

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ НА БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

М.В. Жихарев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Проведены статические испытания стеклопластика марки СТЭФ на растяжение для определения упругих и прочностных характеристик на испытательной машине INSTRON 5882. Обширные баллистические испытания были проведены на пластинах их стеклопластика СТЭФ, используя стальной шарик диаметром 6,35 мм. Для разгона шарика до скоростей 900 м/с был использован баллистический стенд ЮУрГУ. Испытания были проведены для пластин без предварительной нагрузки, а также для пяти уровней предварительного нагружения. Нагружение задавалось с помощью испытательной машины INSTRON 5882. Образец помещали в захваты и задавали требуемую растягивающую нагрузку, после чего по образцу производился выстрел. Баллистические характеристики были оценены с точки зрения предельной характеристики материала – баллистического предела V_{50} .

После испытаний было произведено сравнение эффективности материала при разных уровнях предварительного нагружения. Были построены баллистические кривые для каждого уровня нагрузки, а также получена зависимость изменения баллистического предела от величины предварительной нагрузки. Было получено, что предварительная нагрузка уменьшает баллистический предел стеклопластиковых пластин. При величине предварительной нагрузки, равной 50 % от предела прочности материала баллистический предел уменьшается на 15 %.

Также была найдена зависимость площади расслоения стеклопластика от начальной скорости удара для каждого уровня нагрузки. Было отмечено, что время отклика на разрыв образца после пробития зависит от уровня предварительной нагрузки. Так максимальная задержка разрыва после пробития составляла около 8 с для образца, предварительно нагруженного до 180 МПа. Эта задержка возникает из-за ползучести материала и зависимости прочности от времени.

Ключевые слова: баллистический удар, баллистический предел, предварительное нагружение, стеклопластик.

Введение

Множество современных конструкций выполнены частично или полностью из композитных материалов. Одним из основных используемых композитных материалов является стеклопластик, который широко используется в авиапромышленности и транспортной промышленности ввиду его высокой прочности, малой плотности и доступной цене. Однако этот материал является очень восприимчивым к трансверсальному удару, легко расслаиваясь. При эксплуатации стеклопластиковых конструкций, например, в авиации, можно выделить два случая, при которых образуются дефекты несущих поверхностей: наземная эксплуатация (удары падающим инструментом при обслуживании, удары града и т. п. – низкоскоростной удар) и полетные случайные повреждения (кусочками бетонной крошки из-под переднего колеса при взлете с взлетно-посадочной полосы, осколками снарядов и пуль в боевых ситуациях – высокоскоростной удар). При работе ветроэнергетических установок актуальны вопросы повреждений, связанные с попаданием в лопасти птиц.

Большое количество работ посвящены влиянию трансверсального удара на стеклопластиковые конструкции. Часть из этих работ направлены на изучение баллистических свойств материалов [1–3], часть посвящены оценке остаточной прочности [4–7], а часть численным исследова-

ниям данной проблемы [8–11]. Однако, помимо ударного воздействия, конструкции из композитных материалов находятся под воздействием других различных нагрузок, возникающих при эксплуатации конструкции. Например, это может быть: растяжение или сжатие, двухосное растяжение/сжатие, сдвиг, а также комбинация этих нагрузок. Поэтому исследование и рассмотрение таких нагрузок являются важной частью изучения эффективности конструкции. Например, части конструкции самолета в полете обычно находятся под предварительной нагрузкой перед ударом.

Несмотря на большое количество работ в этой области, влияние предварительной нагрузки на баллистические характеристики композитов было исследовано лишь несколькими авторами. Whittingham и соавторы [12] исследовали влияние предварительной нагрузки на характеристики углепластиковых слоистых пластин. Образцы были предварительно нагружены одноосными растягивающими и сжимающими усилиями, и после этого по ним был произведен низкоскоростной удар. Ударные испытания проводились с двумя энергиями соударения. Результаты показали, что более высокий уровень энергии удара оказывает большее влияние на глубину перфорации, пиковую нагрузку и поглощенную энергию. Heimbs в работе [13] пришел к выводу, что предварительная нагрузка влияет на баллистические характеристики слоистых композитных пластин и должна учитываться в соответствующих анализах и расчетах. Для этого исследователи провели баллистические испытания сферическими ударниками при пяти различных уровнях предварительной нагрузки и пяти разных скоростях.

Большинство исследований сосредоточены на толстых плоских композитных пластинках, которые обычно используются для конструкций крыла, но есть несколько работ, посвященных низкоскоростному удару по тонким изогнутым композитным панелям, являющимися обшивкой фюзеляжа [14]. Так, Saghafi в работе [14] исследовал влияние предварительной нагрузки на баллистические характеристики изогнутых слоистых композитов толщиной 3,1 мм. Кроме того, авторами было отмечено увеличение площади повреждений пластин при увеличении предварительной нагрузки.

В большинстве исследований основное внимание уделялось низкоскоростному удару [15–20] по композитным панелям с помощью испытаний на башенном копре. В то же время более критичной и широко распространенной проблемой является высокоскоростной удар. Важность этих исследований подчеркнута в работе [13]. Влияние высокоскоростного удара на баллистические свойства предварительно нагруженных слоистых композитных конструкций исследовалось только в нескольких статьях [13, 21]. Garcia-Castillo в работе [21] изучали влияние высокоскоростного удара на предварительно нагруженные композитные стеклопластиковые пластины. Они обнаружили, что при двухосном предварительном растяжении данный материал показал более высокий баллистический предел по сравнению с ненагруженным состоянием, а поврежденная область была немного больше, чем у образцов без предварительного нагружения. К сожалению, не была объяснена причина увеличения баллистического предела. Другой пример необходимости исследования высокоскоростного удара был показан в работе [22].

Основной целью данной работы было исследование влияния предварительной нагрузки на баллистические характеристики стеклопластика. Главным показателем баллистической эффективности материала является баллистический предел. Поэтому в работе были найдены баллистические пределы для пяти различных уровней предварительной нагрузки, а также произведено сравнение этих пределов с ненагруженным состоянием. Кроме того, был проведен анализ механизмов разрушения материала и зон повреждения в каждом случае.

1. Материал и механические свойства

Стеклопластиковые пластины были сделаны из материала СТЭФ (1,95 мм), изготовленного по ГОСТ 12652-74. Этот материал состоит из ткани полотняного переплетения (6 слоев) и эпоксидно-фенольной матрицы горячего отверждения. Плотность материала СТЭФ составляет 1,98 г/см³. Механические свойства приведены в табл. 1, где E_x, E_y, E_z – модуль Юнга в главных направлениях, $\nu_{xy}, \nu_{yz}, \nu_{zx}$ – коэффициенты Пуассона в главных плоскостях, G_{xy}, G_{yz}, G_{zx} – модули сдвига в главных плоскостях, X_t, X_c, Y_t, Y_c – прочность при растяжении и сжатии в направлениях X и Y, S_{xy} – прочность при сдвиге в плоскости XY. Большинство свойств материала были получены экспериментально на испытательной машине INSTRON 5882 (с зажимным экстензометром). Значения $E_z, G_{xz} \approx G_{yz}$ были взяты в соответствии с рекомендациями [23]. Были изготовлены 58 образцов из стеклопластика размером 1,95 × 50 × 150 мм.

Механические свойства стеклопластика СТЭФ

| E_x (GPa) | E_y (GPa) | E_z (GPa) | G_{xy} (GPa) | G_{yz} (GPa) | G_{zx} (GPa) | ν_{xy} | ν_{yz} | ν_{zx} | X_t (MPa) | X_c (MPa) | Y_t (MPa) | Y_c (MPa) | S_{xy} (MPa) |
|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 28 | 28 | 8 | 6,2 | 3 | 3 | 0,18 | 0,4 | 0,4 | 380 | 240 | 380 | 240 | 205 |

2. Экспериментальная установка

Баллистические испытания проводились согласно ГОСТ Р 50744-95 сферическим ударником диаметром 6,35 мм (1,05 г) из закаленной шарикоподшипниковой стали. Был использован баллистический стенд ЮУрГУ, рис. 1 [24].



Рис. 1. Общий вид баллистического стенда

Начальная скорость снаряда определялась компактным оптическим хронографом. Оптический хронограф был предварительно откалиброван. Фрикционная ловушка с общей массой 665 г и коэффициентом трения скольжения вдоль направляющей 0,27 использовалась для измерения остаточного импульса снаряда. Остаточная скорость рассчитывается по формуле, основанной на законах сохранения энергии и импульса (1)

$$V(S) = \left(1 + \frac{M}{m_p}\right) \sqrt{2g \cdot f \cdot S}. \quad (1)$$

Здесь S – перемещение ловушки по направляющей, m_p – масса снаряда (включая массу мусора), M – масса ловушки, f – коэффициент трения скольжения, g – ускорение свободного падения. Предполагалось, что снаряды и мусор после пробоя имеют скорость V . Скорость ловушки

$V_{\text{trap}} = \frac{m_p \cdot V}{M + m_p}$ определялась в соответствии с законом сохранения импульса. Начальная кинетическая энергия ловушки трансформировалась в работу силы трения

$$\frac{(m_p + M) \cdot V_{\text{trap}}^2}{2} = (m_p + M) \cdot g \cdot f \cdot S.$$

3. Баллистические испытания

Испытания проводились стальным шариком с разной скоростью удара в диапазоне 150–800 м/с. Это стандартный снаряд для испытаний на противоосколочную стойкость [24]. Для экспериментов баллистический стенд был помещен в испытательную машину INSTRON 5882. Образец помещали в захваты и задавали требуемую растягивающую нагрузку, после чего по образцу производился выстрел. Испытания были проведены для пяти различных уровней предварительной нагрузки:

- предварительная нагрузка при растяжении $\sigma_1 = 80$ МПа ($\phi_1 = \sigma_1/X_t = 80/380 = 0,21$; материал работает в упругой области).

- предварительная нагрузка при растяжении $\sigma_2 = 120$ МПа ($\phi_2 = \sigma_2/X_t = 120/380 = 0,32$),

- предварительная нагрузка при растяжении $\sigma_3 = 160$ МПа ($\phi_3 = \sigma_3/X_t = 160/380 = 0,42$),

- предварительная нагрузка при растяжении $\sigma_4 = 200$ МПа ($\phi_4 = \sigma_4/X_t = 200/380 = 0,53$),

- предварительная нагрузка при растяжении $\sigma_5 = 240$ МПа ($\phi_5 = \sigma_5/X_t = 240/380 = 0,63$).

Обработка экспериментальных данных по удару имитатором осколка проведена с использованием эмпирической зависимости Ламберта–Джонаса [25]:

$$V_r = \begin{cases} 0 & \text{if } V_i < V_L \\ A \cdot (V_i^m - V_L^m)^{1/m} & \text{if } V_i \geq V_L \end{cases} \quad (2)$$

где A , V_L и m – три параметра регрессии; V_r и V_i – остаточная и начальная скорости снаряда, соответственно, V_L – баллистический предел скорости. Итак, целью этой работы является получение функции $V_L(\phi)$.

4. Результаты баллистических испытаний

4.1. Баллистические кривые и баллистические пределы

По результатам баллистических испытаний были построены баллистические кривые для каждого уровня предварительной нагрузки (рис. 2).

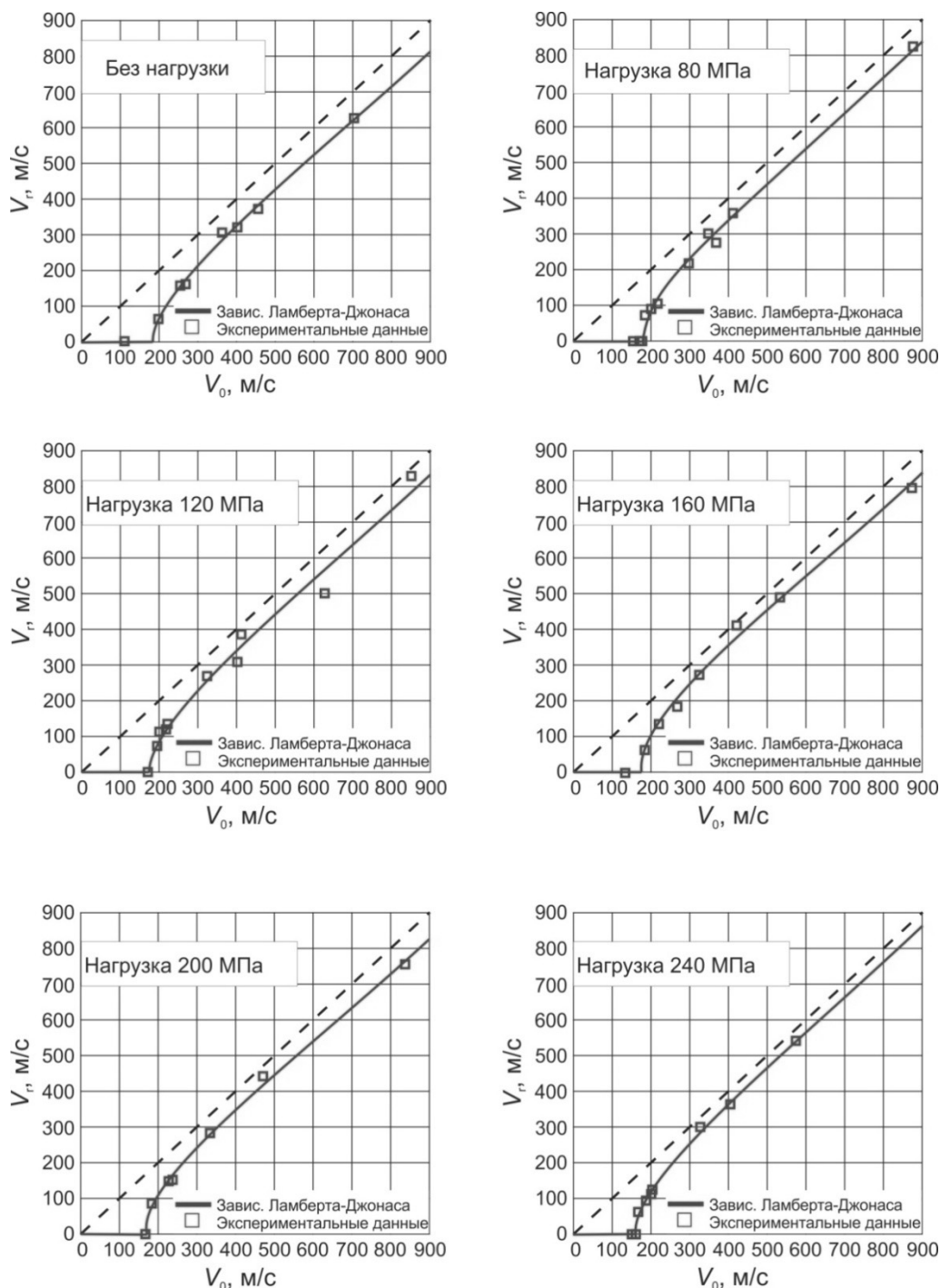


Рис. 2. Баллистические кривые

Контроль и испытания

Кроме того, были найдены баллистические пределы для каждого уровня предварительной нагрузки (табл. 2). Как показали результаты баллистических испытаний, баллистический предел материала снижается с ростом величины предварительного нагружения. Эту зависимость можно увидеть на рис. 3, где ϕ есть отношение величины нагрузки к пределу прочности данного мате-

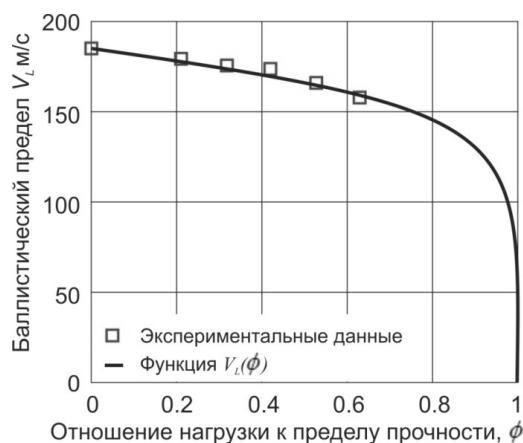


Рис. 3. Зависимость баллистического предела от величины предварительного нагружения

риала. Этот результат можно объяснить ростом повреждений внутри образца с ростом нагрузки. Во время растяжения нити в образце растягиваются и распрямляются, отрываясь при этом от матрицы. Таким образом, энергия от удара не тратится на эти механизмы разрушения. Была предложена функция, описывающая экспериментальные данные:

$$V_L(\phi) = V_{L0}(1 - \phi)^n, \quad (3)$$

где $n = 0,15$, полученное значение после обработки экспериментальных данных, $V_{L0} = 185$ м/с – баллистический предел материала без предварительной нагрузки. Эта функция основывается на предположении, что при нагрузке, близкой к пределу прочности, достаточно небольшой энергии, чтобы разрушить образец.

Кроме того, необходимо отметить, что в автомобилестроении для работы механизмов в квазистатических условиях закладывается коэффициент запаса около 2. В данном случае, это приведет к снижению баллистического предела не более чем на 15 % в сравнении с ненагруженными элементами.

Таблица 2

Баллистические пределы для разных уровней преднагрузки

| Уровень преднагрузки (МПа) | 0 | 80 | 120 | 160 | 200 | 240 |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Баллистический предел (м/с) | 185 | 180 | 176 | 174 | 166 | 158 |

4.2. Зона расслоения

Площадь расслоения поврежденного образца определялась оптическим методом из-за частичной полупрозрачности СТЭФ.

Анализ результатов испытаний показал, что предварительные растягивающие нагрузки снижают расслоение. Этот эффект виден на диаграмме «зона расслоения – начальная скорость», представленной на рис. 4. Диаграмма показывает, что более высоким уровням предварительной нагрузки соответствует меньшая площадь расслоения. Это особенно заметно для скоростей, близких к баллистическим пределам. При больших скоростях различия почти незаметны. По нашему мнению, это связано с диссипацией энергии удара в наклонных (и поврежденных во время натяжения) сегментах нитей, которые растягиваются и скользят в условиях сухого трения между волокнами и матрицей. Таким образом, часть энергии удара поглощается трением, а не расслоением. Площадь трения увеличивается с ростом растягивающего напряжения и, в свою очередь, расслоение становится меньше. Предварительная нагрузка

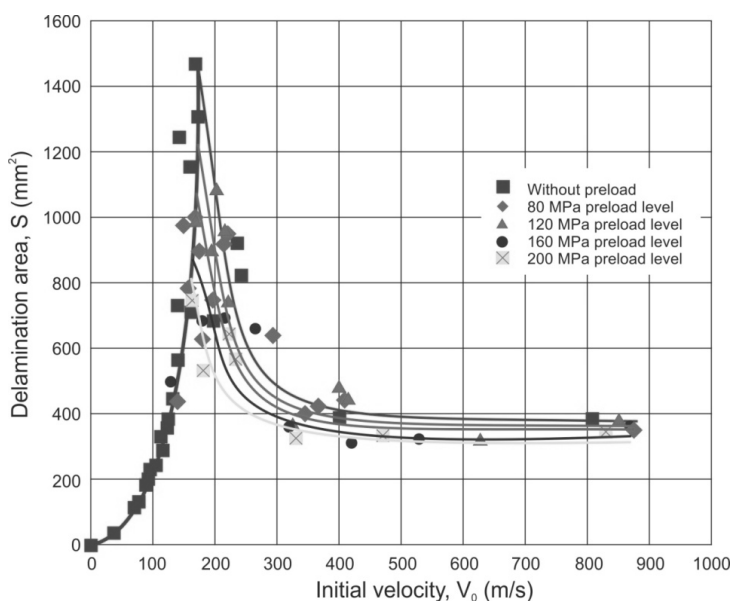


Рис. 4. Зависимость баллистического предела от величины предварительного нагружения

увеличивает частоту колебаний пластины и, как результат, энергия быстрее отводится от точки удара по сравнению с ненагруженным состоянием.

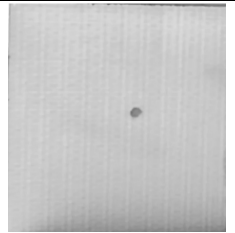
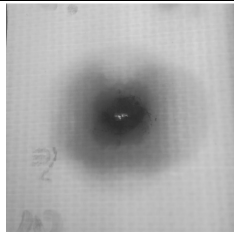
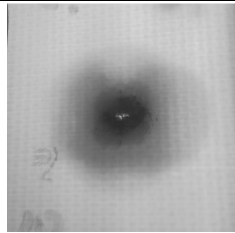
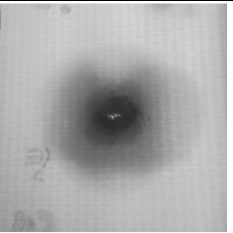
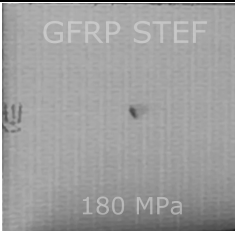
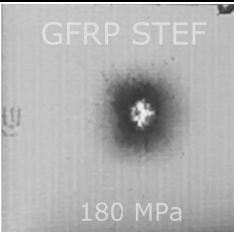
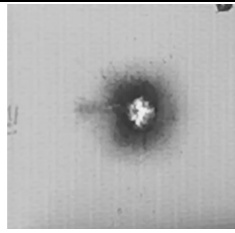
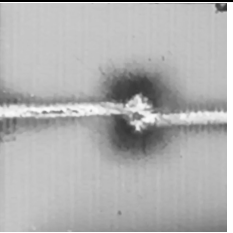
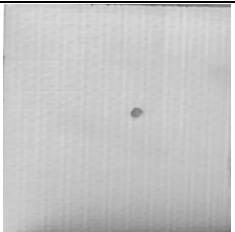
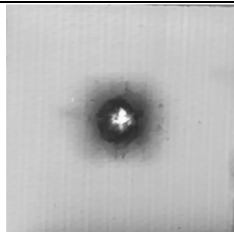
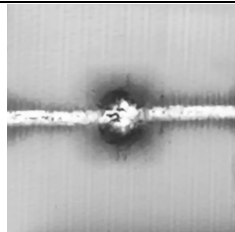
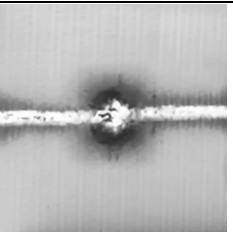
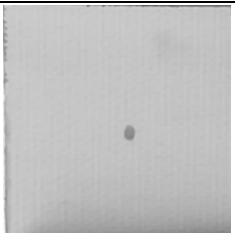
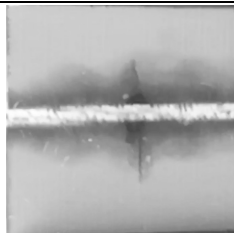
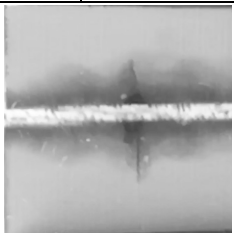
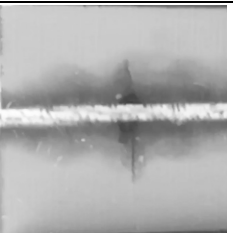
4.3. Механизмы разрушения

Анализ результатов баллистических испытаний показал различные механизмы разрушения материала. Например, при уровне предварительной нагрузки равной 160 МПа происходит пробитие образца без дальнейшего разрыва. Но при более высоких уровнях предварительной нагрузки во всех случаях происходит пробитие с последующим разрывом образца при растяжении. Было отмечено интересное явление, что время отклика на разрыв образца после пробития зависит от уровня предварительной нагрузки (табл. 3). Так, если предварительная нагрузка была максимальной (240 МПа), разрыв образца происходил сразу после удара и пробития или даже без пробития образца. При уменьшении предварительной нагрузки происходит временная задержка в разрыве образца. Максимальная временная задержка около 8 секунд наблюдалась при предварительной нагрузке 180 МПа между пробитием и разрывом. Акустическая эмиссия и распространение трещины влияют на эту задержку (табл. 3, серия кадров цифровой видеокамеры). Очевидно, что эта задержка возникает из-за ползучести материала и временной зависимости прочности.

Значение 180 МПа близко к напряжению разрушения образца из композитного материала с небольшим центральным отверстием при одноосном растяжении. В случае укладки слоев [0/90]_s, эффективный коэффициент концентрации напряжений $K_{\sigma} \approx 2,0$ [26]. В нашем исследовании $X_i/K_{\sigma} = 190$ МПа.

Таблица 3

Время отклика на разрыв образца после пробития

| | | | | | |
|---------|---|---|--|--|---|
| 160 МПа |  |  | ... |  |  |
| | 0 ms | 5 ms | | 8s 35 ms | 8s 40 ms |
| 180 МПа |  |  | ... |  |  |
| | 0 ms | 5 ms | | 8s 35 ms | 8s 40 ms |
| 200 МПа |  |  | ... |  |  |
| | 0 ms | 5 ms | | 25 ms | 30 ms |
| 240 МПа |  |  |  | ... |  |
| | 0 ms | 5 ms | 10 ms | | 3s 00 ms |

Заключение

Данное исследование было сосредоточено на экспериментальной оценке баллистических характеристик стеклопластика СТЭФ при предварительном одноосном растяжении. Были найдены баллистические пределы стеклопластика СТЭФ при пяти уровнях предварительного нагружения (до 65 % от предела прочности). На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие основные выводы:

- Предварительная нагрузка уменьшает баллистический предел стеклопластиковых пластин.
- Баллистический предел уменьшается на 15 % при величине предварительной нагрузки равной 50 % от предела прочности материала.
- Максимальная задержка разрыва после пробития составляла около 8 секунд для образца, предварительно нагруженного до 180 МПа. Эта задержка возникает из-за ползучести материала и зависимости прочности от времени.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011.

Литература / References

1. Cheeseman B.A., Bogetti T.A. Ballistic Impact into Fabric and Compliant Composite Laminates. *Compos. Struct.*, 2003, vol. 61, pp. 161–173. DOI: 10.1016/S0263-8223(03)00029-1
2. Tarim N., Findik F., Uzun H. Ballistic Impact Performance of Composite Structures. *Compos. Struct.*, 2003, vol. 56, pp. 13–20.
3. Cantwell W.J. Geometrical Effects in the Low Velocity Impact Response of GFRP. *Composites Science and Technology*, 2007, vol. 67, pp. 1900–1908. DOI: 10.1016/j.compscitech.2006.10.015
4. Cui H.P., Wen W.D., Cui H.T. An Integrated Method for Predicting Damage and Residual Tensile Strength of Composite Laminates under Low Velocity Impact. *Computers and Structures*, 2009, vol. 87, pp. 456–466. doi:10.1016/j.compstruc.2009.01.006
5. Davies G.A.O., Hitchings D. Impact Damage and Residual Strengths of Woven Fabric Glass / Polyester Laminates. *Composites Part A*, 1996, vol. 27A, pp. 1147–1156.
6. Klaus M., Reimerdes H.G., Gupta N.K. Experimental and Numerical Investigations of Residual Strength after Impact of Sandwich Panels. *I. J. Imp. Eng.*, 2012, vol. 44, pp. 50–58. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2012.01.001
7. Koo J.M., Choi J.H., Seok C.S. Prediction of Residual Strength of CFRP after Impact. *Composites: Part B*, 2013, vol. 54, pp. 28–33. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.04.020>.
8. Grujicic M., Pandurangan B., Koudela K.L., Cheeseman B.A. A Computational Analysis of the Ballistic Performance of Light-Weight Hybrid-Composite Armor. *Appl. Surf. Sci.*, 2006, vol. 253, pp. 730–745. DOI: 10.1016/j.apsusc.2006.01.016
9. Zhou H., Zhang W., Liu T., Gu B., Sun B. Finite Element Analyses on Transverse Impact Behaviors of 3-D Circular Braided Composite Tubes with Different Braiding Angles. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 2015, vol. 79, pp. 52–62. DOI: 10.1016/j.compositesa.2015.09.012
10. Menna C., Asprone D., Caprino G., Lopresto V., Prota A. Numerical Simulation of Impact Tests on GFRP Composite Laminates. *I. J. Imp. Eng.*, 2011, vol. 38, pp. 677–685. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2011.03.003
11. Park Y., Kim Y.H., Baluch A.H., Kim C.G. Numerical Simulation and Empirical Comparison of the High Velocity Impact of STF Impregnated Kevlar Fabric Using Friction Effects. *Compos. Struct.*, 2015, vol. 125, pp. 520–529. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruc.2015.02.041>.
12. Whittingham B., Marshall I.H., Mitrevski T., Jones R. The Response of Composite Structures with Pre-Stress Subject to Low Velocity Impact Damage. *Compos. Struct.*, 2004, vol. 66, pp. 685–698. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruc.2004.06.015>.
13. Heimbs S., Bergmann T., Schueler D., Toso-Pentecote N. High Velocity Impact on Preloaded Composite Plates. *Compos. Struct.*, 2014, vol. 111, pp. 158–168. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruc.2013.12.031>.
14. Saghafi H., Minak G., Zucchelli A. Effect of Preload on the Impact Response of Curved Composite Panels. *Compos. Part B: Eng.*, 2014, vol. 60, pp. 74–81. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.12.026>.

15. Vignjevic R., Orłowski M., De Vuyst T., Campbell J.C. A Parametric Study of Bird Strike on Engine Blades. *Int. J. Impact. Eng.*, 2013, vol. 60, pp. 44–57. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2013.04.003>.
16. Robb M.D., Arnold W.S., Marshall I. The Damage Tolerance of GRP Laminates under Biaxial Prestress. *Compos. Struct.*, 1995, vol. 32, pp. 141–149. DOI: 10.1016/0263-8223(95)00077-1
17. Ghelli D., Minak G. Numerical Analysis of the Effect of Membrane Preloads on the Low-Speed Impact Response of Composite Laminates. *Mech. Compos. Mater.*, 2010, vol. 46 (3), pp. 299–316. DOI: 10.1007/s11029-010-9147-9
18. Choi I.H., Kim I.G., Ahn S.M., Yeom C.H. Analytical and Experimental Studies on the Low-Velocity Impact Response and Damage of Composite Laminates under in-Plane Loads with Structural Damping Effects. *Compos. Sci. Technol.*, 2010, vol. 70 (10), pp. 1513–1522. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.05.007>
19. Chiu S.T., Liou Y.Y., Chang Y.C., Ong C.L. Low Velocity Impact Behavior of Prestressed Composite Laminates. *Mater. Chem. Phys.*, 1997, vol. 47 (2-3), pp. 268–72. DOI: 10.1016/S0254-0584(97)80063-6
20. Mitrevski T., Marshall I., Thomson R., Jones R. Low-Velocity Impacts on Preloaded GFRP Specimens with Various Impactor Shapes. *Compos. Struct.*, 2006, vol. 76 (3), pp. 209–217. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.06.033>.
21. Garcia-Castillo S.K., Sanchez-Saez S., Barbero E., Navarro C. Response of Preloaded Laminate Composite Plates Subject to High Velocity Impact. *J. Phys. IV (Proc)*, 2006, vol. 134, pp. 1257–1263. DOI: 10.1051/jp4:2006134191
22. Heimbs S., Bergmann T. High-Velocity Impact Behaviour of Prestressed Composite Plates under Bird Strike Loading. *Int. J. Aerospace Eng.*, 2012. Article ID 372167.
23. Barbero E.J. Introduction to Composite Materials Design. 2nd Edition. CRC Press, 2011. 520p.
24. ГОСТ Р 50744-95. Бронедежда. Классификация и общие технические требования. – Введ. 1995-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2003. 6 с. [Armor Clothes, Classification and General Technical Requirements, GOST R 50744-95, September 2013.]
25. Lambert J.P., Jonas G.H. Towards Standardization in Terminal Ballistics Testing: Velocity Representation, BRL Report No. 1852, U.S. Army Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, MD. (1976).
26. Danial I.M., Ishai O. Engineering Mechanics of Composite Materials. New York, Oxford University Press, 2006.

Жихарев Михаил Владиленович, аспирант кафедры «Техническая механика», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, zhi-misha@yandex.ru.

Поступила в редакцию 26 октября 2017 г.

DOI: 10.14529/engin170408

THE INFLUENCE OF PRELOADING ON THE BALLISTIC PROPERTIES OF GFRP

M.V. Zhikharev, zhi-misha@yandex.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Tensile tests were performed to obtain the quasi-static mechanical properties of glass-fiber reinforced plastics (GFRP) at the testing machine INSTRON 5942. Extensive ballistic tests have been carried out on GFRP panels using 6.35 mm steel ball. Special powder gun stand for acceleration of projectiles with terminal velocity up to 900 m/s was developed. The tests were carried out for plates without preload, and also for five preloading levels. For the experiments the ballistic stand was placed in an INSTRON 5882 testing machine. The sample was placed in the grips

and the required tensile force was given, after then the sample was fired. The ballistic performance was assessed in terms V50 threshold as well as post V50 limit.

After the tests, the material performance was compared at different preload levels. Ballistic curves for each preload level were plotted by experimental data. Also the dependence of ballistic limit versus preload level was obtained. Preloading reduces the ballistic limit of GFRP plates. Ballistic limit can be decreased by 15 % in comparison with 50 % preload of the tensile strength.

Also, the dependence of the fiberglass delamination area versus initial velocity for each preload level was found. The fact that the response time to the rupture of the specimen after penetration depends on preload was noted as unusual phenomenon. The maximum rupture delay after penetration was about 8 seconds for the specimen loaded at 180 MPa. This delay occurs due to the creep of material and time dependence of strength.

Keywords: ballistic impact, ballistic limit, preload, GFRP.

Received 26 October 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Жихарев, М.В. Влияние предварительного нагружения на баллистические свойства стеклопластиковых панелей / М.В. Жихарев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 82–90. DOI: 10.14529/engin170408

FOR CITATION

Zhikharev M.V. The Influence of Preloading on the Ballistic Properties of GFRP. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 82–90. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin170408