

О РОСТЕ МЕЖСЛОЙНЫХ ТРЕЩИН В БАЛКАХ ПРИ НИЗКОСКОРОСТНОМ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Щугорев В. Н., Касьянов К.Г., Воробьев А. К., Подмазов Д.А.

(НИУ «МЭИ» Москва, Россия)

E-mail: Shchugorev.VN@gmail.com

Abstract: This article has been studied the behavior of the bundle of the beam under shock loading, which includes consideration of the growth processes of detachment and determination of the pushing, stop, delaminating size, change the active forces and the forces of resistance, as well as the system parameters influence changes in these processes.

Key words: composite, bundle, crack, shock loading, isotropic.

Композиционные материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными материалами. Наиболее ярко эти достоинства проявляются в конструкциях, для которых определяющее значение имеют высокая удельная прочность и жесткость, малая теплопроводность и др.

Однако говоря об армированных композитах, следует отметить, что обладая высокой прочностью в направлении армирования, они имеют низкое сопротивление поперечному сдвигу и отрыву [1]. Поэтому конструкции из композитов чувствительны к технологическим дефектам (расслоениям, непроклеям и трещинам). Конструктивные концентраторы также служат источником снижения несущей способности в результате роста дефектов типа отслоений. Такие дефекты могут появляться при транспортировке, хранении и эксплуатации. Трещины имеются практически в любой крупногабаритной конструкции, и это не является препятствием к их безопасному и надежному применению. Поэтому возникает задача по критерию трещиностойкости устанавливать безопасные размеры трещин, правильно выбрать материалы, технологический процесс и условия эксплуатации [2, 3].

Целью работы было изучение поведения расслоения балки при ударном нагружении, включающее начальный прогиб балки (отслоение субравновесное-трещина не растет), страгивание трещины, рост и остановка, а также влияние параметров системы на поведение расслоений.

Рассмотрим балку из слоистого материала с межслойной трещиной (рис.1). Ось Oz совпадает с осью балки и расположением слоев, ось Oy ортогональна расположению слоев композита. Будем считать, что трещина расположена на расстоянии h_1 от нижней поверхности, балка тонкая, а длина трещины – достаточно велика по сравнению с поперечным сечением балки. Нагружение проводится падающим грузом, обладающим к моменту соприкосновения с балкой потенциальной энергией деформации. $U = mgh$ и скоростью V_0 . Масса падающего груза m_g значительно больше массы балки

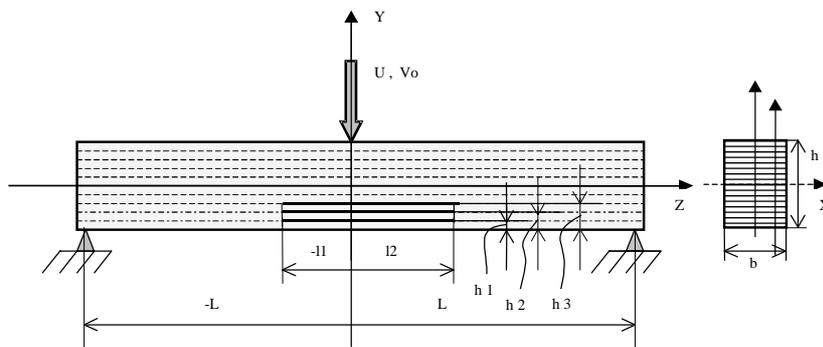


Рис.1. Схема нагружения

$m_g(z)$. Так как материал имеет слоистую структуру, будем полагать, что в процессе нагружения центральная трещина будет распространяться в своей плоскости. Балку будем считать шарнирно-опертой на две опоры, расстояние между которыми $2L$. Ширина

балки - b , высота - h . Модуль Юнга материала в направлении оси z будем считать постоянным и обозначим Ez . За обобщенную координату Лагранжа примем статический прогиб балки в направлении оси y в начале координат - f , за первую обобщенную координату Гриффитса –длину отслоения $l1$ в направлении оси Oz , за вторую обобщенную координату Гриффитса $l2$ длину отслоения в противоположном $l1$ направлении. Обе координаты отсчитываются от начала системы координат.

При построении графиков использовались соотношения многопараметрическое механики разрушения В.В. Болотина. $|G_i| \leq \Gamma_i$ - условие равновесности трещин, где G_i – сила продвигающая трещину, Γ_i - обобщенная сила сопротивления. $Q + I = 0$ - уравнение колебания балки с трещиной, где Q – обычная обобщенная сила, I – обобщенная сила инерции. $f(t)$ - зависимость стрелы прогиба балки от времени. $G_1(t)$, $G_2(t)$ - силы продвигающие расслоение Будем считать, что длина расслоения l_1 равна длине расслоения l_2 , тогда и сила продвигающая трещину по первой координате $G_1(t)$ равна силе по второй координате $G_2(t)$. $m1=10$ кг; $m2=10.5$ кг ; $m3=11$ кг.

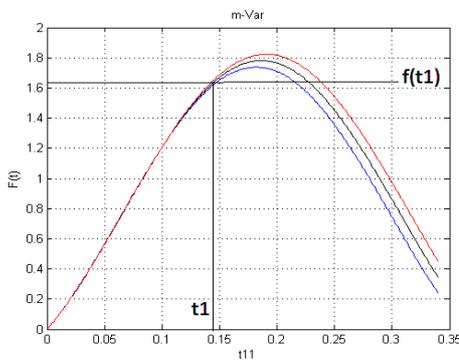


Рис. 2. Зависимости прогиба $f(t)$ от массы ударника $m1, m2, m3$

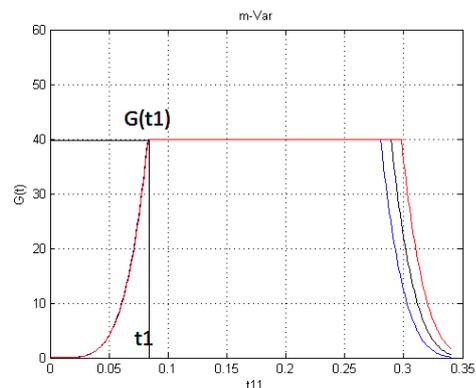


Рис. 3. Зависимость сил продвигающих фронты трещин $G_1(t)$ от массы ударника $m1, m2, m3$

На рис.2 показана зависимость прогиба $f(t)$, На рис.3 - сил продвигающих фронты трещин $G_1(t)$ от массы ударника $m1, m2, m3$. t_1 соответствует моменту перехода трещины из субравновесного $G < \Gamma$ в равновесное $G = \Gamma$ состояние. Горизонтальный участок соответствует условию $G = \Gamma$ (подрастание трещины). Трещина подрастает при этом меняется жесткость балки, что учитывается в уравнении движения .

На рис.4 представлена зависимость прогиба $f(t)$ при изменении высоты падения груза, на рис.5 - представлена зависимость силы продвигающей расслоение $G_1(t)$ от высоты падения груза H . Горизонтальный участок соответствует тем же условиям что и на рис.4.

С увеличением скорости нагружения кривая прогиба идет круче, время до страгивания по обеим координатам уменьшается, при $G = \Gamma$ за более короткий промежуток времени. В противоположность предыдущему случаю, в соответствии с более быстрым возрастанием прогиба, более быстро растут силы продвигающие трещину $G_1(t)$.

На рис.6, 7 показаны зависимости прогиба $f(t)$, обобщенных сил $G_1(t)$ при изменении расположения трещины по высоте - $h1=1$ мм, $h2=2$ мм, $h3=3$ мм от нижнего края балки Хорошо прослеживается уменьшение времени до страгивания трещины с увеличением h . Кривая, соответствующая следующей h растет круче предыдущей до момента страгивания, далее рост трещины происходит при постоянном значении силы G .

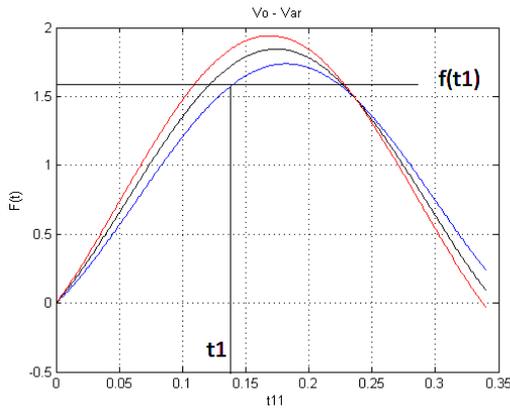


Рис. 4. Зависимости прогиба $f(t)$ от высоты падения груза H и соответственно – начальной скорости V_0 . $H_1=2$ м; $H_2=4$ м; $H_3=6$ м

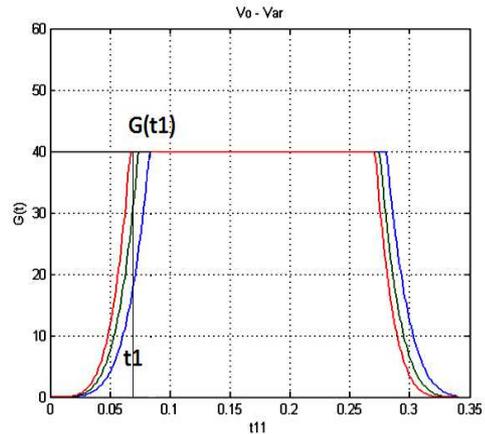


Рис. 5. Зависимость сил продвигающих фронты трещин $G_1(t)$ от высоты падения груза H (начальной скорости нагружения V_0) $H_1=2$ м; $H_2=4$ м; $H_3=6$ м

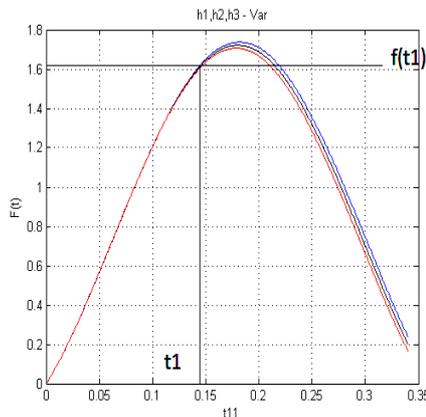


Рис. 6. Зависимости прогиба $f(t)$ от изменения расположения трещины по высоте - h_1 , h_2 , h_3 от нижнего края балки

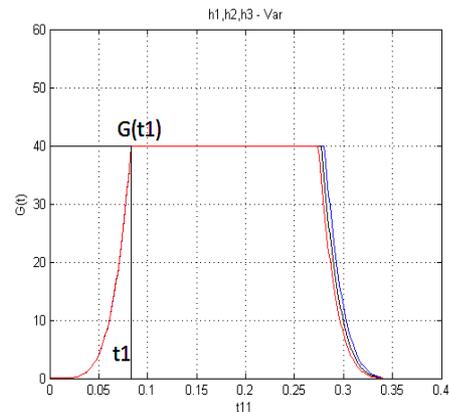


Рис. 7. Зависимость сил продвигающих фронты трещин $G_1(t)$ от изменения расположения трещины по высоте - h_1 , h_2 , h_3 от нижнего края балки

На основании многопараметрической механики разрушения В.В.Болотина [1] получены выражения для сил продвигающих трещину, а также уравнения кинетики роста трещины. Исследовано влияние изменения параметров удара и положения трещины на рост расслоения, время страгивания, прогиб и силы продвигающие трещину. Были приведены графики зависимости сил продвигающих трещину и прогиба от времени при изменении параметров системы.

Список литературы: 1. Болотин В.В. О динамическом распространении трещин. Прикладная математика и механика. Том 56, вып. 1, с. 150-162. 2. Щугорев В.Н., Касьянов К.Г. Классификация и нелинейный анализ отслоений в конструкциях// Материалы XXI международной научно-технической конференции “Машиностроение и техносфера XXI века”, Севастополь 2014. С.292 3. Щугорев В.Н. Трещиностойкость конструктивных элементов с расслоениями. «X Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механика.» Избранные тезисы докладов. (Нижн. Новг. 24-30 августа 2011). Нижний новгород. Издательство Нижегородского государственного университета 2011. С.218-219.