

## ALÜMİNİUM, KAĞIZ VƏ ŞÜŞƏ FİBER KOMPOZİTLƏRİN İSTEHSAL TEKNOLOGİYASININ VƏ MEXANİKİ XASSƏLƏRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

C.V. VƏLİYEV, Ə.A. ABDULLAYEVA

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti,

Azadlıq pr., 20, Bakı Az-1010, Azərbaycan

email: [lcavidanveliyev@gmail.com](mailto:lcavidanveliyev@gmail.com)

Pətək kompozit konstruksiyalar yüksək mexaniki möhkəmlik tələb edən strukturlarda, xüsusilə zərbə enerjisinin udulduğu yerlərdə istifadə olunur. Pətək konstruksiyalar son dərəcə yüngül sistemlər yaratmaq üçün sendviç konstruksiyaların daxili və xarici təbəqələri arasında yerləşdirilir. Təcrübələr nəticəsində möhkəmlik, qırılma və deformasiyanın maksimum dəyərləri, həmçinin sıxılma və zərbə yükləri altında pətək kompozitlərin enerji udma xassələri təhlil edilmişdir.

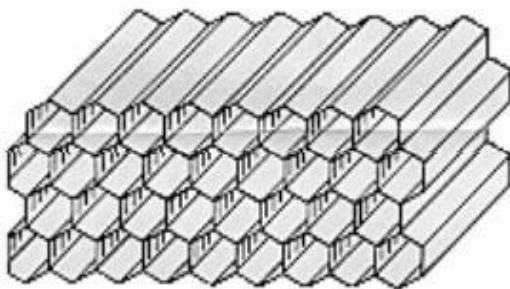
**Açar sözlər:** pətək, alüminium, mis, kompozit, fiber, poliester, udma, möhkəmlik.

**PACS:** 61.43.Bn; 71.20.-b

### GİRİŞ

Struktur mühəndisliyi yeni materialların istifadəsinin məqsəduyğunluğu barədə konstruktiv fikirlərlə başlayan təkrarlanan bir prosesdir. İstehsal prosesində nəzərə alınmalı olan bir sıra tələblər var: materialın kütləsi, materialın dəyəri, o cümlədən emal xərcləri; asan utilizasiya edilə bilməsi: etibarlılığı və sınaqdan keçirilə bilməsi. Bu və ya digər amilin əhəmiyyəti materialın tətbiqi sahəsindən asılıdır. Mülki istehsalda kosmik və aviasiya texnologiyası üçün materiallar və s. istehsal edilərkən xərclər ümumən azalır. Bu xərclərin azaldılması xüsusilə vacibdir. Bir qayda olaraq, məhsulun çəkisinin azaldılması da son nəticədə onun qiymətinin aşağı düşməsinə gətirib çıxarır.

Konstruksiyaetmə prosesi material strukturunun seçilməsi ilə başlayır. İterativ yanaşma təklif olunan az sayda strukturlardan seçim edərkən materialların xassələrini daha dərindən öyrənməkdən ibarətdir. İlk əməliyyatın son nəticəsi konstruktor tapşırığının özünü işə salınmasından ibarətdir. Kompozit materiallar beton konstruksiyalarda istifadə üçün optimallaşdırma obyektidir.



Şəkil 1. Altıbucaqlı hüceyrələri olan pətək strukturu.

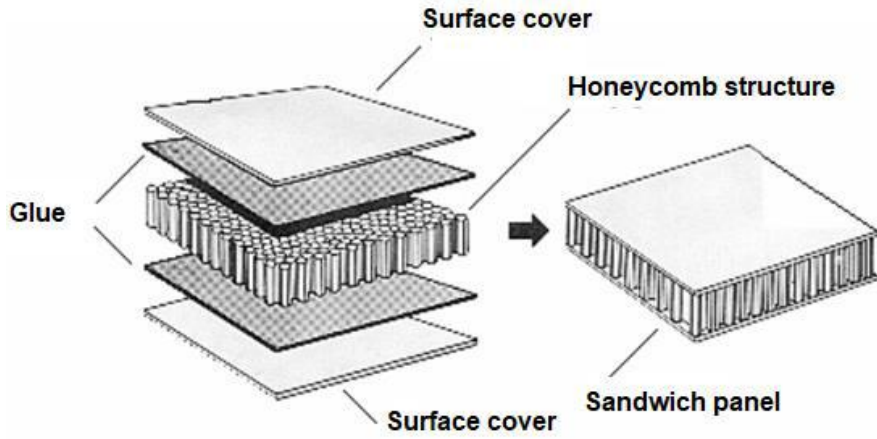
Kompozit materiallar hər birinin özünəməxsus oriyentasiyası olan çoxlu sayda fərdi təbəqələrdən əmələ gəldiyi üçün nəzəri cəhətdən optimal xarakterik strukturu hesablamaq mümkündür.

Kompozit materialların istehsalında istifadə edilən pətək strukturları hüceyrələri birləşdirərək çox nazik təbəqələrin meydana gəlməsi nəticəsində əmələ gəlir. Bu cür strukturlar bal arılarının hazırladıqları tə-

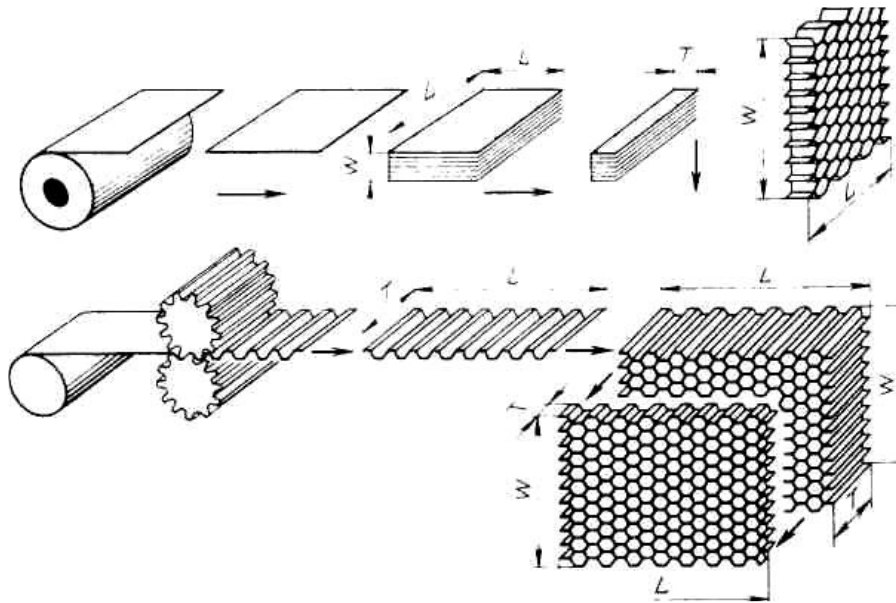
bii pətəklərə bənzəyir. Pətək kompozit konstruksiyalar təxminən 1940-cı ildən sonra aviasiya sənayesində təyyarənin gövdə panellərində istifadə olunmağa başlandı.

Bu gün istifadə edilən pətək strukturlarının çoxu hüceyrələrin yapışqanla birləşdirilməsi nəticəsində əmələ gəlir. Pətək strukturları adətən sendviç strukturlarında doldurucu kimi istifadə olunur. Bu baxımdan sendviç panellərdən danışmaq yerinə düşər. Yapışqan istifadə edərək, pətək strukturunun alt və üst səthlərini səth örtükləri ilə yapışdırmaqla sendviç panel əldə edilir (şəkil 2). Polad, titan və nikel ərintilərindən hazırlanmış hüceyrə quruluşları yapışqanla deyil, qaynaq və lehimləmə yolu ilə birləşdirilir. Bu cür elementlər əsasən yüksək temperatur tətbiqlərində istifadə olunur. Yüksək sərtlik və güc-çəki nisbəti olan sendviç konstruksiyalar son dərəcə yüngül konstruksiyalardır. Pətək kompozitləri digər sendviç tikinti aralıq məhsulları ilə müqayisədə daha bahalıdır və onların sendviç strukturuna çevrilməsi daha yüksək ixtisaslı əmək tələb edir. Bu səbəbdən yüksək mexaniki möhkəmliyi təmin etmək məqsədilə adətən dəniz, aviasiya və kosmik sənayelərdə geniş istifadə olunur [1].

Dənizçilik sektorunda qayığın mexaniki möhkəmliyi qayığın çoxqatlı istehsal texnologiyasının istifadəsi ilə artırılır. Aerokosmik sənayedə yüngüllük və sərtlik vacibdir. Buna görə də, təyyarənin döşəmə örtükləri, qanad və quyruq hissələri, helikopter pərləri kimi hissələr sendviç konstruksiya texnologiyasından istifadə edilməklə istehsal olunur. Son illərdə pətək konstruksiyaları bir çox avtomobilin və idman avtomobilinin damının, dirəyinin və gövdəsinin bir çox hissəsində, idman avadanlıqlarında (yarış velosipedlərinin qabırğaları) və külək turbinlərinin pərləri kimi bir çox alət və mexanizmlərin istehsalında geniş istifadə olunur. Pətək konstruksiyaları sendviç konstruksiyalarda istifadə olunmaqla yanaşı, enerjinin sönümlənməsi, radiodalğaların qorunması, peyklərin günəş panelləri və hava axını rektifikatoru və s.-də geniş istifadə olunur (şəkil 3). Pətək tikinti sənayesi müştərilərin tələblərinə əsasən, pətək tikinti hüceyrələrinin müxtəlif aspektlərini (forma, ölçü və s.) müəyyən etmək üçün müəyyən standartlarda öz terminologiyasını işləyib hazırlamışdır.



Şəkil 2. Yapışdırmaqla sendviç panelin alınması I Glue – Yapışqan; Surface cover - Səthi örtük; Honeycomb structure – Pətək struktur; Sandwich panel - Sendviç panel.



Şəkil 3. Pətək istehsalının müxtəlif mərhələləri.

## TƏDQIQAT METODU

Pətək konstruksiyalar hopdurulmamış və hopdurulmuş kraft yağları, müxtəlif alüminium ərintiləri, aramid yağları, müxtəlif növ parçalar və birləşdiricilər əsasında fiberşüşə istifadə edən məhsulların ümumi növüdür. Bu məqsədlər üçün az miqdarda titan və polad təbəqələrdən istifadə olunur. Bir-birinə yapışdırılmış nazik material zolaqlarına əsaslanan pətək strukturunun növləri şəkil 3-də göstərilmişdir. Pətək strukturlarının istehsalı üçün iki əsas proses mövcuddur:

- GƏRİLMƏ (UZANMA) prosesi: başlanğıcda birləşdirilmiş paket mövcud xətlər boyunca dartılır ki, bununla da pətək struktur yaradılır; prosesin üstünlüyü isə onun birmərhələli əməliyyatdan ibarət olmasıdır;

- KƏSİLMƏ prosesi: ilkin materialın təbəqələri üzərində ilkin kəsilmə əməliyyatı aparılır; bunlar təbəqə metal, plastik, kağız, möhkəmləndirilmiş plastik və s. olur, hətta ola bilsin ki, bəzi materiallar öz-özünə bərkiyir və sonra yapışdırılır, və ya başqa bir şəkildə birləşdirilir.

Sıxlığı 16-48 kq/m<sup>3</sup> olan yüksək sıxlıqlı doldurucu almaq və aramid kağızı əsasında hazırlanmış pətək

konstruksiyasından istifadə etməklə daxili divarlar və tavanlar üçün istifadə etmək mümkündür. Daşıyıcı panellər – qalınlığı 0,25 mm-dən az olan fiberşüşədir. Sendviç konstruksiyaların doldurucusu üçün pətək strukturlarının fiziki və mexaniki xassələri əsasən bu strukturların hazırlandığı materialların xassələrindən asılıdır.

Alüminium ərintilərinin əksəriyyəti gücləndirici elementlə KƏSİLMƏKLƏ yüklənmiş pətək strukturu və xüsusi formalı təbəqələrlə pətək nüvələrinin istehsalı üçün istifadə olunur. Alüminium əsaslı bəzi materiallar – qəlibdə istifadə olunan dəyişən radiuslu silindrlər, kürələr və s. laylı geometrik təbəqələrdən hazırlanır. Bəzi növ alüminium folqalardan qatların qovuşması ilə spiralvari doldurucular üçün istifadə olunur. Sonuncular silindr, və ya boru şəklində istilik udmaq üçün istifadə olunur [2].

Alüminium bu gün pətək konstruksiyalar üçün ən çox yayılmış doldurucu materialdır. Əksər hallarda alüminium pətək strukturlarının istehsalı digər materiallardan istifadə ilə müqayisədə daha aşağıdır. Paketin dartılması ilə pətək doldurucunun əldə olunan effektiv sıxlığı 32÷192 kq/m<sup>3</sup>-ə çatır, rıflənmə ilə hazırlanmış

da isə 128-880 kq/m<sup>3</sup> səviyyəsində olur. Yivli doldurucular üçün aşağı sıxlıqlarda sürüşmə sıxlığı daha aşağıdır.

Bu tip materiallardan xüsusi elektrofiziki xassələrə malik materialların hasilatı zəruri olduqda (radar antenaları üçün), və ya məhsula istilik müqaviməti və aşağı istilik ötürmə tələbləri qoyulduğu hallarda geniş istifadə olunur. Onlar yumşaq silikon bağlayıcılar və ya sərt epoksi köpüklər kimi strukturlaşdırılmamış ablativ materiallar üçün matris kimi yararlıdır. Pətek strukturlar adətən 5, 6, 3 və 10 mm təbəqə ölçüləri ilə istehsal olunur; nazik materiallar istifadə olunduqda isə 3 mm ölçülü təbəqə dizaynı əldə etmək olar. Bu tip doldurucunun effektiv sıxlığı 32...102 kq/m<sup>3</sup> diapazondadır.

Alınmış pətek kompozit strukturlarından seçilmiş ölçülərdə nümunələr hazırlanmış və aşağıda təsvir edilən təcrübələr aparılmışdır.

## EKSPERİMENT

### Zərbə testi

Kütləsi  $m$  olan cisim müəyyən hündürlükdən sifira bərabər ilkin sürəti ( $V_0=0$ ) ilə pətek konstruksiyaların üzərində şaquli olaraq qalır. Cismin kinetik enerjisi pətek quruluşu tərəfindən udulur. Udulmuş kinetik enerji

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

tənlikdən tapıla bilər. Burada  $m$  - cismin kütləsi,  $V$  isə sürətidir. Tam mexaniki enerji tənliyini

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

kimi ifadə etmək olar. Burada  $U$  xarici qüvvənin işidir və sifira bərabərdir.  $\Delta T$  - kinetik enerjinin dəyişməsidir.  $V_f$  və  $V_0$  müvafiq olaraq  $m$ -kütləli obyektin son və ilkin sürətləridir.

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

Alınan  $\Delta V_c$  elastik sistemin potensial enerjisinin dəyişməsidir və onun qiyməti sıfırdır.  $\Delta V_g$  cazibə qüvvəsinin potensial enerjisinin dəyişməsidir.

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

Burada  $s$  zərbə hündürlüyü,  $s_f$  və  $s_0$  şaquli məsafələrdir. 2-ci tənlikdə 3-cü tənlik və 4-cü tənlik əvəz edilərsə

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

ifadəsi alınır [3]. Alınan bu tənliyin köməyi ilə cismin təsir anındakı sürəti müəyyən edilir. Buradan, 1-ci tənliyin köməyi ilə udulmuş kinetik enerjinin miqdarı hesablanır. Təcrübələrdə istifadə olunan ədədi qiymətlər cədvəl 1-də verilmişdir. Bundan əlavə, zərbə müqavimətinin qiymətini ( $f_{cr}$ ) aşağıdakı düsturun köməyi ilə tapmaq olar [4].

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

Burada  $F$  zərbə gücü,  $A$  isə pətek panelinin təsir səthinin sahəsidir. Zərbə testi material və həndəsi xassələri verilmiş hər bir pətek panelinə tətbiq edilmişdir. Hər panelə 7,94 C sabit kinetik enerji tətbiq edilmişdir. Panellərin çökmə dəyərləri cədvəl 2-də əldə edilmişdir.

Cədvəl 1.

Zərbə testində istifadə edilən ədədi qiymətlər

$M$	Cismin kütləsi	0.9 kq
$S$	Zərbə hündürlüyü	0.9 m
$G$	Cazibə qüvvəsinin sürətləndirilməsi	9.81 m/s <sup>2</sup>
$V$	Sürət	4.2 m/s
$E_k$	Kinetik enerji	7.94 C

Cədvəl 2.

Zərbə testindəki nümunənin ölçüləri və deformatsiya dəyəri ( $E_k=7.94$  C)

Material	Divarın qalınlığı	Hüceyrə ölçüsü	İlkin hündürlük (qalınlıq)	Yekun hündürlük	Çökmə dəyəri
	mm	mm	mm	mm	mm
Alüminium	0.12	9	20.825	18.015	2.81
Alüminium	0.1	9	20.565	15.15	5.415
Alüminium	0.1	15	20.4	12.055	8.345
Alüminium	0.18	9	20.82	19.815	1.005
Mis	0.1	9	20.875	18.7	2.175
Fiberşüşə/poliester	0.75	14	36	36	0.0
Fiberşüşə/poliester	0.75	18	35	35	0.0
Fiberşüşə/poliester	1	24	32	32	0.0
Kağız/poliester	1	24	36	36	0.0

### Sıxılma testi

Cədvəl 2-də təqdim olunan müxtəlif növ materiallardan təqribən eyni en kəşik sahəsinə malik pətek panellərin hazırlanmış sınaq nümunələri sıxılma qurğusuna yerləşdirilmişdir. Tədricən artan sıxılma yükləri altında nümunələrin çökmə dəyəri müəyyən edilmişdir. Sıxılma yükü nümunələrin dözə biləcəyi mak-

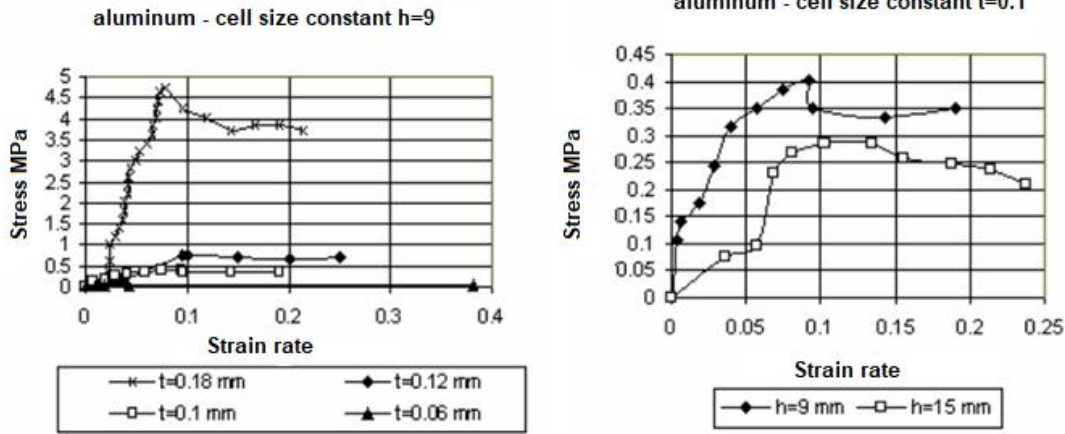
simuma qədər artırıldı, sonra azaldıldı və hündürlük boyunca (hüceyrə divarlarının sıxıldığı yerdə) nümunədə görünən deformatsiya əldə edildi [5]. Eynilə, təcrübə hər bir nümunə üçün təkrarlandı. Qüvvə-sıxılma və ya gərginlik-deformatsiya qrafikləri qurulmuş və beləliklə, müxtəlif parametrlər üçün maksimum güc dəyərləri əldə edilmişdir.

## NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

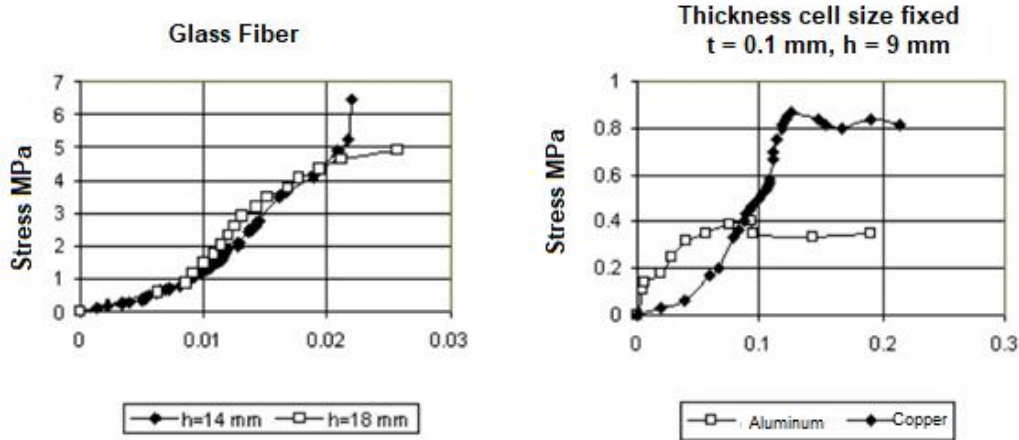
Həndəsi xassələri cədvəl 2-də verilmiş metal (texniki alüminium, mis) və qeyri-metal (fiberşüşə və kağız/poliester kompozit) materiallardan hazırlanmış müxtəlif divar qalınlığına və hüceyrə ölçülərinə malik pətek panellərinin mexaniki dayanıqlığı sıxılma və zərbə yükləri altında sınaqdan keçirilmişdir. Əldə edilmiş dəyərlər qrafik şəklində təqdim olunur.

Sabit hüceyrə ölçüsü ( $h=9$  mm) olan alüminium pətek panellərinin 0.06, 0.10, 0.12 və 0.18 mm müxtəlif divar qalınlığı dəyərlərində sıxılma testi altında gərginlik-deformasiya dəyişiklikləri əldə edilmişdir.

Yük artdıqca deformasiyalar müəyyən bir dəyərə qədər təxminən xətti olaraq qaldı. Maksimum yük dəyərlərindən sonra artan deformasiyaya baxmayaraq, yük dəyərlərində əhəmiyyətli bir azalma müşahidə edildi. Sonra bu yük dəyəri təxminən sabit qaldı. Bu dəyişikliyin müxtəlif divar qalınlığı dəyərlərində xarakterik olaraq oxşar olduğu müşahidə edilmişdir (şəkil 4). Bu vəziyyət ədəbiyyatda əldə edilən araşdırmalara uyğundur. Daha yüksək divar qalınlığı olan panellərin maksimum güc dəyərləri də daha yüksək idi. Məsələn, 0.1 və 0.18 mm divar qalınlığına uyğun gələn maksimum güc dəyərləri müvafiq olaraq 0.45 və 4.75 MPa-dır.



Şəkil 4. Tipik sıxılma testi (alüminium panel, (a)  $h$  və (b)  $t$  sabit).



Şəkil 5. Tipik sıxılma testi (fiberşüşə panel, (a)  $t$  və (b)  $h$  sabit).

Şəkil 5(a)-da fiberşüşə/poliester kompozit üçün 14 və 18 mm-lik hüceyrə ölçüsündə gərginlik-deformasiya dəyişikliyi verilmişdir. Metal pətek panellərində olduğu kimi, maksimum yük dəyərlərindən sonra heç bir azalma yoxdur, çünki bu yük dəyərlərindən sonra kompozit paneli əmələ gətirən matrisin və lifin növünə görə, o parçalanır və dağılır. Bu xassə materialın kövrək olduğunu göstərir. Daha böyük hüceyrələrə malik panellər daha kiçik yüklər altında deformasiyaya uğrayır. Bu nəticə alüminium pətek strukturunda da müşahidə olundu.

Şəkil 5 (b)-da hüceyrə ölçüsü və divar qalınlığı eyni olan metal (alüminium və mis) pətek kompozitlə-

rinin gərginlik-deformasiya qrafikləri verilmişdir. Mis pətek paneli alüminiumdan daha yüksək davamlılıq nümayiş etdirdi. Ancaq bir faktı da nəzərdən qaçıрмаq olmaz ki, misin xüsusi çəkisi alüminiumun xüsusi çəkisindən qat-qat yüksəkdir.

Fiberşüşə panelin yükün təsir etdiyi qoruyucu təbəqəsində çox az çat müşahidə olunduğu halda, bu çətin kağız pətek hüceyrələrinin qalınlığı boyunca yayıldığı aşkar edilmişdir. Bunu bu materialların kövrəkliyi ilə izah etmək olar. Pətek strukturlarının daha müxtəlif hüceyrə ölçüləri və müxtəlif hüceyrə formaları üçün tədqiqatlar davam etdirilə bilər.

- [1] *W.N.Yeh, Y.E. Wu*, Theory Appl. Fracture Mech., 1991, v.15, No.1, p. 63.
- [2] *O. Toshio, O. Noriomi*, Journal of Applied Polymer Science, 1993, v. 48, No.10, p. 1739.
- [3] *Hexcel Corporation* (): “Mechanical Properties of Hexcel Honeycomb Materials”, Tech. Report. USA, 2000, No.TSB120, TSB122.
- [4] *Z. Jianke, J. Youngfu, L. Zhihua*, Proceedings of the Conference on Cryogenics and Refrigeration, Paris, 1998, p. 470.
- [5] *K.D. Su, L.J. Rock*, Polymers for Advanced Technologies, 1997, v. 8, No.1, p. 1.

**J.V. Valiyev, A.A. Abdullayeva**

**STUDY OF PRODUCTION TECHNOLOGY AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM, PAPER AND GLASS FIBER COMPOSITES**

Honeycomb composite structures are used in structures requiring high mechanical strength, especially where impact energy is absorbed. Honeycomb structures are placed between the inner and outer layers of sandwich structures to produce extremely lightweight systems. As a result of the experiments, the maximum values of strength, fracture and deformation, as well as the energy-absorbing properties of honeycomb composites under compressive and shock loads, were analyzed.

**Дж.В. Валиев, А.А. Абдуллаева**

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ, БУМАЖНЫХ И СТЕКЛОВОЛОКОННЫХ КОМПОЗИТОВ**

Сотовые композитные конструкции используются в конструкциях, требующих высокой механической прочности, особенно там, где энергия удара поглощается. Сотовые структуры помещаются между внутренним и внешним слоями сэндвич-структур для создания чрезвычайно легких систем. В результате проведенных экспериментов были проанализированы максимальные значения прочности, разрушения и деформации, а также энергопоглощающие свойства сотовых композитов при сжимающих и ударных нагрузках.

*Qəbul olunma tarixi: 27.03.2023*