Kompozit Malzemeler

Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler (PMK) en yaygın kullanılan mühendislik yapı malzemelerinden biri haline gelmiştir. Bu durum hem karbon, polietilen, aramid gibi yüksek performanslı fiberlerde sağlanan gelişmeler, hem de matris malzemesi olarak kullanılan polimerlerdeki gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur.

Polimerlerin mekanik özellikleri yapı malzemeleri olarak kullanmak için yeterli değildir. Tersinden okursak, geliştirilmeye duyulan ihtiyaç fazladır. Üretilen kompozitler polimerlerin kolay üretimi ile geliştirilmiş özellikleri avantajlarını bir arada sunmaktadır.

- Polimerlerin üretimi yüksek sıcaklık ve basınç gerektirmez. Dolayısıyla, karmaşık şekilli parçaların üretimi görece kolaydır.
- Düşük sıcaklık sayesinde takviye elemanlarında herhangi bir bozunma meydana gelmez.
- PMK üretimi için gerekli ekipmanlar basittir.

Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretimi

PMK parçalar çeşitli yöntemlerle üretilebilmektedir. Üretilecek parçanın kalitesine, istenilen özelliklere, miktarına ve maliyetine göre uygun yöntem seçilebilir.

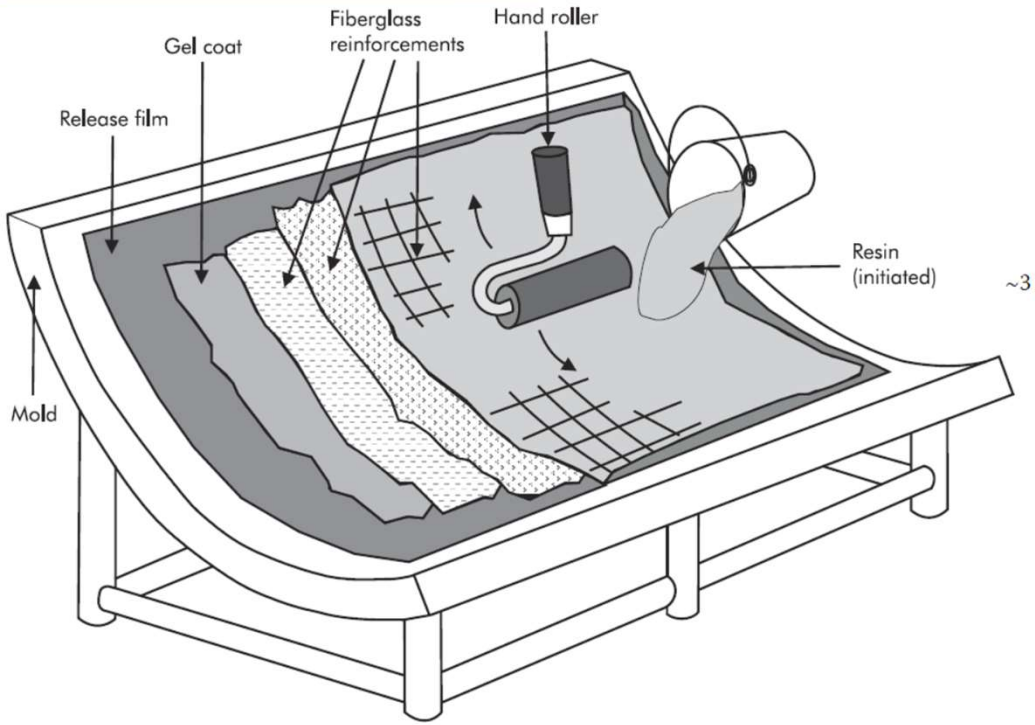
Sıklıkla kullanılan açık kalıplama yöntemleri:

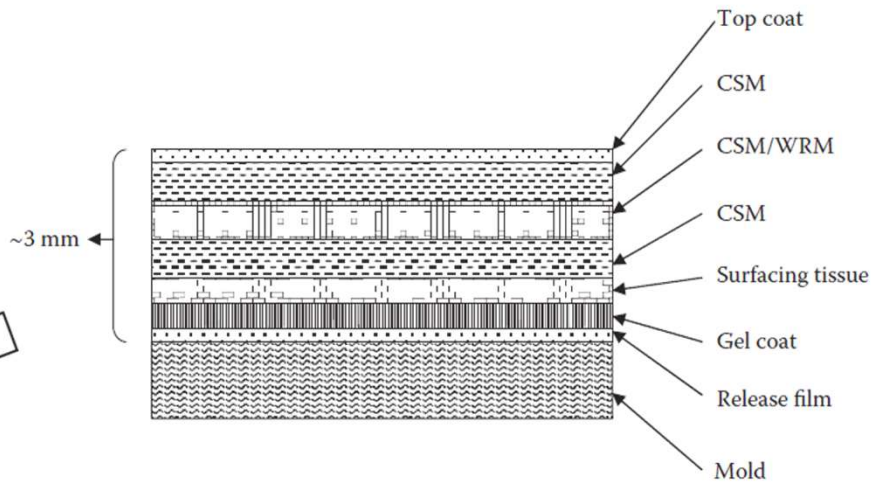
- Elle yatırma (kontakt kalıplama) yöntemi
- Püskürtme yöntemi
- Torba (otoklav) ile kalıplama yöntemi
- Elyaf sarma yöntemi

Kapalı kalıplama yöntemleri:

- Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi
- Profil çekme (pultruzyon) yöntemi
- Ektrüzyonla kalıplama yöntemi
- Hazır kalıplama yöntemleri – Bulk kalıplama (BMC), levha kalıplama (SMC)
- Enjeksiyonla kalıplama yöntemi
- Savurma kalıplama yöntem

Elle yatırma (hand lay-up) yöntemi





Elle yatırma yöntemi fiber takviyeli termoset kompozitleri bir kalıp içinde veya üzerinde el ile ya da elle kullanılan aletler ile üretmeye verilen addır. Parça üzerine yatırıldığı kalıbın şeklini aldığı için temas kalıplaması da denilmektedir.

Her tipte fiber takviyesi için kullanılabilse de genellikle cam fiber takviyeli kompozitlerin üretiminde kullanılır.

Oda sıcaklığının altında sıvı olan bütün termoset reçineler ile kullanılabilir. Polyesterler, epoksiler, bazı fenolikler, furanlar, silikonlar ve poliimidler bu koşulu sağlamaktadır.

Yalnızca kalıpla temas halinde olan yüzey pürüzsüz olarak üretilebilmektedir. Dolayısıyla pürüzsüz olması istenen yüzeye göre kalıp tasarlanmalıdır.

Elle yatırma (hand lay-up) yöntemi

Kalıplar

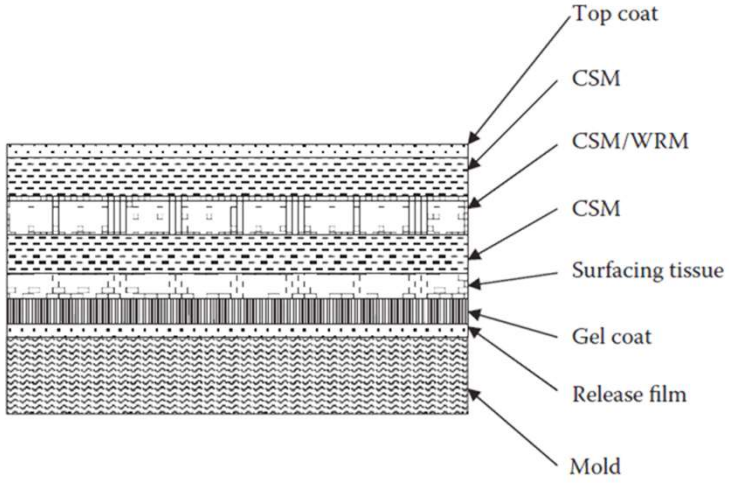
Alçı, ağaç, FRP ya da metal olabilir.

Kolaylıkla kırılabildiği için az sayıda üretim yapılacaksa alçı kalıplar tercih edilebilir.

Ağaç kalıplarda her işlem sonrası yüzey işlemi yapılmalıdır.

FRP ya da döküm ile üretilmiş epoksi kalıplar karmaşık şekilli parçaların üretimi için idealdir.

Eğer yüksek sıcaklık/basınç uygulamak gerekirse, metal kalıplar tercih edilmelidir.



Ayırıcı film/katman

Üretilen parçayı kalıptan kolayca ayırmak için kalıp ile parça arasına yerleştirilir. Düzgün yüzeyler ya da basit şekilli parçalar için ince bir polyester film (Mylar) kullanılabilir. Karmaşık parçalar için vaks ve polivinil alkol (PVA) kullanımı önerilmektedir. PVA suda çözünür ve %15 PVA içeren solüsyon sünger ile sürülerek uygulanır. Su buharlaştıktan sonra kalıp yüzeyi PVA ile kaplanmış olur.

Elle yatırma (hand lay-up) yöntemi

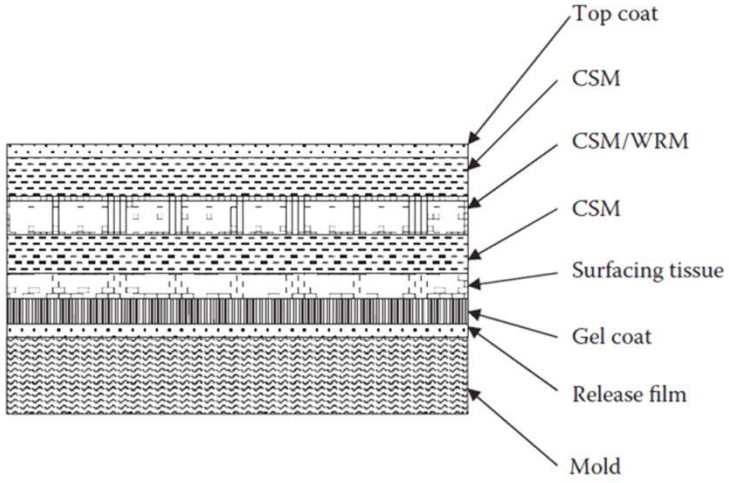
Jel kaplama

Yaklaşık 0.5 mm kalınlığında reçine katmanıdır. İyi yüzey özellikleri sağlar. Jel kaplama:

i. Renk, parlaklık ve/veya desen gibi yüzey özellikleri için,

ii. Fiber katmanını perdelemek için,

iii. Reçine oranı yüksek bir katman olması nedeniyle fiberleri su ve kimyasallarla etkileşimden korur.



Jel kaplamanın kalınlığını iyi kontrol etmek önemlidir. Eğer jel kaplama ince ise, fiberler görünebilir, eğer çok kalın ise gizli çatlak oluşabilir.

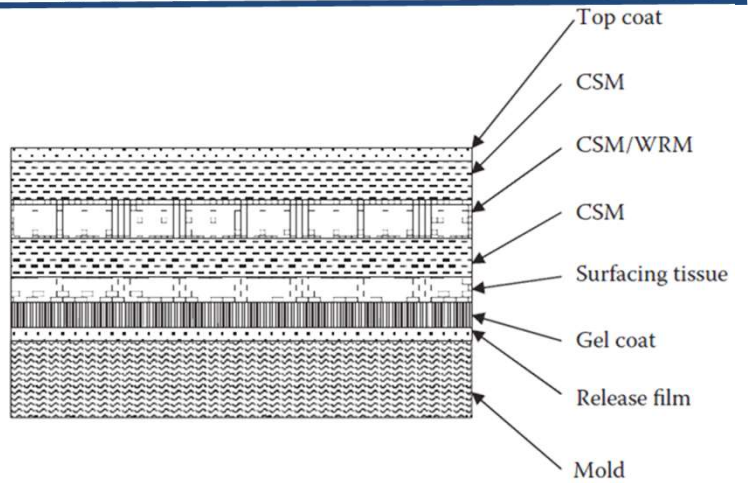
Yüzey keçe katmanı

Eğer kimyasal direnç vb ekstra özellik sağlamak için kalın reçine katmanı gerekiyorsa, jel kaplamadan sonra yüzey keçe katmanı uygulanır. Bu katmanda, çok ince fiberler keçe içerisinde bağlanmıştır. Keçe, reçinece zengin katmana çatlak direnci ve darbe dayanımı kazandırır.

Elle yatırma (hand lay-up) yöntemi

Katmanlar

Reçine ile ıslatılmış fiberlerin oluşturduğu ve parçaya gerekli kalınlığı veren parçalara katman (lamine) adı verilir. Genellikle kısa kesilmiş cam keçe (CSM) fiberler kullanılır. Bu katmanlar arasında tekstil şeklinde örülmüş fiber katmanları dayanımı arttırmak amacıyla yerleştirilebilir.



Laminenin ilk katmanı her zaman CSM'dir ve aşağıda belirtilen koşulları sağlamalıdır:

i. Fiberler homojen olarak dağılmalıdır ve kalıp yüzeyindeki girintilere tam olarak yerleşebilmelidir.
ii. Yatırma işlemi sırasında fiberler zarar görmemelidir.
iii. Fiber-reçine oranı bu aşamada hassasiyetle ayarlanmalıdır.

Bu katman uygulandıktan sonra, hava kabarcığı oluşmamasına dikkat edilerek hazırlanmış reçine yüzeye dökülür ve bir rulo yardımıyla yüzey kaplanır. Bu aşamada fiber-reçine oranının parçanın her yerinde aynı olmasına özen gösterilmelidir. Diğer katmanlar da benzeri şekilde yerleştirilebilir ancak pratikte 4 katmandan fazla olursa kürleme sırasındaki ekzotermik reaksiyonlar sonucu açığa çıkan ısının jel kaplamada çatlaklara yol açabileceği, katmanları ayrıştırabileceği ya da renk değişimlerine neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Elle yatırma (hand lay-up) yöntemi

Avantajları

Basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Pahalı ekipmanlara ihtiyaç duyulmamaktadır.

Pratik olarak ürün boyutunda herhangi bir limit yoktur. Bütün şekilleri üretmek mümkündür.

Depoları, kanalları, tekneleri üretmekte ve büyük yapıları tamir etmekte yaygın olarak kullanılmaktadır.

Limitleri

Emek yoğun bir işlemdir ve ürünlerin kalitesi üretimi yapan kişinin yeteneklerine bağlıdır.

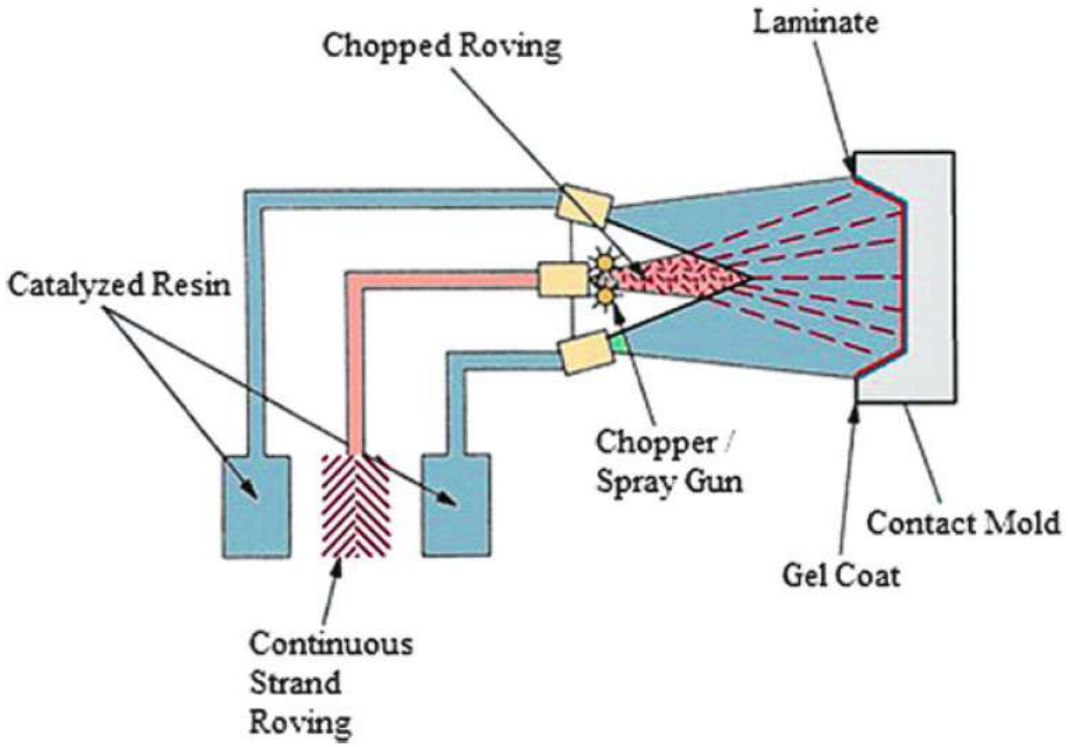
Her iki yüzeyi de düzgün yüzeyler üretmekte kullanılamaz.

Küçük parçaların yüksek sayıda üretilmesi için basınçlı kalıplama gibi yöntemlerle rekabet edemez.

Kalınlık kontrolü hassas değildir.

Fiber-reçine oranını ayarlamak oldukça zordur.

Püskürtme yöntemi



Elle yatırma yönteminin kısmen makineleşmiş halidir.
Kesilmiş fiberlerin ve reçinelerin açık kalıba aynı ayna uygulandığı bu yöntemde elle yatırma yöntemine göre daha karmaşık şekiller üretmek mümkündür.
Püskürtme yapıldıktan sonra hava kabarcıklarını gidermek ve fiberleri sıkılaştırmak amacı ile rulo kullanılarak manuel olarak işlem yapılır.

Bu yöntemde de nihai ürün özellikleri üreten kişinin yeteneklerine bağlıdır. Katman kompozisyonu ve kalınlığı fiber-reçine oranına göre değişmektedir. Maksimum %35 fiber içeren kompozit yapılar üretilebilmektedir.

Elle yatırma yönteminin büyük/karmaşık şekillerde düşük maliyetle üretim gibi avantajlarına ek olarak, püskürtme yönteminin bir avantajı da makineleşme sayesinde işçi maliyetlerinin düşmesi ve işçilerin polyester reçinede yer alan zehirli stiren gazından daha iyi korunmasıdır.

Elle yatırma (hand lay-up) yöntemi

Otoklav ile kalıplama yöntemi

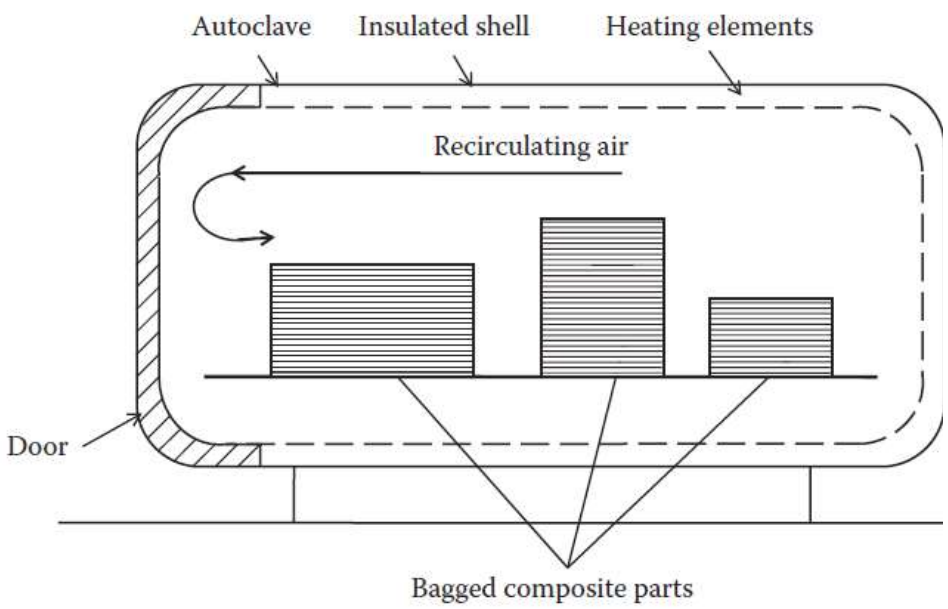
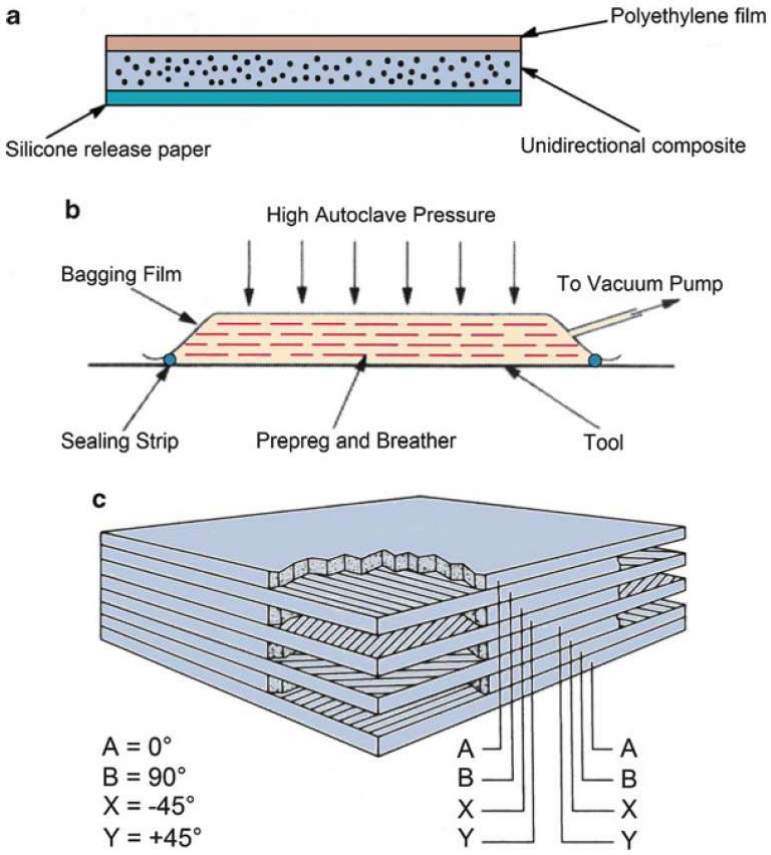


Fig. 5.6 A large autoclave that is used to make the wings of Boeing 787. An idea of the size of the autoclave can be had from the height of the person standing inside the autoclave (courtesy of ASC Process Systems Inc., Sylmar, California)

Otoklav yüksek basınç ve sıcaklık altında çalışan kapalı bir ortamdır. Eş zamanlı olarak uygulanan ısı ve basınç sayesinde **önceden hazırlanmış lamineler (prepreg)** konsolide olur, var ise sıkışmış hava giderilir ve termoset reçine kürlenir.

Bu işlem ile yüksek kaliteli, fiber oranı %65'lere kadar çıkabilen ürünler elde edilir.

Otoklav ile kalıplama yöntemi



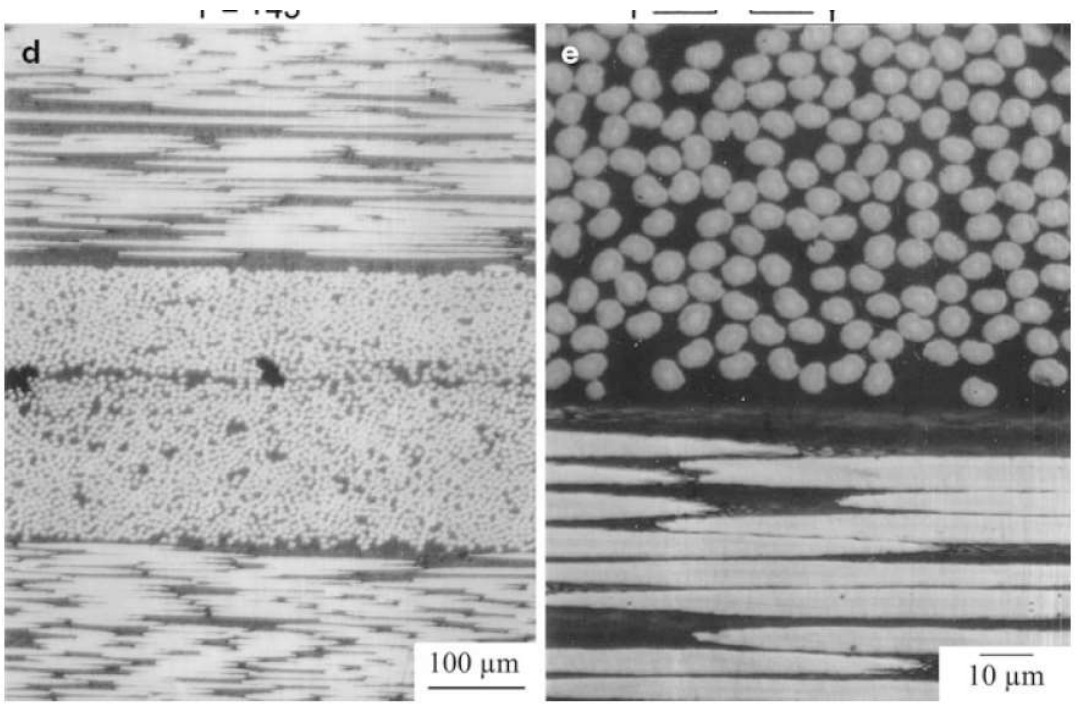
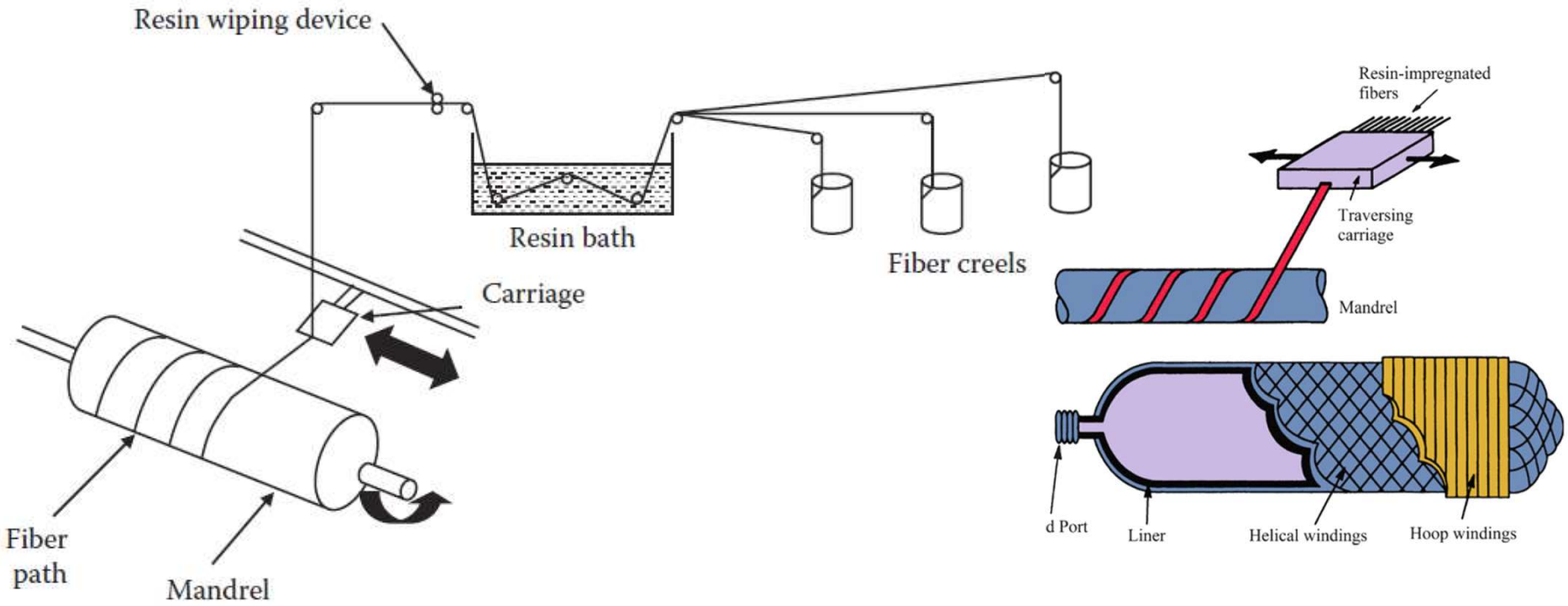


Fig. 5.5 (**a**) Schematic of a prepreg. (**b**) Setup in an autoclave to make a laminated composite. (**c**) Layup of plies with different fiber orientations. (**d**) Micrograph of carbon fiber/epoxy laminated composite made in an autoclave. (**e**) A higher magnification picture of (**e**). Note the different fiber orientation in different layers

Elyaf sarma yöntemi



Sürekli fiberlerin reçine içerisinden geçerek ayırıcı ile kaplanmış parça üzerine kaplandığı yarı otomatik kompozit üretim tekniğidir. Çok yüksek fiber oranına sahip, yüksek dayanımlı PMK yapılar üretilebilir.

Bu yöntemle pozitif eğime sahip silindirik, küresel, konik parçalar üretilebilmektedir. Eğer gerekiyorsa, negatif eğime sahip konkav parçaların üretimi için ise termoset kürleme işlemi yapılmadan önce basınç ile şekillendirme yapılabilir.

Elyaf sarma yöntemi

Takviye elemanları

Neredeyse bütün elyaf sarma işlemleri E-camı fiberler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu fiberler, kimyasal tankları, petrol tankları ve boru hatları gibi burkulmaya maruz kalmayan birçok uygulamada kullanılmaktadır. Eğer maruz kalınan yük burkulmaya yol açacak ise et kalınlığı arttırılabilir ya da rijitleştiriciler kullanılabilir.

Daha fazla rijitlik istenen uygulamalarda cam fiberlere göre spesifik modülleri daha yüksek olan aramid, polietilen ya da karbon fiberler kullanılabilir. Aramid ve polietilen fiberler spesifik dayanım ve rijitliğin önemli olduğu yüksek sıcaklığa maruz kalmayan uçak-uzay yapılarında kullanılırlar. Hem yüksek mekanik özellikleri hem de yüksek sıcaklık dayanımları ile karbon fiberler öne çıksa da, sarma sırasındaki fiber kırılmaları nedeniyle karbon fiber takviyeli kompozitlerin üretimi zordur.

Elyaf sarma yöntemi ile kompozit üretiminde fiberlerle ilgili dikkat edilmesi gereken konuların başında **fiber kırılması**, **zincir eğrisi oluşumu** ve **ıslatılabilirlik** gelmektedir.

Elyaf sarma yöntemi

Matris malzemeleri

Elyaf sarma işlemlerinin büyük çoğunluğu termoset reçineler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Polyester reçineler genellikle kimyasal tesis, petrol tankları ve borularda kullanılırken, vinil ester reçineler de kimyasal-dirençli uygulamalarda kullanılabilmektedir.

Epoksi reçineler, yüksek mekanik özellikleri, ısı dirençleri, fiberler ile sağladığı güçlü bağlanma ve kürleme sırasındaki düşük çekme oranları ile yüksek performans gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. Fiyatın ikincil planda olduğu uçak, uzay ve askeri uygulamalarda epoksi reçineler kullanılır.

Yüksek sıcaklık ya da alev dayanıklılığı gerektiren uygulamalarda poliimid reçineler kullanılabilmektedir.

Termosetlere ek olarak elyaf sarma yönteminde termoplastik reçineler de kullanılmaya başlanmıştır. Prensipte, bütün termoplastik reçineler bu yöntemle kullanıma uygundur. Genel olarak daldırmalı kaplama ile ya da toz kaplama ile kaplanmış fiberlerden oluşan besleme bantları ile üretim gerçekleştirilir. İşlemden sonra üretilen parça uygun sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutularak bağ kuvveti arttırılır.

Elyaf sarma yöntemi

Avantajlar

1. Yarı otomatik bir yöntem olması nedeniyle daha az çalışan ile üretilebilir.
2. Fiber oranı, fiberlerin geometrik dizilimi ve fiber gerdirme hassas bir şekilde kontrol edilerek yüksek dayanıma sahip ürünler tekrarlı bir şekilde üretilebilir.
3. Fiber oranı %70 gibi yüksek oranlara çıkabilmektedir.
4. Fiber yönelimleri kontrol edilerek anizotropik özelliklere sahip parçalar üretilebilir.
5. Görece düşük maliyetlerle büyük parçalar üretilebilmektedir. Bu yöntemle 15 m çapında depo tankları üretmek mümkündür.
6. Diğer birçok PMK üretim yöntemine göre malzeme israfı çok azdır.

Limitler

1. Karmaşık şekilli ya da hem içbükey hem dışbükey eğime sahip parçaları üretmek, çok küçük açık uçlu parçaları üretmek çok zordur/mümkün değildir.
2. Her ne kadar otoklav ile kalıplama kadar pahalı olmasa da önemli yatırım gerektiren bir prosestir.
3. Elyaf demetinin tabakalararası kayma dayanımı ve basma dayanımı düşüktür.
4. Eğer harici kalıplar ya da kalıplama cihazları kullanılmaz ise yüzey kalitesi kötüdür.
5. Üretilen parçanın kalitesi otoklavlı kalıplamaya göre daha düşüktür çünkü yapıdaki boşluklar daha fazladır.

Kaynaklar:

1- M. Balasubramanian, Composite Materials and Processing, CRC Press, 2013.
2- A. Brent Strong, Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications, SME, 2008.
3- K. K. Chawla, Composite Materials: Science and Engineerig, Springer, 2012.