



УДК 678.6

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-7-9-9

**ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ МАТЕРИАЛА ВТИ-16 ПУТЕМ  
СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ  
ОБРАЗЦОВ, ВЫРЕЗАННЫХ В ПРОДОЛЬНОМ И ПОПЕ-  
РЕЧНОМ НАПРАВЛЕНИИ**

В.Г. Бабашов

В.В. Бутаков

О.В. Басаргин

В.Ю. Никитина

Т.М. Щеглова

**Июль 2015**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 678.6

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-7-9-9

*В.Г. Бабашов<sup>1</sup>, В.В. Бутаков<sup>1</sup>, О.В. Басаргин<sup>1</sup>, В.Ю. Никитина<sup>1</sup>, Т.М. Щеглова<sup>1</sup>*

## **ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ МАТЕРИАЛА ВТИ-16 ПУТЕМ СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОБРАЗЦОВ, ВЫРЕЗАННЫХ В ПРОДОЛЬНОМ И ПОПЕРЕЧНОМ НАПРАВЛЕНИИ**

*Приведены результаты экспериментов по определению прочности при растяжении образцов, вырезанных из матов ВТИ-16 в поперечном и продольном направлении. Целью работы было определение наличия анизотропии матов, связанной с операцией «прокатки».*

**Ключевые слова:** *прочность, продольное и поперечное направление, анизотропия.*

*V.G. Babashov, V.V. Butakov, O.V. Basargin, V.J. Nikitina, T.M. Scheglova*

## **THE ESTIMATION OF VTI-16<sup>TM</sup> ANISOTROPY BY COMPARISON TENSILE STRENGTH OF THE SAMPLES, CUT OUT IN THE LONGITUDINAL AND CROSS DIRECTION**

*The results of the tensile strength of the flexible samples cut off from the VTI-16<sup>TM</sup> material in the longitudinal and cross direction, are presented in this paper. The aim of the investigation is to find out if the anisotropy presents in the material after rolling.*

**Key words:** *strength, longitudinal and cross direction, anisotropy.*

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

## **Введение**

Разработка новых изделий авиационной техники требует создания функциональных материалов, обеспечивающих высокие характеристики и надежность летательного аппарата [1].

Одним из видов материалов, используемых в системах теплозащиты летательных аппаратов, являются волокнистые высокотемпературные материалы [2–8], выгодно сочетающие низкую теплопроводность, малую плотность, высокую гибкость и упругость.

При разработке технологии изготовления гибких волокнистых материалов методом осаждения из водной пульпы исследователи столкнулись с явлением неконтролируемого изменения высоты и плотности мата в процессе термообработки, что делало проблематичным получение калиброванных изделий [9]. Для предотвращения этого явления было предложено ввести в технологический процесс изготовления мата прокатку влажного полуфабриката [10].

В процессе изготовления гибких матов после диспергирования волокнистой водной пульпы методом барботирования [11] влажную заготовку подвергали продольной прокатке, при этом удалялась часть жидкости, материал становился тоньше и выравнивался по толщине. Кроме того, при прокатке происходит и излом изогнутых и перекрученных волокон, заполнение пустот, возникших при вакуумном формовании и, возможно, более равномерное распределение по объему мата жидкости, содержащей связующее. Возникло предположение, что в ходе этой операции происходит также переориентация и вытягивание волокон в продольном направлении.

## **Материалы и методы**

В работе изучены образцы, вырезанные в продольном и поперечном направлениях прокатки из гибких волокнистых матов. Образцы исследовали на оптическом микроскопе Olympus BX51 с цифровой камерой DP73 в отраженном свете.

Испытания при растяжении [12] проводили на установке Instron 5965 на образцах размером 300×30×10 мм и 300×30×4 мм, вырезанных из матов в продольном и поперечном направлениях прокатки. Ввиду малых значений измеряемой нагрузки исполь-

зован датчик модели 2530-427 с пределом измерения 100 Н (класс точности 0,05) и захваты модели 2712-013 с усилием 5 Н.

Для каждого мата испытывали не менее 5 образцов каждой ориентации (в продольном и поперечном направлениях прокатки). В случае разрушения образца в захватах результат не учитывался.

### Результаты

При попытках обнаружения неравномерности в ориентации волокон с помощью оптического микроскопа получить убедительную картину не удалось (рис. 1).

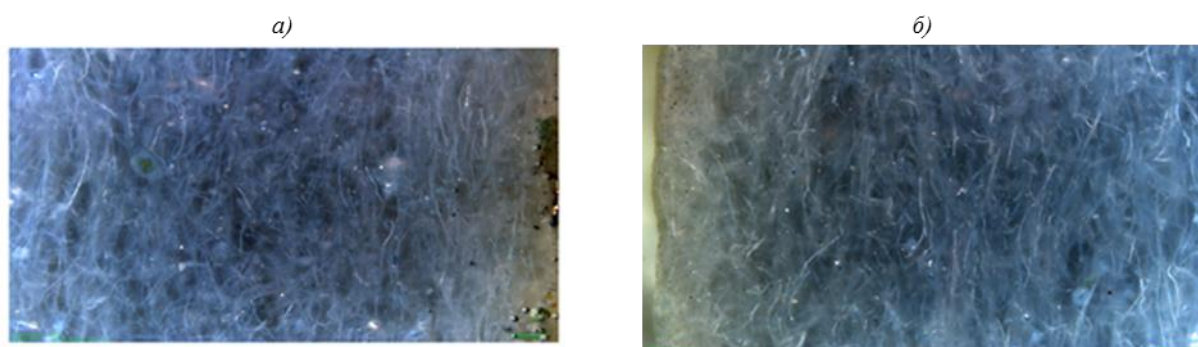


Рис. 1. Вид материала ВТИ-16 без прокатки (а) и в прокатанном состоянии (б) (оптический микроскоп, размер маркера 200 мкм)

Альтернативным методом установления структурной анизотропии является измерение прочностных свойств материала в продольном и поперечном направлениях прокатки. Этот метод позволяет получить интегральную качественную оценку однородности распределения волокон в материале.

В работе [13] описана методика испытания гибких волокнистых материалов, суть которой заключалась в снижении давления на образец со стороны захватов, что достигалось использованием ограничительных вкладышей. При этом необходимо выдерживать определенное соотношение толщин образца и вкладышей, зависящее от целого ряда параметров (плотность материала, прочностные характеристики волокон и т. п.), иначе происходит либо проскальзывание, либо разрушение в захватах.

В данной работе применительно к материалу ВТИ-16 предложен усовершенствованный способ крепежа, согласно которому волокнистый образец помещали между тонкими пластинами из листового металла, концы которых закрепляли с помощью пневматических зажимов (рис. 2). Такой способ крепежа пригоден для образцов в широком диапазоне толщин и, кроме того, обеспечивает постепенное увеличение сжимающих усилий по длине зажатой части образца, т. е. не создает концентрации напряжений в одном месте, что снижает вероятность разрушения по границе зажима.

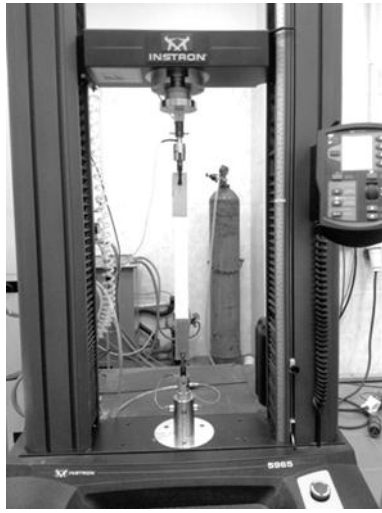


Рис. 2. Вид образца, подготовленного к испытаниям на установке Instron 5965, при усовершенствованном способе крепежа

На основании полученных данных определяли степень анизотропии ( $\sigma_{\parallel\text{ср}}/\sigma_{\perp\text{ср}}$ ) и вычисляли статистические критерии ( $t_{\text{табл}}$  и  $t$  – двойной критерий). Типичная экспериментальная кривая приведена на рис. 3. Результаты испытаний представлены в таблице.

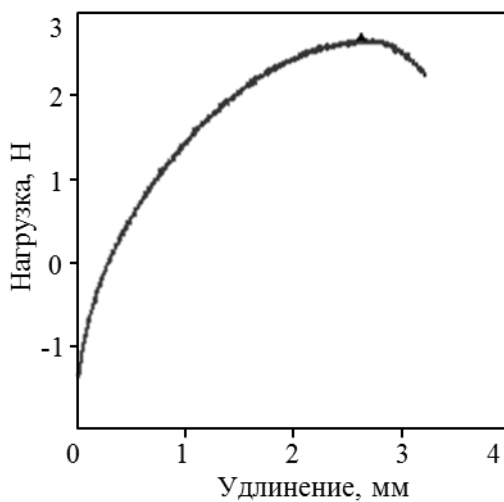


Рис. 3. Типичная экспериментальная кривая, полученная при растяжении образца материала ВТИ-16

**Результаты испытаний при растяжении образцов из материала ВТИ-16**

Условный номер мата	$\sigma_{\parallel}$	$\sigma_{\parallel\text{ср}}$	$\sigma_{\perp}$	$\sigma_{\perp\text{ср}}$	$\sigma_{\parallel\text{ср}}/\sigma_{\perp\text{ср}}$	$t_{\text{табл}}$	$t$
	кПа						
1 ( $h=10$ мм)	6,55	7,5	6,03	5,6	1,33	2,23	5,55
	7,02		5,17				
	8,50		5,41				
	8,26		5,78				
	7,33		5,83				
	7,24		5,61				
2 ( $h=10$ мм)	7,77	7,8	6,18	6,3	1,24	2,14	3,40
	8,49		6,78				
	8,83		6,28				

	6,65		6,22				
	6,88		6,37				
	6,96		6,05				
	6,69						
	7,09						
	8,96						
	9,86						
3 ( $h=4$ мм)	20,7	20,3	15,7	17,3	1,17	2,31	3,29
	19,7		16,2				
	20,4		16,7				
	21,5		19,4				
	19,1		18,5				

Маты 1 и 2 имели расчетную плотность  $0,17 \text{ г/см}^3$ , плотность мата 3 составляла  $0,12 \text{ г/см}^3$ . Существенно более высокие значения прочности образцов из мата 3 связаны, скорее всего, с различной толщиной матов: 10 мм – у матов 1 и 2; 4 мм – у мата 3. По-видимому, прочность образцов мата при растяжении в наибольшей степени определяется поверхностными слоями, поэтому при приблизительно равной величине разрывной нагрузки прочность образцов из толстых матов существенно ниже.

### Обсуждение и заключения

Сразу отметим, что продольная текстура практически не влияет на теплозащитные свойства изделий, поскольку тепловой поток, как правило, направлен перпендикулярно плоскости мата. В то же время ее наличие может повысить технологичность материала на этапе монтирования гибких матов на объекте.

Каждый массив данных, приведенных в таблице, оценен на предмет резко выделяющихся значений по так называемому критерию типа  $r$  [14]:

$$r = |X_{\text{ср}} - X_1| / (S \cdot n \sqrt{(n-1)/n}), \text{ где } S - \text{среднее квадратическое отклонение (СКО)}.$$

Резко выделяющихся значений не обнаружено.

Значения  $\sigma_{\parallel \text{ср}} / \sigma_{\perp \text{ср}}$  показали, что для матов, прокатанных во влажном состоянии, уровень анизотропии прочности при растяжении составляет 1,33; 1,24 и 1,17 (в порядке возрастания номеров), т. е. можно сделать вывод, что прочностные характеристики образцов гибких волокнистых матов, вырезанных во взаимно перпендикулярных направлениях, свидетельствуют о наличии текстуры – преимущественной ориентации волокон в прокатанных матах.

Величины отношения  $\sigma_{\parallel \text{ср}} / \sigma_{\perp \text{ср}}$  небольшие, поэтому для подтверждения анизотропии материала проведен дополнительный анализ результатов с помощью статистических критериев [14].

Ввиду малых (непредставительных) выборок использован упрощенный параметрический критерий – так называемый двойной  $t$ -критерий, где  $t = (X_{1cp} - X_{2cp}) \cdot \sqrt{n} / \sqrt{(S_1^2 + S_2^2)}$ .

Выборка однородна, если  $t \leq t_{табл}$ , где  $t_{табл}$  – зависит от  $\alpha$ -доверительного интервала (0,95) и  $n$ -числа измерений. Выборки независимы, если  $t > t_{табл}$ .

Из сравнения данных, представленных в двух последних столбцах таблицы, следует, что для всех испытанных матов для образцов, вырезанных вдоль и поперек мата, выборки независимы, таким образом, наличие текстуры подтверждается и статистическими критериями.

Параметром, более чувствительным к наличию преимущественной ориентации волокон в мате, может явиться минимальный (критический) радиус изгиба – радиус, при котором сохраняется целостность образца. Эта характеристика, кроме того, имеет и практическую значимость. В дальнейшем имеет смысл провести работы по изучению взаимосвязи степени анизотропии мата и критического радиуса изгиба.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Абузин Ю.А., Ивахненко Ю.А. Металлические и керамические композиционные материалы /В сб. материалов Международной науч.-практич. конф. «Современные технологии – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения». Казань. 2008. Т. 1. С. 181–188.
3. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С. Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 20–24.
4. Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г., Зимичев А.М., Тинякова Е.В. Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 380–386.
5. Тинякова Е.В., Гращенков Д.В. Теплоизоляционный материал на основе муллитокорундовых и кварцевых волокон //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 43–46.
6. Гращенков Д.В., Балинова Ю.А., Тинякова Е.В. Керамические волокна оксида алюминия и материалы на их основе //Стекло и керамика. 2012. №4. С. 32–36.

7. Гращенко Д.В., Щетанов Б.В., Тинякова Е.В., Щеглова Т.М. О возможности использования кварцевого волокна в качестве связующего при получении легковесного теплозащитного материала на основе волокон  $Al_2O_3$  //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 8–14.
8. Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г. Теплозащитные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 12–19.
9. Бабашов В.Г., Щетанов Б.В. Гибкий низкоплотный высокотемпературный материал на основе муллитокорундового волокна //Современные проблемы науки и образования. 2015. №1 ([www.science-education.ru](http://www.science-education.ru)).
10. Способ получения волокнистого керамического материала: пат. 2433917 Рос. Федерация; опубл. 20.11.2011. Бюл. №32.
11. Способ получения гибкого теплоизоляционного материала: заявка на пат. 2014107962 Рос. Федерация; зарегист. 03.03.2014.
12. Ерасов В.С., Яковлев Н.О., Нужный Г.А. Квалификационные испытания и исследования прочности авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 440–448.
13. Колышев С.Г., Басаргин О.В., Бутаков В.В. Эксперименты по определению прочности при растяжении образцов из легковесных гибких волокнистых материалов //Все материалы. Энциклопедический справочник. Приложение к журн. 2014. №5. С. 8–11.
14. Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романиков Ю.А. Методы планирования и обработки результатов физических экспериментов. М.: Атомиздат. 1978. С. 180–182.

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period to 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). S. 3–33.
2. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Abuzin Ju.A., Ivahnenko Ju.A. Metallicheskie i keramicheskie kompozicionnye materialy [Metal and ceramic composite materials] /V sb. materialov Mezhdunarodnoj nauch.-praktich. konf. «Sovremennye tehnologii – kljuchevoe zveno v vozrozhdenii otechestvennogo aviastroenija». Kazan'. 2008. Т. 1. S. 181–188.

3. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Isaeva N.V., Solncev S.S. Perspektivnye vysokotemperaturnye keramicheskie kompozicionnye materialy [Perspective high-temperature ceramic composite materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 20–24.
4. Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G., Zimichev A.M., Tinjakova E.V. Vysokotemperaturnye teploizoljacionnye i teplozashhitnye materialy na osnove volokon tugoplavkih soedinenij [High-temperature heatinsulating and heat-protective materials on the basis of fibers of high-melting connections] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 380–386.
5. Tinjakova E.V., Grashhenkov D.V. Teploizoljacionnyj material na osnove mullitokorundovyh i kvarcevyh volokon [Heatinsulating material on the basis of mullitokorundovy and quartz fibers] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №3. S. 43–46.
6. Grashhenkov D.V., Balinova Ju.A., Tinjakova E.V. Keramicheskie volokna oksida aljuminija i materialy na ih osnove [Ceramic fibers of aluminum oxide and materials on their basis] //Steklo i keramika. 2012. №4. S. 32–36.
7. Grashhenkov D.V., Shhetanov B.V., Tinjakova E.V., Shhegl'ova T.M. O vozmozhnosti ispol'zovanija kvarcevog volokna v kachestve svjazujushhego pri poluchenii legkovesnogo teplozashhitnogo materiala na osnove volokon  $Al_2O_3$  [About possibility of use of quartz fiber as lightweight heat-protective material binding at receiving on the basis of  $Al_2O_3$  fibers] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №4. S. 8–14.
8. Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G. Teplozashhitnye materialy [Heat-protective materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 12–19.
9. Babashov V.G., Shhetanov B.V. Gibkij nizkopltnyj vysokotemperaturnyj material na osnove mullitokorundovogo volokna [Flexible low-density high-temperature material on the basis of mullitokorundovy fiber] //Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. №1 ([www.science-education.ru](http://www.science-education.ru)).
10. Sposob poluchenija voloknistogo keramicheskogo materiala [Way of receiving fibrous ceramic material]: pat. 2433917 Ros. Federacija; opubl. 20.11.2011. Bjul. №32.
11. Sposob poluchenija gibkogo teploizoljacionnogo materiala [Way of receiving flexible heatinsulating material]: zajavka na pat. 2014107962 Ros. Federacija; zaregist. 03.03.2014.
12. Erasov V.S., Jakovlev N.O., Nuzhnyj G.A. Kvalifikacionnye ispytaniya i issledovanija prochnosti aviacionnyh materialov [Qualification tests and researches of durability of aviation materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 440–448.
13. Kolyshev S.G., Basargin O.V., Butakov V.V. Jeksperimenty po opredeleniju prochnosti pri rastjazhenii obrazcov iz legkovesnyh gibkikh voloknistyh materialov [Experiments by determination of durability at stretching of samples from lightweight flexible fibrous mate-

rials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. Prilozhenie k zhurn. 2014. №5. S. 8–11.

14. Zazhigaev L.S., Kish'jan A.A., Romanikov Ju.A. Metody planirovanija i obrabotki rezul'tatov fizicheskix jeksperimentov [Methods of planning and processing of results of physical experiments]. M.: Atomizdat. 1978. S. 180–182.