
Textile Structural Preforms For Advanced Composite

Abdülkadir BİLİŞİK

Y.Doç.Dr.

Ege Üni. Mühendislik Fak. Tekstil Müh. Böl. İZMİR

In this paper, textile structural preforms and composites have been described and briefly explained. The existing technologies in this field and their products have been compared with each other in terms of processes and product performance.

It is pointed out that more research and developments have been concentrated on three dimensional weaving, knitting and braiding techniques especially in the last decades in the developed countries.

1. INTRODUCTION

In this paper three dimensional textile structural preforms and composites are described. Conventional and new textile structural preform processing techniques are briefly explained.

Conventional techniques have been used in composite industry since 1950 whereas unconventional techniques are quite new and have some advantages over former techniques in terms of manufacturing on processing side and final product performance.

All manufacturing techniques in this field have been compared with each other on the ground of processability, versatility, cost etc. The characteristic of final products from all techniques are also discussed with regard to the main structural parameters such as volume, fabric fraction, yarn interlacing, structural integrity and mechanical behaviour under the external forces such as stiffness, toughness, etc.

2. TEXTILE STRUCTURAL COMPOSITES

Textile structural composites are rigid textile-containing materials designed for structural or load-bearing applications. Presently, textile structural composites represent a small but technically significant segment of the rapidly expanding world of textile composites [Chou and Ko, 1989].

2.1. Composites

In general, a composite can be defined as a selected combination of dissimilar materials formed with a specific internal structure and with a specific external shape [Chou and Ko, 1989]. Composites are designed to ac-

hieve unique mechanical properties and superior performance characteristics not possible with any of the component materials alone. Quite often, the unique combinations of materials, structure and form found in composites lead to synergetic effects wherein the performance behaviour of the whole is much greater than the sum of the individual parts.

2.2. Textile Composites

Textile composites can be defined as the combinations of a resin system with a textile fibre, yarn or fabric system. They may be flexible or quite rigid. Examples of flexible textile composites are tyres, inflatable life rafts, and heavy duty conveyer belts, where the textile component provides tensile strength and dimensional stability, and wherein the rubber component provides a flexible impervious matrix. Only in combination do the two components meet the performance requirements.

Examples of inflexible or rigid textile composites are found in a variety of products referred to as fibre reinforced plastic (FRP). Fibre reinforced plastic products emerged as accepted alternatives to metal and wood applications by the fifties [Chou and Ko, 1989]. Since then, fibre reinforced plastics have become commonplace in interior and exterior panels of aeroplanes and in parts for automotive and spacecraft construction, in a variety of piping products, in indoor and outdoor furniture, in housing construction components, in industrial cabinets and casings, in containers, in sheathings, etc. Accordingly, the majority of rigid or inflexible textile composites made thus far have been in the form of surface panels and sheathings (the skin, rather than the load-bearing skeleton) for a variety of applications.

2.3. Textile Structural Composites

Structural materials are designed for primary and secondary load-bearing applications such as the basic framework for buildings, bridges, vehicles, etc. By definition, textile structural composites must have textile as well as resin, metal or ceramic components and must be capable of withstanding the loads to which the basic framework in buildings, bridges, vehicles, etc. are subjected. The vast majority of these composites are fibre reinforced plastics (FRP). However, a large proportion of the stresses on the basic framework of buildings, bridges and vehicles is related to the weight of the structure itself (i.e the weight of the framework and other components). In theory, if a lighter weight structure is designed, the basic load-bearing requirement can be substantially reduced [Chou and Ko, 1989].

Textile composites are superior to other materials (e.g. metals) on a strength-to-weight or stiffness-to-weight basis. With this reassurance, the potential for the

İleri Kompozitler İçin Ön Şekilli Yapısal Tekstiller

Abdülkadir BİLİŞİK

Y.Doç.Dr.

Ege Üni. Mühendislik Fak. Tekstil Müh. Böl. İZMİR

Bu yazıda tekstil önşekilli yapılar ve kompozitler tanımlanmış ve kısaca açıklanmıştır. Bu sahadaki mevcut teknolojiler ve bunların ürünleri, proses ve ürünlerinin performansı açısından birbirleri ile mukayese edilerek açıklanmışlardır.

Özellikle son on yıllarda gelişmiş ülkelerde üç boyutlu dokuma, örme ve saç örgü teknikleri üzerinde araştırma ve geliştirmelerin yoğunlaştırıldığına işaret edilmiştir.

1. GİRİŞ

Bu yazıda üç boyutlu önşekilli yapısal tekstiller ve bunların kompozit formları tanımlanmıştır. Bu yapıların üretiminde kullanılan geleneksel ve yeni teknikler kısaca açıklanmıştır.

Geleneksel teknikler bu yapıların üretiminde 1950'den bu yana kullanılmış olmakla birlikte, konvansiyonel olmayan teknikler yeni olup eski üretim tekniklerine göre üretim ve üretilen ürünün performansı açısından birçok avantajlara sahiptir.

Bu sahada şimdiye kadar ileri süren bütün üretim teknikleri, üretim etkinlikleri, çeşitlilikleri ve maliyeti açısından karşılaştırılmışlardır.

Üretilen yapıların özellikleri, ana yapısal parametreler, örneğin ipliklerin ürün içinde işgal ettikleri hacim, yapıların kompaktlığı, kesimeli ya da dik oluşları, ayrıca bazı mekanik özellikleri, eğilme, enerjiyi absorbe etme gibi özellikler açısından tartışılmıştır.

2. TEKSTİL YAPISAL KOMPOZİTLER

Tekstil yapısal kompozitler içeri-

sinde tekstil elemanı olan yapısal veya yük-taşıyan uygulamalar için dizayn edilmiş katı materyaldirler.

Bu yapılar, hızla büyüyen tekstil kompozitleri dünyasında ufak bir sınıfı oluşturmalarına karşın teknik özellikleri itibarı ile önemli bir yere sahiptirler.

2.1. Kompozitler

Genel olarak kompozitler spesifik iç yapısı ve dış biçimi olan ve birbirlerinden farklı materyallerin bir araya getirilmesi ile düzenlenmiş karma bir yapı olarak tanımlanabilirler. Kompozitler, kendilerini oluşturan her bir materyalin göstermeyeceği performansı gösterirler ve eşsiz mekanik özellikleri üzerinde oluşturmak için dizayn edilmişlerdir.

Kompozitlerin bünyelerinde bulundukları materyallerin, yapının ve biçimin uygun bir düzenlenmesi ile, birbirleri ile yardımlaşması sonucu olarak kompozitin performansı karakteri kendisini oluşturan birimlerden çok daha büyüktür.

2.2. Tekstil Kompozitleri

Tekstil kompozitleri tekstil lif, iplik ya da kumaşlarının yapıştırıcı bir sistem ile oluşan bileşimi olarak tanımlanabilir. Bunlar esnek ya da katı olabilirler. Esnek tekstil kompozitlerine örnek olarak taşıt lastikleri, şişirilebilen kurtarma teknele-ri ve taşıyıcı endüstriyel ağır yük taşıyıcıları verilebilir. Burada tekstil komponenti yapıya çekme dayanımı ve boyutsal düzgünlük sağlarken termo plastik kısmı esnek bir matris sağlar. Sadece bu iki eleman gerekli performansı biraraya geldiklerinde yerine getirirler.

Esnek olmayan katı tekstil kompozitlerine, örnek olarak çok çeşitli ürünler de, lif takviyeli plastiklerde rastlanabilir. 1950'lerde lif takviyeli plastikler metal ve tahtaya alternatif ve onların yerini alabilecek ürün olarak ortaya çıktılar.

O zamandan günümüze lif takviyeli plastikler yaygın olarak uçakların, otomobil ve uzay araçlarının kontrüksiyonunda iç ve dış elemanlar olarak, evlerin iç ve dış elemanları olarak, boru endüstrisinde, evlerin iç ve dış döşenimleri ile yapılarında, taşıyıcılarda, dış yüzeylerin korunması amacı ile kaplamalarında kullanılmaya gelmişlerdir.

Katı ya da esnek olmayan bu tekstil yapıların çoğunluğu yüzey kaplamaçılığının (yük taşımaktan ziyade dış yüzeyin yapımında) her sahasında kullanılmıştır.

2.3. Tekstil Yapısal Kompozitler

Yapısal materyaller birinci ve ikinci yük taşıma uygulamalarında örneğin binaların iskeletinde, köprü ve taşıtlarda kullanılmak amacı ile dizayn edilmişlerdir.

Tanımdan hareketle, tekstil yapısal kompozitler tekstil olduğu gibi yapıştırıcı (resin), metal ya da seramik matris kısmını da içermek ve binaların, köprülerin, taşıtların v.s. temel yapılarının maruz kaldıkları yüklere dayanım göstermek zorundadırlar. Bu kompozitlerin büyük çoğunluğunu lif takviyeli plastikler (FRP) oluşturur.

Bununla birlikte, binaların, köprülerin ve taşıtların temel yapılarındaki gerilmelerin büyüme bölümü ile yapının ağırlığı arasında orantılı

design of textile structural composites appears to be limitless, especially in vehicles where weight saving is essential.

2.4. Textile Composites Preform

The specific assemblage of unrigidized fibrous materials (yarns or fabrics) is known as the textile composite preform. Textile preforms vary considerably in terms of yarn orientation, entanglement, and geometry. Moreover, a textile preform architecture can vary from a simple planar sheet to a complex three dimensional shape.

3. MANUFACTURING TECHNIQUES FOR TEXTILE STRUCTURAL PREFORMS

In the design of textile structural composites, the selection of materials and constructional techniques must be matched with product performance, productivity, and cost requirements. Constructional techniques may vary from slow and expensive, hand-laid, batch manufacturing (one unit at a time) to very quick and cost effective Pultrusion processing. Textile structural composite products can be made or moulded to final shape or can be assembled or machined to specified contours and dimensions.

No single textile material, resin system, textile assemblage or constructional techniques can be considered optimal for all applications on grounds of,

- Cost
- Performance
- Availability
- Processability
- Machinability
- Joinability
- Maintainability

Manufacturing techniques of the textile structural composite preform can be divided into three main parts according to yarn place in the structure, yarn type (continuous or discontinuous) and the geometrical arrangements of yarns in the final products.

3.1. Three Dimensional Weaving

Three dimensional weaving can be described as a process in which two or more sets of yarns, warp, weft, and extra yarn sets (such as binder) are interlaced with each other to produce a solid structure with a selected cross-sectional geometry [Chou and Ko, 1989].

Three dimensional woven fabrics are produced principally by the multiple warp weaving method, which has long been used for the manufacturing of double cloth and triple cloths for bags, webbings and carpets. The bending and friction resulting from the shedding motion and beat-up motion inherent to this weaving process tend to damage the high modulus yarns for the three dimensional fabrics.

Three dimensional woven fabrics are constructed using different weaving methods. These include solid orthogonal panel, variable thickness solid panel, and angle interlock structures. These are all thick structures. Triangular, rectangular, and circular core structures are quite thin and relatively weak. There is no single weaving machine capable of producing all these woven structures. Another limitation of the multi-warp weaving method is the difficulty of introducing yarns in the bias direction, as in triaxial weaving.

3.2. Three Dimensional Orthogonal Nonwoven Process

Three dimensional orthogonal nonwoven processes interlock three sets of yarns at 90° to each other, with no interlacing inside the structure. The only interlacing occurs on the outer surface of the structure to maintain structural integrity. One set of (warp) yarns is oriented along the axis of the structure and the other sets of yarns are inserted in turn between the warp yarns perpendicular to the axis and to each other.

Three dimensional nonwoven fabrics are products of the late twentieth century, having been developed in the aerospace industry for specific composite applications.

3.3. Three Dimensional Knitting

Knitted fabrics are interlooped structures where the knitted loops are produced by the introduction of the knitting yarn in either the weft or warp, in the weft knitting or the warp knitting processes. An example of a weft knit is the near net shape structure knitted electronically by the pressure foot process, as shown in Figure 1.

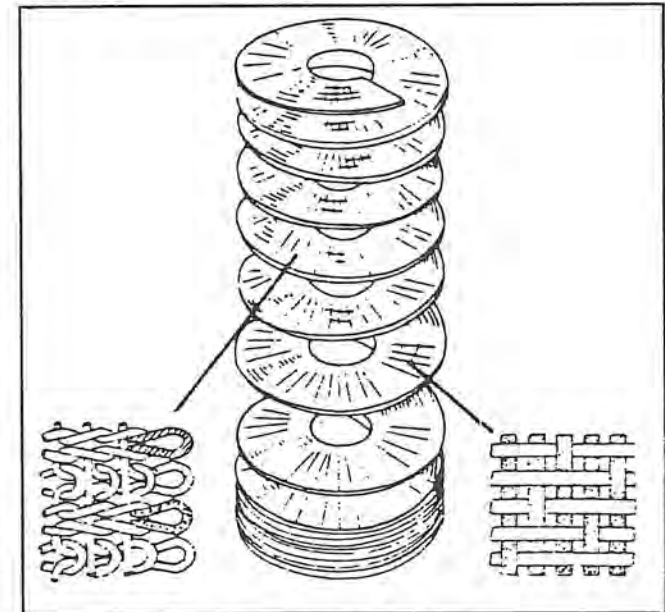


Figure 1. A weft knit [Chou and Ko, 1989].

Şekil 1. Bir atkılı örme yapısı [Chou ve Ko, 1989].

bir ilişki vardır.

Teorik olarak, şayet hafif yapılar yapılabilirse, yapıdan istenen yük taşıma kapasitesi önemli ölçüde düşürülebilir.

Tekstil kompozitler diğer materyallere göre (örneğin metal) dayanım-ağırlık veya sağlamlık-ağırlık açısından çok üstündürler. Buradan tekstil kompozitlerin dizayn potansiyellerinin sınırsız olduğu görülür. Özellikle hafif materyallerin kullanılmasının kaçınılmaz olduğu taşıt sahasında.

2.4. Tekstil Kompozitlerinde Öncekilli Yapılar

İplik ya da kumaş formunda liflerden oluşan esnek yapılar topluluğu tekstil kompozitlerinde kullanılan öncekilli yapılar olarak bilinir. Bu yapılar iplik yönü, kesişmesi ve geometrisi açısından hatırı sayılır bir değişkenlik gösterirler. Buna ek olarak, tekstil ön şekilli yapıların iç düzenleri de düzlemsel yüzeylerden üç boyutlu kompleks şekilli formlara kadar değişkenlik gösterirler.

3. YAPISAL TEKSTİL ÖNŞEKİLLİLERİN ÜRETİM TEKNİKLERİ

Tekstil yapısal kompozitlerin dizaynında, materyal seçimi ve konstrüksiyon tekniklerinin üretilen ürünün performansı, verimliliği ve mali istemler ile birlikte düşünülmesi zorunludur. Öncekillilerin yapım teknikleri yavaş ve pahalı elle serme, parça üretimden, çok hızlı ve ucuz, çekerek şekillendirmeye kadar değişim göstermektedir.

Tekstil yapısal kompozit ürünler doğrudan veya kalıplanarak son şekillerine getirilirler ya da istenen profillerde ve boyutlarda birleştirilir veya imal edilirler.

Hiç bir tekstil materyali tek olarak, hiç bir reçine sistemi, seçim yöntemi ve üretim tekniklerinin hiçbirisi aşağıdaki noktaların tümünü tüm uygulamalar için optimum değerde karşılayamazlar. Bunlar;

- Maliyet
- Performans
- Sağlanabilirlik
- Üretilebilirlik
- İşlenebilirlik
- Birleştirilebilirlik
- Bakım ve onarımdır.

Tekstil yapısal öncekilli kompozitler için üretim yöntemleri yapıdaki ipliğin işgal ettiği yer, iplik tipi (devamı, kesikli) ve ipliklerin yapı içindeki geometrik düzenlenmesi açısından üçe ayrılabilir.

3.1. Üç Boyutlu Dokuma

Üç boyutlu dokuma iki yada daha fazla iplik gruplarının -çözü, atkı, bağlayıcı- birlikte kesişmeler yaparak katı bir yapıyı istenen dış geometriye göre üretmesidir. Üç boyutlu dokunmuş kumaşlar uzun bir süreden beri çift katlı kumaş, çanta, dar kemer ve halı yapımında kullanılan üç katlı kumaş olarak, prensipte çok katlı çözgü dokuma yöntemi ile üretilirler. Üç boyutlu kumaş üretiminde özellikle kullanılan ağızlık açma ve vurma sistemlerinin eğme ve sürtünme şeklinde uyguladıkları kuvvetlerden dolayı bu işlem yüksek dayanımlı ipliklere zarar vermektedir.

Üç boyutlu yapılar bundan dolayı farklı dokuma teknikleri vasıtası ile üretilmektedir. Katı ve kesişmesiz panel, uzunluk boyunca değişken kesitli katı panel, kesişmeli yapılar bu yöntemle üretilmektedirler. Bu yapıların hepsi kalın olup, üçgen, dörtgen ve yuvarlak şekilli kare yapılar bunlara göre ince ve göreceli olarak zayıf kalırlar.

Bu yapıların hepsini üretecek tek bir dokuma tekniği mevcut değildir. Çok katlı çözgü dokuma yönteminin öbür limiti dokuya üç eksenli yapılarda olduğu gibi ipliklerin verev sokulamamasıdır.

3.2. Üç Boyutlu Dik Dokunmamış Yapı Tekniği

Üç boyutlu dik dokunmamış yapı prosesinde üç grup iplik aralarında 90° açı olacak şekilde dokunur-

lar. Dokunan yapının içinde kesişme olmayıp sadece dış yüzeyde yapısal bütünlüğü sağlayan kesişme vardır. Bir grup iplik (çözgü) yapının dokuma yönünde yer alırken öbür iki grup iplik karşılıklı olarak bu yapıya sokulurlar.

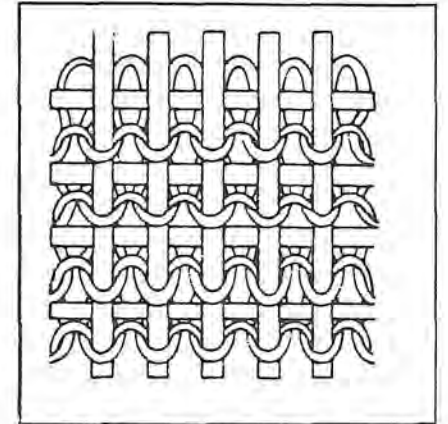
Üç boyutlu dokunmamış yapı uçak endüstrisinde kullanılan spesifik kompozit olarak 20'nci yüzyılın ürünü olarak gözönüne alınmaktadır.

3.3. Üç Boyutlu Örmek Tekniği

Örmek yapılar iç içe geçmiş ilmeklerin oluşturduğu bir yapıdır. Bu örgü ilmekleri örgü ipliğinin, çözgü ya da atkı yönünde, çözülü örmek ya da atkılı örmek prosesinde kullanılması ile üretilirler.

Atkılı örmeye örnek olarak Şekil 1'de gösterilen baskı ayaklı proses ile elektronik olarak yaklaşık net (ağ) şeklinde örgü yapılarının üretilmesi verilebilir.

Çökertilmiş bir formda bu öncekilli yapılar, Karbon-Karbon endüstrisinde uçakların fren tertibatında kullanılmaktadır. Eğer 0 ve 90° yönünde yapıya ek güçlendiriciler istenirse, Şekil 2'de gösterildiği gibi örgü ilmeklerinin içinden geçen ve lineer olarak uzanan iplikler yer alabilir.



Şekil 2. Örgü ilmekleri arasına yerleştirilmiş takviye ipliği. Atkılı örmek, çözgü yatırımı [Chou ve Ko, 1989] Figure 2. Reinforced yarn placed in the knitting loops. Weft knit, laid-in warp, laid-in weft [Chou and Ko, 1989]

In a collapsed form this preform has been used for carbon-carbon aircraft brakes. When additional reinforcement is needed in the 0° and 90° direction, linear laid-in yarns can be placed inside the knitting loops as shown in Figure 2.

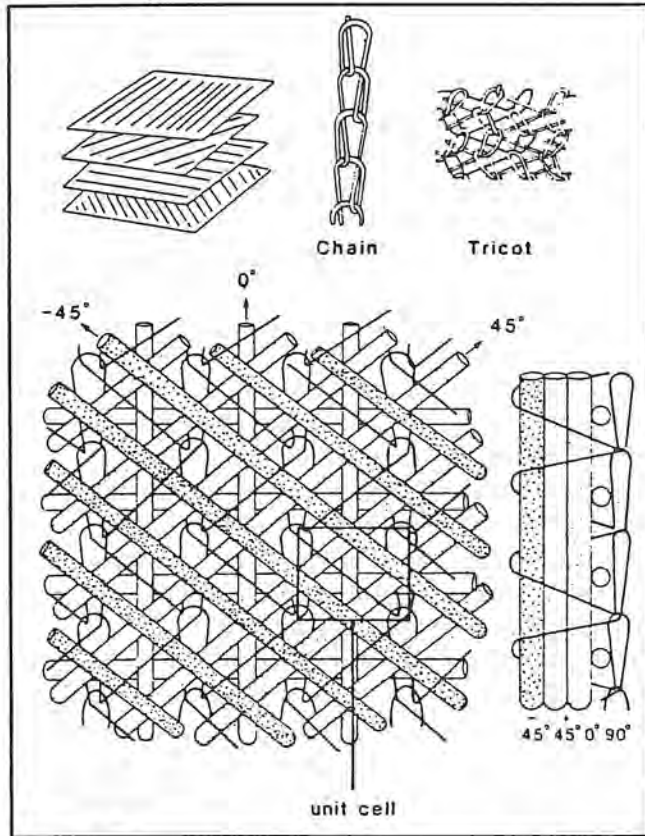


Figure 3. Multi axial warp knitted fabric systems [Chou and Ko, 1989].

Şekil 3. Çok eksenli çözgümlü örme kumaş sistemleri [Chou ve Ko, 1989].

The multiaxial warp knit three dimensional structures have undergone a great deal more development in recent years. From the structural geometry point of view, the multiaxial warp knitted fabric (MWK) systems consist of warp (0°), weft (90°) and bias ($\pm 45^\circ$) yarns held together by a chain or tricot stitch through the thickness of the fabric, as illustrated in figure 3.

The major distinctions of those fabrics are the linearity of the bias yarns; the number of axes; and the precision of the stitching process.

The latest development, as shown in Figure 4, has been made on MWK. It is called the LIBA system wherein six layers of linear yarns can be assembled in various stacking sequences and stitched together by knitting needles piercing through the yarn layers. This piercing action unavoidably damages the reinforcing fibre. The penetration of the knitting needles also permits the incorporation of a nonwoven as a surface layer

for the composite [Chou and Ko, 1989].

3.4. Three Dimensional Braiding

A three dimensional braided fabric is constructed by the intertwining of two or more yarn systems to form an integral structure. Serious consideration of three dimensional braids for composites started in the late 1960's in the search for multidirectional reinforced composites for aerospace applications. The mechanism of three dimensional braiding differs from traditional braiding methods only in the way the carriers are displaced to create the final braid geometry [Chou and Ko, 1989].

The three dimensional braiding system can produce thin and thick structures in a wide variety of complex shapes. Yarn orientation can be chosen and 0° longitudinal reinforcements can be added as desired.

3.5. Other Manufacturing Processes

Although several different processing techniques exist to produce three dimensional textile structural composites, some basic processing techniques are considered. These are Pultrusion, Filament Winding, Laminate and Chopped Mat Formation techniques.

3.5.1. Pultrusion

Pultrusion is a one step, continuous raw materials conversion system for reinforced plastics, which is the exact analogue of an extrusion machine for aluminium or thermoplastics. It takes a wide variety of reinforcement and resin matrix systems and continuously shapes and finish-cures them into structural profiles.

As materials of construction are pulled through a heated die, polymerisation of the resin occurs to continuously form a rigid, cured profile corresponding to the die orifice shape. The emerging end product is a constant cross-sectional shape of infinite length. Figure 5 illustrates the process schematically [Lee, 1987].

3.5.2 Filament Winding Process

This is a process by which continuous reinforcements in the form of rovings or tows (gathered strands of fibre) are wound over a rotating mandrel. Figures 6 schematically shows the process.

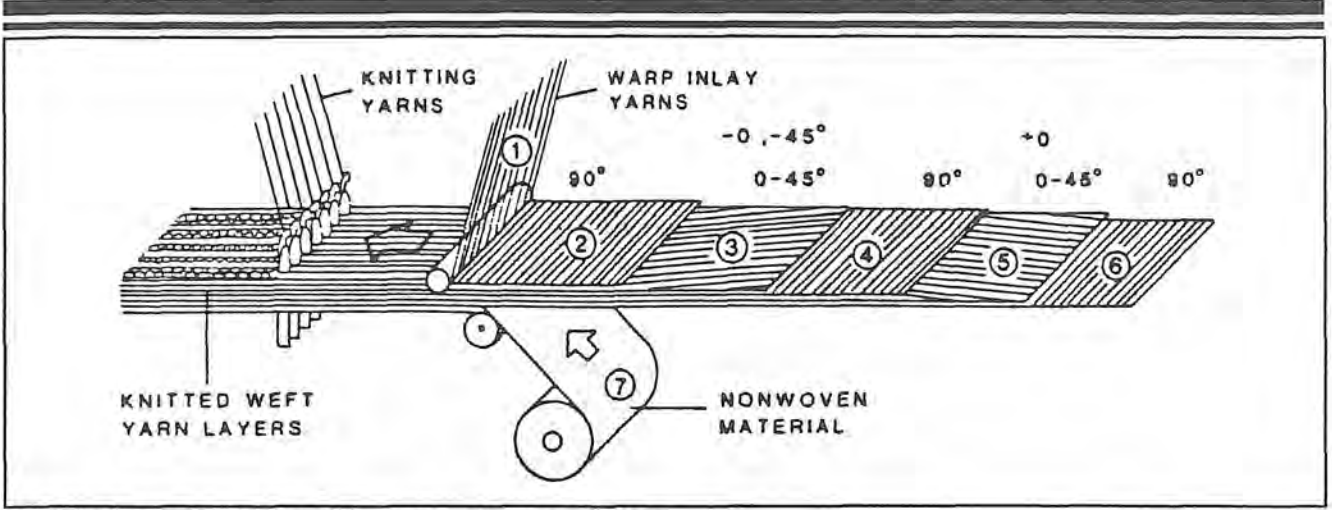
This process can be adapted to produce many structures such as cylinders, pipes, tubing, and closed end pressure vessels with spherical, conical and geodesic shapes [Lee, 1987].

3.5.3. Laminating Process

Laminar preforms are composed of two or more layers (laminae) of materials bonded together. The materials used in the laminating process exist in two forms. They are:

- Unidirectional aligned pre-impregnated tape parts.
- Woven or knitted pre-impregnated parts.

In unidirectional tape parts, all the yarns have a



Şekil 4. Çok eksenli LIBA çözgülu örme sistemi [Chou ve Ko, 1989]
Figure 4. Multi axial warp knit LIBA system [Chou and Ko, 1989]

Üç boyutlu çok eksenli çözgülu örme yapıları son yıllarda büyük gelişmelere uğramıştır. Yapı bakımından MWK (çok eksenli çözgülu örme) sistemleri, kumaş kalınlığına yer alan bir triko örme ilmek zinciri ile tutulan 0° çözgü 90° atkı ve $\pm 45^\circ$ ipliklerden Şekil 3'te görüldüğü gibi oluşur.

Bu yapıların belli başlı özelliği ve rev ipliklerin doğrusallığı, eksen sayısı ve örme işleminin hassaslığıdır.

Son gelişmeler, Şekil 4'de görüldüğü gibi, çok yönlü çözgülu örme üzerine gerçekleşmiştir. LIBA diye adlandırılan bu proseste altı kat iplik değişik yönlerde birbirleri ile düzenlenmiş ve bu düzene dik yönde dikilmişlerdir. Dikme işlemi her katta bulunan ipliklerin katmanları delmesi ile gerçekleşir. Bu delme işlemi kaçınılmaz olarak takviye ipliklerine zarar verir. Ancak bu işlem sonucu yapının her iki yüzeyine ek olarak nonwoven katların eklenmesine imkan tanımıştır.

3.4. Üç Boyutlu Saç Örgü, "Braiding" Tekniği

Üç boyutlu saç örgü kumaş iki ya da daha fazla iplik sisteminin birarada birbirleri ile sarılıp kompakt bir yapıya dönüştürülmesi ile üretilirler. Kompozit yapımında kullanılmak üzere saç örgü yapılar üzerine

ciddi çalışmalar 1960'ların sonlarına doğru uçaklarda kullanılmak amacı ile çok yönlü kuvvetlendirilmiş kompozit yapılar üzerine yapılan araştırmalardan hareketle başlamıştır.

Üç boyutlu saç örgünün işleyişi geleneksel saç örgü sisteminden farklılık gösterir. Bu farklılık sadece sonuç yapısal geometrinin elde edilmesi için taşıyıcılara yer verilmesinden kaynaklanmaktadır.

Üç boyutlu saç örgülu sistem çeşitli kompleks şekilli yapıları ince yada kalın formda üretebilir. İplik yönü seçilebilir ve üretim hattı doğrultusundaki yapıya isteğe bağlı ola-

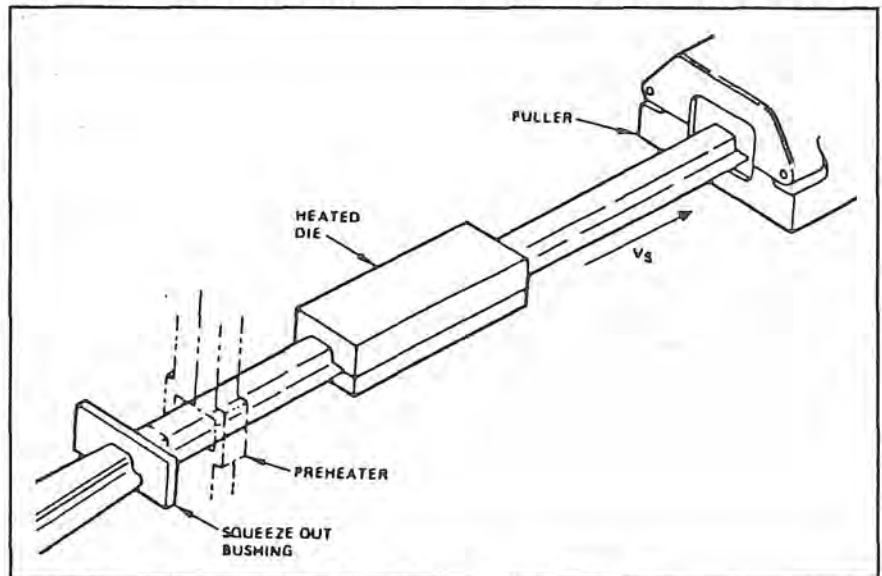
rak güçlendirici iplikler eklenebilir.

3.5. Öncekilli Yapıların Üretiminde Diğer Üretim Teknikleri

Üç boyutlu tekstil yapısal kompozitlerin üretiminde farklı teknikler olmasına rağmen, bazı temel üretim yöntemleri göz önüne alınmıştır. Bunlar çekerek şekillendirme, filament sarma, lamineye ve liflerin kesilerek şekil verildiği tekniklerdir.

3.5.1. Çekerek Şekillendirme

Çekerek şekillendirme tek adımlı, hammaddeyi güçlendirilmiş plastik yapıya dönüştüren ve alüminyum ile termoplastikler için kullanılan ekstrüzyon yönteminin benzeri



Şekil 5. Çekerek şekillendirme elemanları - şematik [Lee, 1987].
Figure 5. Elements of pultrusion-schematic [Lee, 1987]

high degree of alignment within each lamina, and the orientation of the laminae vary according to the engineering requirements.

This ensures an optimised level of mechanical performance of the final laminates.

In the woven pre-impregnated parts, there are two sets of yarns as weft and warp. These increase the integrity of the final laminar preform in both longitudinal and transverse directions.

Fabrication techniques vary according to the part size, curvature, thickness, ply complexity, tolerances, repeatability requirements and quality constraints.

There are three main routes available for manufacturing. These are:

- Hand lay-up
- Automated ply profiling
- Tape laying

Hand lay-up:

The individual lamina (ply) is profiled. Then it is cut to the required shape. Each lamina is subsequently built ply-by-ply into a laminate. The part is then placed on the tool and a range of ancillary materials are placed on the part to allow for volatile and excess resin extraction during cure. A pressure membrane (vacuum bag) is then placed over the part and it is ready for cure. The cure is determined by the matrix system and involves the simultaneous application of heat and pressure. This can be achieved in either an autoclave or oven depending on the amount of pressure required. After the cure the yarns and matrix are completely bound and the part is removed from the tool and undergoes deflashing and a non-destructive quality assessment. If it passes the quality control it is ready for painting and finishing.

Automated ply profiling:

A major proportion of the time involved in part fabrication by a hand lay-up technique is taken up by the ply profiling operation.

This method ensures that the cutting of each ply is carried out properly and speedily. Therefore time consuming problems and material wastage are eliminated. Several cutting devices are employed such as laser cutting, water jet cutting, reciprocating knife, ultrasonic knife and preset steel rule dies. The most widely used apparatus is the Gerber knife cutter.

After profiling, the plies are stacked by hand in the required sequence and are taken to an area to have the laminae hand-laid into a laminate. Apart from the profiling aspects the procedure is identical to the hand lay-up operation. Though this reduces the time taken to fabricate a part, laminate lay-up is still done by hand.

Tape laying:

The purpose of this equipment is both to profile the plies and to lay them into a laminate simultaneously.

Much effort has been expended on this sort of machine. Initially they could only deposit tape on a flat surface slowly, but currently it is possible to purchase machines that can lay tape directly to curved tools with up to 30° of inclinations with high deposition rates for the pre-pregs. This technique has its drawbacks in that it is limited in the level of inclinations with which it can deal [Woolstencraft, 1989].

3.5.4. Chopped Fibre Mat Making Process

This is a preform making technique in which fibrous rovings are fed through a chopper and ejected into a resin stream onto the mold. Also continuous filaments are used together with short fibres. The well known commercial name of this processing technique is called spray-up. Figure 7 illustrates schematically the spray-up process [Richardson, 1987].

The above is a brief description of each process for textile structural composite processing. Now each system will be discussed in terms of its product performance and processing advantages or disadvantages.

The chopped fibre mat technique is not suitable for structural composite applications because of fibre discontinuity, uncontrolled fibre orientation and lack of fibre integration or entanglement. Although the process is simple, cheap and high speed, it is messy and labour intensive [Chou and Ko, 1989; Richardson, 1987].

Pultrusion products are acceptable for structural components which are exposed to simple tension in their application.

To qualify for a more general use as structural components, this system must be positioned multi-directionally. It has limited potential for general load-bearing applications because of lack of filament integration or entanglement, which means vulnerability to splitting and delamination between filament layers [Chou and Ko, 1989].

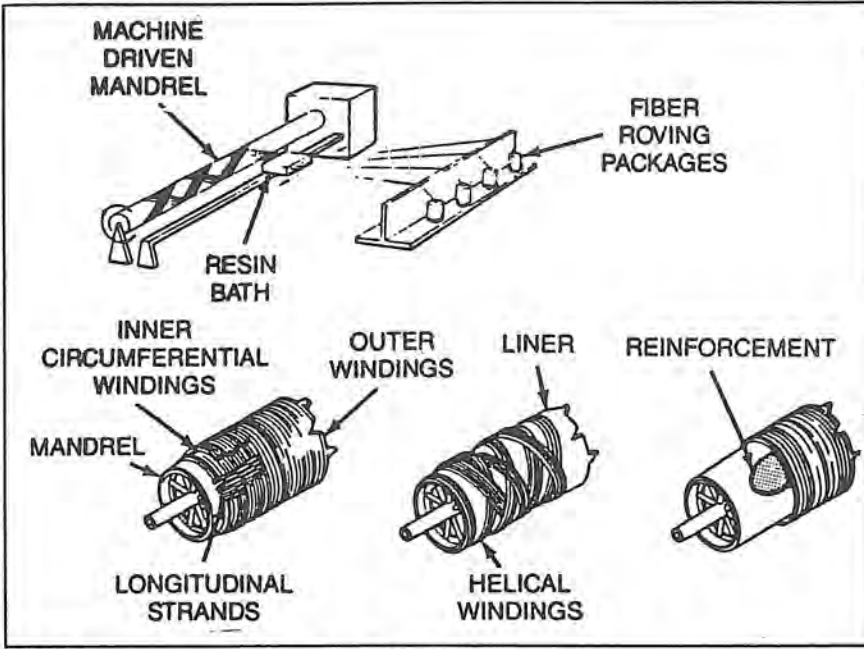
The Pultrusion process is;

- Continuous
- Not labour intensive
- Cheap
- Of high output
- Capable of producing different sorts of flat structure easily [Chou and Ko, 1989; Lee, 1987].

Filament winding techniques show similar characteristics in terms of product performance. The main constraint of filament wound product application is also the interlaminar strength between yarn layers.

The advantages of this technique are that:

- There is no yarn discontinuity over whole compo-



Şekil 6. Filament sarma işlemi [Lee, 1987].
Figure 6. Filament winding process [Lee, 1987].

olan bir sistemdir. Değişik güçlendiriciler (iplikler, filamentler) ve yapıştırıcı matrislerle çalışabilen, devamlı üretim yapabilen ve değişik şekillerin verilebileceği bir prosesdir.

Materyalin yapımı onun çekilerek ısıtılmış bir şekillendiriciden geçirilmesi esnasında üzerinde bulunan yapıştırıcının ısı etkisi ile polimerizasyonu sonucu katı bir şekle dönüştürülmesi ile oluşur. Kesit biçimi kalıbın çıkış ağzının biçimine karşılık gelir. Sonuç ürün sonsuz uzunlukta ve uzunluk boyunca sabit bir kesitte olup, Şekil 5 prosesi şematik olarak göstermektedir.

3.5.2. Filament Sarma Tekniği

Tekstil kompozit yapım prosesi olup istenen kalınlıktaki bükümsüz ya da "tow"ların (biraraya getirilmiş lif demetleri) dönen bir mandrelle sarılması ile elde edilen devamlı bir üretim tekniğidir. Şekil 6 şematik olarak bu prosesi göstermektedir. Bu proses daha ziyade silindirik, boru, tüp, basınçlı kapların üretiminde kullanılan bir yöntemdir ve küresel, konik ve jeodezik biçimler elde edilebilir.

3.5.3. Laminey Tekniği

Ön şekilli laminey, iki yada da-

ha fazla malzeme katlarının bir arada yapıştırılmasından oluşur.

Bu teknikte kullanılan malzeme iki şekilde olabilir.

Bunlar;

-Tek yönde doğrultulanmış ve önceden yapıştırıcı uygulanmış parça

-Dokunmuş ya da örülmüş ve önceden yapıştırıcı ile muamele görmüş parça.

Tek yönlü parçalar mühendislik uygulamalarına göre birbirlerine farklı doğrultularda yönlendirilerek hazırlanmış farklı yönlenmeli katmanlardan oluşur. Sonuç ürünün mekanik performansını bu düzenlemeler optimal düzeyde sağlar.

İkinci kategorideki parçalar ise, içerisinde çözü ve atkı ipliklerini oluşturdukları için sonuç ürünün performansı hem uzunluk ve hem de genişlik boyunca artar. Üretim teknikleri, parça boyutu, eğimi, kalınlığı, karmaşık kat yapısı, toleransı ve kullanılan her bir parçanın birbirine benzerliği ile kalite açılarından değişim gösterirler.

Üç ana üretim tekniği mevcuttur. Bunlar;

1.Elle serme

2.Otomatik parça kesme

3.Parça sermedir.

Elle Serme:

Her bir katın şekli çıkartılır. Daha sonra istenen şekle göre kesilir. Her bir kat üst üste getirilerek ana parça elde edilir. Bu parça daha sonra araç üzerine yerleştirilir ve üzerine bir dizi yardımcı madde konarak parça üzerindeki fazla yapıştırıcı uzaklaştırılır ve ısı işlem uygulanır. Pişirme için parça üzerine basınç membranı (basınç torbası) konur ve pişirmeye hazır hale getirilir. Pişirme matris sistemine bağlıdır ve ısı ile basıncın eşzamanlı uygulamasını içerir. Isıl işlem basınç altında otoklav ya da fırında yapılır. Isıl işlemden sonra ana parçayı oluşturan iplik ve matris (yapıştırıcı) birbirleri ile iyice tutturulmuş olur ve sonuç ürün tahrip etmeden uygulanan kalite kontrolünden geçirilir. Şayet ürün istenen kalitede ise boyanma ve bitim işlemlerine hazırdır.

Otomatik Parça Kesme:

Elle serme tekniği ile parça imalinde harcanan zamanın büyük bölümü her bir parçanın istenen şekle getirilmesinde uygulanan kesme işleminde harcanan zamandır.

Otomatik parça kesme tekniği her bir parçanın hızlı ve doğru olarak kesilmesini mümkün kılar. Dolayısı ile bu işlem için harcanan zaman kısaltılmış, kesme işlemindeki malzeme kaybı da minimuma indirilmiş olur.

Birçok kesme cihazı kullanılabilir, örneğin lazer kesici, su jeti kesici, hareketli kesici, ultrasonik kesici ve ağırlık esash çelik kesiciler gibi. En yaygın kullanılan Gerber kesicidir.

Kesmeden sonra katlar istenen sıradaki elle yerleştirilir ve elle laminey yapılan yere götürülür.

Kesme işleminin dışındaki proses elle serme tekniğindeki gibidir. Otomatik parça kesme her bir parçanın üretimi için harcanan zama-

ment area (without joints) and yarn can be oriented easily in the load direction

- It is a continuous and simple step process
- Larger structures can be built
- High fibre volumes are obtainable
- Costs are lower for large numbers of components produced
- Costs are relatively low for material (by using the dry yarn instead of pre-preg forms).

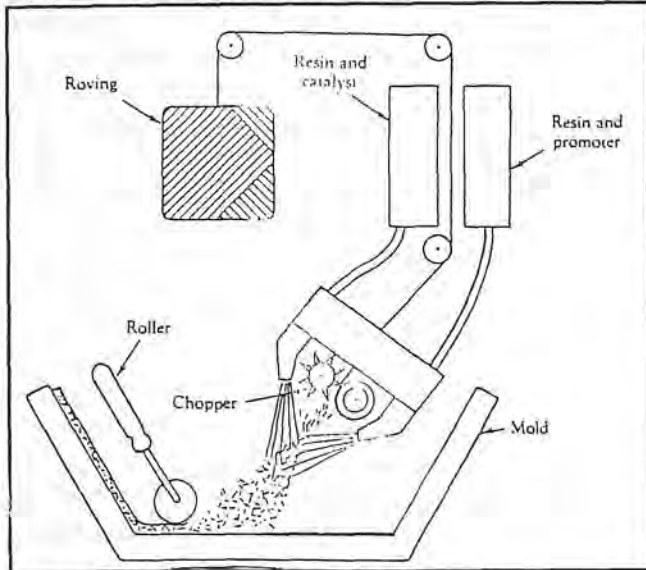


Figure 7. Spray-up process [Honcex, 1983]

Şekil 7. Spreyleme işlemi [Honcex, 1983]

The main disadvantages of filament winding processes are that;

- Process needs mandrel, which sometimes can be complex or expensive
- Shape of component must be such as to permit mandrel removal
- Yarn path is not changed easily
- Final product has a poor external surface [Chou and Ko, 1989; Lee, 1987].

The laminated products represented by a variety of simple unidirectional tape or fabric (woven or knitted forms) are especially suitable for load-bearing panels in flat form. The main features of simple fabric systems are yarn continuity, planar yarn orientation and integration. The major vulnerability of simple fabric laminate systems is delamination between layers of the fabrics.

The main problems of laminating processes are;

- They are labour intensive, quality may be variable and dependent on the skill of the operator.
- They are time consuming and discontinuous [Chou and Ko, 1989; Richardson, 1987; Hancox, 1983].

The woven, orthogonal nonwoven, knitted and braided processing techniques, which are called advanced

structural systems, are totally integrated and the most reliable for load-bearing applications because of yarn continuity and because for controlled multi-dimensional yarn orientation. Consequently, the risk of splitting and delamination is eliminated.

Three dimensional woven preforms are:

- Stiff
- Have high structural integrity (because of yarn interlacing)
- Have the maximum fibre volume fraction (V_f), between 58 and 68 %

-Have a low level of conformability

With three dimensional weaving:

- There is no limitation to produce wider preforms (over 60 inches)

-It is difficult to insert the yarn into the woven preform in the bias ($\pm 40^\circ$) direction.

Three dimensional orthogonal nonwoven preforms are:

- Stiff
- Have a maximum fibre volume fraction (V_f) of 58 %
- Have a low level of conformability

The three dimensional orthogonal nonwoven process is the most direct method to produce thick composite preforms but at a narrower width.

Three dimensional knitted preforms:

- Have lower structural integrity
- Have a higher level of conformability
- Are quite suitable for molded composites
- Have a maximum fibre volume fraction (V_f) of 58-68 %

With three dimensional knitting:

- It is easier to produce a wider preform but the thickness of it is limited
- Allows a wide range of possibilities to insert yarns into the preform at bias ($\pm 45^\circ$) as well as ($\pm 20^\circ$) and ($\pm 60^\circ$) directions.

Three dimensional braided preform is:

- Tough
- Of low stiffness
- Of high conformability
- Of maximum fibre volume fraction (V_f) of 68 %
- Of yarn orientation varying in the braided preform between 10° and 80°

Three dimensional braiding is:

- Capable of continuous and part manufacturing
- A fully automated process
- Capable of producing different cross-sectional shapes of Cartesian preform

-Suitable for producing solid near-net-shapes [Chou and Ko, 1989; Lawrance, 1983; Ko, 1988; Florentine, 1985; İbid, 1982; Ko, 1985; Pastore, 1988].

nı düşürmesine karşın, hala lamineytle serme işlemi elle yapılmaktadır.

Parça Serme:

Bu üretim tekniğinin ana amacı hem kesmenin ve hem de kesilen parçaların üst üste konulmasının birlikte sağlanmasıdır. Bu makinanın geliştirilmesi üzerine büyük çabalar sarfedilmiştir.

Başlangıçta parçayı ancak düz bir yüzeye yavaş olarak serbiliyorlardı.

Bu makina parçaları düz yere serilebileceği gibi 30°'lik eğime kadar olan yüzlere de serilebilmektedir.

Bu teknik hala parçaların eğimli yüzeylere serilmesi açısından sınırlıdır.

3.5.4. Liflerin Kesilerek Şekil Verildiği Üretim Tekniği

Tekstil yapısal ön şekil yapma tekniği olup bu tekniğe göre lif fitilleri devamlı olarak bir kesiciye beslenir. Kesilen lifler yapıstırıcı bir akışkana püskürtülerek kalınlanır. Kesilen liflere ayrıca devamlı filament iplikler de beslenebilir. Bu prosesin piyasada bilinen adı spreyleme tekniğidir. Şekil 7 şematik olarak spreyleme tekniği göstermektedir.

Yukarıda, tekstil yapısal kompozitler yapımı için uygulanan her bir proses kısaca açıklanmıştır. Şimdi her bir üretim sistemi, ürün performansı ve işlem tekniklerinin avantaj ve dezavantajları açısından tartışılacaktır.

Liflerin kesilerek şekil verildiği bu teknik, tekstil yapısal kompozit yapımı için liflerdeki kesinti, kontrol edilemeyen lif doğrultusu ve lifler arası integre bir yapının ve dolaşmanın olmaması nedeni ile uygun değildir.

Proses basit, ucuz ve hızlı olmasına karşın, işçilik yoğun ve kirlidir.

Çekerek şekillendirme tekniği, basit çekmeye maruz sahalarda kullanılacak tekstil yapısal kompozitler için uygundur. Genel amaçlı kullanıma uygun olması için, bu siste-

min ürettiği yapının farklı yönlerden takviye edilmesi gerekir.

Genel anlamı yük taşıyıcı olarak iplik katları arasında bir entegrasyon olmadığı için sınırlıdır. Nedeni ise lif bütünlüğü veya dolaşması olmadığından yük altında katlar arasında ayrılma ve kopmanın olabileceğidir.

Çekerek şekillendirme prosesi, devamlı, işçiliğinin yoğun, ucuz, üretim hızı yüksek ve kolayca düz kesitli şekillerin üretilbildiği bir tekniktir.

Filament sarma tekniği ürünün gösterdiği performans açısından benzer özellikler gösterirler. Bu tekniğin ürettiği ürünlerdeki ana sorun yine iplik katları arasındaki mukavemettir.

Bu tekniğin avantajları:

-Üretilen parçanın herhangi bir yerinde (eksiz) devamsızlık yoktur. ve iplik yük yönüne göre yönlendirilebilir.

-Basit ve devamlı bir yöntemdir.

-Büyük boyutlardaki yapılar üretilir.

-İpliklerin yapı içinde yer aldığı hacim isteğe göre ayarlanabilir.

-Çok sayıda parça imalinde maliyet düşüktür.

-Önceden hazırlanmış formlar yerine kuru formda iplik kullanımından dolayı göreceli olarak ham madde maliyeti düşüktür.

Bu prosesin ana dezavantajları

-Prosesin mandrele ihtiyacı olup bazen parça şekline uygun mandrel karmaşık ve pahalı olabilmektedir.

-Üretilen komponentin, mandrelin içinden uzaklaştırılmasına uygun biçimde olması gerekir.

-İplik yolunun değiştirilmesi kolay olmamaktadır.

-Sonuç ürünün dış yüzeyi pürüzlüdür.

Lamineytle ürünler ister tek yönde doğrultulanmış parçalardan ister dokunmuş ya da örülmüş parçalardan oluşsun, özellikle yük taşıyan düz kesitli panel yapımına uy-

gunluk gösterirler. Kumaş parça kullanımının ana özelliği ipliklerin yapı içinde devamlı, düzlemsel doğrultulanmış ve kompakt olmasıdır. Basit lamineytle sisteminin temel problemi, katların yük altında birbirlerinden ayrılmasıdır.

Bu tekniğin ana sorunları:

-İşçilik yoğun olması ve ürün kalitesinin parçadan parçaya, çalışanın yeteneğine göre değişiklik göstermesidir.

-Devamlı olmayan yavaş bir üretim şeklidir.

Dokuma, dik dokuma, örme ve saç örgü üretim teknikleri, ileri yapısal sistem olarak adlandırılırlar. İplik devamlılığı, ipliklerin çok yönde doğrultulanması özellikleri itibarı ile yük taşıyıcı olarak güvenilir bir şekilde kullanılabilirler. Dolayısıyla ile yapının ayrılması ve katların sökülmesi gibi sorunlar bu teknikle ortadan kaldırılmıştır.

Üç boyutlu dokunmuş ön şekiller, sertliğe sahip ipliklerin kesişmesinden dolayı,

-Yüksek bir yapısal bütünlük içerir,

-İpliğin yapı içinde işgal ettiği hacmin %58-68 arasında oluşturulabildiği,

-Şekillendirilmesi düşük olan yapılarıdır.

Üç boyutlu dokuma prosesi ile

-Ön şekillilerin üretiminde genişlik açısından bir sınır yoktur (genel olarak çift katlı kumaş üretiminde kullanılan teknik için 160 cm).

-± 45°'de dokunan yapıya iplik sokulması zordur.

Üç boyutlu dik dokunmuş ön şekilliler

-Serttirler.

-Yapı içindeki iplik hacmi maksimum %58'dir.

-Şekil verilmesi düşük yapılarıdır.

Üç boyutlu dik dokuma prosesi, kompozitler için önşekillilerin üretiminde istenen kalınlıkta fakat dar ender dokuyabilen direkt bir teknik-

On the basis of the qualitative assessment it is difficult, if not impossible, to identify a uniquely superior three dimensional system, but it is more convenient to make an assessment on the specific matrix system to be used and most importantly by the end use requirements.

REFERENCES

- BİLİŞİK ABDULKADİR, "A three dimensional weaving and braiding", PhD thesis, Leeds University, U.K, June, 1991.
- CHOU T-W and KO, F., "Textile structural composites", Editors: Elsevier science publishers, Amsterdam and Newyork, 1989.
- FLORENTINE R.A., et all, "Magnetically woven composite I beam", 40th annual conference, The society of the plastics industry inc., Jan. 28-Feb. 1., 1985
- HANCOX N.L., "High performance composites with resin matrices", Handbook of composites, vol.4, Elsevier science publisher, 1983.
- IBID., 37th annual conference, Jan. 11-15, 1982
- KO, K., "Development of high damage tolerant, net shape composites through textile structural design", 5 th international con. ICCM-V proceedings, San diego, July, 1985.
- KO K., "Brading", Engineered materials handbook, volume 1, Composite, 1988.
- LAWRENCE, E, et all., "Multidirectional Carbon-Carbon Composites", Handbook of composites, Elsevier science publishers, 1983.
- LEE S.M., Reference book for composite technology, vol.2, Technomic publishing company, Lancaster, Pennsylvania, U.S.A, 1987.
- PASTORE C.M., "A processing science model for three dimensional braiding", PhD thesis, Drexel University, Philadelphia, March 1988.
- RICHARDSON T., "Composites; A design guide", Industrial press inc., 1987.
- WOOLSTENCRAFT D., "Advanced composite fabrication", Editors: Elsevier science publishers, London, 1989.

tir.

Üç boyutlu örme önşekilliler

-Yapısal kompaktlığı düşük,

-Şekillendirilmesi yüksek,

-Dolayısı ile kalıplanmaya uygun,

-Yapı içindeki iplik hacmi maksimum %58-68 olan malzemelerdir.

Üç boyutlu örme prosesinde

-Sınırlı kalınlıkta geniş önşekillilerin üretimi kolayca gerçekleştirilebilir.

-İpliklerin yapısal önşekillilere $\pm 45^\circ$, $\pm 20^\circ$ ve $\pm 60^\circ$ açılardan sokulması mümkündür.

Üç boyutlu saç örgü önşekilliler

-Sağlamdırlar.

-Düşük rijitliktedirler.

-Şekillendirilebilirler.

-Yapı içindeki iplik hacmi maksimum %68'dir.

-İpliklerin saç örgülü yapı içindeki doğrultuları 10° - 80° arasında değişebilir.

Üç boyutlu saç örgü prosesi:

-Devamlıdır ve parça üretimine uygundur.

-Tamamı ile otomatize edilmiş pir prosestir.

-Farklı biçimli kesitlerde kartezyen önşekillilerin üretimine uygundur.

-Kati ve yaklaşık-net şekillerin üretimine uygun bir tekniktir.

Kalite açısından değerlendirildiğinde, üç boyutlu üretim tekniğinden hangisi daha iyidir demek oldukça güçtür, ancak her tekniğin ürettiği ürünün ne kadar iyi olduğunun kullanılacak yere ve kullanılan matrise göre değerlendirilmesi daha doğru olur.



Abdülkadir BİLİŞİK

1959'da Birecik/Şanlı Urfa'da doğumlu. 1982'de Bursa Uludağ Üniversitesi Makina Fakültesi Tekstil Bölümü'nden Tekstil Mühendisi olarak mezun oldu. 1982-83'de SAKO ve VELİÇ A.Ş.'de kısım şefi olarak çalıştı. 1986-1988'te aynı yerde doktora eğitiminin yeterlilik kısmı da dahil tamamladıktan sonra yarıda bırakıp, YÖK kursu ile 1988-91'de İngiltere/Leeds Üniversitesi tekstil bölümünde doktora eğitimini tamamladı. 1985'den beri Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmakta olup evli ve bir kız babasıdır.