerek kopma gerilmesi arttırılabilir.

Avantajları:

- Takviyelerin nemini dışarı kolayca atabilmesini sağlayan düşük vikoze
- Düşük maliyet
- İyi çevresel dayanım

3.1.3 Vinylester Reçine Matrisler

Polyester benzerler. En önemli avantajları elyaf ve matris arasında iyileştirilmiş bir bağ mukavemetine sahip olmalıdır. Polyesterle glikolün bir kısmının yerine doymamış hidrosilik bileşenlerin kullanılması ile elde edilirler. Korozif ortamlardaki kullanımlar için donatılı plastik bileşenlerin üretiminde yararlanılmaktadır. Bu polimerler kimyasal dayanım gerektiren kimya tesislerinde, borularda ve depolama tanklarında kullanılmaktadır.

3.1.4 Fenolik Reçine Matrisler

Bu yüzyılın başından beri yaklaşık yüz yıldır kullanılmaktadır. Sertleşme, ısı enerjisiyle gerçekleşmekte, laminant ve kalıplama için basınç gerekmektedir. Fenolik reçinelerin ısı stabiliteleri, elektrik özellikleri, suya ve alkaliler dışındaki kimyasal maddelere dayanımları çok iyidir. Bu reçineler 300 °C'ye kadar sürekli, asbest lifleriyle donatılmaları halinde ise kısa süreli olarak 1000 °C'ye kadar kullanılabilirler.

3.1.5 Silikon Reçineler

Silikon reçineler, diğerlerinden farklı olarak yapılarında karbon yerine inorganik esaslı silikonlar bulunan malzemelerdir. Mekanik ve elektriksel özelliklerini çok az değişikliklerle 250 °C'ye kadar koruyabilen silikon esaslı reçinelerin kullanımları, mekanik dayanımlarının diğer reçinelere göre daha düşük ve maliyetinin de genelde daha yüksek olması nedeniyle kısıtlıdır. Süpersonik arabalarda kullanılırlar.

3.2 Metal Matrisler

Kompiziti sürekli bir arada tutan ve bu bütünlük içinde lifle birlikte malzemenin özelliklerini belirleyen matris malzemesi olarak metaller, taşıyıcılık açısından, özellikle polimer matris malzemesine kıyasla yüksek dayanıma sahiptirler. Üretimleri zor olup maliyeti yüksek olmasına karşın, metal matris malzemesi kompozitin tokluğunu önemli ölçüde arttırmakta ve yüksek sıcaklık etkisindeki uygulamalara olanak vermektedir. Metallerin matris malzemesi olarak kullanılması, yine metal olan birçok ince liflerin üretimiyle başlamıştır. Kompozit üretiminde metal matris malzemesi olarak, bakır alüminyum, titan, nikel, gümüş gibi metaller başta gelmektedir. Matris malzemesi erimiş halde, moleküler yapıda, levha veya ince tabaka şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kaplama, haddeleme yöntemleriyle liflerle birleştirilmektedir. Bu birleşmede kullanılacak yüksek dayanımlı lif tel ve kılların zedelenmemesi, tahrip olmaması sağlanmalıdır. Metal matris içinde en kolay kullanılabilen elyaf bor ve borsic elyafıdır. Bu kompozit malzeme 300 °C sıcaklığa

kadar oda sıcaklığında özelliğini korumaktadır. Burada kompozitin üretimi 450-500 °C sıcaklıkta, sıcak presleme yöntemiyle yapılır.

3.3 Elyaf lar

Matris malzeme içerisinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastik modüle ve sertliğe sahip olan elyaf lar kimyasal korozyona da dirençlidirler. Günümüzde kompozitlerin donatılmasında boyutsal ve şekilsel özellikleri çok farklı lifler (elyaf lar) kullanılmaktadır. Örneğin, cam lifleri gibi lifler üretim sırasında demetler halinde hazırlanmaktadır. Kompozitlerin donatılmasında kullanılan lifler, E Modülü değerleri, kullanılan matris malzemesinin E modülü ile kıyaslanarak, matristen daha düşük ya da yüksek E modülü değerine sahip lifler olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Ancak, kompozitlerin özellikleri içinde önemli olan bu ayrım sabit matris malzemesi için anlam taşımaktadır. Teller, milimetrik boyutta metal malzemelerdir. Çapları diğer donatı malzemelerine kıyasla daha büyük olup, genellikle beton ve harçların donatılmasında kullanılır. Dilimizde lif kelimesinin çoğulu olan “elyaf” kelimesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Liflerin çapı ortalama 0,01 mm. mertebesinde dir. Narinlik oranı 10000'e kadar çıkabilmektedir. ($L/d \leq 104$). Lifler değişik kaynaklardan elde edilmekte ve değişik özellikleriyle büyük çeşitlilik göstermektedir. Kıllar donatıda kullanılan en ince malzemelerdir. Bunlar, buhar yoğunlaşmasıyla büyütülen değişik şekillerdeki tek kristaller olup, çapları birkaç mikron, boyları birkaç mm. kadardır. Buharla büyütülen bu kılların genelde yapısal hataları olmamaktadır. Dolayısıyla dislokasyon içermeyen bu cisimlerin dayanımı, normal boyutlardakine oranla yaklaşık olarak yaklaşık bin katı kadar olabilmektedir. Üstün özelliklere karşın, yapım yöntemi nedeniyle kıllarla donatılı kompozitlerin üretimi son derece sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, kılların sahip oldukları yüksek çekme dayanımı sadece elastik bölgededir. Plastik deformasyonunun başlamasıyla kıllarda dislokasyonlar oluşmakta ve dayanım düşmektedir. Burada kompozitlerin donatılmasında kullanılan lif veya malzeme üzerinde durulacak. Sırasıyla cam lifi, asbest lifi, çelik teller ve organik esaslı yapay lifler incelenecektir (*Şimşek, 1994*).

3.3.1 Cam Lifler

Cam lifleri veya diğer bir deyişle cam elyafları kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan donatı malzemelerindendir. Üstün özelliklerinin yanı sıra, ekonomik bir donatı türü olması bu sonucu ortaya çıkarmaktadır. Çeşitli matris malzemeleriyle kullanılmış olmasına karşılık, temel kullanım alanı cam takviyeli plastik (CTP) endüstrisidir. Cam liflerinin ticari anlamda üretimi 1930’lu yıllarda İngiltere’de başlanmış olmasına karşılık, bu malzeme plastik malzemenin donatılmasında 1950’lerin başından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta, cam liflerinin üretiminde A camı veya açık adıyla “alkali cam” kullanılmıştır. Bunu çok az alkali içeren ve çok üstün elektriksel ve mekanik özelliklere sahip bir borsilikat camı olan “elektrik dayanımlı camın”, kısa adı ile E camının kullanılmaya başlanması izlemiştir. (Eker, 2008)

3.3.2 Karbon Lifler

Liflerde donatıl kompozitlerin üretiminde kullanılan önemli bir lif türüdür. 1960’lı yılların ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlanmış olan bu liflerin düşük yoğunluğuna karşın çekme dayanımı ve E modülü yüksektir. Yüksek sıcaklıklara dayanabilen karbon liflerinin özellikleri, üretimdeki son işlem sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uygulamada 6 ila 10 mm arasında değişen çaptaki liflerin 1000-1500 adetlik demetlerinden oluşan fitil ve abkumalar kullanılmaktadır. Üstün özelliklerinin yansıra on derece pahalı olan karbon lifleri, özellikle uzay ve havacılık endüstrisinde yararlanılan bir malzeme niteliğindedir. Maliyeti yüksektir.

3.3.3 Aramid Lifler

Aromid “aromatik polyamid” in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir. Aromidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen ile bağlanmıştır. İki farklı tip aromid mevcuttur. Bunlar kevlar 29 ve kevlar 49’dur. Camdan daha hafif ve daha risit olan bu malzeme, fiyat açısından da cam lifleri dışında kalan birçok lif türünden daha ucuzdur. Yüksek sıcaklıkta sönme dayanımı oldukça iyidir. Ayrıca korozyon dayanımı oldukça iyidir. Uçak yapılarında, düşük

basma mukavemetleri nedeniyle karbon elyaflarla birlikte hibrit kompozit olarak, kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadır.

3.3.4 Bor Lifler

1960'lı yıllarda üretilmeye başlanan bir malzemedir. Yüksek dayanımlı ve pahalı bir malzeme olan bor lifleri, günümüzde özellikle metal motris elemanlarıyla birlikte metal motris malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Elyaf çapı 0,1 mm ile 0,2 mm arasında olan ve diğer birçok life göre oldukça kalın bir lif özelliği gösteren malzeme, yüksek çekme mukavemetine ve elastik modüle sahiptir. Elastik modülü ise 400 Gpa'dır. Bu değer S camının elastik modülünden 5 kat daha fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmaktadır. Ancak maliyetinin çok fazla olması nedeniyle yerini karbon elyaflara bırakmıştır.

3.3.5 Silisyum Karbür Lifleri

Yüksek sıcaklıktaki özellikleri bor liflerinden daha iyidir. Silisyum karbür elyaflar 1370 °C'de mukavemetinin sadece %30'unu kaybeder. Bor elyaf için bu 640 °C'dir. Bu elyaflar genellikle Titanyum motrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında, Titanyum, Alüminyum, Vanadyum alaşımlı motris ile kullanılırlar. Matris, ısınca sertleşen kür mekanizması ve farklı bileşenler içindeki rolü aşağıda belirtilmiştir. Epoksi polimer tarafından basitçe sunulan kür reaktif bölgelerle beraber çapraz bağlanır ve zincirleme reaksiyon oluşur. Pratikte daha fazla bileşenler ve bu kür prosesi daha karmaşıktır. Bu proseste tam kürlenmiş polimerler yer edinmiştir.

3.4 Farklı Termoset Matrisin Özellikleri

Üç Farklı ana matris türü vardır: Epoksi, Fenolik ve Bizmalemid. Aşağıdaki tabloda her birinin avantajını ve tipik uygulamaları belirtilmiştir.

Türler	Avantajları	Uygulama Alanları
Epoksi	<ul style="list-style-type: none">• İyi çevresel direnç• Çok iyi mekanik performans• Basit proses süreci	<ul style="list-style-type: none">• Havacılık• Denizcilik• Otomotiv• Nakliye• Demir yolu• Rüzgar enerjisi
Fenolik	<ul style="list-style-type: none">• Çok iyi ateş dayanımı• İyi sıcaklık dayanımı• Hızlı kür• Ekonomik proses	<ul style="list-style-type: none">• Havacılık• Demir yolu• Denizcilik
Bizmaleimide (Poliimid)	<ul style="list-style-type: none">• Çok iyi sıcaklık dayanımı• İyi mekanik özellik• Kimyasal maddelere, ateş ve radyasyona karşı iyi dayanım	<ul style="list-style-type: none">• Uçak motoru

Tablo 2: Epoksi, fenolik ve bizmalemidin avantajları ve uygulama alanları

3.5 Mekanik veya Isısal Performansın Karşılaştırılmasında Matris Yapılması

Matrislerin özelliklerine uygun olarak çalışma sıcaklığı aşağıda belirtilmiştir.

Türler	Maksimum Çalışma Sıcaklığı	Özellikleri
Fenolik	80-100 ⁰ C	Çok iyi ateş, duman ve toksiklik özellikleri
120 ⁰ C Kür Epoksi	100 ⁰ C	Yüksek tokluktaki epoksi sistemleri genellikle petek yapışması için iyi bir birleşim gösterir.
180 ⁰ C Kür Epoksi	130-155 ⁰ C	Tokluktaki epoksi sistemleri maksimum sıcak, ıslak özellikleri amaçlar.
Bizmalemid (BMI) ve poliimid	260 ⁰ C	Uzun kür döngüsünün en iyi özellikleri elde edilir. Tokluk özelliği ve kullanma sırasında ana öncelik sıcaklık dayanımıdır.

Tablo 3: Matrislerin özelliklerine göre çalışma sıcaklığı

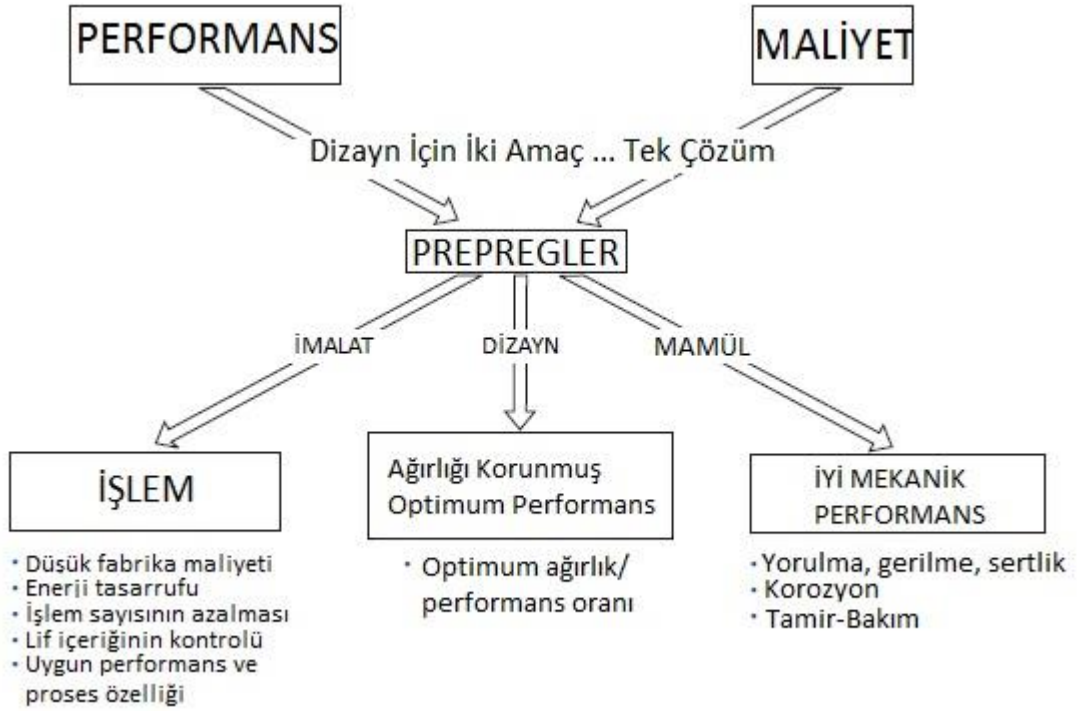
Yukarıdaki tablodan istenilen matrisin çalışma sıcaklığına göre elde edilecek özellikler listelenmiştir.

4.PREPREGİN ÖZELLİKLERİ

4.1 Prepreg Kullanılma Sebepleri

Prepreg imalatı, sürekli kuru fiberlerin ön ve arka yüzeylerine reçine kaplı kağıtların kaplanması, daha sonra düşük bir sıcaklığa hafif kütleme ile reçinenin yarı viskoz hale getirilmesinden oluşur. Prepreg levhaların yüzeyleri yapışkan olduğundan daima koruyucu kağıtlar arasında korunurlar. Bu durumda prepreg rulo olarak sarılabilir ve stoklanabilir. Stoklama koşullarına uyulması halinde son kullanma tarihine kadar muhafaza edilebilirler. (Reyne, 1990)

Uygulamaların özelliklerine göre prepreg seçilirken iki ana kriter vardır: performans ve maliyet. Prepreg kullananların avantajı aşağıdaki diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 7: Prepreg kullanımının avantajları

4.2 Prepreg Üretim Yöntemleri

4.2.1 Çözdürme

Prepregler -18°C 'de dondurucuda saklanmalıdır. Prepreg, dondurucudan çıkartıldıktan sonra, polietilen torba açılmadan önce, çözülmesi ve oda sıcaklığına gelmesi için 4-6 saat beklenmelidir. Aksi halde su buharı prepreg üzerinde yoğunlaşarak kürlenmiş parça kalitesini olumsuz etkileyecektir. Prepreglerin tekrar dondurucuya konması sırasında yeniden hava geçirmeyecek şekilde torbalanması gerekmektedir. Her kullanımda sadece gerekli olan prepreg miktarı çözdürülmeli, defalarca dondurup çözdürme işleminden kaçınılmalıdır.

4.2.2 Serim

Prepreg tasarım kriterlerine uygun şekillerde makas, maket bıçağı veya CNC kontrollü kesim tezgahlarında kesilir. Kesilen prepregler kalıp ayırıcı uygulanmış kalıba kalıbın tüm hatlarına birebir oturacak şekilde dikkatlice serilir.

Kompleks şekilli veya kalın parçaların üretiminde prepreglerin kalıba tam oturmasını sağlamak ve katlar arasında sıkışan havayı uzaklaştırmak için belli aralıklarla kalıbın vakuma alınması önerilir. Bu işlem her 3-4 katta bir kalıbın vakuma alınarak 30 dakika boyunca en az 980mbar basınç altında tutulması ile yapılır. Maksimum vakum değeri coğrafi konuma göre değiştiğinden çalışma bölgesindeki erişilebilecek en yüksek değere çıkılmalıdır.

4.2.3 Vakum Torbalama

4.2.3.1 Soyma Kumaşı

Prepreg katmanlarından sonra, yüzeyde yapılacak ikincil yapıştırma veya boyama işlemlerinde adhezyon kuvvetlerinin önemli ölçüde artırılması istendiğinde kullanılır. Kumlama veya aşındırma gibi yüzey hazırlık işlemlerine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırır. Soyma kumaşı prepreg katmanlarından en az 2,5 cm dışarı taşacak şekilde serilmelidir.

4.2.3.2 Ayırıcı Film

Kaliba serilen prepreg katmanların veya ayırıcı filminden sonra deliksiz ayırıcı film serilir. Ayırıcı film prepreg katmanlarından en az 2,5 cm dışarı taşacak şekilde serilmelidir. Gerekirse kalıp yüzeyine birkaç noktadan bant ile sabitlenmelidir.

4.2.3.3 Vakum Keçesi

Ayırıcı film üzerine bir kat kalın (300 gr/m²) vakum keçesi serilir. Vakum portları direkt olarak vakum keçesi üzerinde olacak şekilde monte edilmelidir. Vakum portunun bulunduğu noktaya ilaveten 2-3 kat vakum keçesi serilerek sağlıklı hava akışı sağlanmalıdır.

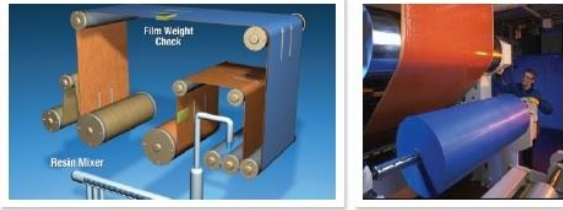
4.2.3.4 Kürleme

Kürleme fırını ısıya dayanıklı vakum hortumunun içeri girmesine uygun bir açıklığa sahip olmalıdır. Fırının içine alınan kalıp vakum hortumu ile pompaya bağlanır. Kürleme sırasında sürekli vakum uygulanacaktır.

Fırında ısı ölçmek için ısıl çift tertibatı bulunmalıdır. Isıl çiftler kalıbın serim yüzeyinde parçaya yakın noktalara bağlanır. Fırın tüm ısıl çiftlerin ortalama değerine göre çalışacağından bağlanmayan ısıl çiftler devre dışı bırakılmalı ya da tamamı kalıp yüzeyine bağlanmalıdır. Büyük kalıplarda birden çok ısıl çiftlerin bağlanması önerilir.

1 Film Taşıma Yolu: Tek yönlü ve dokunmuş prepregler için 2 kademe proses süreci

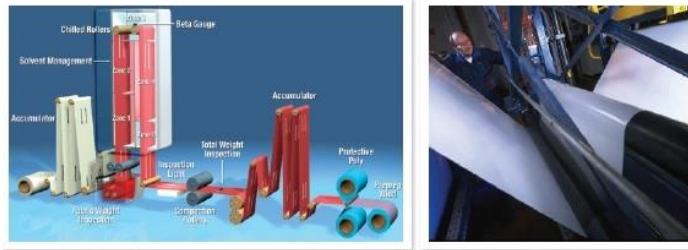
Kademe 1 - Film Üretimi



Kademe 2 - Film emdirimi



2 Çözüm yolu: Dokunmuş prepregler için tek kademe proses süreci



Şekil 8: Prepreglerin proses süreci

Yukarıdaki şekilde prepreglerin proses sürecinin 3 boyutta gösteriliyor.

4.3 Yüksek Performanslı Prepregler İçin Epoksiler

4.3.1 Ep – 350 Epoksi

4.3.1.1 Ürün

GMS Kompozitleri EP-350, uzun raf ömrü olan formüle edilmiş bir epoksi reçine matris prepregidir. Ürün 110°C kadar düşük veya 160°C'ye kadar çok yönlü bir kurlenme döngüsüne sahiptir ve böylece büyük yapılardan sayısız küçük bileşene kadar geniş bir yelpazede kompozit ürünler üretmek için ürünün kullanılmasına olanak tanır. EP-350, karbon, cam veya aramid gibi bir dizi substratta mevcuttur. Ürün aynı zamanda iyi dinamik mukavemet özelliklerine ve olağanüstü dayanımına sahiptir. Prepregin iyi akışı vardır ve EP-350'nin yapışkanlığı değişken olabilir.

4.3.1.2 Uygulamalar

EP-350, karbon, cam veya aramid elyafları olan yapısal bileşenleri üretmek için kullanılabilir. Ayrıca sandviç yapıların yapımında da kullanılabilir. EP-350'nin çok yönlülüğü, büyük kompleks yapıların yanı sıra küçük temel bileşenler üretilebileceği anlamına gelir. EP-350'yi, denizcilik, spor ve eğlence, endüstriyel bileşenler, otomotiv ve rüzgar türbini bıçakları gibi birçok sanayi ve uygulamada kullanmak mümkündür.

Özellikler:

- Değişken kür döngüsü 110°C - 160°C
- İyi yüzey bitirme
- Bir dizi yapı ve süreçler için uygundur
- Mükemmel raf ömrü
- Geniş fiber yelpazesi seçenekleri mevcuttur

4.3.1.3 Kürlenme

EP-350'nin çok yönlülüğü, bir dizi iyileştirme döngüsü, basınç ve yükseltme hızlarının hepsinin üretilen parçaya büyük oranda bağlı olacağı anlamına gelir. Aşağıda, kür döngüleri için bir tablo bulunmaktadır.

Sıcaklık (°C)	Zaman
120	2 saat
130	1 saat
140	30 dakika
150	30 dakika

Tablo 4: Kürlenme sıcaklık – zaman tablosu

Isı artış hızı – 2°C / dakika

Basınç – 1bar

4.3.1.4 Jelleşme Zamanı

Sıcak kaplama

Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)
100	45-55
120	13-20
140	3-6

Tablo 5: Jel sıcaklığı – zaman tablosu

Değerler, düzgün reçine formülasyonundan küçük örneklerin göstergesidir. Jel süreleri, elyaf içeriğine ve laminat kalınlığına bağlı olarak kompozitlerde önemli ölçüde değişiklik gösterebilir.

Özellikler

Kürün özellikleri. 1 saat 140 ⁰ C'deki kür döngüsü	Birim	Değer
Eğilme mukavemeti (23 ⁰ C)	MPa	145 - 160
Son Uzama (23 ⁰ C)	%	4.8 – 6.3
Eğilme Katsayısı (23 ⁰ C)	MPa	3500 – 3700
T _g (DSC, 10 K/dakika)	⁰ C	135 - 145
Tabakalar arası kesme gerilmesi	MPa	42-47

Tablo 6: 1 saat kür döngüsündeki malzemenin değerleri

Raf Ömrü

Oda sıcaklığı	6-8 hafta
Soğutucuda (-18 ⁰ C)	12 ay

4.1.3.5 Kullanım

Müşteriler, bu ürünle çalışırken uygun bir işyeri OH&S yönergelerine uymalıdır. Deri ve gözlerle temasından kaçınmak için uygun tedbirler alınmalıdır. İşleme, kesme veya kütleme sırasında oluşabilecek toz veya dumanların solunumundan kaçınmak için gerekli tedbirler alınmalıdır.

4.3.2 Ep – 284 Epoksi

4.3.2.1 Ürün

GMS Kompozit EP-284, uzun raf ömrüne ve daha iyi kullanıma sahip formüle edilmiş bir epoksi reçine matris prepregidir. Ürün, 80⁰C kadar düşük veya 150⁰C'ye kadar çok yönlü bir kürlenme döngüsüne sahiptir ve böylece büyük yapılardan sayısız küçük bileşene kadar geniş bir yelpazede kompozit ürünler üretmek için ürünün kullanılmasına olanak tanır. EP-284, karbon, cam veya aramid gibi bir dizi substratta mevcuttur. Ürün aynı zamanda iyi dinamik mukavemet özelliklerine ve olağanüstü dayanımına sahiptir. Geliştirilmiş kullanım, karmaşık parçaların daha kolay kalıplanmasını sağlar. Prepregin iyi akışı vardır ve EP-284'ün yapışkanlığı çeşitlendirilebilir

4.3.2.2 Uygulamalar

EP-284 karbon, cam veya aramid elyafları olan yapısal bileşenleri üretmek için kullanılabilir. Ayrıca sandviç yapıların yapımında da kullanılabilir. EP-284'ün çok yönlülüğü, büyük kompleks yapıların yanı sıra küçük temel bileşenler üretilebileceği anlamına gelir. EP-284'ü deniz, spor ve eğlence, endüstriyel bileşenler, otomotiv ve rüzgar türbini kanatları gibi bir dizi sanayi ve uygulamada kullanmak mümkündür.

Özellikler:

- Değişken kür döngüsü 80°C - 150°C
- İyi yüzey bitirme
- Bir dizi yapı ve süreçler için uygundur
- Mükemmel raf ömrü
- Geniş fiber yelpazesi seçenekleri mevcuttur

4.3.2.3 Kürleme

EP-350'nin çok yönlülüğü, bir dizi iyileştirme döngüsü, basınç ve yükseltme hızlarının hepsinin üretilen parçaya büyük oranda bağlı olacağı anlamına gelir. Aşağıda, kür döngüleri için bir tablo bulunmaktadır.

Sıcaklık (°C)	Zaman
80	12 saat
90	8 saat
100	4 saat
110	2 saat 30 dakika
120	1 saat
130	30 dakika
140	25 dakika
150	20 dakika

Tablo 7: Kürleme sıcaklık – zaman tablosu

Isı artış hızı – 2°C / dakika

Basınç – 1bar

4.3.2.4 Jelleşme Zamanı

Sıcak kaplama

Sıcaklık (⁰ C)	Zaman (dakika)
80	210-240
90	120-160
100	40-60
110	17-25
120	6-10
130	2-5

Tablo 8: Jel sıcaklığı – zaman tablosu

Değerler, düzgün reçine formülasyonundan küçük örneklerin göstergesidir. Jel süreleri, elyaf içeriğine ve laminat kalınlığına bağlı olarak kompozitlerde önemli ölçüde değişiklik gösterebilir.

Kürün özellikleri. 1 saat 140 ⁰ C'deki kür döngüsü	Birim	Değer
Eğilme mukavemeti (23 ⁰ C)	MPa	146-156
Son Uzama (23 ⁰ C)	%	6-7
Eğilme Katsayısı (23 ⁰ C)	MPa	3150-3400
Eğilme mukavemeti (70 ⁰ C)	MPa	100-110
Son Uzama (70 ⁰ C)	%	5-5.6
Eğilme Katsayısı (70 ⁰ C)	MPa	2500-2800
Tg (DSC, 10 K/dakika)	⁰ C	102-108
Tabakalar arası kesme gerilmesi	MPa	62-66

Tablo 9: 1 saat kür döngüsündeki malzemenin değerleri

Raf Ömrü

Oda sıcaklığı >6 hafta

Soğutucuda (-18⁰C) 12 ay

4.3.2.5 Kullanım

Müşteriler, bu ürünle çalışırken uygun bir işyeri OH&S yönergelerine uymalıdır. Deri ve gözlerle temasından kaçınmak için uygun tedbirler alınmalıdır. İşleme, kesme veya kütleme sırasında oluşabilecek toz veya dumanların solunumundan kaçınmak için gerekli tedbirler alınmalıdır.

4.3.3 Ep – 280 Epoksi

4.3.3.1 Ürün

GMS Kompozitleri EP-280, uzun raf ömrü olan formüle edilmiş bir epoksi reçine matris prepregidir. Ürün 80°C kadar düşük veya 150°C'ye kadar çok yönlü bir kürlenme döngüsüne sahiptir ve böylece büyük yapılardan sayısız küçük bileşene kadar geniş bir yelpazede kompozit ürünler üretmek için ürünün kullanılmasına olanak tanır. EP-280, karbon, cam veya aramid gibi bir dizi substratta mevcuttur. Ürün aynı zamanda iyi dinamik mukavemet özelliklerine ve olağanüstü dayanımına sahiptir. Prepregin iyi akışı vardır ve EP-280'nin yapışkanlığı değişken olabilir.

4.3.3.2 Uygulamalar

EP-280 karbon, cam veya aramid elyafları olan yapısal bileşenleri üretmek için kullanılabilir. Ayrıca sandviç yapıların yapımında da kullanılabilir. EP-280'nin çok yönlülüğü, büyük kompleks yapıların yanı sıra küçük temel bileşenler üretilebileceği anlamına gelir. EP-280'yi, denizcilik, spor ve eğlence, endüstriyel bileşenler, otomotiv ve rüzgar türbini bıçakları gibi birçok sanayi ve uygulamada kullanmak mümkündür.

Özellikler:

- Değişken kür döngüsü 80°C - 150°C
- İyi yüzey bitirme
- Bir dizi yapı ve süreçler için uygundur
- Mükemmel raf ömrü
- Geniş fiber yelpazesi seçenekleri mevcuttur

4.3.3.3 Kürleme

EP-280'nin çok yönlülüğü, bir dizi iyileştirme döngüsü, basınç ve yükseltme hızlarının hepsinin üretilen parçaya büyük oranda bağlı olacağı anlamına gelir. Aşağıda, kür döngüleri için bir tablo bulunmaktadır.

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Zaman
80	12 saat
90	8 saat
100	4 saat
110	2 saat 30 dakika
120	1 saat
130	30 dakika
140	25 dakika
150	20 dakika

Tablo 10: Kürleme sıcaklık – zaman tablosu

Isı artış hızı – 2°C / dakika

Basınç – 1bar

4.3.3.4 Jelleşme Zamanı

Sıcak kaplama

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Zaman (dakika)
80	210-240
90	120-160
100	40-60
110	17-25
120	6-10
130	2-5

Tablo 11: Jel sıcaklığı – zaman tablosu

Kürün özellikleri. 1 saat 140°C 'deki kür döngüsü	Birim	Değer
Eğilme Mukavemeti (23°C)	MPa	146-156
Son Uzama (23°C)	%	6-7
Eğilme Katsayısı (23°C)	MPa	3150-3400
Eğilme Mukavemeti (70°C)	MPa	100-110
Son Uzama (70°C)	%	5-5.6
Eğilme Katsayısı (70°C)	MPa	2500-2800
Tg (DSC, 10 K/dakika)	$^{\circ}\text{C}$	102-108
Tabakalar arası kesme gerilmesi	MPa	62-66
Gerilme Mukavemeti (23°C)	Mpa	630-680
Çekme Katsayısı (23°C)	MPa	55-60
Basınç Dayanımı (23°C)	MPa	600-650
Tabakalar arası kesme gerilmesi (23°C)	MPa	68-72

Tablo 12: 1 saat kür döngüsündeki malzemenin değerleri

Raf Ömrü

Oda sıcaklığı (23 ⁰ C)	>6 hafta
Soğutucuda (-18 ⁰ C)	12 ay

4.3.3.5 Kullanım

Müşteriler, bu ürünle çalışırken uygun bir işyeri OH&S yönergelerine uymalıdır. Deri ve gözlerle temasından kaçınmak için uygun tedbirler alınmalıdır. İşleme, kesme veya kütleme sırasında oluşabilecek toz veya dumanların solunumundan kaçınmak için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Prepreg Sistemi	Reçine Tipi	Performans Özellikleri ve Anahtar Kelimeler
EP – 272	Epoksi	EP-272, opsiyonel olarak hafif bir kumaş halinde olan veya olmayan bir reçine tabakasıdır. EP-270 prepreg reçineyle tamamen uyumludur.
EP – 282	Epoksi	EP-282, opsiyonel olarak hafif bir astar halinde olan veya olmayan bir reçine tabakasıdır. EP-282, sadece EP-280 prepreg reçineyle uyumlu değildir, aynı zamanda tüm sınıflarda Kompozit prepreglerle uyumludur.
EP - 450	Epoksi	EP-450, aralıktaki diğer prepreg sistemleriyle birlikte işlenebilen, aşınmaya karşı dayanıklı, anti-statik, alev geciktirici bir epoksi reçine tabakasıdır.

Tablo 13: Reçine filmi

Prepreg Sistemi	Reçine Tipi	Performans Özellikleri ve Anahtar Kelimeler
EP - 270	Epoksi	Düşük sıcaklıkta kürlenme
EP - 274	Epoksi	Düşük sıcaklıkta kürlenip yüksek performansa sahip olma

Tablo 14: Düşük sıcaklıkta kürlenmiş prepregler

Prepreg Sistemi	Reçine Tipi	Performans Özellikleri ve Anahtar Kelimeler
BP – 190	BMI	200 ⁰ C'nin üstündeki sıcaklıklarda takımların yüksek performansları
EP - 250	Epoksi	Düşük sıcaklıkta takımların kürlenip yüksek sıcaklıkta yüksek Tg ile kürlenmesi

Tablo 15: Prepreg Takımları

Prepreg Sistemi	Reçine Tipi	Performans Özellikleri ve Anahtar Kelimeler
EP – 540	Epoksi	UL94-V0 sertifikalı yangın geciktirici sistem

Tablo 16: Yangın geciktirici prepreg

Prepreg Sistemi	Reçine Tipi	Performans Özellikleri ve Anahtar Kelimeler
EP - 285	Epoksi	Sertleştirilmiş matris sistemi
EP – 290	Epoksi	Nano sertleştirilmiş matris sistemi

Tablo 17: Sertleştirilmiş yüksek darbe prepregleri

Prepreg Sistemi	Reçine Tipi	Performans Özellikleri ve Anahtar Kelimeler
EP - 620	Epoksi	Balistik derece - son derece sağlamlaştırılmış darbe modifiye sistem

Tablo 18: Balistik düzeyde prepreg

5.PREPREG PROSESİ

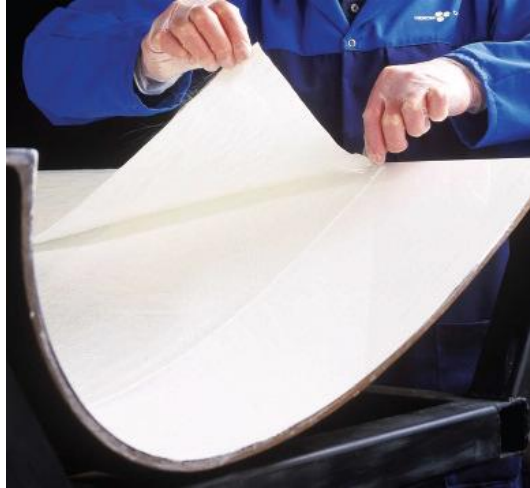
5.1 Parçaların İçinde Prepreglerin Birleştirilme Yöntemi

5.1.1Kalıp

Kalıp, tasarım bileşenlerinin imalatında önemli rol oynar. Üniform basınçları kür esnasında bileşene uygulanabilir; böylece basit, istikrarlı bir malzeme tasarlanabilir. Isı döngüsü tüm yeni malzemelerde herhangi bir gerilim bırakmaz ve malzemeyi kalibre etmek için bir ısı arama tamamlar.

5.1.2 El Yatırması

Manuel / otomatik olmayan yatırma sürecidir. Tek yönlü ve dokuma takviye ile fiber takviyeli prepregler (cam, karbon, kevlar) her türlü ve çeşitli genişliklerde mevcuttur. Prepreg polietilen ve / veya kağıt koruyucuları ile temin edilir. Orta hacimli üretime düşük kompleks şekilli parçaların, monolitik ve sandviç paneller için uygundur.



Şekil 9: Manuel el yatırma örneği

5.1.3 Otomatik Bant Döşemesi

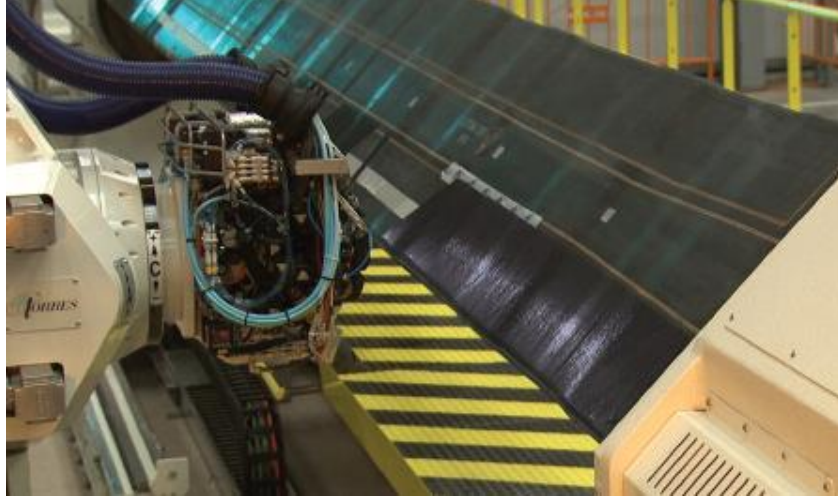
Tek yönlü prepregin otomatik birikimi ve diğer bazı takviye malzemeleri, örneğin cam dokuma prepregler, ıslak soyma kumaşları ve metalik örgü prepregler.150mm (5.9") ya da 300mm (11.8") genişlikleri tipik kullanılabilir. Diğer genişlikler ATL makine tasarımına bağlıdır. Prepreg tek bir çift taraflı bir açma kağıdı ile birlikte verilir. Orta eğrilik monolitik bölgelerine düşük, büyük için uygundur.



Şekil 10: Otomatik bant döşeme makinası

5.1.4 Otomatik Fiber Yerleştirme

Dar tek yönlü prepreg bantlar otomatikleştirilmesi. Tipik olarak 3.175mm (1/8 "), 6.35mm (1/4") ya da 12.7mm (1/2") genişliğinde ve çeşitli bobin boyutları mevcuttur. Prepreg, yalnız polietilen koruyucusu ile birlikte verilir. Büyük ve karmaşık eğrilik monolitik parçaların orta büyüklüğü için uygundur.

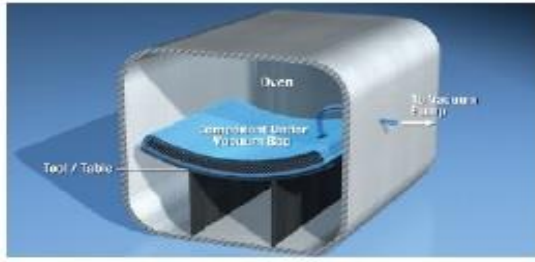


Şekil 11: Fiber yerleştirme makinası örneği

5.2 Farklı Prepreg İşlem Teknikleri

Prepregler, farklı şekillerde işlenebilir. Belirli bir uygulama için seçilecek en uygun yöntemin çizimleri aşağıda gösterilmektedir. Büyük parçalar ısıtılması fırın daha uygun olur.

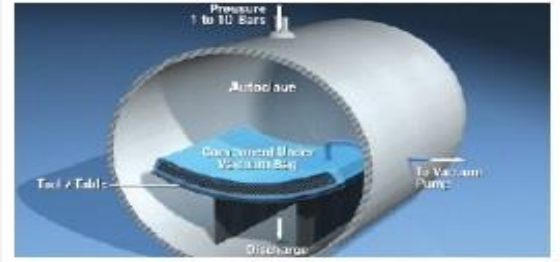
Vakumlu Fırın Prosesi



Uygulamalar:

- > Havacılık
- > Gemi İnşa Sanayisi
- > Demiryolu
- > Rüzgar Enerjisi
- > Otomotiv

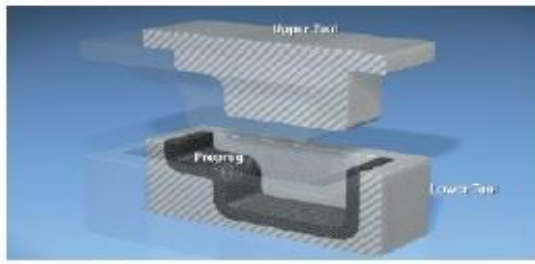
Otoklav Prosesi



Uygulamalar:

- > Yüksek kaliteli kompozitler
- > Yapısal parçalar

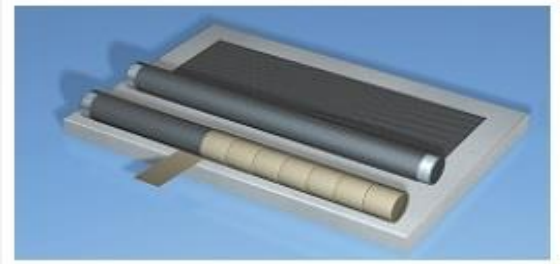
Kalıplama Prosesi



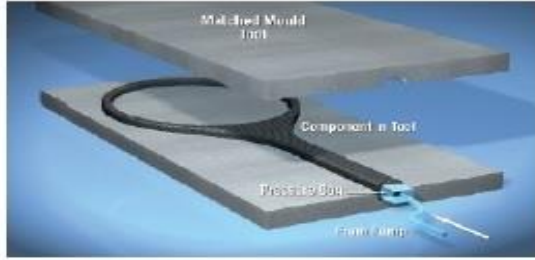
Uygulamalar:

- > Düz paneller
- > Spor Ekipmanları
- > Endüstriyel

Tüp Haddelene Prosesi



Basıncı Kap Prosesi



Uygulamalar:

- > Balık oltaları
- > Tüpler
- > Kayak sopaları
- > Golf sopaları
- > Direkler

Şekil 12: Prepreg işlem teknikleri

5.3 Vakumlu Fırın ile Basıncı Kap Arasındaki İşlem Farkı

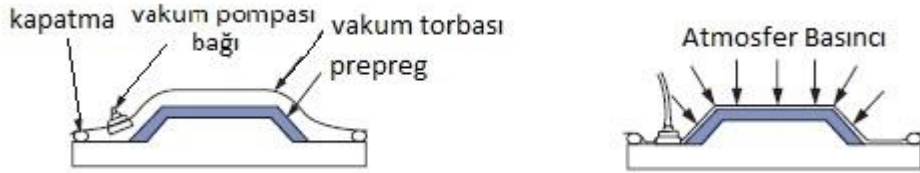
Prepreg bileşenlerin üretimi için iki ana yöntem vardır, vakumlu fırın ve otoklav işleme.

Proses Metodu	Bileşenler		Proses Maliyeti	
	Kalite	Kesit Kalınlığı	Malzeme Maliyeti	Kür Dönüşüm Enerjisi
•Standart Vakum Torbası	İyi - Çok iyi	İncede Kalına	Makul	Düşük
•Otoklav	Çok iyi	İncede Kalına	Yüksek	Yüksek

Tablo 19: Vakum torbası ve otoklav işleminin bileşenlerine göre maliyetleri

5.3.1 Vakum Torbası Prosesi

Parçanın et kalınlığına ve geniş bir sandviç yapıları monolitik bileşenler için uygundur. Vakum torbası tekniği esnek bir torbanın içine kompozit yerleştirilir ve kapatılır. Bütün hava torbanın altından tahliye edilir.



Şekil 13: Esnek torba kapatıldıktan sonra sisteme vakum uygulanması

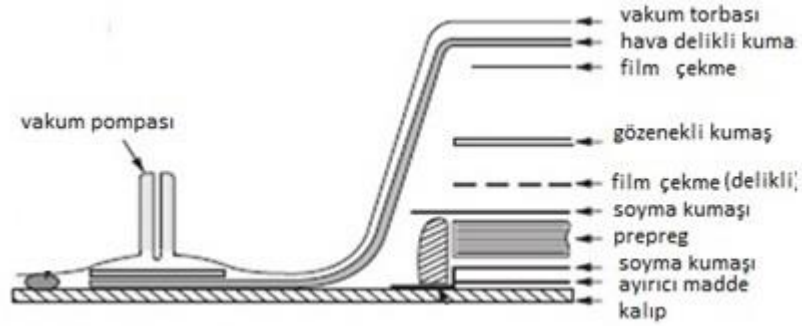
Havanın tahliye edilmesi torbanın zemine yatırılmasını sağlar ve konsolidasyon basıncı 1 atmosfer (1 bar) üzerine çıkar. Nispeten kısa bir kür döngüsünden sonra halen uygulanan vakum ile düzenek tamamlanmıştır. Bir fırın içinde ya da iyi bir hava sirkülasyonu ile ısıtılmış bir kalıba yerleştirilir ve bileşik üretilir.

Bazı yüksek performanslı prepegler standart vakum torbası teknikleri kullanılır ve otoklav kaliteli bileşenler sağlar.

5.3.2 Otoklav Prosesi

Yüksek elyaf hacmi ve düşük boşluk içerikleri içeren üstün kaliteli yapı elemanlarının üretimi için kullanılır. Otoklav tekniği benzer bir vakum torbası gerektirir ama fırın otoklav ile değiştirilir. Otoklav vakum basıncı uygulanması, kür sıcaklığı kontrol edilir ve ısı kompozit için kür şartları sağlayan bir basınç tankıdır. Yüksek proses basınçları kompleks şekillerin daha kalın kalıplanmasını sağlar. Petek şeklindeki sandviç yapılar genellikle düşük basınçlarda yüksek standartta yapılabilir. Büyük otoklav kütlelerinin ısınması ve soğuması uzun bir zaman alır, çünkü uzun kür

döngüleri için gereklidir. Bazen yavaş ısınma oranları parça ve kompozit bileşenlere eşit sıcaklık dağılımını garanti etmek için gereklidir.



Şekil 14: Vakum torbası yatırılmasına örnek

Bir vakum torbası yatırılmasının tüm bileşenleri yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu yatırma endüstriyel uygulamalar için mümkündür. Yüksek kaliteli havacılık bileşenleri için idealdir.

5.4 Vakumlu Fırındaki Montajın Her Bir Katmanı

5.4.1 Vakum Torbası Prosesi Sarf Malzemeleri

Ayırıcı madde: Parçadan kür prepreg bileşeninin tahliyesine izin verilmesi

Soyma kumaşı (isteğe bağlı): Uçucu ve fazla matris kür sırasında serbest geçişine izin verir. Birleştirilebilir veya boyanabilir yüzey sağlamak için sonra kür kolayca çıkartılabilir.

Kumaş boşaltması (isteğe bağlı): Genellikle keçe veya cam kumaştan yapılmış ve fazla matris absorbe eder. Matris akışı hava tahliyesi miktarı ile kontrol edilebilir, bilinen elyaf hacmi kompozit üretir.

Film çekme (sürülme): Bu katman matrisin daha akışını engeller ve üstteki katman hafifçe gözenekli olduğundan hava ve buharlaşıcı madde geçişi sağlanabilir.

Gözenekli kumaş: Vakum uygulamak için araçları sağlar ve bütün montajdaki hava ve uçucu maddeleri uzaklaştırarak yardımcı olur. Yüksek otoklav basınçları kullanıldığında kalın gözeneklere ihtiyaç vardır.

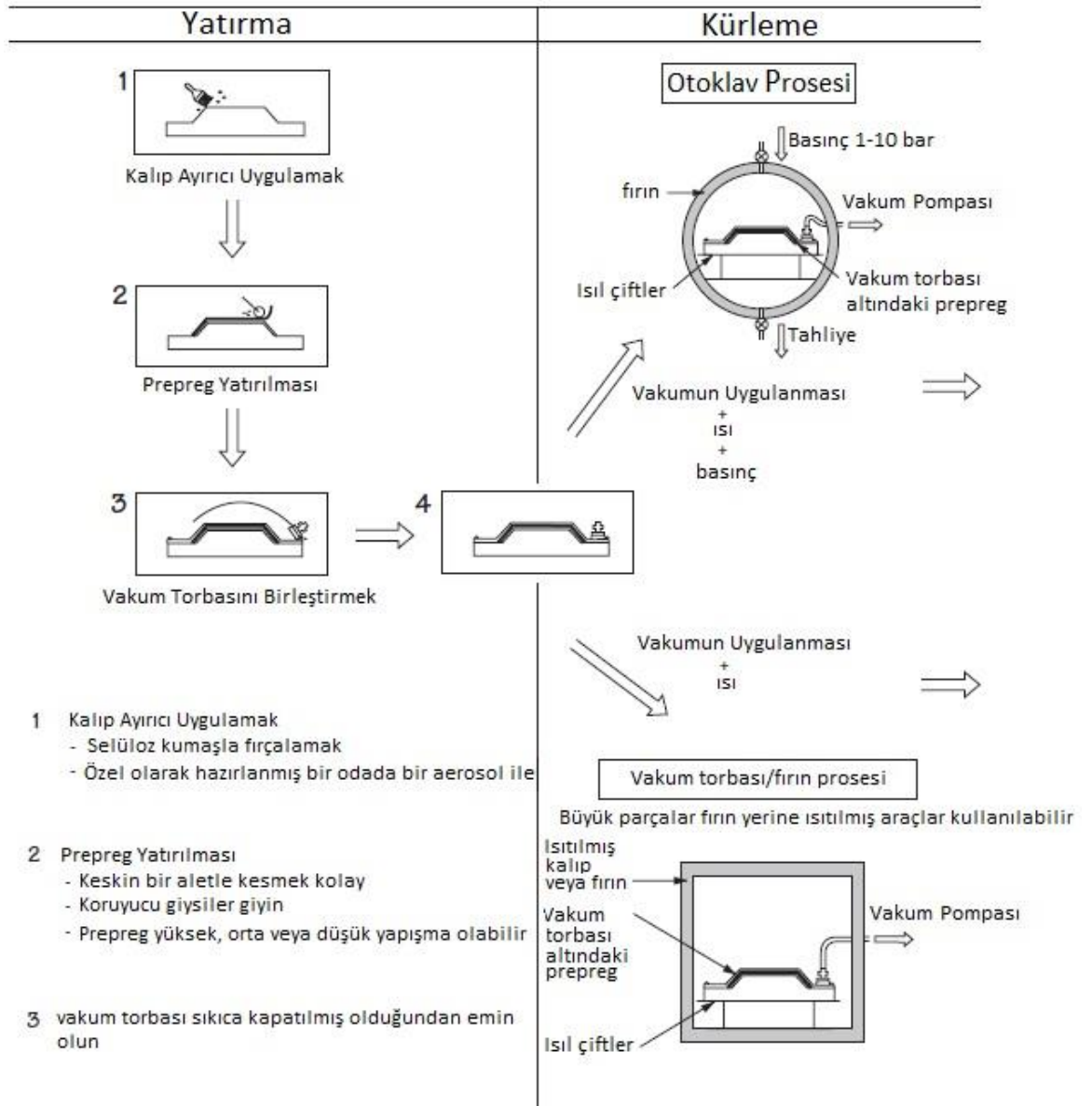
Köşe engeli: Reçine akışı ve bileşen şeklini içerir.

Vakum torbası / sızdırmazlık bandı: Vakum torbası oluşturmak için hava tahliyesini olanak tanıyan sızdırmaz bir torba sağlar.

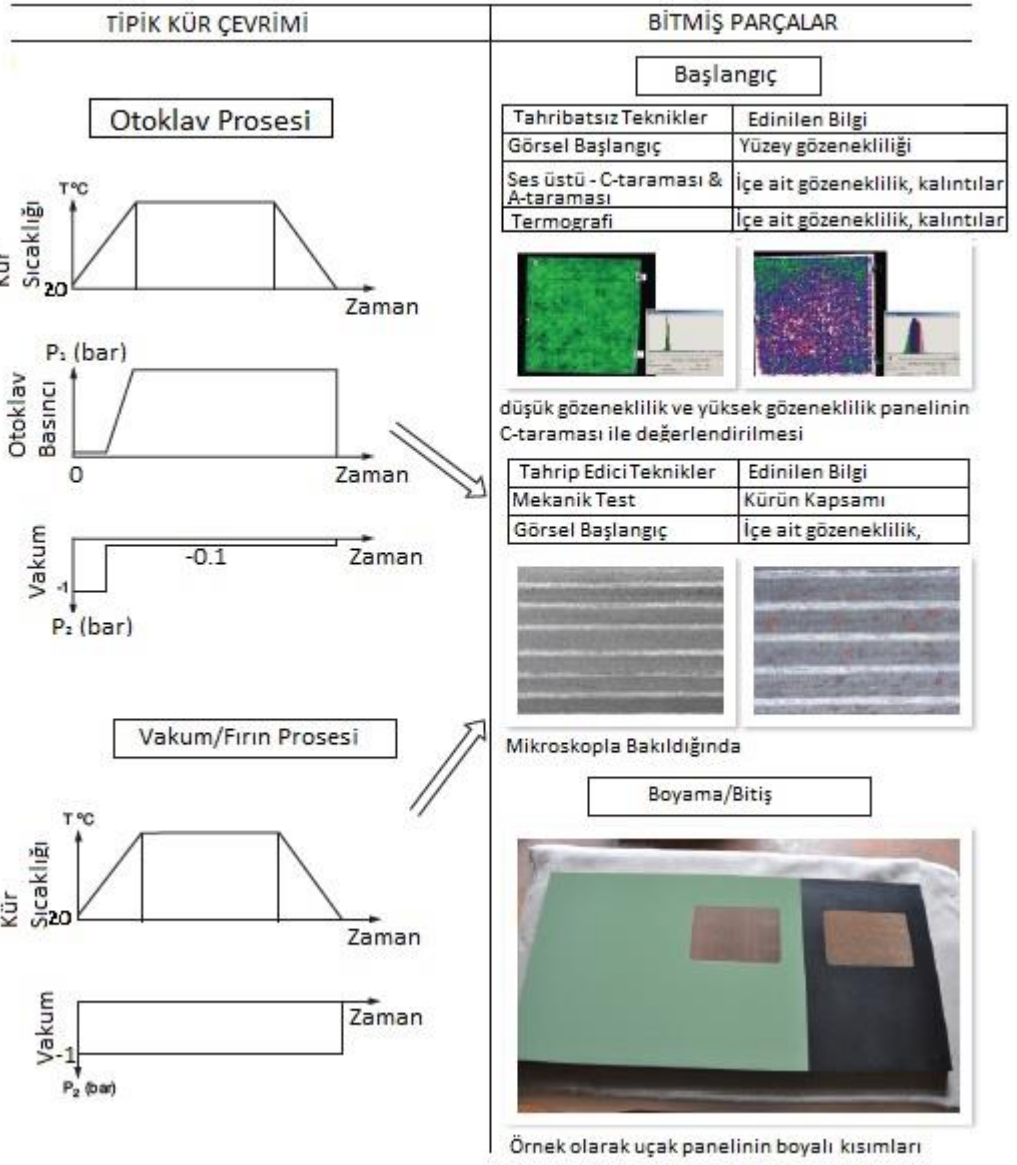
Not: Yeni sarf kaliteli bileşenlerin üretimini sağlamak için her zaman kullanılması tavsiye edilir.

5.5 Vakumlu Fırın ve Basıncılı Kaptaki İşlemler

Vakum torbası ile otoklav prosesi teknikleri aşağıda avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Bu sayede en iyi üretim yöntemi seçilmesine olanak sağlar.



Şekil 15: Vakum torbası ile otoklav prosesi tekniklerinin süreci



Şekil 16: Vakum torbası ile otoklav prosesi tekniklerinin süreci

5.6 Vakumlu Fırın ve Basıncılı Kaptaki İşlemlerin Esas Parametreleri

5.6.1 Konsolidasyon

Hava yatırması sırasında her bir prepreg tabakası arasında sıkışmış sürülmeyle prepreg kapsayan havalandırma tabakası ve vakum torbası uygulayarak kaldırılabilir. Vakum ile oda sıcaklığında 10-15 dakika uygulanmalıdır. Araçlara eklenmiş ilk tabaka genellikle birleştirilmiş ve bu prepreg kalınlığı ve bileşen şekline bağlı olarak 3 ya da 5 kat sonra tekrar edilebilir. Konsolidasyon gecede ya da yatırma sürecinde doğal bir mola sırasında yapılabilir.

5.6.2 Vakum

Prepreg yatırmasından havanın tahliye edilmesi ve fırında bakım için bir birleştirme basıncı sağlamak için kullanılır. Genel olarak basınç otoklav kür döngülerine uygulanan vakumu azaltmak için basınç düşük düzeyde uygulandıktan sonra kür çevrimi süresince çok etkili bir vakum torbası kaçak dedektörü gibi davranır. Vakum sistemi ile maksimum atmosfer basıncı elde edilebilir. (Soutis, 2005)

5.6.3 Isıtma Hızı ve Ara Bekleme Sıcaklığı

Matris viskozitesi, akış, reaksiyon hızları ve parça yüzey kalitesi tüm seçilen ısıtma oranları etkiler. Çoğu prepregler ısınma oranlarının bir dizi ile işlenebilir. İnce parçalar ve yavaş ısıtma oranları büyük ve kalın parçalar için kullanılmaktadır. Genel olarak, hızlı ısıtma oranları mümkündür. Seçilen ısınma oranı bileşeni, araç ve ısı kaynağı arasındaki büyük sıcaklık farklılıklarından kaçınmalısınız.

Büyük takım ve parçaları, bir ara bekletip kür döngüsü içine sokulabilir. Bu takım ve parçaların sıcaklık dağılımı eşit olmalıdır. İyi sıcaklık kontrolü kür sırasında uygun ve geliştirilmiş reçine akış karakteristiklerini sağlayacaktır.

5.6.4 Sıcaklık Toleransları

Fırın / otoklav, takım ve parçalar, kür döngüsü boyunca minimum kür sıcaklığının üzerinde kalmalıdır. Sıcaklığını izlemek için kullanılan ısı çiftlerinden kesin bilgi almak için özenle konulmalıdır. Tüm sistem $5^{\circ}\text{C} \pm$ kür sıcaklığında çalışır. Büyük parçalar ile "ısı arama" bileşeni ve takım ısıtma özelliklerini göstermek için gerekli olabilir.

5.6.5 Kür Zamanı

Isıl çift gösterge değeri minimum kür sıcaklığına ulaştığında her prepreg tavsiye edilen kür süresine sahiptir. Genişletilmiş kür süreleri önerilen kür sıcaklığında normal malzeme kalitesi üzerinde olumsuz bir etkisi yoktur.

5.6.6 Soğutma Hızı

Soğutma çevrimi bileşeni yüksek termal baskıları indükleyebilir ani sıcaklık düşüşü önlemek için kontrol edilmelidir. Basınç ve/veya vakum soğutma süresi boyunca muhafaza edilmelidir.

5.6.7 Bitmiş Parçanın Kalite Kontrolü

Çeşitli yöntemler kür ultrasonik, kesme incelemesi, termografi sonrası parçaların kalite kontrolü için de kullanılabilir.

5.7 Kalın Endüstriyel Parçalardaki En İyi İşlem Metodu

10 mm kalınlığında yukarıdaki parçalar için, kuru kumaşın bir iç boşaltma katmanları kullanmak tavsiye edilir. Bu kompozit aşırı reçine emer ve kürün ayrılmaz bir parçası haline gelir.

Bu yöntem aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Kompozitin içindeki herhangi boşluk vakum sayesinde boşaltılır
- Tabakalar arasında biriken aşırı matris emilir.
- Lif hacmi kontrol edilir.
- Monolitik yapılar için, herhangi bir kuru kumaş katları bileşenin kalınlığı boyunca eşit dağıtılır.
- Sandviç yapılar için, herhangi bir kuru kumaş katları, sadece derinin dış 2/3 kadar yerleştirilmelidir.
- kuru kumaş tabakaları ile vakum sistemine bağlantısını sağlamak için daima prepreg yığını örtüşmelidir.

5.8 Kalın Endüstriyel Parçalardaki En İyi Kür Çevrimi

Egzotermi önlemek için ısınma oranları kontrol edilmelidir.

Beklemek - Parçayı ve bileşen sıcaklıklarını dengelemek ve kontrollü bir prepreg kür başlatmak için kullanılır.

Kontrollü yavaş ısınma oranı - Hava sıcaklığı ve bileşen arasında büyük sıcaklık farkı önler. Herhangi bir reçine birikimi, bu koşullar altında egzoterme yatkındır.

5.9 Prepreg Sandviç Yapılar ve Özellikleri

Bir sandviç yapı kalın petek, köpük ya da balsa çekirdeğe bağlı ince yüksek mukavemetli prepreg kabuklardan oluşur.

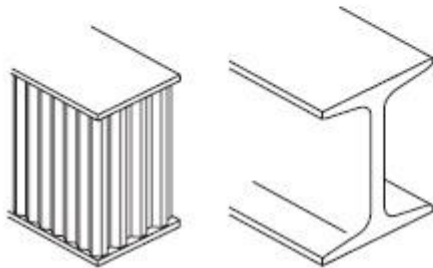
Bir "kendinden yapışkanlı" prepreg ilave yapıştırıcı katmanları gerektirir ve düşük üretim maliyetleri hafif bir yapıların üretilmesini sağlamaz.



Şekil 17: Sandviç yapı örneği

özellikler	Katı Materyal		Çekirdek 3t Kalınlığı
sertlik	1.0	7.0	37.0
Bükülme dayanım	1.0	3.5	9.2
ağırlık	1.0	1.03	1.06

I-Profil ile Petek Sandviç Yapı Arasındaki Kıyaslama



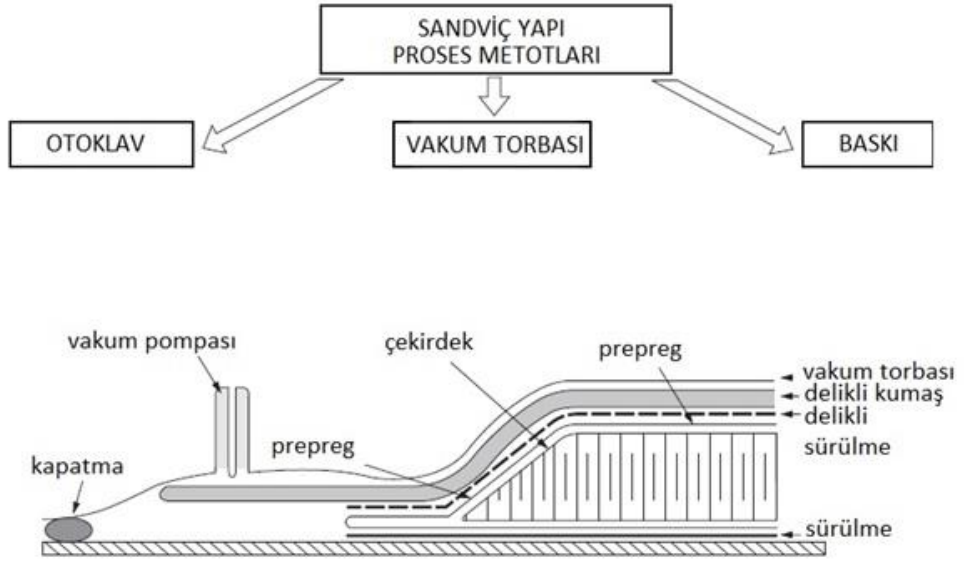
Petek Sandviçin Faydaları

- Çekme ve basma gerilmeleri derileri dış katmanlar tarafından desteklenir
- Kesme gerilmesi petek tarafından desteklenir
- Dış katmanlar onların uzunluğu boyunca stabildir
- Ağırlığı artırmaz

Şekil 18: Sandviç yapının özellikleri

5.10 Sandviç Yapının İmalatı

Sandviç yapılar otoklav, baskı veya vakum torbası kalıplama ile imal edilebilir. Otoklav veya baskı prosesi için sandviç yapılar genellikle toplanır ve tek adımda kürlenir. Bununla birlikte, büyük bileşenlerin vakum torbasının kürlenmesi için yatırma ve kür iki veya daha fazla aşamada gerçekleşebilir. Bu boşluklardan tekrar (petek hücreleri kompozit yüzeyler aracılığıyla görünür olduğu) sürdükleri bileşenin kalitesini artıracaktır.



Şekil 19: Sandviç yapı imalat örneği

6.LİF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİ

6.1 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler; belirli bir amaca yönelik olarak en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme gurubudur. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerin daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir.

Kompozitin içindeki lifler güçlü, sert ve uygulanan yüklerin çoğunu destekler. Matris esas olarak çalışma sıcaklığı, tokluk ve kompozitin çevre direncine katkıda bulunur. Bunun bir sonucu olarak tek yönlü kompozitler tek yönde ağırlıklı mekanik özelliklere sahip ve anizotropik özelliklere sahip olur. İzotropik malzemeler (çoğu metaller) tüm yönlerde eşit özelliklere sahip.

Hafiflik: Polimer kompozitler genelde $1,5 - 2 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundadır. Metal kompozitler, $2,5 - 4,5 \text{ gr/cm}^3$ olmakla beraber özellerde sıçrama görülebilir. Seramik kompozitler ise ikisi arasındadır.

Rijitlik Ve Boyut Kararsızlığı: Genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterir.

Yüksek Mekanik Özellikler: Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir.

Yüksek Kimyasal Direnç: Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir.

Yüksek Isı Dayanımı: Kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastiklere göre yüksektir.

Elektriksel Özellikler: Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre ayarlanabilir. Metal Matrisli Birleşik Malzemeler (MMC)'ler iletkenidir.

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama şekli aşağıda verilmektedir.

6.1.1 Elyafli Kompozitler

Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.

6.1.2 Parçacıklı Kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. 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.

6.1.3 Tabakalı Kompozitler

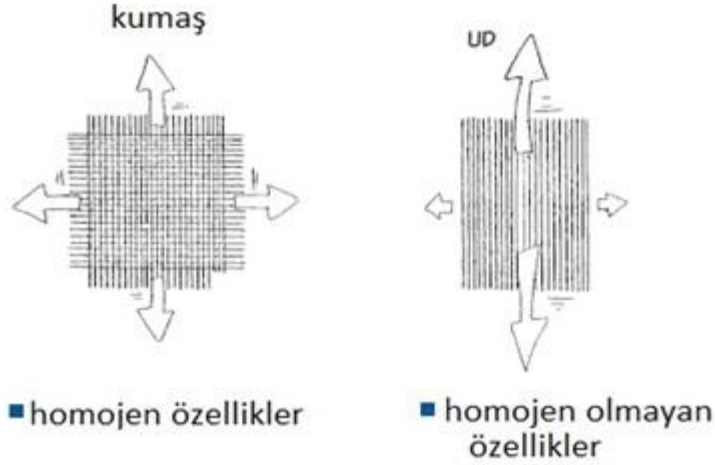
Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler.

Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece yalıtkan özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler.

6.1.4 Karma (Hibrit) Kompozitler:

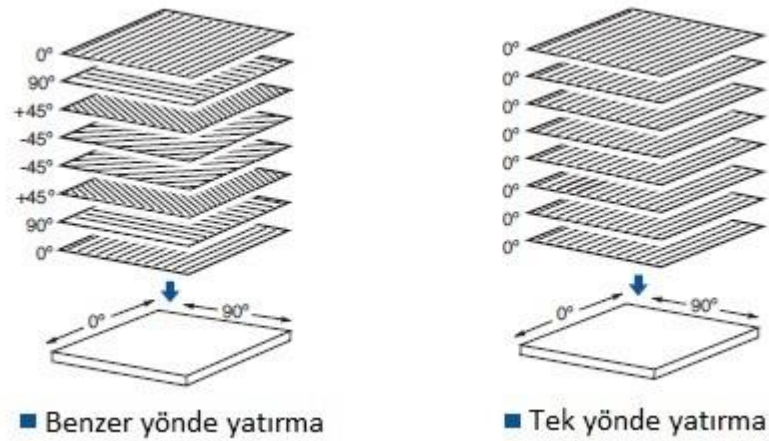
Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafdır. Ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.

Lif yönelimi de optimum mekanik özellikler üretir böylece elyaf takviyeli kompozit yapılar tasarlanabilir ama sadece metal gerçek izotropik doğasını yaklaşılabılır (*Ünal*).



Şekil 20: Lif yönelimi

Kompozit malzemeye özel mekanik özellikler kazandırmak için lifin yönünün değiştirilerek düzenlenmiş olabilir.



Şekil 21: Lif yönelimi

6.2 Prepregin İmalatından Önce veya Sonraki Fiziksel/Kimyasal Testler

Aşağıdaki testler, kompozit üretim süreçleri için prepreglerin üretim kalitesi ve uygunluğunu değerlendirmek için yapılabilir.

6.2.1 Kürlenmemiş Prepreg

Zaman: Zaman ilerledikçe belirli bir sıcaklıkta matris sıvıdan katıya geçerken matris viskozitesinde hızlı bir artış görülür.

Viskozite: Matrislerin akım karakteristikleri ölçümü ısınma oranlarından ve sıcaklıktan etkilenir.

Buharlaşıcı: Gaz halindeki prepreg numunenin belli bir sıcaklığa ve süreye maruz kaldıktan sonraki malzemenin yüzdesindeki ağırlık kaybıdır.

Debi: Test numunesinin kabul edilen koşullarda basınç ve sıcaklık uygulandıktan sonraki ağırlık kaybı.

Tutturma: Kürlenmemiş prepreg kapasitesinin ölçümü kendisine ve kalıp yüzeylerine yapışmasıdır.

Reçine yoğunluğu: Birim alandaki reçine yüzdesidir.

Formülasyon: Formülasyon bileşenlerinin doğru miktarda doğrulanmasıdır.

6.2.2 Kürlenmiş Prepreg

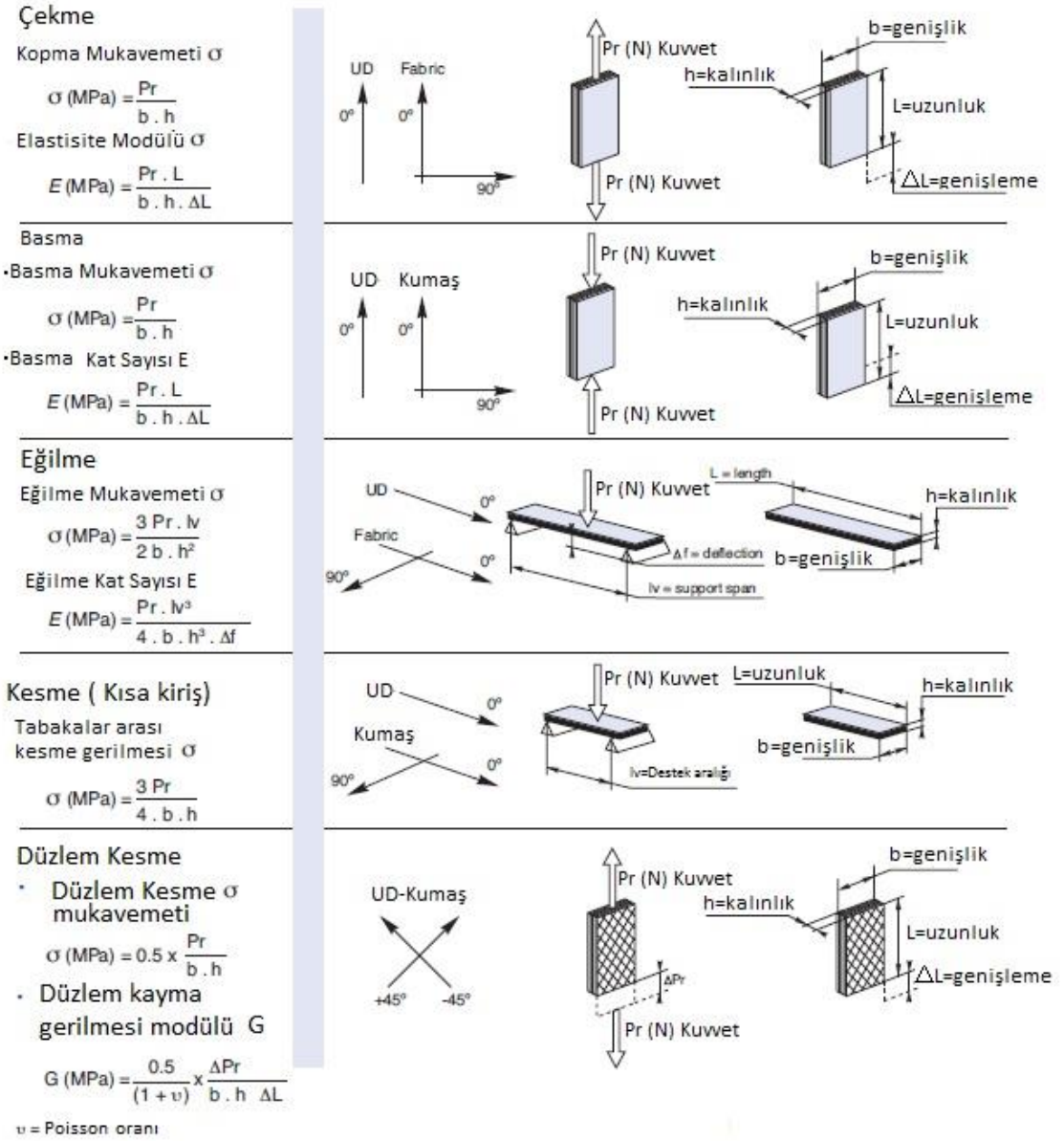
Cam değişim sıcaklığı (Tg): Tg sıcaklığı matris özelliklerinin fiziksel bir faz değişimini sağlar ve maksimum çalışma sıcaklığı bir gösterir.

Lif oranı: Kompozitin içindeki elyafın yüzdesi.

Kompozit Yoğunluğu: Birim hacim başına kütle g/cm^3

Kürün derecesi: Prepregin yükselmesi ve kür özelliklerin değerlendirilmesi.

6.3 Kompozit Malzemelerin Mekanik Değerler ve Testleri



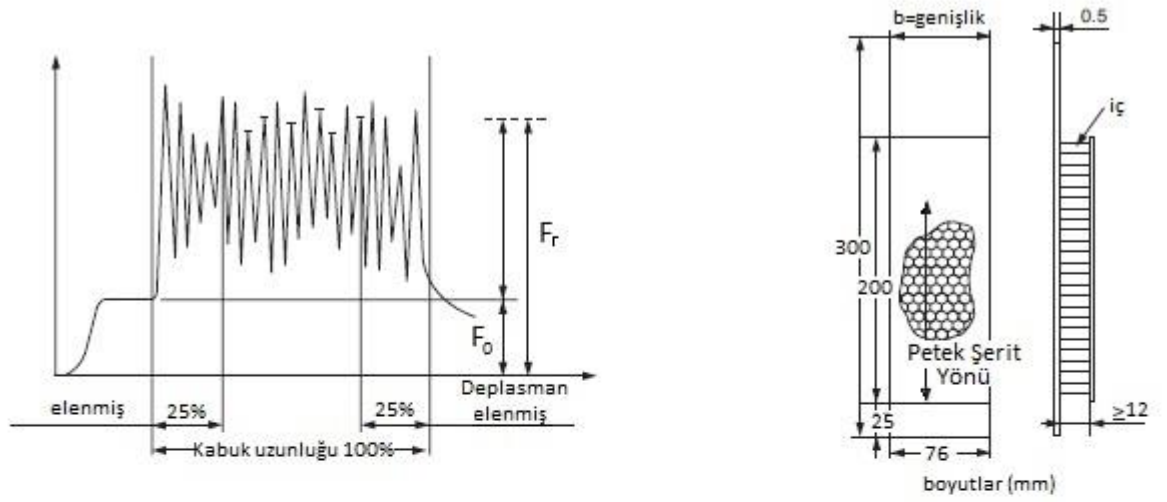
Şekil 22: Mekanik testler

Prepreg Sandviç Yapılar Üzerine Mekanik Testler

Tırmanan Kasnağın Soyulma Testi

Soyulma Dayanımı F_p

$F_p \text{ (N)} = F_r - F_0$

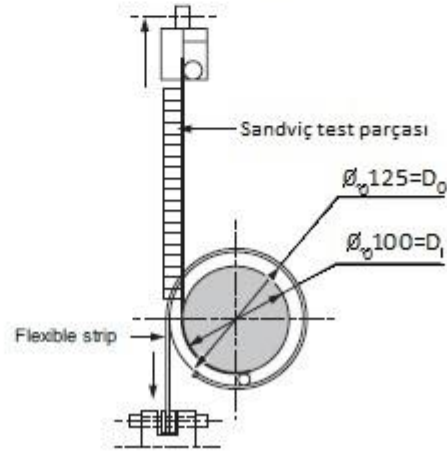


Soyulma torku C_p

$$C_p \text{ (Nmm/mm)} = \frac{F_p (D_o - D_i)}{2 b}$$







Çevirme Çarpanları

- 1 Newton per 76 mm width
- = 0.0127 Nm/76 mm
- = 0.1671 Nm/m
- = 0.01671 daNcm/cm
- = 0.2248 lbf/3 in
- = 0.1124 lbf-in/3 in
- = 0.03747 lbf-in/in



Şekil 23: Mekanik testler

Tırmanan kasağın Soyulma testinde bükülmüş yüzeyler ve sandviç yapının içi arasındaki sıyrılma direncini ölçer. Test yaygın kür ve bağ kalitesini izlemek için sandviç üretiminde pratik bir proses kontrol yöntemi olarak kullanılmaktadır.

		BİRİMLER		KUMAŞ							
				E-CAM		ARAMID		YÜKSEK DAYANIMLI KARBON		ORTA KATSAYILI KARBON	
				UD	Kumaş	UD	Kumaş	UD	Kumaş	UD	Kumaş
 <p>İfllerinin hacim içeriği - 60 % (Karbon) - 50 % (E-Cam - Aramid)</p>	<p>Çekme</p> 	σ_l	MPa	1100	600	1100	500	2000	800	2400	900
		σ_t ≡	MPa	35	550	35	450	80	750	80	850
		E_l	GPa	43	20	60	30	130	70	170	90
		E_t ≡	GPa	8	19	8	30	9	65	9	90
		Poisson oranı ν_l		0.28	0.13	0.34	0.2	0.25	0.05	0.27	0.05
<p>Basma</p> 	σ_l	MPa	900	550	250	150	1300	700	1600	800	
	σ_t ≡	MPa	150	500	150	150	250	650	250	750	
	E_l	GPa	42	17	75	31	115	60	150	80	
	E_t ≡	GPa	10	16	5.5	30	10	55	11	75	
<p>Eğilme</p> 	σ_l	MPa	1200	700	550	400	1800	1000	1400	1200	
	E_l	GPa	42	20	40	25	120	65	140	75	
<p>Düzlem içi kesme</p> 	σ_l σ_t \diamond	MPa	60	55	45	40	95	80	95	80	
	G_l t	GPa	4	4.2	2.1	4	4.4	5.5	4.4	5	
<p>Tabakalar arası kesme</p> 	σ	MPa	75	50	60	50	80	70	80	70	

Tablo 20: Kumaşın içeriğinde bileşenlerine göre mukavemet değeri

Yukarıdaki tablodan kumaşın içindeki bileşenlerin farklı durumlardaki mukavemet değeri okuyabiliriz. Bu sayede istenilen özelliklere göre seçim yaparız.

	BİRİMLER	CAM		ARAMID		YÜKSEK DAYANIMLI KARBON	
		UD	Kumaş	UD	Kumaş	UD	Kumaş
Uzama Katsayısı	$10^{-4} K^{-1}$	11	14	- 0.4	- 5.2	0.3 - 0.7	2 - 3
Isı İletkenliği	$Wm^{-1} K^{-1}$	0.4	0.16 - 0.33	0.4	0.21	1	0.86 - 1.44

Tablo 21: Kumaşın içeriğinde bileşenlerine göre termal değeri

7. PREPREGİN DEPOLANMASI VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

7.1 Prepreglerin Depolanması

Prepreg -18°C'de bir dondurucuda saklanmalıdır. Nemin bulaşmasını önlemek için polietilen torba açılarak prepregin oda sıcaklığına ulaşmasına izin verilir. Prepregler üretim tarihinden itibaren 12 ay boyunca -18°C'de garantili raf ömrüne sahiptir.

Tanımlar:

Raf Ömrü

-18°C'dekapalı bir nem geçirmez çanta içinde, sürekli saklanan maksimum depolama ömrü. Kesin son kullanma tarihi kutu etiketin üzerinde.

Çalışma Ömrü

Bu süre boyunca oda sıcaklığında prepreg yatırma için yeterli çalışma süresini korur.

Kullanım:

- Her zaman çekirdek tarafından desteklenir.
- Dondurucu dışında çalışma süresi
- Kullandıktan sonra, kırışıklıkları önlemek için prepregi rulo halinde bantlayın.

7.2 Prepreg İmal Edilirken Sağlık ve Güvenlik Önlemleri

Hexcel prepregleri aşağıdaki nedenlerden dolayı kullanım tehlikesi açısından özellikle düşük risklidir:

- Prepregler normal oda sıcaklığında yer almaktadır.
- Prepregler normal oda sıcaklığında bir orta / düşük yapışma seviyesine sahip olma eğilimindedir.
- Prepregler koruyucu kaplamalar ile kaplıdır. Koruyucu kaplamaları çıkarmadan önce şekil kesilir.

Bununla birlikte, sentetik reçineler işleminde bazı tedbirler alınmalıdır: Her zaman deri temasını önleyen eldiven giyilmelidir. Yapılmaması durumunda alerjik reaksiyonlara neden olabilir.

Makinede kür üründen toz lifli malzeme içeren inhalasyon olmalıdır. Kesimden sağlanan olumlu toz emme ve toplama tavsiye edilir. Toz oluşumunu önleyerek yangına ve patlamaya karşı tedbir alınmış olur.

LİSTE – I HESAPLAMA

Teorik Hesaplamalar

Bu yöntem, tek yönlü ya da dokunmuş prepreginden yapılan karbon, cam veya kevlar kompozit levhalar için geçerlidir.

$$= \frac{\left[w_r - \left(\frac{w_f \times \rho_r \times V_r}{\rho_f \times V_f} \right) \right] N_p}{A}$$

Parametreler

A: Hava alma tabakasının emiciliği (g/m²)
 W_r: Prepreg içindeki reçinenin ağırlığı (g/m²)
 W_f: Prepreg içindeki elyafın ağırlığı (g/m²)
 V_f: % Elyaf hacmi
 V_r: % Reçine hacmi (100 - % V_f)
 ρ_r: Reçine yoğunluğu (g/m³)
 ρ_f: Elyaf yoğunluğu (g/m³)
 N_p: Yığındaki prepreg katların sayısı

Kür Kat Kalınlığı, Elyaf Hacim ve Kompozit Yoğunluğu Hesaplamaları

$$CPT = \frac{w_f}{\rho_f \times 10 \times V_f}$$

Sertleşen kat kalınlığı = CPT (mm)

Parametreler

W_f: Prepreg içindeki elyafın ağırlığı (g/m²)
 ρ_f: Elyaf yoğunluğu (g/m³)
 V_f: % Elyaf hacmi

Doğal elyaf hacmi verecek lif hacmi için aşağıdaki hesaplamalara bakınız. (metot 1)

Elyaf Hacmi % = V_f

Parametreler

W_f: Prepreg içindeki elyafın ağırlığı (g/m²)
 W_r: Prepreg içindeki reçinenin ağırlığı (g/m²)
 ρ_f: Elyaf yoğunluğu (g/m³)
 ρ_r: Reçine yoğunluğu (g/m³)

$$\text{Metot 1} \quad V_f = \frac{w_f / \rho_f}{\frac{w_r}{\rho_r} + w_f / \rho_f} \times 100$$

$$\text{Metot 2} \quad V_f = \frac{\text{Hesaplanan CPT} \times \text{elyaf hacmi}}{\text{ölçülü CPT}} \times 100$$

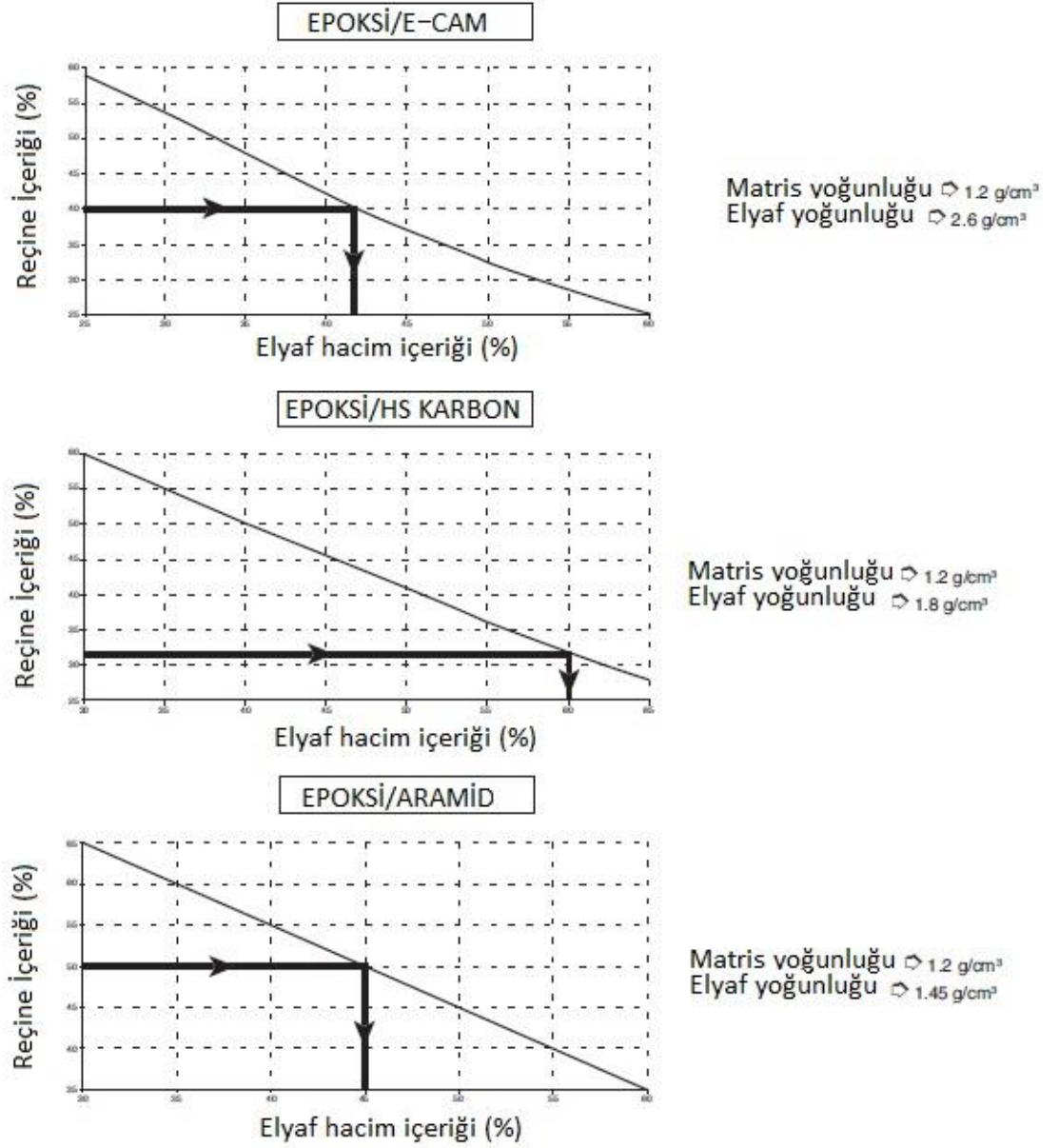
Kompozit Yoğunluğu

Parametreler

ρ_l: Akışkanın yoğunluğu (g/cm³) Arşimet prensibi

$$\rho_c = \frac{\text{kompozit ağırlığı (havadaki)}}{\text{kompozit ağırlığı (havadaki)} - \text{kompozit ağırlığı (akışkandaki)}} \times \rho_l$$

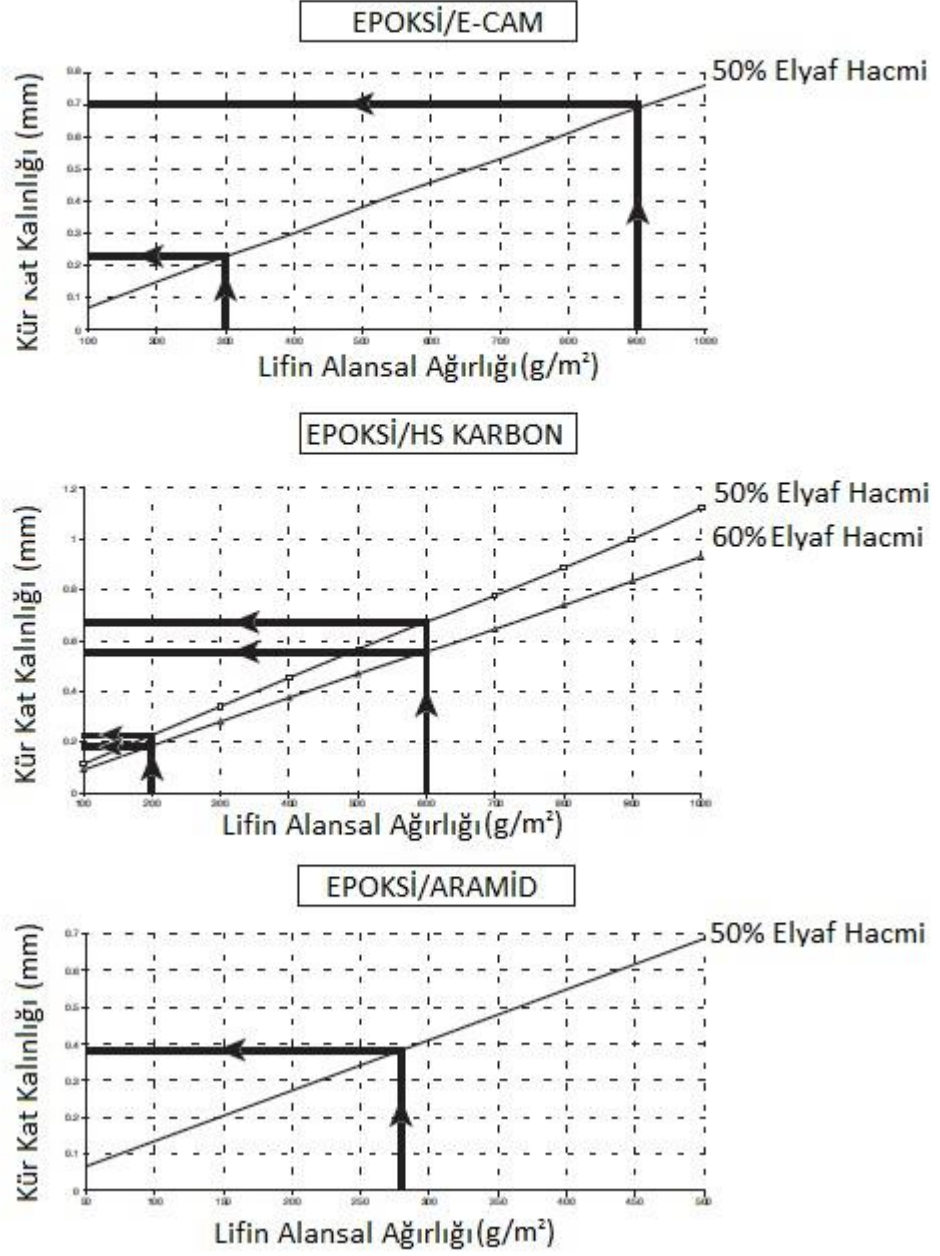
Elyaf Hacmi



Şekil 24: Epoksinin bir bileşenle oluşan matris ve elyafın yoğunluk değerleri

Prepreg reçine içeriğinin seçimi için gerekli fiber hacim / kürünü kat kalınlığını elde etmek için yukarıdaki diyagramdan faydalanılır. Bu sayede ideal bir lif ve matris seçilmesi sağlanır.

Kür Kat Kalınlığı



Şekil 25: Epoksinin bir bileşenle oluşan kürün kalınlığı ve lifin alansal ağırlığı

Yukarıdaki diyagramdan kürün kat kalınlığı ile lifin alansal ağırlığına oranından istenen optimum elyaf hacmine ulaşılır.

8. SONUÇ

Prepreg dışındaki kompozit imalat yöntemlerine nazaran reçine miktarı daha iyi ayarlanmasından dolayı ağırlık, kalınlık ve yüzey kalitesi daha yüksek üretimler elde edilir.

Kuru kumaşların kalıba serilmesine kıyasla prepreg serimi oldukça basittir. Diğer yöntemlerdeki reçine hazırlama sürecini ortadan kaldırdığından çalışma alanı temizliği ve işçi sağlığı açısından en ideal yöntemdir.

En önemli dezavantajları, tabakaların kesiminde malzeme firesinin oluşmasıdır. Dönel şekilli parçalar için kullanılan flaman sarma yönteminde, malzeme firesi ortadan kaldırılmıştır. Küçük bir uçağın tüm gövdesi veya kanadı bu yöntemle imal edilebilir. Büyük yolcu uçaklarının burun radar konisinin üretiminde flaman sarma yöntemi kullanılabilir. Ayrıca, örgü prepreg kullanımı ile iki tabaka yerine bir tabaka kesildiği için, malzeme firesi azalacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Bregenzer. Rene, Yeni Kullanım Alanları İçin Kompozit Malzemeler, Mühendis ve Makine, 2000.
- [2] Sönmez. Fazıl Önder, Otomotiv Sanayiinde Kompozit Malzeme Kullanımı, Mühendis ve Makine, Cilt 39, Sayı 465, Mayıs 2000.
- [3] B.C. Hoskin, and A.A. Baker, Composite Materials for Aircraft Structures, American Institute of Astronautics Inc, 1986
- [4] Kaya. Şahin, Kompozit Malzemeler ve Cesur Tasarımlar, Yakın Geleceğin Uçakları, Teknik Uygulama, Sayı 11, Ekim 1987.
- [6] Şimşek, Muhittin, Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri Mühendis ve Makine, Cilt 35, Sayı 414, Ekim 1994.
- [7] Eker, Ayşegül Akdoğan, Malzeme Ders Notları, Kasım 2018
- [8] M. Reyne, Technologie des composites, Hermes, 1990
- [9] C. Soutis, Carbon Fiber Reinforced Plastics in Aircraft Construction, Materials Science and Engineering Journal, Volume 412, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Barış OĞUZ

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli – 16.04.1986

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : barisoguz4@gmail.com

İletişim : 0533 602 58 07