



ALÜMİNYUM, KAĞIT VE CAM ELYAF PETEK YAPILI KOMPOZİTLERİN ÜRETİM TEKNİKLERİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(*PRODUCTION TECHNICS OF HONEYCOMB FROM ALUMINUM, GLASS FIBER AND PAPER COMPOSITES AND INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES*)

Nurettin ARSLAN*, Mete Onur KAMAN*

ÖZET/ABSTRACT

Petekli kompozit yapılar, özellikle çarpma sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği yüksek mekanik dayanım gerektiren konstrüksiyonlarda kullanılır. Oldukça hafif sistemler elde etmek için, sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasına bu petekli yapılar yerleştirilir. Tabakalar arasına petekli yapının yerleştirilmesi, yapının atalet momentinin ve eğilme dayanımının artmasını sağlar. Ondüle edilmiş plakaların birleştirilmesi sonucu elde edilen petek yapılı hücreler, sandviç yapıların iç (dolgu) malzemesini oluşturur. Bu çalışmada, alüminyum folyo (ticari alüminyum, 3000 serisi alüminyum alaşımı), polyester reçine emdirilmiş kağıt ve cam elyaf kullanılmıştır. Deneyler sonucu petek yapılı kompozitlerin, maksimum dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorbe özellikleri basma ve çarpma yükleri altında elde edilmiştir. Petek yapılı hücrelerin farklı hücre boyutu ve malzeme seçimi birlikte ele alınarak, optimum değerler bulunmuştur. Özellikle uzay, otomotiv ve savunma sanayinde pratik uygulamalar için çeşitli ipuçları sunulmuştur.

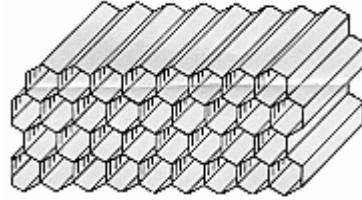
Honeycomb composite materials are used in the high strength mechanical structures especially in the case of energy absorption that is revealed after the impact of the parts. They are being inserted to laminates of the inner and the outer wall sandwich structures in order to obtain fairly lighter systems. Substituting of the honeycombs between laminae is lead to increase the moment of inertia and resulting increase to the bending strength of the structure. They are generally used for internal material that is obtained by combining corrugated plates in sandwich constructions. In this work, aluminium folio materials (commercial grade aluminium or 3000 series aluminium alloy) and polyester sucked glass fiber and paper are used. After testing, the maximum strengths, fracture and deformations values and the energy absorption ability are obtained under compression and crush loads . The optimisation will be obtained together with different choice of material and size of the honeycomb cells. It is presented various clues for the practical applications especially in aerospace, automotive and defence industry.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Petekli kompozit yapı, Alüminyum, Cam elyaf
Honeycomb composite structure, Aluminium, Glass fiber

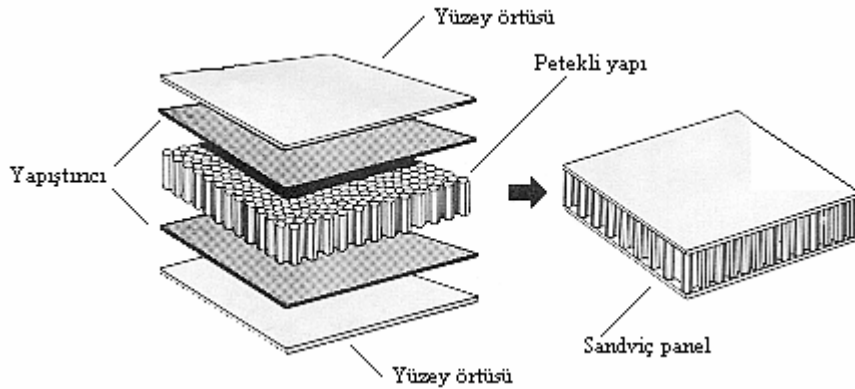
1. GİRİŞ

Kompozit imalatında kullanılan petekli yapı, çok ince tabakaların şekillendirilmesi sonucu elde edilen hücrelerin birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu tür yapılar bal arılarının doğal olarak yaptıkları bal petekleri ile birebir benzerlik göstermektedir. Petekli kompozit yapılar yaklaşık olarak 1940 yılından sonra havacılık sektöründe, uçakların gövde panellerinde kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 1. Altıgen hücreli petekli yapı

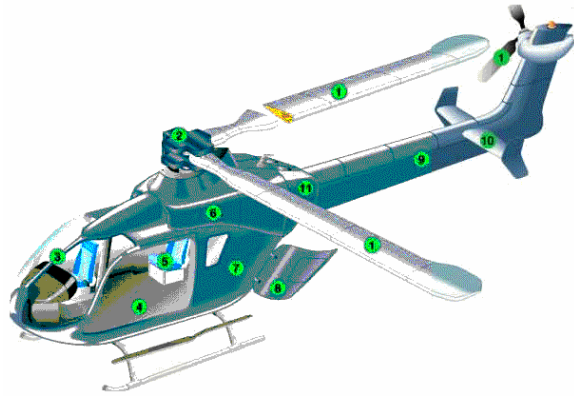
Günümüzde kullanılan petekli yapıların büyük bir çoğunluğu bir yapıştırıcı sayesinde hücrelerin birbirleri ile yapıştırılması sonucu oluşturulurlar (Şekil 1). Petekli yapılar genellikle sandviç yapılarda dolgu elemanı olarak kullanılırlar. Buradan hareketle sandviç panellerden söz etmek yerinde olacaktır. Bir sandviç panel, petekli yapının alt ve üst yüzeylerin yapıştırıcı kullanılarak yüzey örtüleri ile yapıştırılması sonucu elde edilir (Şekil 2). Çelik, titanyum ve nikel alaşımlı metal hücre yapıları petekli yapılar yapıştırıcı yerine daha çok kaynak ve lehimleme ile birleştirilirler. Bu tür hücreler öncelikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Yüksek rijitlik ve dayanım/ağırlık oranına sahip olan sandviç yapılar son derece hafif konstrüksiyonlardır. Petek yapıları kompozitler, diğer sandviç konstrüksiyon ara malzemelerine oranla daha pahalıdır ve sandviç yapı haline dönüştürülmesi daha özel işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle, genellikle denizcilik, havacılık ve uzay sektöründe yüksek mekanik dayanım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.



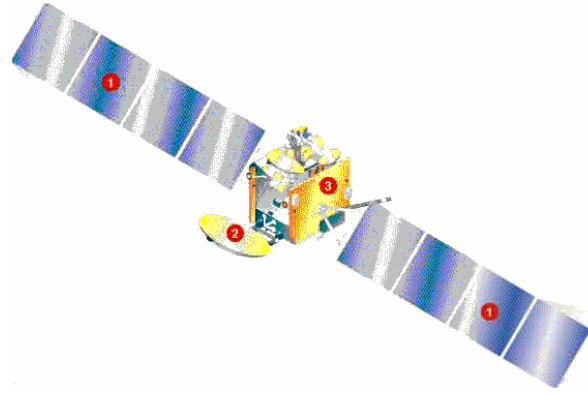
Şekil 2. Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi

Denizcilik sektöründe, tekne imalatı sırasında sandviç tekniği kullanılarak, teknenin mekanik dayanımı artırılmaktadır. Havacılık ve uzay sanayiine yönelik uygulamalarda ise, hafiflik ve rijitlik özellikleri önem taşımakta ve genellikle uçağın taban kaplamaları, kanat ve kuyruk parçaları, helikopter pervanesi gibi parçalar sandviç konstrüksiyon tekniği ile üretilmektedir. Son yıllarda bir çok binek ve spor otomobillerin tavan, direk ve gövdesinin bir çok kısımlarında, spor aletlerinde (yarış bisikleti kaburgası) ve rüzgar türbini pervanesi gibi bir çok alet ve makine imalatında petekli yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Sandviç

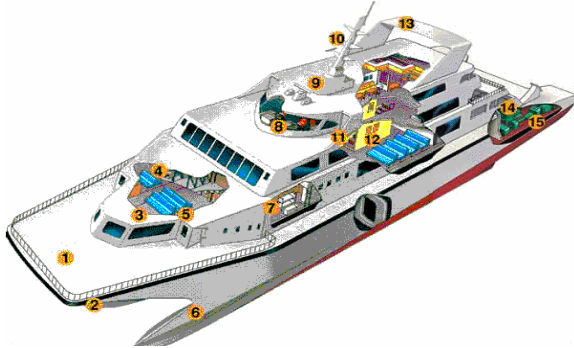
yapılardaki kullanıma ilave olarak, petekli yapılar enerji sönümlenme, radyo dalgası kalkanı, uyduların güneş panelleri ve hava akımı doğrultucusu vb. olarak da yaygın bir kullanıma sahiptir (Şekil 3). Petekli yapı endüstrisi, müşteri taleplerini de dikkate alarak petekli yapı hücrelerinin değişik yönlerini (şekil, boyut vb.) tanımlamak için kendi terminolojisini belirli standartlarda geliştirmiştir. İlgili geometrik parametreler Şekil 4’ de verilmiştir.



1. Kanat, 7. Gövde, 8. Kargo kapıları, 9 Kuyruk: Epoksi-karbon, Cam elyaf petekli yapı.



1. Güneş panelleri, 2. Yansıtıcı antenler ve 3. Gövde: Alüminyum petekli yapı ve epoksi-karbon kompozit.

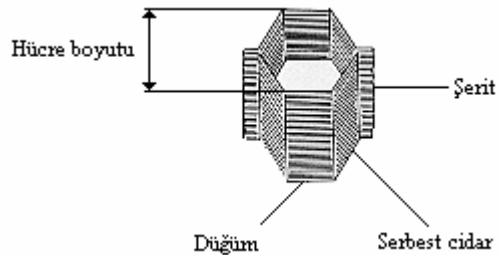
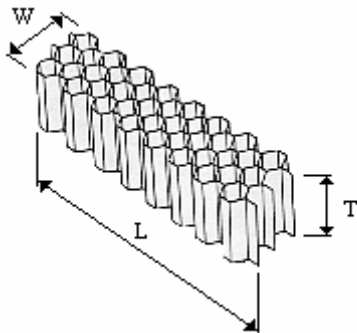


2. ve 6. Gövde dış kısmı, 4. Asma tavanlar, 7.Kamara bölmeleri, 9. Hava kalkanı: Petek yapı kompoziti



1. Aramid kağıdından yapılmış petek yapı kompozit. 2. Karbon fiber kompoziti

Şekil 3. Çeşitli petek yapı kompozit uygulamaları



Şekil 4. Petekli yapı terminolojisi

Bu konuda yapılan bazı çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Yeh ve Wu tarafından yapılan bir çalışmada, kompozit malzemelerin sandviç yapılarının eğilme karakteristikleri araştırılmıştır. Sandviç yapının örtü kısmı fiber takviyeli kompozitlerden, petek yapı kısmı ise 6061-T6 alüminyumundan yapılmıştır (Yeh vd.,1991). Vinsor, petek yapı kompozitlerden yapılmış silindirik kabukların analiz ve optimizasyonunu yapmıştır.

Minimum ağırlıklı sandviç yapılara ulaşmak için kompozit yüzey ve petekli yapı çekirdek malzemelerinin seçimi için oldukça kullanışlı kriterler ortaya konmuştur (Winsor, 1992).

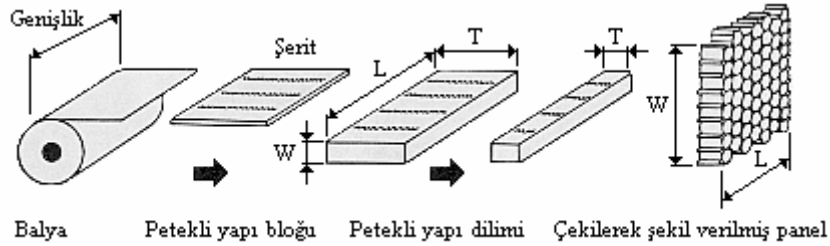
Aromatik film tabakasından (UPILEX R) hazırlanmış petekli yapı panellerin mekanik özellikleri (basma, çarpma, kesme ve eğilme dayanımları) incelenmiştir (Toshio vd., 1993). Aromatik poliamidlerin düşük ısıl genleşmeleri, iyi elektriksel izolasyonu gibi üstün özellikleri ön planda tutulmuştur. Aramid petekli yapıların mekanik özellikleri (basma dayanımı ve kayma modülleri) Yasutaka tarafından kuramsal ve deneysel olarak belirlenmiştir (Yasutaka vd., 1996). Martin ve arkadaşları, sıcaklık (20-100°C) ve basınç (100-600 kPa) altında petekli sandviç yapıların sürtünme direnci ölçümünde kullanılan tipik bir test cihazı geliştirmiştir. Petek yapıli kompozitin malzemesi karbon fiber/epoksi' dir (Martin vd.,1996). Karbon fiber takviyeli aramid petek yapıli sandviç kompozit plakların üç noktadan eğilme deneyi yapılmıştır (Kenjiro vd., 1995). Hexcel firması petek yapıli kompozit üretimi için hexagonal, OX, flex, tüp vb. hücre tipleri kullanmıştır. Malzeme olarak cam fiber ve alüminyum seçilmiştir. Petek yapılardan üretilen sandviç levhalarda çekirdek et kalınlığının mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Yine aynı firmanın TSB 122 nolu bülteninde ifade edildiği gibi, enerji absorbe eden sistemlerde kullanılan petekli yapıların tipinin seçiminde tasarım parametreleri verilmiştir. Petekli yapıların özellikle çarpma yükü altındaki dinamik etkileri araştırılmıştır (Hexcel, 2000). Panel biçimli petek yapıli kompozitlerin mekanik özelliklerine düşük sıcaklığın etkisi Jianke tarafından incelenmiştir (Jianke vd., 1998). Altener, petekli kompozit yapıların işleme ve karakteristik özelliklerinin belirlenmesi konusunu araştırmıştır. Petekli yapı çekirdek kısmının yırtılması, kompozit yüzey gözenekliliği ve yüzey işleme sırasında çapak oluşumu hem laboratuvar hem de üretim aşamasında incelenmiştir. Araştırma sonucunda otoklav basıncı altında yapılan üretim yardımı ile yüzey işleme kalitesi artırılırken, yüzey gözenekliliği de azaltılmıştır (Altener vd., 1998). Hexagonal hücre yapıli Nomex (Nomex T412 kağıdı)/termoset petekli yapının basma yükü altında mekanik davranışı araştırılmıştır. Yapıştırıcı olarak epoksi asıllı reçine kullanılmıştır (Su vd., 1997). Changqing tarafından yapılan bir çalışmada ise, petek yapıli sandviç çubukların yapışma yerlerinden ayrılma problemlerinin mekanik analizi yapılmıştır. Yapışmamış kısma ait çekirdek kısmın kayma deformasyonu ihmal edilerek, basitleştirilmiş bir çözüm ortaya konulmuştur (Changqing vd., 1998). Glass, grafit/epoksi petekli sandviç yapıların mekanik yük altında hava geçirgenliğini araştırmıştır. Çekirdek yapı olarak Hexcel HRP-3/16-8.0 veya DuPont Korex-1/8-4.5 (1.27 cm kalınlığında), yüzey örtü elemanı olarak da grafit-epoksi (Hercules AS4/8552), (0.15 cm kalınlığında) malzemeleri seçilmiştir. Sandviç numunelerin geçirgenlikleri hem statik hem de dinamik kayma yükleri altında ölçülmüştür (Glass vd., 1999). Bitzer tarafından yapılan bir çalışmada ise, petekli sandviç yapıların tasarım ve testleri yapılmıştır (Bitzer, 1980).

Bu çalışmada altıgen şeklinde (hegzagonal) kırıştırılarak ondüle şekline getirilen (korrüğe edilmiş) plakaların birleştirilmesi sonucunda petek yapıli kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Malzeme olarak; alüminyum ve bakır folyo, polyester reçine emdirilmiş kağıt ve cam elyaf kullanılmıştır. Farklı malzeme seçeneklerine ilave olarak, hücre boyut ve et kalınlıkları da değiştirilerek elde edilen petek yapıli kompozitlerin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Petekli yapıların basma ve çarpma yükleri altında kırılma değerleri, deformasyon miktarları ve enerji absorbe edebilme kabiliyetleri araştırılmıştır.

2. PETEKLI YAPI ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Petekli yapıların üretiminde uzatma ve kıvrarak şekil verme olmak üzere genellikle iki temel teknik kullanılır. Diğer teknikler yaygın olarak kullanılmadığından burada söz edilmemiştir. Uzatarak şekil verme yöntemi şematik olarak Şekil 5'de görülmektedir. Bu

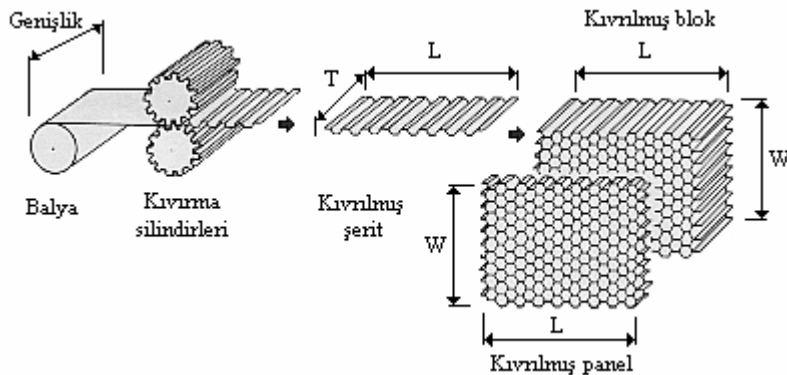
yöntem metal ve metal olmayan hücre imalatında kullanılır. Petek yapı hücrelerin büyük bir çoğunluğu bu yöntemle üretilir. Bu yöntem genel olarak; şerit halinde levhaların kesilmesi ve yapıştırıcının sürülmesi, levhaların üst üste dizilmesi ve petekli yapı bloğunun seçilen sıcaklıkta pres içerisinde işlenmesi aşamalarını içerir. Alüminyum blokları çekme işleminden önce genellikle istenilen kalınlıkta dilimlere ayrılırlar. Dilimler kalıpta çekilirken, her bir şerit halindeki plaka, komşu hücrelerle birleştirmenin olmadığı noktalarda akma gösterir ve böylece levhalara şekil verilmiş olur. Aynı yöntem diğer metalik malzemeler için de rahatlıkla kullanılabilir (Hexcel, 2000).



Şekil 5. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi

Metal olmayan şerit levhalar da benzer biçimde hazırlanmasına rağmen bazı önemli farklar söz konusudur. Metal dışı malzemeler yapıştırıcı sürme işlemi öncesi korozyona karşı direnç artırıcı işlemler gerektirmez. Ancak bazı malzemelerin reçineye iyice doyurulması için bir ilave ön işlem gerekebilir. Metalik malzemelerin aksine metal dışı petekli yapı malzemeleri kalıp içerisinde kalıbın şeklini alması için gerekli çekme işlemi sonunda kendi şekillerini koruyamazlar (Toshio vd., 1993; Yasutaka vd., 1996). Bu malzemelerde kalıplama daha fazla sürede yapılmalı ve şekil alma işlemi gerçekleşene kadar bir fırın içerisinde ısıtılmalıdır. Daha sonra çekilmiş ve ısıtılmış blok sıvı reçineye daldırılır ve hücrelerin oluşumu tamamlana kadar ısıtma işlemi sürdürülür. Daldırma süreci blokların istenilen yoğunluğa ulaşmaya kadar tekrarlanır. Petekli yapı imalatı bu bloklardan istenilen kalınlıkta dilimlerin kesilmesi ile tamamlanmış olur (Bitzer, 1980). Bu çalışmada kullanılan cam elyaf ve kağıt takviyeli polyester reçineli petekli yapı hücrelerin imalatı bu yöntem ile gerçekleştirilmiştir.

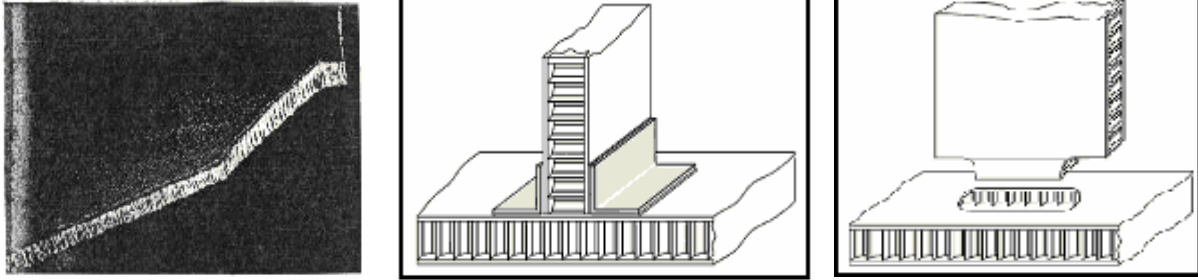
Petekli yapıların imalatında oldukça yaygın olarak tercih edilen diğer bir yöntem kıvrırma metodudur (Şekil 6). Bu yöntem yüksek sıcaklık altında çalışan, et kalınlığı ve yoğunluğu oldukça fazla olan petekli yapıların imalatında tercih edilir. Bu yöntemde şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı tatbik edilir.



Şekil 6. Kıvrırma yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi

Ardından şekil verilmiş şerit levhalar üst üste konur ve kıvrılmış blok seçilen sıcaklıkta bekletilir. İstenilen kalınlıkta dilimler bloktan kesilerek elde edilir. Yine bu çalışmada kullanılan alüminyum ve bakır hücrelerin üretimi bu yöntem yardımı ile yapılmıştır.

Yukarıda verilen yöntemler kullanılarak, üretimi gerçekleştirilen petekli yapılar kullanılacak yerin özellikleri de dikkate alınarak; temizleme (kenar tıraşlama), kesme ve gerekirse şekil verme ve ekleme işlemlerine de maruz bırakılırlar (Şekil 7) (Hexcel, 2000).

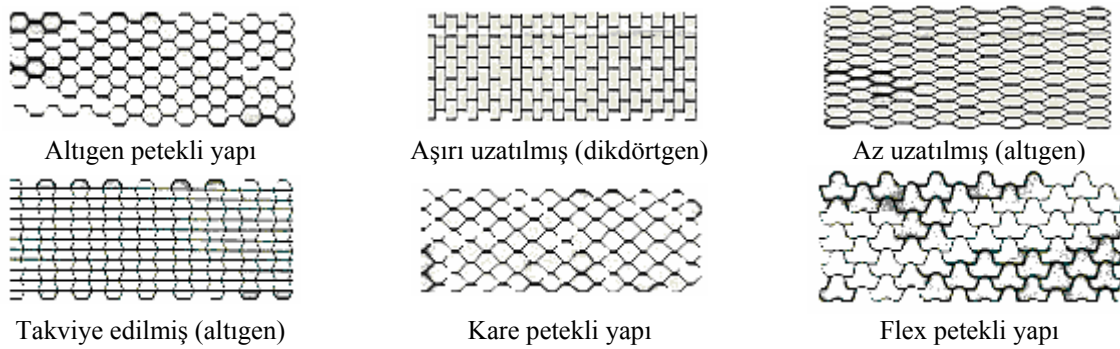


Şekil 7. Özel işlem yapılmış petek yapı paneller

3. HÜCRE KARAKTERİSTİKLERİ

Genel olarak metalik hücre malzemeleri alüminyum, korozyona karşı dayanıklı çelik, titanyum ve nikel esaslı alaşımlardır. En yaygın metal dışı hücre malzemeleri ise nomex, cam elyaf, termoplastikler ve kraft kağıdıdır. Metal olmayan hücreler son yoğunluğa ulaşabilmek için sıvı fenolik, polyester veya poliamid reçineye daldırılır. İdeal olanı reçine oranının %50 civarında olmasıdır. Bu nedenle şerit kalınlıklarının çeşitli yoğunlukta hücre yapımına imkan vermesine dikkat edilmelidir (Hexcel, 2000). Günümüze kadar petekli yapı üretiminde 500' den fazla farklı malzeme kullanılmıştır. Son zamanlarda grafit, aramid ve seramik üzerine çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

Aşırı uzatılmış, altıgen ve eğip bükülebilir yapı (flex-core) olmak üzere üç temel hücre biçimi vardır. Bu üç hücre tipi ve pek yaygın olmayan kare ve takviyeli çeşitleri de Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Petekli yapı hücre türleri (Bitzer,1980; Hexcel, 2000)

Aşırı çekilmiş hücre yapısı, altıgen hücrenin dikdörtgen biçime gelinceye kadar çekilmesi ile elde edilir. Bu hücre tipinin en önemli avantajı L doğrultusunda kolayca şekil verilebilmesidir (Şekil 4). Altıgen hücre yapısında sadece bu doğrultuda şekil verilebilir.

4. YAPILAN DENEYLER

Üretimi yapılan petekli kompozit yapılardan seçilen boyutlarda numuneler hazırlanarak aşağıda açıklanan deneyler yapılmıştır.

4.1. Çarpma Deneyi

m kütleli cisim belirli bir yükseklikten ilk hızı sıfır ($V_0=0$) olacak şekilde petekli yapıların üzerine düşey olarak bırakılmıştır. Cismin sahip olduğu kinetik enerji petekli yapı tarafından absorbe edilmiştir. Yutulmuş kinetik enerji,

$$E_k = \frac{1}{2} mV^2 \quad (1)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada m, cismin kütlesi, V ise hızıdır. Genel mekanik enerji denklemi

$$U = \Delta T + \Delta V_e + \Delta V_g \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada U, dış kuvvetin yaptığı iş olup sıfırdır. ΔT ise kinetik enerji değişimidir. V_f ve V_0 , m kütleli cismin sırası ile son ve ilk hızları olmak üzere

$$\Delta T = \frac{1}{2} m(V_f^2 - V_0^2) = \frac{1}{2} mV^2 \quad (3)$$

elde edilir. ΔV_e , elastik sistemin potansiyel enerjisindeki değişimi olup değeri sıfırdır. ΔV_g ise gravitasyonel potansiyel enerjideki değişimdir.

$$\Delta V_g = mg(s_f - s_0) = mg(-s) = -mgs \quad (4)$$

Burada s, çarpma yüksekliği, s_f ve s_0 değerleri ise düşey uzaklıklardır. Eşitlik 3 ve Eşitlik 4 Eşitlik 2'de yerine yazılacak olursa

$$V = \sqrt{2gs} \quad (5)$$

ifadesi elde edilir (Hexcel, 2000). Elde edilen bu eşitlik yardımı ile cismin çarpma anındaki hızı belirlenir. Buradan Eşitlik 1 yardımıyla yutulmuş kinetik enerji miktarı hesaplanır. Yapılan deneylerde kullanılan sayısal değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca çarpma mukavemeti değeri (f_{cr}) de aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir (Jianke vd., 1998).

Çizelge 1. Çarpma deneyinde kullanılan sayısal değerler

M	Cismin kütlesi	0.9 kg
S	Çarpma yüksekliği	0.9 m
G	Yerçekimi ivmesi	9.81 m/s ²
V	Hız	4.2 m/s
E_k	Kinetik enerji	7.94 J

$$f_{cr} = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Burada F çarpma kuvveti, A ise petek yapılı panelin çarpma yüzeyi alanıdır (Hexcel, 2000). Malzeme ve geometrik özellikleri verilen her bir petek yapılı panele çarpma deneyi uygulanmıştır. Her bir panele 7.94 J'lük sabit bir kinetik enerji uygulanmıştır. Panellerin çökme değerleri elde edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çarpma deneyi numune boyutları ve deformasyon miktarları ($E_k=7.94$ J)

Malzeme	Et Kalınlığı	Hücre Boyutu	İlk Yükseklik (kalınlık)	Son Yükseklik	Çökme Miktarı
	mm	mm	mm	mm	mm
Alüminyum*	0.12	9	20.825	18.015	2.81
Alüminyum	0.1	9	20.565	15.15	5.415
Alüminyum	0.1	15	20.4	12.055	8.345
Alüminyum	0.18	9	20.82	19.815	1.005
Bakır	0.1	9	20.875	18.7	2.175
Cam Elyaf/poly.	0.75	14	36	36	0.0
Cam Elyaf/poly.	0.75	18	35	35	0.0
Cam Elyaf/poly.	1	24	32	32	0.0
Kağıt/poly.	1	24	36	36	0.0

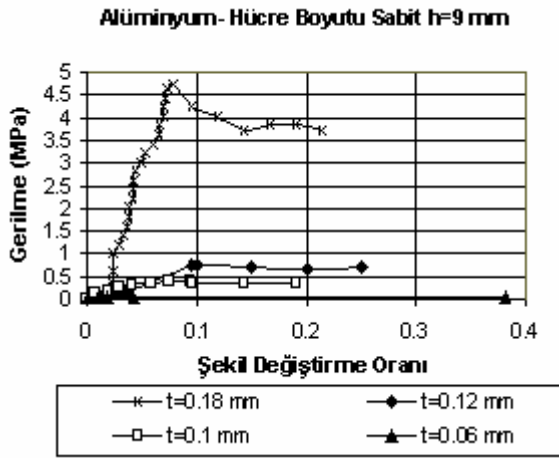
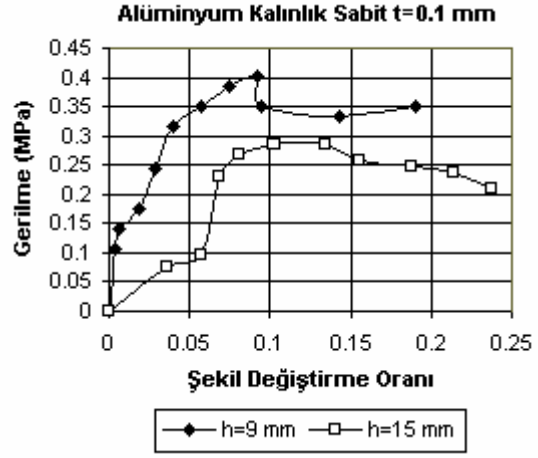
*: Ticari alüminyum (3000 serisi).

4.2. Basma Deneyi

Yaklaşık aynı kesit alanına sahip ve Çizelge 2'de verilen farklı tip ve malzemedeki petek yapılı panellerden hazırlanan deney numuneleri basma cihazına yerleştirilmiştir. Numunelerin kademeli olarak artırılan basma yükleri altındaki çökme miktarları tespit edilmiştir. Basma yükü, numunelerin taşıyabileceği maksimum yük değerine ulaşmış ve daha sonra azaldığı ve numune üzerinde yükseklik boyunca gözle görülür bir deformasyon elde edildiği (hücre duvarlarının basıldığı) değere kadar artırılmıştır (Su vd., 1997). Deney her bir numune için aynı şekilde tekrarlanmıştır. Kuvvet-büzülme veya gerilme-şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir. Böylece farklı parametrelere göre maksimum dayanım değerleri elde edilmiştir.

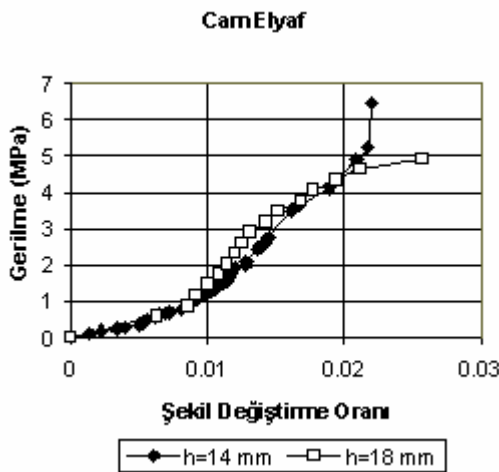
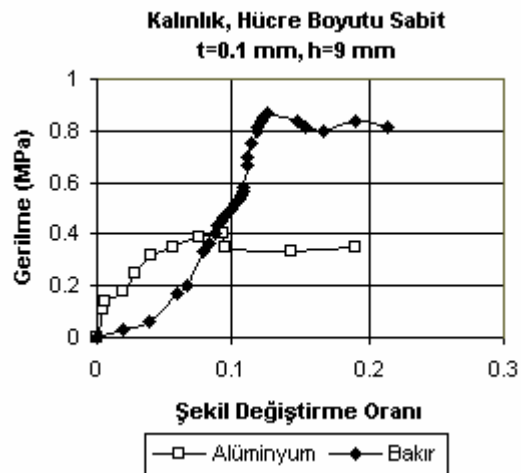
5. ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Geometrik özellikleri Çizelge 2'de verilen metal (ticari alüminyum, bakır) ve metal dışı (cam elyaf ve kağıt/polyester kompozit) malzemelerden üretilmiş farklı et kalınlıkları ve hücre boyutuna sahip petek yapılı panellerin mekanik dayanımları basma ve çarpma yükleri altında test edilmiştir. Elde edilen değerler grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 9. Tipik basma deneyi (alüminyum panel, h sabit)Şekil 10. Tipik basma deneyi (alüminyum panel, t sabit)

Sabit hücre boyutunda ($h=9$ mm) alüminyum petek yapıları panellerin 0.06, 0.10, 0.12 ve 0.18 mm farklı et kalınlığı değerlerinde basma deneyi altında gerilme-şekil değiştirme değişimleri elde edilmiştir. Yük artışı ile şekil değişimleri belli bir değere kadar yaklaşık olarak lineer kalmıştır. Maksimum yük değerinden sonra artan şekil değişimine karşılık yük değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Ardından bu yük değeri yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Farklı et kalınlığı değerlerinde karakteristik olarak bu değişimin benzer olduğu gözlenmiştir (Şekil 9). Bu durum literatürde elde edilen çalışmalar ile de örtüşmektedir (Hexcel, 2000). Et kalınlığı fazla olan panellerin maksimum dayanım değerleri de daha büyük olmuştur. Örnek olarak 0.1 ve 0.18 mm et kalınlıklarına karşı gelen maksimum dayanım değerleri sırası ile 0.45 ve 4.75 MPa' dır.

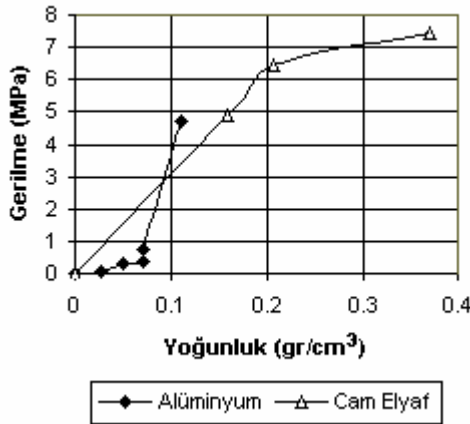
Et kalınlığı sabit tutulup, hücre boyutu artırılır ise aynı şekil değişimine daha düşük yüklemelerde ulaşılır (Şekil 10). Bu durum artan hücre boyutu ile birim alana düşen ve yükü taşıyan kaburga miktarının azalması ile açıklanabilir. 9 ve 15 mm hücre boyutuna karşı gelen maksimum dayanım değeri sırası ile 0.28 ve 0.40 MPa' dır.

Şekil 11. Tipik basma deneyi (cam elyaf panel, t sabit)Şekil 12. Tipik basma deneyi (h , t sabit)

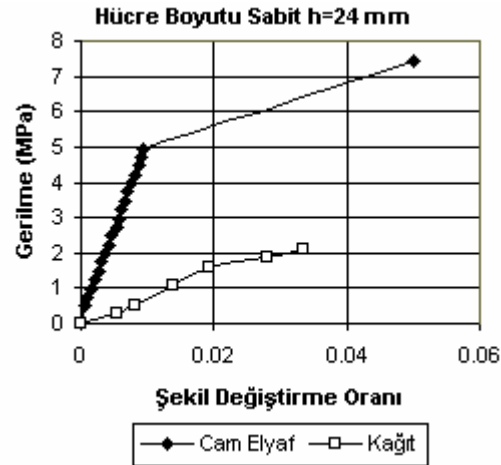
Şekil 11’de cam elyaf/polyester kompoziti için 14 ve 18 mm hücre boyutunda gerilme-şekil değiştirme değişimi verilmiştir. Metal petek yapıları panellerde olduğu gibi maksimum yük değerinden sonra bir düşüş söz konusu değildir. Çünkü bu yük değerinden sonra kompozit paneli oluşturan matris ve fiberin türünden dolayı parçalanarak dağılmıştır. Yani gevrek malzeme özelliği göstermiştir. Büyük hücre boyutuna sahip paneller daha düşük yüklerde deforme olmuşlardır. Bu sonuç alüminyum petekli yapıda da görülmüştü.

Şekil 12’de aynı hücre boyutu ve et kalınlığına sahip metal (alüminyum ve bakır) petek yapıları kompozitlerin gerilme-şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Bakır petek yapıları panel alüminyumdan çok daha fazla bir dayanım sergilemiştir. Ancak bakırın özgül ağırlığının alüminyumdan çok daha fazla olduğu göz ardı edilmemelidir.

Şekil 13’de alüminyum ve cam elyaf kompozit petek yapıları panellerin gerilme-yoğunluk değişimi verilmiştir. Her iki malzeme için de artan yoğunluk değerine karşılık panelin maksimum dayanım değerlerinde de bir artış gözlenmiştir. Çünkü yoğunluğun artması hücre boyutunun küçülmesi ve et kalınlığının artması ile mümkündür. Bu şartlar sağlandığında zaten dayanım değerlerinde bir artış söz konusu olmakta idi (Şekil 9-10). Şekil 14’de cam elyaf ve kağıt/polyester kompozit petek yapıları panellerin gerilme şekil değiştirme değişimi verilmiştir. Aynı hücre boyutu ve et kalınlığı şartlarında cam elyaf panel çok daha yüksek bir dayanım göstermiştir. Bu panellerin şekil değişimlerinin metal olanlara göre çok daha küçük olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 13. Gerilme-yoğunluk değişimi.



Şekil 14. Tipik basma deneyi (h sabit, metal dışı komp.)

Alüminyum, bakır, polyester emdirilmiş cam elyaf ve kağıt petek yapıları panellerin çarpma deneyi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Belirli bir m kütleli cismin numunelere çarparak ortaya çıkan kinetik enerjinin (7.94 J) sönümlenmesi istenmiştir. Bu çarpma sonucu numunelerin deformasyon miktarları (ortalama düşey çökmeler) ölçülmüştür. Buna göre aynı hücre boyutuna sahip alüminyum panellerde, et kalınlığı arttıkça daha küçük çökmeler elde edilmiştir. Çünkü dış yüke daha kalın bir kaburga direnç göstermektedir. Bu durum basma yükünde de görülmüştü. Aynı et kalınlığına sahip alüminyum paneller ele alınacak olursa, hücre boyutu arttıkça çökme değerleri de artmıştır. 0.1 mm et kalınlığı için 9 ve 15 mm hücre boyutlarında sırası ile 5.415 ve 8.345 mm’lik düşey çökmeler elde edilmiştir. Aynı et kalınlığı ve hücre boyutuna sahip bakır ve alüminyum karşılaştırılacak olursa (t=0.1 mm, h=9mm); aynı enerjiyi alüminyum petek yapıları panel 5.415 mm’lik düşey çökme ile sönümlerken, bakırda bu deformasyon 2.175 mm’de kalmıştır. Polyester reçine emdirilmiş cam elyaf ve kağıt panellerde bu enerji değerinde herhangi bir düşey deplasmana

rastlanmamıştır. Cam elyaf panelin yükün çarptığı örtü tabakasında çok az çatlak görülürken, kağıt panelde bu çatlağın petekli hücrelerin kalınlığı doğrultusunda yayıldığı tespit edilmiştir. Bu durum bu malzemelerin kırılma yapıya sahip olmaları ile açıklanabilir.

Petekli yapıların hücre boyutlarının daha da çeşitlendirilmesi ve farklı hücre şekilleri için çalışma genişletilebilir. Ayrıca ASTM test yöntemleri de dikkate alınarak kayma testi, ısı geçirgenlik vb. deneyler de yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Alteneder A.W., Renn D.J., Seferis J.C.; Curran R.N. (1998): "Processing and Characterisation Studies of Honeycomb Composite Structure", Advanced Materials: Performance Through Technology Insertion Int. SAMPE-Symposium and Exhibition, USA, V.38, N.1, p.1034-1067.
- Bitzer N. (1980): "Honeycomb Sandwich Design and Testing", PhD thesis, Century University, Los Angeles, USA.
- Changqing, M., Xing Z. (1998): "Mechanical Analysis for Debonding Problem of Honeycomb Sandwich Beams", Beijing-Hankong-Hangtion-Daxue-Xuebao Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, V.24, N.1, p.54-57.
- Glass D.E., Raman V.V., Venkat V.S., Sankaran N. (1999): "Graphite/epoxy Honeycomb Core Sandwich Permeability under Mechanical Loads", Composite-Structures, V.44, N. 4, p.253-261.
- Hexcel Corporation (2000): "Mechanical Properties of Hexcel Honeycomb Materials", Tech. Report. No. TSB 120, TSB 122, USA.
- Jianke Z., Youngfu J., Zhihua L. (1998): "Mechanical Properties of Honeycomb Sandwich Panels at Low Temperatures", Proceedings of the Conference on Cryogenics and Refrigeration, Paris, p.470-473.
- Kenjiro K., Sohei S., Gilles K. (1995): "Influence of Water on Mechanical Properties and Fracture Mechanism of FRP/aramid Honeycomb Core Sandwich Material", Zairyo Journal of the Society of Materials Science Japan, V.44, N. 505, p. 1273-1278.
- Martin C.F., Seferis J.C., Wilhelm M.A. (1996): "Frictional Resistance of Thermoset Prepregs and its Influence on Honeycomb Composite Processing", Composites, Part A 27 A, p. 943-951.
- Su K.D., Rock L.J. (1997): "Compressive Mechanical Properties of the Nomex/thermoset Honeycomb cores", Polymers for Advanced Technologies, V.8, N.1, p.1-7.
- Toshio O., Noriomi O. (1993): "Mechanical Properties of Honeycomb Prepared from Aromatic Polyimide Film", Journal of Applied Polymer Science, V.48, N.10, p.1739-1748.
- Winsor J.R. (1992): "Analysis and Optimisation of Composite Honeycomb Sandwich Cylindrical Shells", Proceedings of the 7th Technical Conference of the American Society for Composites, University Park, PA, USA, p.576-586.
- Yasutaka T., Kiyoshi T, Yoshiteru N. (1996): "Analysis of Mechanical Properties of Aramid Honeycomb Core (Investigation on the Compression Strength and the Shear Modulus)", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part A., V.61, N.587, p.1608-1614.
- Yeh W.N., Wu Y.E. (1991): "Enhancement of Buckling Characteristics for Sandwich Structure with Fiber Reinforced Composite Skins and Core Made of Aluminium Honeycomb and Polyurethane Foam", Theory Appl. Fracture Mech., V.15, N.1, p.63-74.