

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Балданова Алдара Батомункуевича
«Экспериментально-численное исследование деформирования и разрушения
многослойных композиционных материалов при локальном ударе»,
представленную на соискание ученой кандидата технических наук
по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертации. Современный этап развития объектов машиностроения предполагает более широкое использование различных многослойных композиционных материалов в качестве перспективных конструкционных материалов, обладающих повышенными служебными характеристиками. Вместе с тем, в отличие от металлических конструкционных материалов ударные нагрузки, воздействующие на композиционные материалы, приводят к скрытым внутренним локальным повреждениям, существенно снижающим прочность и живучесть конструкционных элементов из композиционных материалов. Отсутствие внешне визуальных повреждений композиционного материала значительно затрудняет прогнозирование прочности и ресурса конструкций и средств защиты из композиционных материалов. При этом необходимо учитывать вид и геометрию зоны локального повреждения, структуру композиционного материала и его механические характеристики. Следует признать недостаточное развитие критериальных, расчетных и экспериментальных методов анализа, прогнозирования и обоснования прочности многослойных композиционных материалов в результате локального удара.

Поэтому, представленная диссертационная работа, несомненно актуальна и является значительным вкладом в развитие экспериментально-численных методов исследования динамических процессов деформирования, повреждения

и разрушения многослойных композиционных материалов в результате ударных воздействий.

Достоверность и новизна основных выводов диссертации.

Диссертационная работа изложена на 182 страницах и состоит из введения, пяти глав, выводов и заключения по диссертационной работе, списка литературы и 3 приложений.

Структура диссертации логично отражает последовательность решения поставленных соискателем задач, а именно: анализ аналитических, численных и экспериментальных методов исследования динамических процессов деформирования и разрушения многослойных композиционных материалов в результате локального удара; экспериментальные исследования и численное имитационное моделирование процессов деформирования, повреждения и разрушения пластин из многослойных композиционных материалов при ударном нагружении; разработка расчетно-экспериментальной методики оптимального армирования многослойных композиционных материалов; развитие методов неразрушающего контроля повреждений (в виде расслоений) в многослойных композиционных материалах в результате локального удара.

Автором проведены уникальные экспериментальные исследования взаимодействия высокоскоростного ударника с пластиной из многослойных композиционных материалов с различной ориентацией укладки и количества армирующих слоев, что позволило разработать методику виртуальных испытаний на основе комплексного экспериментального исследования и численного конечно-элементного моделирования.

С целью снижения скорости пробития пластины ударником предложена оригинальная расчетно-экспериментальная методика оптимального армирования многослойных композиционных пластин, основанная на автоматизированной процедуре выбора угла укладки волокон в слое. При этом скорость пробития пластины уменьшалась посредством увеличения площади межслойных расслоений. Методика проиллюстрирована на примере

многослойной обшивки консоли крыла беспилотного летательного аппарата (БПЛА) из композиционных материалов

Диагностическими и численными методами проведены комплексные исследования внутренних локальных расслоений в композиционных пластинах в результате ударных воздействий с установлением площади расслоений и глубиной их залегания.

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов в диссертационной работе подтверждается апробированными подходами механики деформирования и разрушения композиционных материалов, использованием современного испытательного оборудования и программных средств конечно-элементного моделирования, а также сопоставлением полученных результатов моделирования с результатами экспериментов.

Значимость результатов для науки и практики. Результаты диссертационной работы имеют широкий потенциал для применения в отечественной науке и практике оценки прочности многослойных композиционных материалов при наличии повреждений в результате ударного воздействия в разных отраслях машиностроения при создании перспективной техники и средств защиты.

Прежде всего, следует отметить разработанные автором оригинальные численные модели (цифровые двойники) композиционных элементов конструкций, позволяющие прогнозировать их ударную стойкость и размеры зон повреждений и разрушения при различных условиях ударного воздействия. Это существенно снижает объём дорогостоящих натурных баллистических испытаний.

Разработанные численные динамические модели разрушения многослойных пластин из композиционных материалов позволили предложить оптимальную конструкцию 10-слойной пластины, обеспечивающей снижение скорости ударника в зависимости от угла укладки волокон в слое для повышения ударной прочности конструкций.

Предложена оптимальная конструкция многослойной обшивки консоли крыла БПЛА, обеспечивающая максимальную прочность и жесткость в условиях воздействия заданных ударных нагрузок.

Разработанная методика численного моделирования (в среде ANSYS) элементов конструкций из композиционных материалов с дефектами типа расслоений может быть применена к различным многослойным композиционным материалам.

Оценка диссертации. Диссертация написана достаточно подробно и иллюстрирована графиками, фотографиями и расчетными схемами. По содержанию диссертации можно поставить некоторые вопросы и сделать следующие замечания:

1. В тексте диссертационной работе отсутствует нумерация формул, что затрудняет понимание и логику вывода и использования формул в последующих расчетах.
2. Влияют ли условия закрепления пластин (пластина закреплена или свободно оперта) многослойных композиционных материалов на динамические процессы их деформирования, повреждения и разрушения? Если да, как будут влиять условия закрепления пластин на полученные результаты исследований?
3. Эксперименты и численное моделирование проведены на пластинах небольших размеров. Скажется ли эффект масштабного фактора при прогнозировании деформирования, повреждения и разрушения многослойных композиционных материалов в условиях воздействия ударных нагрузок?
4. Все результаты получены при воздействии ударных нагрузок перпендикулярно плоскости пластины. Значительный интерес представили бы результаты исследования динамических процессов деформирования, повреждения и разрушения исследованных композиционных материалов при воздействии ударных нагрузках под углом к плоскости пластины.

5. В разделе 4.4 диссертационной работы отмечено, что «для определения разрушающей нагрузки области образования и подрастания расслоений требуется определить обобщенные силы, продвигающие отслоения G_a , G_b ». Однако, иллюстрация использования этих формул отсутствует.
6. На рис. 4.10 приведены «характерные особенности роста дефектов при сжатии» пластины. Автору следовало бы более подробно прокомментировать получение этих результатов.
7. Не является очевидной и интерпретация самих результатов, представленных на рис. 4.10. Не совсем понятны физические причины перехода дефекта от неустойчивого роста к остановке и с последующим его устойчивым ростом.
8. На с. 145 диссертационной работы отмечена разработка методики численного моделирования элементов конструкций КМ с допустимыми дефектами типа расслоений в системе ANSYS. Вместе с тем, ничего не сказано о критериях допустимости дефектов.

Сделанные замечания не отражаются, однако, на положительном решении по диссертации.

Заключение. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвященную экспериментально-численному исследованию деформирования, повреждения и разрушения многослойных композиционных материалов при локальном ударе.

Основное содержание диссертации отражено в периодической печати и доложено на конференциях и семинарах. Автореферат диссертации в целом правильно и полно отражает ее содержание.

Диссертация удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, А.Б. Балданов, заслуживает искомой ученой степени кандидата

6