

УДК 620.186.14

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РЕЗА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

(поступила в редакцию 11.08.2014, переработанный вариант – 15.12.2014, принята в печать – 17.12.2014)

Исходжанова И.В., Быценко О.А., Антюфеева Н.В., Столянков Ю.В.

ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов»

При изучении влияния технологии реза образцов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на качество поверхности обнаружено, что, помимо известного вида дефектов (трещины), на обработанной поверхности присутствуют дефекты в виде сколов, которые также являются факторами, определяющими качество поверхности после механической обработки. Определены количественные параметры, характеризующие обнаруженный вид дефектов и предложена методика его оценки.

Представлен метод оценки качества реза из ПКМ после обработки резанием при использовании различных типов отрезного оборудования методом оптической микроскопии и количественного анализа видеоизображений с использованием программ «Image Expert Sequencer 4» и «Image Expert Pro 3x».

Ключевые слова: ПКМ, углепластики, дефекты реза ПКМ, сколы и трещины, количественный анализ видеоизображений.

ASSESSMENT OF EFFECT OF CUTTING ON THE SURFACE QUALITY OF FIBRE REINFORCED POLYMER SPECIMENS BY USING QUANTITATIVE ANALYSIS OF VIDEO IMAGES

Iskhodzhanova I.V., Bytchenko O.A., Antyufeeva N.V., Stolyankov Y.V.

ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF AVIATION MATERIALS

When studying effect of cutting technology on quality of surface in the cutting zone, it is found that, in addition to a known type of the defects being flaws and cracks, on the surface there are chipping clearance which also defines surface quality after cutting. Quantitative parameters characterizing the discovered type of defects are determined by a proposed technique of their assessment.

The method of the machine PCM cut quality assessment after processing by cutting when using different types of cutting and cutoff devices by optical microscopy and quantitative analysis of video images using Image Expert Sequencer 4 and Image Expert Pro 3x program packages.

Key words: fibre reinforced polymers, CRFP, PCM, carbon composites, quality of machine cut, cracks, chipping clearance, quantitative analysis of video images.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается постоянный рост использования полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях самолетов, обусловленный повышенными прочностными свойствами ПКМ и значительным снижением их стоимости. Качество и эксплуатационная надежность изделий из композиционных материалов зависит от свойств препрегов и углепластиков, используемых для их изготовления [1]. Наиболее важными характеристиками, ответственными за эксплуатационные свойства деталей из слоистых ПКМ, являются прочность при межслоевом сдвиге, в том числе после воздействия

на материал эксплуатационных жидкостей [2]. Для разработки методик «Определение прочности углепластика при межслоевом сдвиге в исходном состоянии и после насыщения эксплуатационными жидкостями» и «Определение плотности и толщины монослоя» были проанализированы международные стандарты [3], согласно которым для оценки прочности углепластика на торце образцов (резе) не должно быть более пяти трещин на один дюйм длины. Однако, кроме трещин, в рамках настоящей работы обнаружен еще один вид дефектов, влияющий на качество реза – сколы на поверхности образцов углепластиков. Этому фактору поставлены в соответствие количественные параметры, которые изменяются в зависимости от вида обработки.

С целью определения основных типов дефектов и их морфологии на оптическом микроскопе проведено исследование торцевой поверхности реза углепластиков на различных типах отрезного оборудования.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование качества поверхности реза образцов из углепластиков проведено методом оптической микроскопии. Образцы для исследования получены с помощью различных технологических приемов: отрезного диска с охлаждением (Алмаз – А), резки образцов на роботизированном фрезерном станке типа «CharlyRobot» (Робот – Фр) и резки алмазным диском (Алмаз-Ал). В первом случае резка производилась с подачей смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Способы резки отличались также величиной линейной скорости режущей кромки инструмента. В случае дискового отрезного оборудования, в том числе стандартного, линейная скорость составляла 35-37 м/с, в то время как при использовании роботизированного станка линейная скорость не превышала 3 м/с. В этой связи для данного способа подбор режимов резания производился в диапазоне наименьших возможных величин подачи. При резке на отрезном оборудовании подача материала на режущий инструмент осуществлялась вручную. Условное обозначение исследуемых образцов представлено в Таблице 1.

Таблица 1

Условное обозначение исследуемых образцов в зависимости от вида резания и типа станка

№ образца	Тип отрезного оборудования, условное обозначение	Линейная скорость режущей кромки, $V_{\text{лин.}}$, м/с	Скорость подачи, $V_{\text{под}}$, мм/мин
1	Отрезной диск с охлаждением – Охл	37	ручная подача
2	Обработка резанием на фрезерном роботизированном станке – Фр	2,5	0,25
3	Отрезной алмазный диск – Ал	35	Скорость подачи – 5мм/мин.

На подготовительном этапе работы разрез образцов из углепластика проводился как в продольном, так и в поперечном направлениях относительно поверхностных волокон. Так как в поперечном направлении качество поверхности реза оказалось значительно хуже продольного, было решено сравнивать качество обработки резанием на образцах, вырезанных в поперечном направлении.

Исследование поперечных резов проводилось на оптическом микроскопе «Leica DM IRM» при увеличении x100. Съемка изображений велась цифровой камерой VEC-335 (3 мегапиксела), панорамные

снимки с двух противоположных сторон образца получены при помощи компьютерной программы «Image Expert Sequencer 4» при $\times 100$, а подготовка изображений к количественному анализу и математическая обработка выполнялась при помощи компьютерной программы «Image Expert Pro 3x» [4].

На панорамных снимках на графическом планшете Wacom Intios² была измерена общая длина реза L в мкм, при этом места панорамных снимков, на которых по разным причинам (например, наличие какого-либо постороннего предмета) невозможно было зафиксировать наличие трещин, не включалась в общую длину реза. Затем вручную контрастным цветом были прорисованы дефекты, образовавшиеся после резки образцов углепластиков.

Для корректной оценки качества реза было решено разделить дефекты на 2 типа: трещины и сколы.

Трещины – дефекты поверхности, имеющие в направлении y (перпендикулярно плоскости реза) значительно больший размер по сравнению с x – измерением (вдоль реза) – см. Рис. 1.

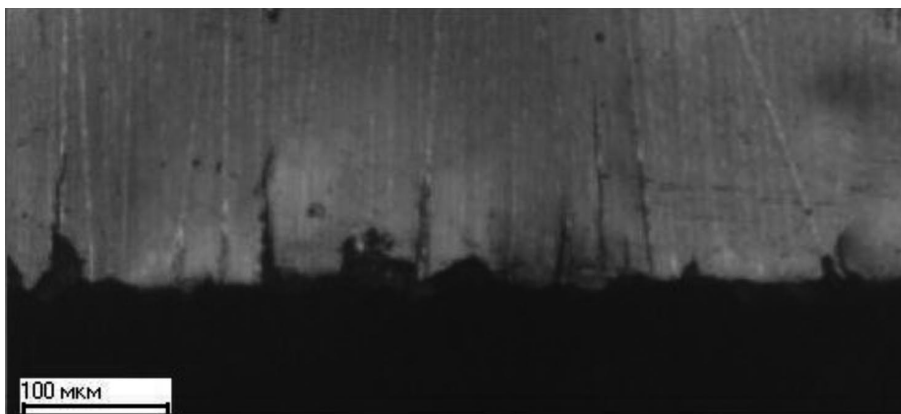


Рис. 1. Трещины после резания в поверхностном слое образца из углепластика
The flaws after cutting in the surface layer of the sample of carbon fiber

Трещины анализировались по следующим параметрам:

- количество трещин на единицу длины реза N/L , шт/мм;
- общая площадь трещин S_T на панорамном снимке, мкм²;
- объемная доля трещин в % от площади единичного снимка $\times 100$;
- площадь трещин на единицу длины реза, S_m/L мм²/мм;
- максимальная глубина трещины, мкм;
- средняя глубина трещины, мкм;
- средняя вытянутость трещины.

Трещины могут быть связаны как с растрескиванием материала в процессе резки, так и с дефектами (например, царапинами) на поверхности образца (Рис. 1).

Сколы – это отколовшиеся участки материала, как правило, с поверхности образца, имеющие в двух направлениях x и y однопорядковые размеры. Для корректной оценки глубины сколов сплошные участки сколов условно разделены на отдельные «моносколы», относящиеся к каждой единичной «вершине» сколов (Рис. 2).

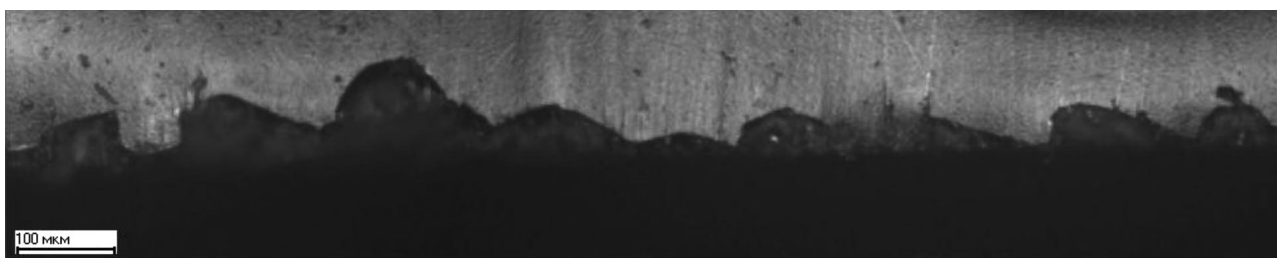


Рис. 2. Сколы после резания на поверхности образца из углепластика
The chips after cutting in the surface layer of the sample of carbon fiber

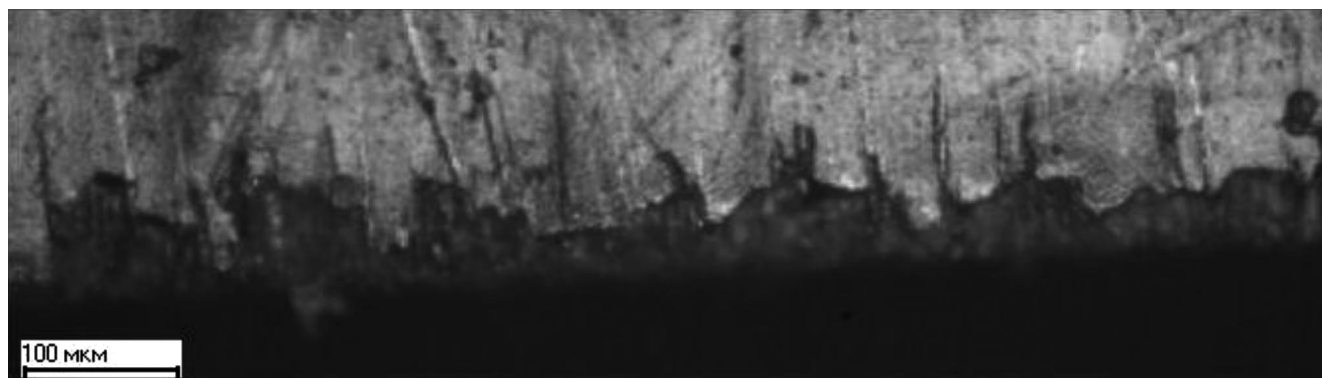
Сколы анализировались по следующим параметрам:

- общая суммарная площадь сколов на панорамном снимке, S_c , мкм²;
- объемная доля сколов в % от площади единичного снимка при x100;
- площадь сколов на единицу длины реза S_c/L , мкм²/мкм;
- максимальная измеренная глубина скола, мкм;
- средняя глубина скола, мкм.

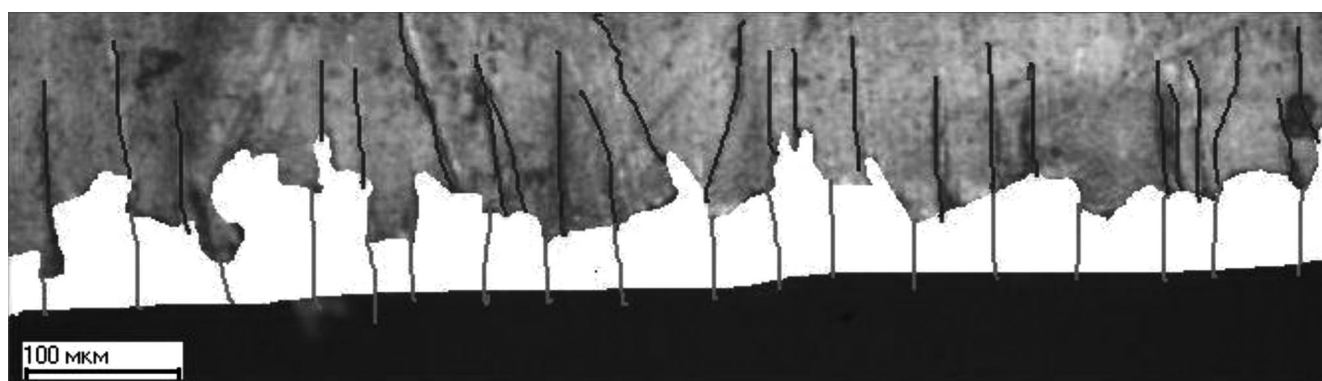
Как правило, оба типа дефектов присутствуют в одном месте на поверхности реза, однако в разных соотношениях для разных видов обработки резанием и типов оборудования (Рис. 3а). На Рис. 3б показано то же изображение, подготовленное к количественному анализу - белам цветом прорисованы сколы, а черными извилистыми линиями обозначены трещины.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На Рис. 4–6 представлены фрагменты панорамных снимков поверхности образцов из углепластика после обработки отрезным диском с охлаждением (Рис. 4), роботизированного фрезерного станка (Рис. 5) и обработка отрезным алмазным диском (Рис. 6).



а)



б)

Рис. 3. Фрагмент панорамы поверхности образца из углепластика после операции резания на роботизированном фрезерном станке (образец Фр): а – исходное изображение; б – то же, подготовленное к количественному анализу
The fragment of the panorama sample surface of carbon fiber after cutting operation on the Robotic Milling Machine (sample Mill): a – the original image; b – the same image, prepared to quantitative analysis

При сравнении фрагментов панорамных снимков видно, что наименьшее воздействие на поверхность реза оказывает обработка на отрезном станке с помощью абразивного круга с охлаждением, а наибольшее воздействие оказывает процесс фрезерования образцов на роботизированном станке.

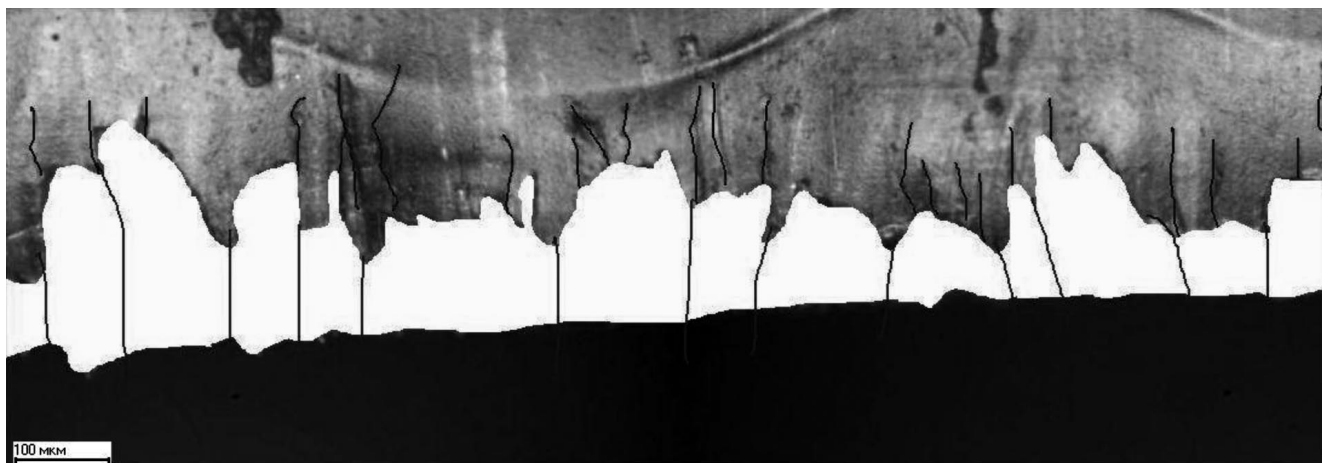


Рис. 4. Фрагмент панорамного снимка поверхности реза образца из углепластика после операции резания отрезным диском с охлаждением (образец Ал)
The fragment of the panoramic photo of the cut surface of the sample of carbon fiber after cutting operation on the Cutting-off-abrasivewheel with lubricating coolingagent (sample Cool)

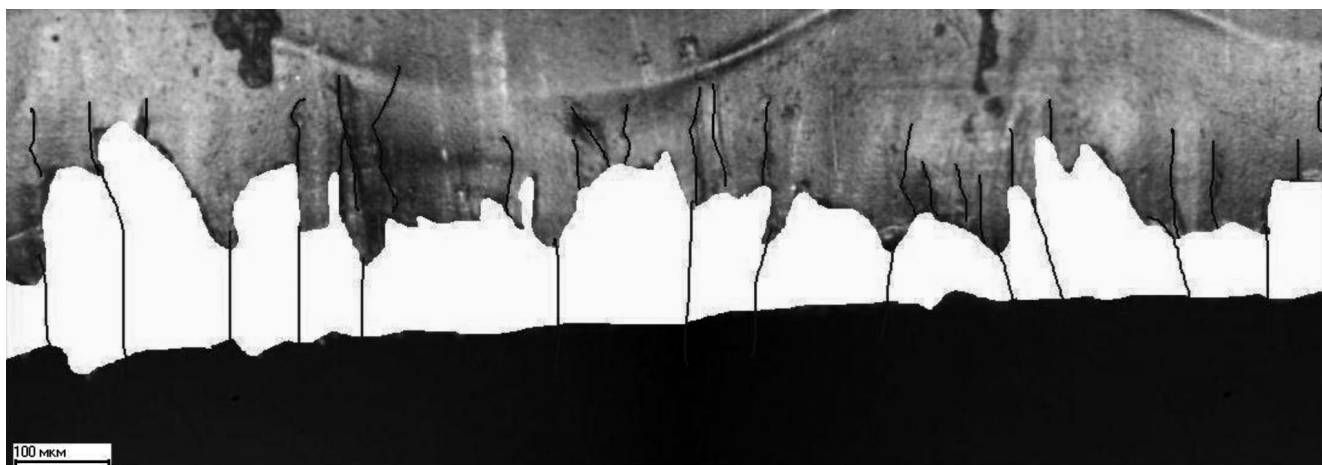


Рис. 5. Фрагмент панорамного снимка поверхности реза образца из углепластика после операции резания на роботизированном фрезерном станке (образец Фр)
The fragment of the panoramic photo of the cut surface of the sample of carbon fiber after cutting operation on the Robotic Milling Machine (sample Mill)

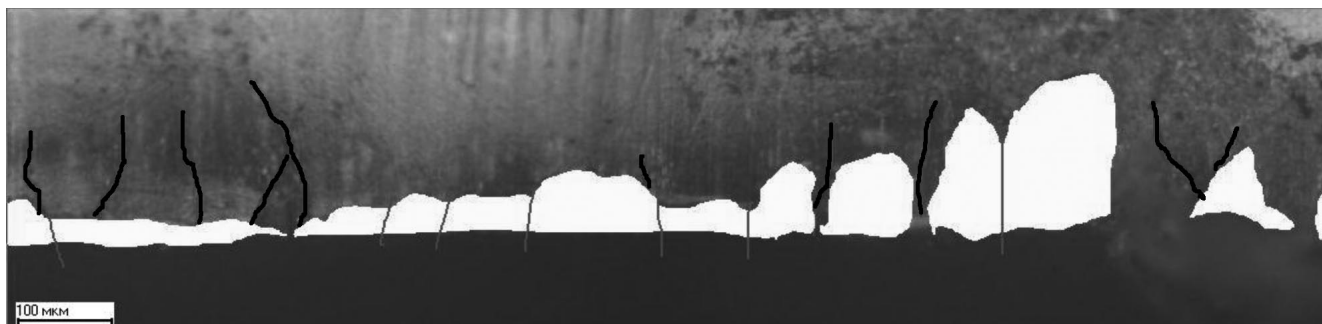


Рис. 6. Фрагмент панорамного снимка поверхности реза образца из углепластика после операции резания отрезным алмазным диском (образец Ал)
The fragment of the panoramic photo of the cut surface of the sample of carbon fiber after cutting -off diamond abrasive wheel (sample Dmd)

Результаты определения объемной доли и размеров трещин и сколов приведены в Таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2

Геометрические параметры и объемная доля трещин на поверхности реза образцов из углепластика в зависимости от различных видов резания и типов оборудования

№ п/п	Тип образца	Исследованная длина реза L, мкм	Общая площадь трещин S_T , мкм ²	Площадь трещин на единицу длины реза, S_T/L , мм ² /мм	Максим. глубина трещины, мкм	Средняя глубина трещины, мкм	Средняя вытянутость трещины
1	Отрезной диск с охлаждением	31 236	22 640	0,725	174,4	49,6±2,6	6,6±0,3
2	Роботизированный фрезерный станок	27 534	64 925	2,358	674,3	103,7±6,2	10,6±0,3
3	Фрезер трещины	24 372	40 948	1,680	161,2	88,3±2,7	12,7±0,5

Таблица 3

Геометрические параметры и объемная доля сколов на поверхности реза образцов из углепластика в зависимости от различных видов резания и типов оборудования

№ п/п	Тип образца	Исследованная длина реза L, мкм	Общая площадь сколов S_c , мкм ²	Объемная доля сколов %, (разброс при x100)	Площадь сколов на единицу длины реза S_c/L , мкм ² /мкм	Макс. глубина скола, мкм	Средняя глубина скола, мкм
1	Отрезной диск с охлаждением	31 236	480520	1,48 (1,23-1,75)	15,38	101,8	35,3±1,0
2	Роботизированный фрезерный станок	27 534	1612335	6,28 (5,39-7,15)	58,56	224,4	82,3±2,5
3	Отрезной алмазный диск	24 372	1103457	4,08 (2,67-5,03)	45,28	408,8	54,9±2,9

Приведённые данные показывают, что минимальное количество дефектов, а, следовательно, и наилучшее качество поверхности реза имеют образцы после механической обработки на отрезном станке с помощью отрезного круга с охлаждением. Наибольшие значения этих параметров и, соответственно, худшее качество поверхности реза обнаружены после обработки на роботизированном фрезерном станке.

Следует заметить, что сильно отличающееся качество поверхности образцов в зоне реза после применения различных способов резания и оборудования, может быть связано с недостаточной отработкой режимов резания для данного материала на роботизированном станке и с помощью отрезного алмазного диска, а применение СОЖ при обработке резанием на отрезном станке с помощью алмазного круга позволило повысить качество обработанной поверхности и нивелировать возможные негативные последствия плохо подобранного режима резания [5]. Заметим, что результаты по определению прочности образцов углепластиков при межслоевом сдвиге, полученные по разработанным методикам во ФГУП ВИАМ, не отличаются от результатов испытаний, проведенных по международным стандартам.

4. ВЫВОДЫ

Установлено, что наилучшее качество обработанной поверхности образцов из углепластика получается после реза на отрезном станке с охлаждением, а самое низкое качество обработанной поверхности – после фрезерования на роботизированном станке. Использование описанной в статье методики позволило отбраковывать некачественные образцы углепластиков перед проведением последующих испытаний.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы //Вестник РАН. 2002. Т. 72. №1. С. 3–12.
2. Черепанов Г.П. Механика разрушения композиционных материалов. М.: Наука. 1983. С. 32–37.
3. ASTM D5687M-95 (2002): Standard Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation.
4. Чабина Е.Б., Алексеев А.А., Филонова Е.В., Лукина Е.А. Применение методов аналитической микроскопии и рентгеноструктурного анализа для исследования структурно-фазового состояния материала //Труды ВИАМ. 2013. №5. Ст. 06 (viam-works.ru).
5. Столянков Ю.В., Исходжанова И.В., Антюфеева Н.В. К вопросу о дефектах образцов для испытаний углепластиков //Труды ВИАМ. 2014. №10. Ст. 10 (viam-works.ru).

1. Kablov E.N. Aviation materials science: results and prospects. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2002. V. 72. №1. pp. 3–12.
2. Cherepanov G.P. Fracture mechanics of the composite materials. Moscow. Nauka. 1983. pp. 32–37.
3. ASTM D5687M-95 (2002 г.): Standard Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation.
4. Chabina E.B., Alekseev A.A., Filonova E.V., Lukina E.A. Analytical microscopy and the X-ray structural analysis methods application for the research of the material structure and phase condition. Trudy VIAM. 2013. №4. Art.06 (viam-works.ru).
5. Stolyankov Yury V., Ishodjanova Irina V., Antufeeva Natalya V. On the question of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) test specimen flaws. Trudy VIAM. 2014. №10. Art.10 (viam-works.ru).

Сведения об авторах:

Исходжанова Ирина Васильевна, научный сотрудник, т. 499-263-89-29, irina.iskh@gmail.com)

Быценко Оксана Анатольевна, канд.техн. наук, и.о. начальника лаборатории, т. 499-263-88-80, oksiwear@yandex.ru

Антюфеева Наталия Викторовна, канд.техн. наук, ст. науч. сотрудник, т. 499-263-89-82, ant2361@mail.ru

Столянков Юрий Владиславович, канд.техн. наук, ст. науч. сотрудник, т. 495-366-67-88, Stolyankov@mail.ru)