

УДК 539.43:67.017:620.16

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР И ВЛАГИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕПЛАСТИКА

© 2021 г. М. Г. Петров¹, член-корреспондент РАН М. П. Лебедев²,
О. В. Старцев^{2,*}, М. М. Копырин²

Поступило 30.06.2021 г.

После доработки 24.08.2021 г.

Принято к публикации 10.09.2021 г.

Методом продольного изгиба исследована долговечность углепластика, используемого в конструкции самолета, для эксплуатации в экстремальных условиях Арктики. Объединены монотонный способ нагружения с различными скоростями перемещения подвижного захвата испытательной машины и циклическое нагружение образцов с нарастающим размахом перемещений. Определены силовые зависимости энергии активации и зависимости между скоростью разрушения, деформирования и долговечностью. Установлено, что пребывание углепластика при отрицательных температурах практически не влияет на долговечность. Но периодические переходы через температуру кристаллизации воды, накопленной в композите, существенно понижают прочностные характеристики и срок безопасной эксплуатации материала.

Ключевые слова: углепластик, климатическое воздействие, прочность, долговечность, усталость, неупругость, прогнозирование

DOI: 10.31857/S2686953521050149

При освоении арктических территорий обострилась актуальность проблемы прогнозирования безаварийной работы конструктивных элементов техники, изготовленных из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Главной причиной ухудшения механических показателей ПКМ в холодном климате является действие низких температур. В Якутске при среднегодовой температуре -10.6°C в зимние месяцы температура опускается до -40°C и даже достигает -64°C [1]. При низких температурах возникают внутренние напряжения, которые определяются по различиям коэффициентов линейного термического расширения полимерных матриц и армирующих волокон [2, 3]. Величина этих напряжений составляет 40–60 МПа, что может превышать уровень прочности при межслойном сдвиге для углепластиков [4]. Армированные материалы, экспонируемые в открытых климатических условиях, могут накапливать в порах и капиллярах воду, превращающуюся в твердую фазу при отрицательных тем-

пературах, что усиливает внутренние напряжения [5]. Сезонное и суточное климатическое термоциклирование изменяет амплитуду внутренних напряжений и ускоряет появление микротрещин, их слияние и формирование макроповреждений в объеме связующего или на границе с волокнами [5].

Но расчеты величины внутренних напряжений, вычисляемые обычно в рамках теории упругости, не будут соответствовать их действительным значениям, поскольку кинетические процессы течения связующего приведут к перераспределению внутренних напряжений. А поле внутренних напряжений, возникающее при нагружении и количественно характеризующее структуру материала, будет вызывать различные эффекты в зависимости от реологических свойств составляющих композит материалов и образующихся повреждений. Поэтому важной составляющей исследования являются экспериментальные данные, их математическая обработка и соответствующая интерпретация.

В современной научной литературе климатическую стойкость ПКМ определяют по изменению их статической прочности и усталостной долговечности [6–8]. Для этого определяют механические свойства ПКМ после нескольких лет экспонирования в открытых климатических условиях и подбирают подходящую эмпириче-

¹Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина, 630051 Новосибирск, Россия

²Федеральный исследовательский центр “Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук”, 677980 Якутск, Россия

*E-mail: startsevov@gmail.com

скую модель соответствия, с помощью которой выбранный показатель экстраполируют на требуемый срок эксплуатации. Достоверность такого упрощенного прогнозирования не достаточна, так как не учитывает влияние структуры, состава материала и всего многообразия длительных внешних воздействий (механических нагрузок и термоциклов, суточных и сезонных колебаний температуры, относительной влажности, разрушения поверхностных слоев под воздействием ультрафиолетовой солнечной радиации, ветра, осадков).

Ранее была выявлена взаимосвязь между скоростью неупругих деформаций и долговечностью ПКМ [9]. По результатам циклических механических нагружений можно определить силовые зависимости энергии активации разрушения и моделировать зависимости между скоростью разрушения, деформирования и долговечностью [10]. Это открывает возможность использования способа прогнозирования, основанного на кинетической концепции разрушения. В связи с этим исследование влияния температуры и воздействий влаги на прочностные свойства композита проведено на основе универсального и более информативного способа анализа долговечности ПКМ, при котором вместо ряда несовместимых подходов или формального описания экспериментальных данных [8] используется один, основанный на теории скоростей реакций [10].

Для исследований был выбран 12-слойный углепластик саржевого плетения, полученный вакуум-автоклавным формованием препрега на основе эпоксидного связующего марки АСМ-102 (Россия) и углеродной ткани марки АСМ-С200Т (Россия) [11]. Он используется в конструкции легкого многоцелевого самолета для эксплуатации в сложных климатических условиях, в том числе в экстремальных условиях Арктики. Предел прочности и модуль упругости при растяжении этого углепластика составляют не менее 850 МПа и 70 ГПа соответственно, предел прочности при сдвиге – не менее 80 МПа и температура стеклования полимерной матрицы – не менее 150°C. По результатам испытаний на растяжение и сжатие при различной температуре в диапазоне 20–120°C, проведенных на универсальной испытательной машине BiSS 100 kN (Bangalore Integrated System Solutions), была определена начальная энергия активации разрушения углепластика $U_0 = 155.3$ кДж моль⁻¹.

Исследовали образцы, вырезанные из четырех идентичных пластин углепластика. Пластины 1 использовали для определения исходных механических показателей материала. Пластины 2 экспонировали 30 сут в открытых арктических климатических условиях в зимнее время при колебаниях внешней температуры от –11 до –44°C.

Пластины 3 за тот же период подвергали суточным циклам “влагонасыщение–замораживание”, при которых в ночное время она выдерживалась в воде при 60°C, а в дневное время – на открытом атмосферном стенде. За все время испытаний третья пластина сорбировала 0.68% воды, которая была локализована в поверхностных слоях образца. Пластины 4 – контрольные – для определения свойств образца, хранящегося в лаборатории. Влагосодержание первой, второй и четвертой пластин было несущественным и не превышало 0.1%.

Для испытаний углепластика на прочность выбран метод продольного изгиба [12, 13]. Этот метод наиболее информативен, так как изгибные деформации создают наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения в приповерхностных слоях композита, наиболее подверженных климатическим воздействиям. Информативность метода в том, что, вычисляя значение критической силы потери устойчивости в каждый момент времени нагружения по точному аналитическому решению [12] или используя энергетический метод [13], можно проследить за изменением кинетики деформирования пластины в зависимости от ее усредненной жесткости. Становятся видными соотношение и взаимовлияние процессов ползучести связующего и разрушения материала.

Исходные контрольные и климатически состаренные пластины были разрезаны в направлении основы на плоские образцы размером 145 × 30 × 2.6 мм и испытаны на продольный изгиб. Использовали монотонный способ нагружения с тремя постоянными скоростями перемещения подвижного захвата испытательной машины 1.0, 0.1, 0.01 мм с⁻¹ и циклическое нагружение образцов с нарастающим размахом перемещений на частоте 0.5 Гц. В последнем случае общая длительность нагружения была соизмеримой с длительностью монотонного нагружения со скоростью 0.1 мм с⁻¹. Испытания проводили при температуре 18–20°C на машине BiSS 10 kN (Индия), позволяющей измерять усилия сжатия с погрешностью ±1 Н и перемещения – ±0.01 мм.

При испытаниях на монотонное нагружение фиксировали время до излома образцов t_* , по гипотезе плоских сечений определяли максимальные значения напряжений сжатия $|\sigma_{\max}|$ и вычисляли эквивалентное время разрушения τ_{eq} , приведенное к максимальным напряжениям в опытах.

Прочностные характеристики охарактеризованы параметром прочности P_{st} , который определен как

$$P_{\text{st}} = |\sigma_{\max}| / (U_0 - U_i), \quad (1)$$

где $|\sigma_{\max}|$ – абсолютное значение максимальных напряжений сжатия, достигнутых при нагруже-

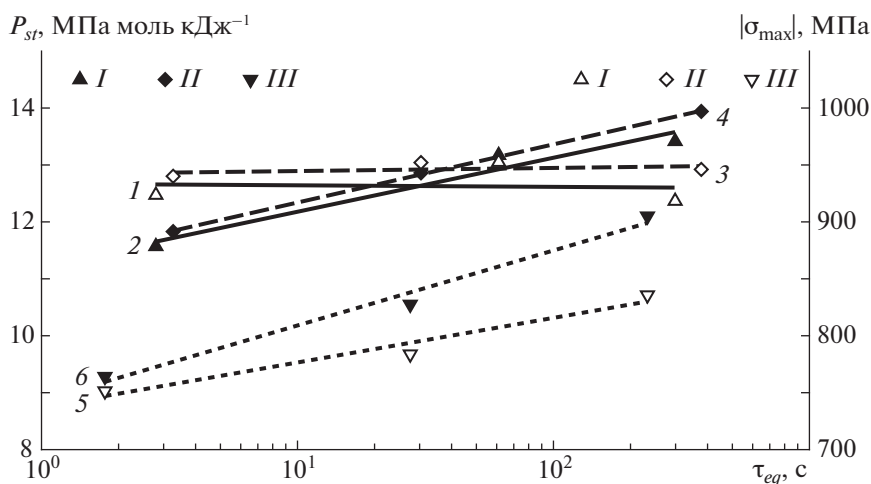


Рис. 1. Зависимости прочностных характеристик углепластика до и после климатических испытаний от времени разрушения при деформировании образцов продольным изгибом с различными скоростями: *I* – образцы материала в исходном состоянии, *II* – образцы после непрерывного пребывания при отрицательных температурах, *III* – образцы после 30 циклов влагонасыщения–замораживания. Аппроксимации сплошными линиями обозначают исходное состояние материала (пластина 1), штриховые линии 3, 4 – результаты испытаний после выдержки на полигоне при отрицательных температурах (пластина 2), пунктирные линии 5, 6 соответствуют испытаниям после 30 циклов “влагонасыщение–замораживание” (пластина 3).

нии в каждом опыте, U_0 – начальная энергия активации разрушения, U_i – энергия активации процесса разрушения, вычисленная для каждого случая нагружения путем приведения времени разрушения к максимальным напряжениям через интеграл от скорости разрушения $\dot{\omega}$ по времени при непрерывно меняющихся напряжениях [14]. В течение времени τ_{eq} материал находится при напряжениях $|\sigma_{\max}|$. Исходя из условий равенства поврежденности, получаем соотношение (2):

$$\int_0^{t_*} \dot{\omega}(t, \sigma) dt = \tau_{eq} v_0 \exp\left(-\frac{U_0 - \gamma |\sigma_{\max}|}{RT}\right). \quad (2)$$

Формула (2) основана на общем подходе, вытекающем из теории скоростей реакции, которую впервые применил Кауцманн при изучении процесса течения твердых тел [9, 10, 14, 15]. Метод обработки – термоактивационный анализ при значении $U_0 = 155.3 \text{ кДж моль}^{-1}$, $v_0 = 1 \times 10^{13} \text{ с}^{-1}$ – характерная дебаевская частота, R – универсальная газовая постоянная, t_* – время нагружения до излома образцов, T – абсолютная температура. Параметр прочности P_{st} есть обратная величина активационного объема γ , вычисляемого при термоактивационном анализе результатов испытаний на долговечность и характеризующего структурное состояние материала. Используемый подход опирается на многочисленные работы школы С.Н. Журкова [15–17] и направлен на их практическое применение.

Характер зависимости параметра прочности и максимальных напряжений, достигнутых в каж-

дом опыте, от времени разрушения показан на рис. 1. Шкала абсцисс – логарифмическая, так как долговечность экспоненциально зависит от напряжений.

Если структура материала стабильна, то с увеличением времени разрушения (или нагружения) напряжения излома образца должны уменьшаться [9, 15]. Они несколько уменьшаются у образцов в исходном состоянии материала (рис. 1, прямая 1). Но поскольку параметр прочности увеличивается (рис. 1, прямая 2), это изменение мало. У образцов после выдержки при отрицательных температурах параметр прочности увеличивается в большей мере (рис. 1, прямая 4), и напряжения излома несколько возрастают (рис. 1, прямая 3). У образцов после влагонасыщения–замораживания это возрастание выражено более отчетливо (рис. 1, прямые 5 и 6), но их низкие прочностные характеристики не позволяют в течение того же времени достичь значительных напряжений, и процесс разрушения заканчивается раньше.

Значения усредненной жесткости образцов, вычисленной по изменениям критической силы потери устойчивости образцов, показывают, что в результате начального периода ползучести связующего жесткость возрастает, достигая максимальных величин. Ползучесть связующего приводит, по-видимому, к уменьшению неравномерности распределения усилий по волокнам. Затем, когда процесс разрушения с ростом напряжений ускоряется, жесткость начинает снижаться. Максимальные значения жесткости материала образцов обычно наблюдаются при напряжениях изгиба 400–600 МПа. Отклонения в меньшую сторону

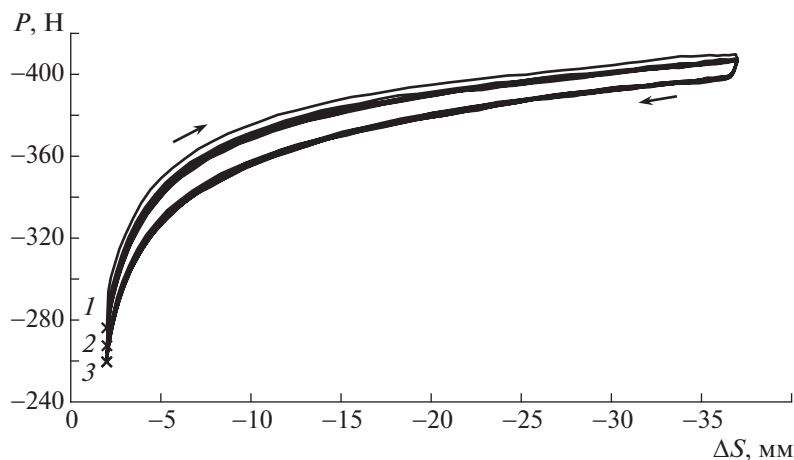


Рис. 2. Зависимости силы сжатия одного из образцов пластины 3 от перемещения шарнирной опоры при его деформировании продольным изгибом с размахом перемещения 35 мм: точка 1 — значение силы в начале данной ступени нагружения при минимальном обжатии 2 мм, точка 2 — после первого цикла нагружения, точка 3 — после 10 циклов нагружения.

встречаются у образцов в исходном состоянии материала, а в большую — у образцов, непрерывно экспонированных на климатической площадке. Максимумы жесткости образцов пластин 1, 2 и 3 равны в среднем 94,2, 93,5 и 90,1 ГПа соответственно. Таким образом, непрерывное пребывание материала при отрицательных температурах мало что изменило, а циклы влагонасыщения—замораживания заметно снизили и жесткостные характеристики композита.

Циклическое нагружение с нарастающим размахом перемещений выполнялось по ступенчатой программе с шагом 5 мм и постоянным минимальным значением перемещения 2 мм. На каждой ступени выполнялось по 10 циклов нагружения, а на последней — разрушение образца происходило обычно в течение первых четырех циклов. При частоте нагружения 0,5 Гц это соответствовало скорости перемещения подвижного захвата испытательной машины на ступени от 5 до 35–45 мм с⁻¹. При этом вычислялись неупругие характеристики образцов — коэффициенты поглощения Ψ — как отношение площади петель неупругости к работе, совершаемой испытательной машиной в цикле нагружения по формуле:

$$\Psi = A / [\Delta S (P_{\min} + P_{\max}) / 2],$$

где A — площадь петли неупругости, ΔS — размах перемещений подвижной опоры испытательной машины, P_{\min} и P_{\max} — минимальное и максимальное значения силы сжатия соответственно. Типичная петля неупругости приведена на рис. 2.

При нагружении по перемещению сила опережает деформацию по времени, так как последняя характеризуется скоростью, зависящей от напряжений. Такой вид формы петли связан с характерной зависимостью стрелы прогиба при про-

дольном изгибе от перемещения свободного конца образца [12]. Первый цикл нагружения, как обычно, сопровождается большей величиной неупругой деформации, а последующие циклы лишь монотонно снижают значения сжимающей силы, и мы наблюдаем плавное смещение петель неупругости в результате накопления в образце остаточных деформаций.

Значения усилий и перемещений оцифровывали с частотой 50,285 Гц и вычисляли средние значения площади петли в интервале от 2-го по 10-й циклы, представляя петлю неупругости кусочно-линейной зависимостью. Средние значения коэффициентов поглощения пластин получились равными: $\Psi_1 = 4,45 \times 10^{-2}$ для исходного состояния материала, $\Psi_2 = 4,12 \times 10^{-2}$ для пластин, непрерывно экспонированных при отрицательных температурах, и $\Psi_3 = 4,78 \times 10^{-2}$ для пластин, подвергавшихся 30 циклам “влагонасыщение—замораживание”.

Кривая амплитудной зависимости коэффициента поглощения отличается от вида кривой, характерной для металлических сплавов. У отдельных образцов могут быть как нарастающие его значения, так и убывающие, иногда с некоторыми колебаниями. Средние значения Ψ качественно согласуются с прочностными характеристиками. Снижение демпфирующих характеристик материала говорит об их повышении ($\Psi_2 < \Psi_1$), возрастание свидетельствует о снижении ($\Psi_3 > \Psi_1$). Но здесь следует иметь в виду, что коэффициент поглощения — интегральная характеристика образца, а прочностные характеристики относятся к его наиболее нагруженным участкам. В то же время поглощаемая энергия определяется величиной пластических деформаций, которые

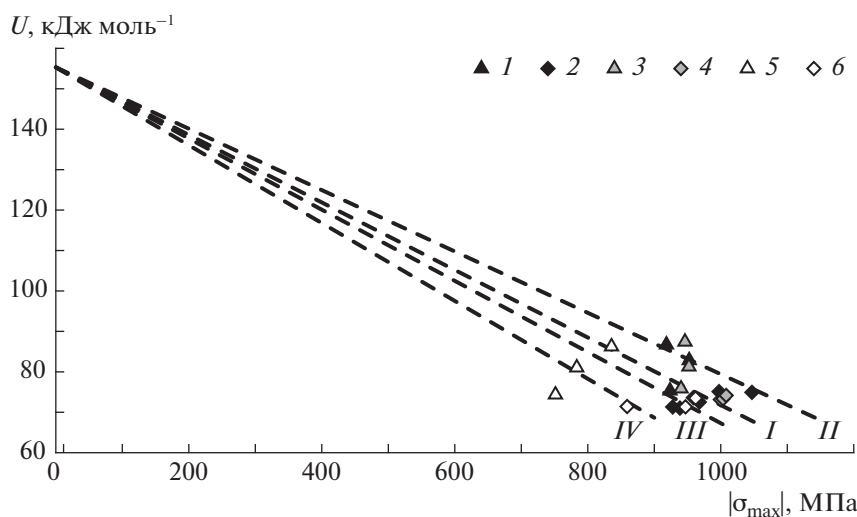


Рис. 3. Силовые зависимости энергии активации разрушения образцов, вырезанных из пластин 1 (1, 2), 2 (3, 4) и 3 (5, 6) и испытанных методом продольного изгиба при монотонном нагружении по перемещению с различными скоростями (1, 3, 5) и циклическом нагружении с нарастающим размахом перемещений (2, 4, 6): I – усредненная зависимость для образцов материала в исходном состоянии, II–IV – распределение характеристик образцов по группам прочности.

распределены по объему материала и тесно связаны с процессом разрушения [18]. Поэтому при одинаковых режимах нагружения демпфирующие характеристики образцов оказываются сопоставимыми с прочностными. И связь между ними учитывается в математических моделях, воспроизводящих в расчетах эти процессы [9, 10, 14].

Так, например, один из образцов пластины 4 был протестирован при режиме нагружения ΔS от -2 до -32 мм. Его подвергали наработке 1000 циклами, в течение которых следили за кинетикой разрушения. Вычислялись разность между максимальным и минимальным значениями силы сжатия в каждом цикле и величина демпфирования. Обе характеристики возрастали, свидетельствуя о накоплении остаточных деформаций и повреждений, и коэффициент поглощения увеличивался от 5.22×10^{-2} до 8.42×10^{-2} .

Результаты термоактивационного анализа данных разрушения всех испытанных образцов приведены на рис. 3. Энергию активации разрушения вычисляли по эквивалентному времени разрушения τ_{eq} при заданном значении начальной энергии активации $U_0 = 155.3$ кДж моль $^{-1}$. Вычисления выполнялись методом последовательных приближений на основе временных реализаций напряжений в каждом опыте и представляют собой значения $U(|\sigma_{max}|) = RT \ln(\tau_{eq} v_0)$.

На рис. 3 видны как общие закономерности, присущие какому-либо структурному состоянию материала, так и индивидуальные особенности прочностных характеристик образцов. Так, в группу II попадают образцы, нагружавшиеся монотонно со скоростями 0.1 и 0.01 мм с $^{-1}$ как в ис-

ходном состоянии, так и после непрерывной экспозиции при отрицательных температурах. Сюда же относится и образец пластины 1, наиболее длительно нагружавшийся циклически. Группу III образует большинство испытанных образцов во всех структурных состояниях. Наибольший разброс имеют характеристики образцов после циклического влагонасыщения–замораживания, обладающие низкой прочностью и долговечностью. Для материала, получившего повреждения в результате таких воздействий, наиболее опасными следует признать ударные нагрузки. Они приводят к более быстрому разрушению и при меньших напряжениях (наибольшее отклонение от прямой IV при нагружении со скоростью 1 мм с $^{-1}$). Непрерывное пребывание при отрицательных температурах немного повышает прочностные характеристики данного материала.

Полученные результаты показывают, что использование кинетической концепции разрушения, основанной на теории скоростей реакций, позволяет интерпретировать процессы разрушения как термодинамические, вызванные термической активацией. Это дает возможность систематизировать и привести к единому виду данные испытаний различного характера, выявить особенности структуры материала и ее изменений, происходящих в процессе различного рода климатических воздействий. Применение метода испытаний продольным изгибом с различными по характеру видами нагружения и в сочетании с термоактивационным анализом их результатов дает новую и разностороннюю информацию о поведении материала, изменяющего свои свой-

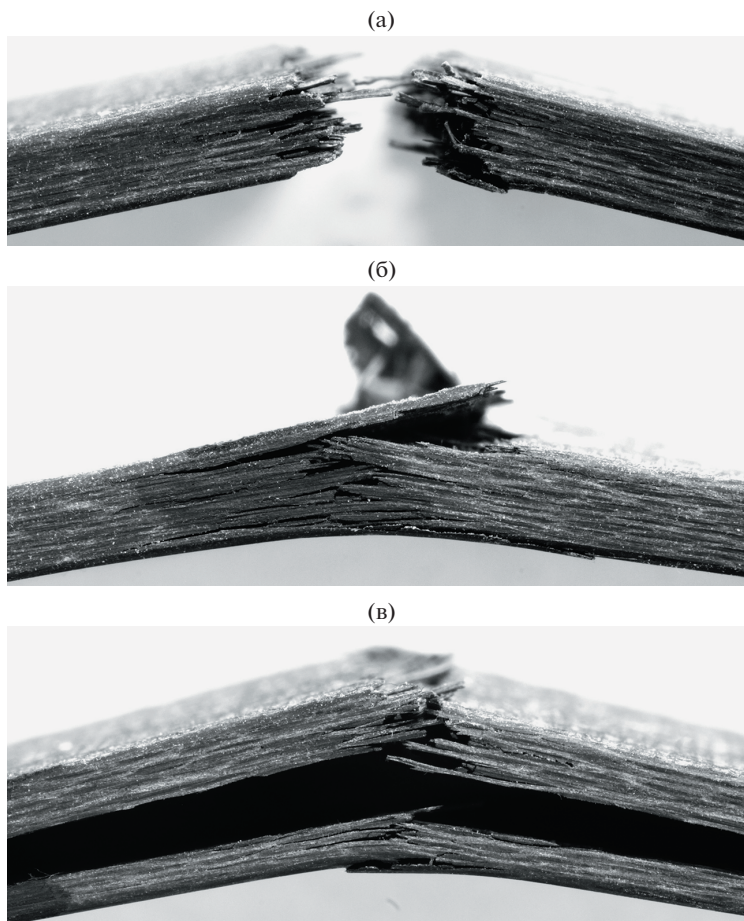


Рис. 4. Вид изломов образцов пластины 3, испытанных со скоростями перемещения опоры 1 (а), 0.1 (б) и 0.01 мм с⁻¹ (в) после 30 циклов влагонасыщения–замораживания. Увеличение 8× (а, б) и 2× (в).

ства преимущественно в приповерхностных слоях композита.

Режимы нагружения, при которых испытывались образцы, и состояние структуры материала влияют на характер разрушения и вид изломов образцов. Например, наиболее различающиеся по прочности образцы пластины 3, испытанные с шагом по времени нагружения в один порядок, имеют и характерные отличия в виде изломов (рис. 4). Вид изломов показывает все большее расслоение композита с увеличением длительности разрушения. У образцов пластин 1 и 2 это тоже наблюдается, но в меньшей степени. То есть прочностные и реологические свойства связующего, получившего повреждения в этих испытаниях, по-видимому, играют основную роль, а разрушение волокон концентрируется в ограниченной зоне.

Итак, проведенный эксперимент и анализ полученных данных указывают на изменение структурного состояния углепластика, отражающегося на его прочностных характеристиках в результате воздействия температурно-влажностных факторов. Выдерживание при отрицательных темпера-

турах приводит к изменениям структуры материала, вызываемым внутренними температурными напряжениями, которые, вероятно, и уменьшают ее неоднородность. При высоких уровнях напряжений, при которых проводились испытания, этот эффект мало заметен. Усталостные испытания образцов, вырезанных из тех же пластин и нагружаемых малыми амплитудами, после их завершения будут более информативными для сопоставления различий в структуре материала.

Наиболее важным результатом проведенных исследований было установление факта значительного снижения прочностных характеристик углепластика при чередовании влагонасыщения и воздействия низких температур, несмотря на малое влагопоглощение данного материала. Обращает на себя внимание и существенная зависимость прочностных характеристик от скорости нагружения. Повреждения, появляющиеся в результате кристаллизации поглощенной воды, становятся объектами структуры материала, увеличивая уровень внутренних напряжений. А зависимость от скорости нагружения свидетельствует о релаксационных процессах, изменяющих их ве-

личину. То есть в результате таких воздействий мы получаем совершенно другой материал с иными реологическими и прочностными свойствами. Цикличность воздействий влажности и температуры, характерная для эксплуатации летательного аппарата в каждом полете, может значительно снизить его ресурс. Поэтому этот вид испытаний, как и усталостные испытания, необходимо включать в программы сертификационных испытаний элементов конструкции летательного аппарата.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Данная работа была выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № АААА-А20-120011490002-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев Е.В., Барботько С.Л., Андреева Н.П., Павлов М.Р., Гращенков Д.В. // Труды ВИАМ. 2016. № 6. С. 93–108. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2016-0-6-11-11>
2. Lord H.W., Dutta P.K. // J. Reinf. Plast. Compos. 1988. V. 7. P. 435–458. <https://doi.org/10.1177/073168448800700503>
3. Dutta P.K., Hui D. // Composites. Part B. 1996. V. 27. P. 371–379. [https://doi.org/10.1016/1359-8368\(96\)00007-8](https://doi.org/10.1016/1359-8368(96)00007-8)
4. Lebedev M.P., Startsev O.V., Kychkin A.K. // Procedia Structural Integrity. 2019. V. 20. P. 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.119>
5. Старцев О.В., Лебедев М.П., Кычкин А.К. // Известия АлтГУ. Физика. 2020. № 1. С. 41–51. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2020\)1-06](https://doi.org/10.14258/izvasu(2020)1-06)
6. Pochiraju K.V., Tandon G.P., Schoeppner G.A. (Eds.) Long-term durability of polymeric matrix composites. Springer US, 2012. 677 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9308-3>
7. White C.C., White K.M., Pickett L.E. (Eds.) Service life prediction of polymers and plastics exposed to outdoor weathering. William Andrew Publ., 2017. 342 p. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00676-9>
8. Ansari M.T.A., Singh K.K., Azam M.S. // J. Reinf. Plast. Compos. 2018. V. 37. P. 636–654. <https://doi.org/10.1177/0731684418754713>
9. Петров М.Г. Прочность и долговечность элементов конструкций: подход на основе моделей материала как физической среды. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015. 472 с.
10. Petrov M.G. // Am. J. Phys. Appl. 2020. V. 8. P. 46–55. <https://doi.org/10.11648/j.ajpa.20200804.11>
11. Коган Д.И., Чурсова Л.В., Панина Н.Н., Гребнева Т.А., Голиков Е.И., Шарова И.А., Баторова Ю.А. // Пластические массы. 2020. № 3–4. С. 52–54. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2020-3-4-52-54>
12. Kuznetsov V.V., Levyakov S.V. // Int. J. Non-Linear Mechanics. 2002. V. 37. P. 1003–1009. [https://doi.org/10.1016/S0020-7462\(00\)00114-1](https://doi.org/10.1016/S0020-7462(00)00114-1)
13. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. Москва: Наука, 1971. 808 с.
14. Петров М.Г. // ПМТФ. 2021. Т. 62. № 1. С. 165–178. <https://doi.org/10.15372/PMTF20210118>
15. Петров В.А., Башкарев А.Я., Веттегрень В.И. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов. СПб.: Политехника, 1993. 475 с.
16. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.
17. Журков С.Н., Нарзуллаев Б.Н. // ЖТФ. 1953. Т. 23. № 10. С. 1677–1689.
18. Журков С.Н. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 11. С. 33198–3323.

INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES AND MOISTURE ON THE STRENGTH PROPERTIES OF CARBON FIBER REINFORCED PLASTIC

M. G. Petrov^a, corresponding Member of the RAS M. P. Lebedev^b, O. V. Startsev^{b, #}, and M. M. Kopyrin^b

^a Siberian Aeronautical Research Institute named after S.A. Chaplygin, 630051 Novosibirsk, Russian Federation

^b Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, 677980 Yakutsk, Russian Federation

[#]E-mail: startsevov@gmail.com

The longevity of the carbon fiber used in the design of the aircraft for operation in extreme conditions of the Arctic is investigated by the method of longitudinal bending. A monotonous loading method with different speeds of movement of the mobile gripper of the test machine and cyclic loading of specimens with an increasing range of movements were combined. The force dependences of the activation energy of fracture and the dependences between the rate of failure, deformation and longevity are determined. The presence of carbon fiber at subzero temperatures almost does not affect the longevity. Periodic transitions through the crystallization temperature of water accumulated in the composite significantly reduce its strength characteristics and the period of safe operation of the material.

Keywords: carbon fiber reinforced plastic, climate impact, strength, longevity, inelasticity, predicting