

УДК 539.422.5

М.И. Семин, МАДИ,

e-mail: seminmi@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ШНЕКОВОГО ЦИЛИНДРА

Аннотация. В статье проведено прогнозирование разрушения композитных материалов шнекового цилиндра для движителя шнекороторного типа амфибийного транспортного средства. Предложены трехслойная модель материала для цилиндра шнека и современные технологии упрочнения композитов пространственной формы.

Ключевые слова: шнековый цилиндр, трехслойная модель материала, композиты пространственной формы.

M.I. Semin, MADI,

e-mail: seminmi@mail.ru

FORECAST OF DISRUPTION OF LAYERED COMPOSITES OF A SCREW CYLINDER

Abstract. The article describe saforecast of composite material disruption of a screw cylinder for a screw-rotor-type propeller of an amphibian vehicle. There a real soa three-layered material model for the screw cylinder and modern technologies of space form composite reinforcement offered in the article.

Key words: screw cylinder, three-layermaterial model, composites of space form.

Введение

Под разрушением полимерных композиционных материалов (ПКМ) понимается прекращение сопротивления внешним нагрузкам либо вследствие макроразрушения, когда образуются трещины и материал распадается на части, либо микроразрушения, при котором возникновение

множества микротрещин преобразует структуру материала в менее прочную, либо фазовых переходов, понижающих сопротивляемость материала, либо деструкции полимеров, связанной с распадом молекул под действием тепла, кислорода, влаги, света, радиации, механических напряжений и прочих факторов.

Физически обоснованные теории разрушения полимерных и композиционных материалов при объемном напряженно-деформированном состоянии (НДС) еще не разработаны.

Прочность и механизм разрушения ПКМ существенно зависят от разнообразных микроэффектов на уровне структурных элементов материалов, хотя при построении их теорий разрушения довольно плодотворно используется прием замены ПКМ различных структур приведенной квазиизотропной средой.

В статье изложена методика прогнозирования разрушения слоистых композиционных материалов, которые предлагается использовать для изготовления цилиндра шнека.

Критерии предельных состояний композиционных материалов

Исторически в основу гипотез разрушения ПКМ были положены теории прочности, разработанные для традиционных конструкционных материалов. Каждой гипотезе прочности при этом соответствует определенная геометрическая поверхность – предельная поверхность [1...8].

Отметим, что большая часть критериев предельных состояний ПКМ основана на характеристиках прочности отдельных слоев материала. При этом соответствующая поверхность прочности строится на основе критериев прочности каждого слоя. Внутренняя огибающая поверхностей прочности для пакета слоев представляет собой предельную поверхность материала. Нагрузки, воспринимаемые ПКМ, определяются на основании

теории слоистых сред. При этом по мере разрушения отдельных слоев производится перерасчет распределения нагрузки между слоями.

Так, на рисунке 1 представлены предельные кривые, соответствующие различным видам исчерпания несущей способности слоев углепластика, рассматриваемого как усиливающий слой в конструкции материала цилиндра шнека.

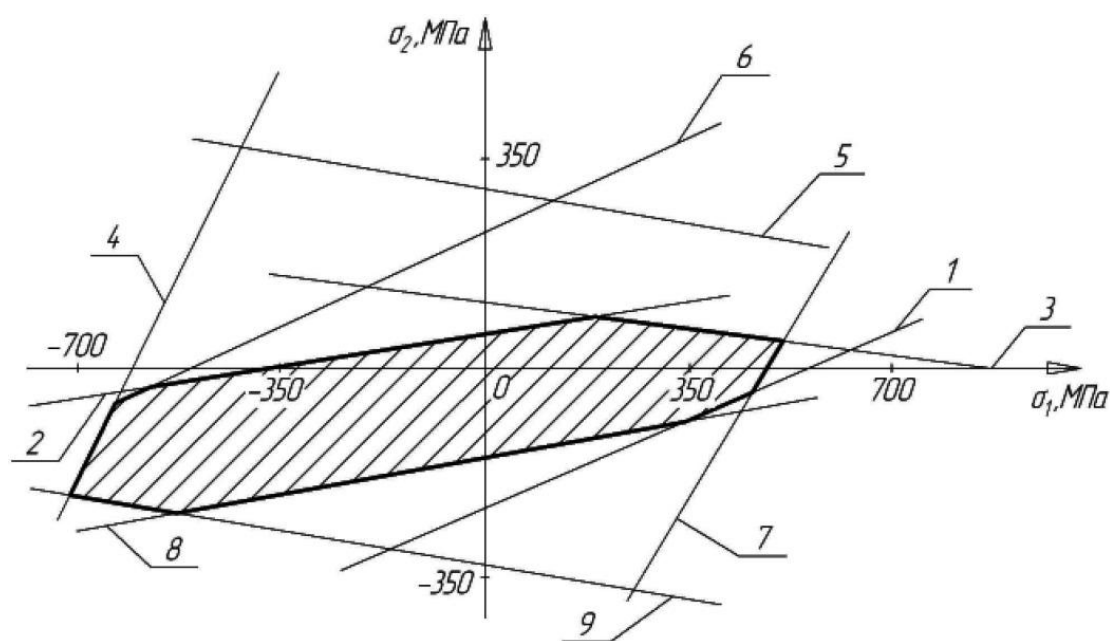


Рис. 1. Предельные кривые для слоев углепластика со структурой пакета $[0^\circ/+45^\circ-45^\circ/0^\circ]$: 1 – сдвиг слоев с ориентацией 45° ; 2 – растяжение поперек волокон слоев с ориентацией 0° ; 3 – растяжение поперек волокон слоев с ориентацией 45° ; 4 – сжатие вдоль волокон слоев с ориентацией 0° ; 5 – растяжение вдоль волокон слоев с ориентацией 45° ; 6 – сдвиг слоев с ориентацией 45° ; 7 – растяжение вдоль волокон слоев с ориентацией 0° ; 8 – сжатие поперек волокон слоев с ориентацией 0° ; 9 – сжатие вдоль волокон слоев с ориентацией 45°

Отметим, что окончательно выбор того или иного метода оценки прочности во многом определяется целями исследования, т. е., в основном, характером нагружения разрабатываемой конструкции и условиями ее эксплуатации, а также наличием зон концентрации напряжений, возможными технологическими либо эксплуатационными повреждениями материала и т.д.

Моделирование разрушения зон механических соединений композиционных материалов

В целом ряде работ [1...8] предложено обобщающее выражение критерия прочности ПКМ в тензорно-полиномиальной форме:

$$\sum F_i \sigma_i + \sum F_{ij} \sigma_i \sigma_j + \sum F_{ijk} \sigma_i \sigma_j \sigma_k + \dots = 1, \quad (1)$$

где F_i – тензоры прочности, симметричные по матричным индексам, а σ_i – компоненты тензора напряжений. На практике обычно ограничиваются линейными и квадратичными членами критерия.

Ниже приведены наши расчетные оценки прочности композиционного материала в зоне болтового соединения при использовании тензорно-полиномиального критерия прочности на основе конечно-элементного моделирования в два этапа.

На первом этапе за объект математического моделирования рассматривалась пластина из слоистого ортотропного ПКМ с крепежным отверстием, в который без зазора и натяга вставлен болт, затянутый определенным моментом. Усилия затяжки учитываются как силы давления, равномерно распределенные под поверхностью шайбы, сила трения при этом рассчитывается как внешняя нагрузка типа удельной силы, приложенной к срединному сечению пластины. Зона контакта уточняется в результате первого просчета, второй просчет проводится уже по скорректированным граничным условиям.

На втором этапе решения задачи расчетная область разбивается на два слоя объемных конечных элементов. Для моделирования анизотропии материала при этом по методике Ашкенази Е.К. рассматриваются ПКМ трех типов, различающиеся значениями модулей упругости и коэффициентов Пуассона (рис. 2).

Расчеты показывают, что увеличение момента затяжки болта до 40 Нм приводит к заметному уменьшению (до 30%) максимальных контактных напряжений в болтовых соединениях типовых углепластиков,

которые планируется использовать в качестве краевых несущих слоев в конструкции материала цилиндра шнека, что соответствует экспериментальным исследованиям прочности соединений углепластиков.

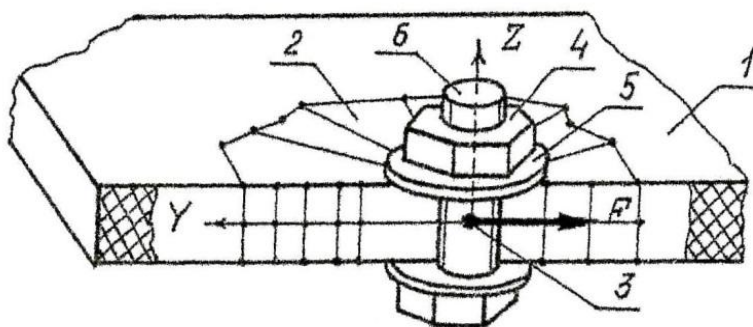


Рис. 2. Расчетная схема болтового соединения: 1 – зона двумерного конечно-элементного моделирования; 2 – зона трехмерного моделирования на втором этапе решения задачи; 3 – место приложения растягивающей силы; 4 – гайка; 5 – шайба; 6 – болт

Тензоры прочности при этом определяются по формулам [7, 8]:

$$F_i = \frac{1}{X_i} - \frac{1}{X_i'}; F_{ii} = \frac{1}{X_i \cdot X_i'}, \quad (2)$$

где X_i, X_i' – пределы прочности по соответствующему направлению при растяжении и сжатии, тензоры F_{ij} находятся из соотношения:

$$(B^2 \cdot F_{ii} + 2B \cdot F_{ij} + F_{jj}) \cdot \sigma_i'^2 + (B \cdot F_i + F_j) \cdot \sigma_j' = 1, \quad (3)$$

где σ_i', σ_j' – напряжения, соответствующие разрушающим ($\sigma_i', \sigma_j' = 1 \dots 6$);

$$B = \sigma_i' / \sigma_j'.$$

Трехслойная гибридная конструкция материала цилиндра шнека

Анализ механики разрушения типовых стеклопластиков и углепластиков, загруженности цилиндра шнека показывает, что применение в конструкции слоистого материала (несущие основную нагрузку слои углепластика и промежуточный соединительный слой

стеклопластика) потребует учета специфики поведения каждого слоя конструкции слоистого материала и всей слоистой конструкции в целом.

Эскиз гибридной конструкции предлагаемого материала для цилиндра шнека приведен на рис. 3.

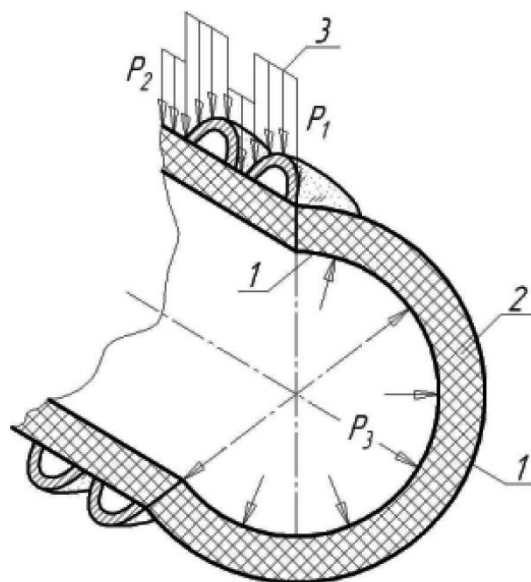


Рис. 3. Модель материала для цилиндра шнека: 1 – внешний и внутренний углепластиковые слои; 2 – срединный слой из стеклопластика; 3 – внешняя нагрузка от взаимодействия с поверхностью почвы (P_1 – в зоне спирали шнека, P_2 – вне зоны спирали); P_3 – нагрузка от внутреннего давления

Типовая методика проектирования конструктивных элементов из композиционных материалов

Учет специфики механических свойств ПКМ, особенностей их поведения в соединениях элементов конструкций требуют обобщения всей имеющейся информации по прочностным характеристикам, технологиям изготовления материалов в особенности при применении гибридных ПКМ.

Для разработки рациональной конструкции цилиндра шнека необходимо создать компьютерную базу данных по свойствам используемых ПКМ, их сертификации, по особенностям технологии изготовления и обоснованию для практического применения, по методам расчета и диагностики дефектов.

На рисунке 4 приведена структура типовой экспертной компьютерной системы для разработки клеевого соединения конструкции из ПКМ.

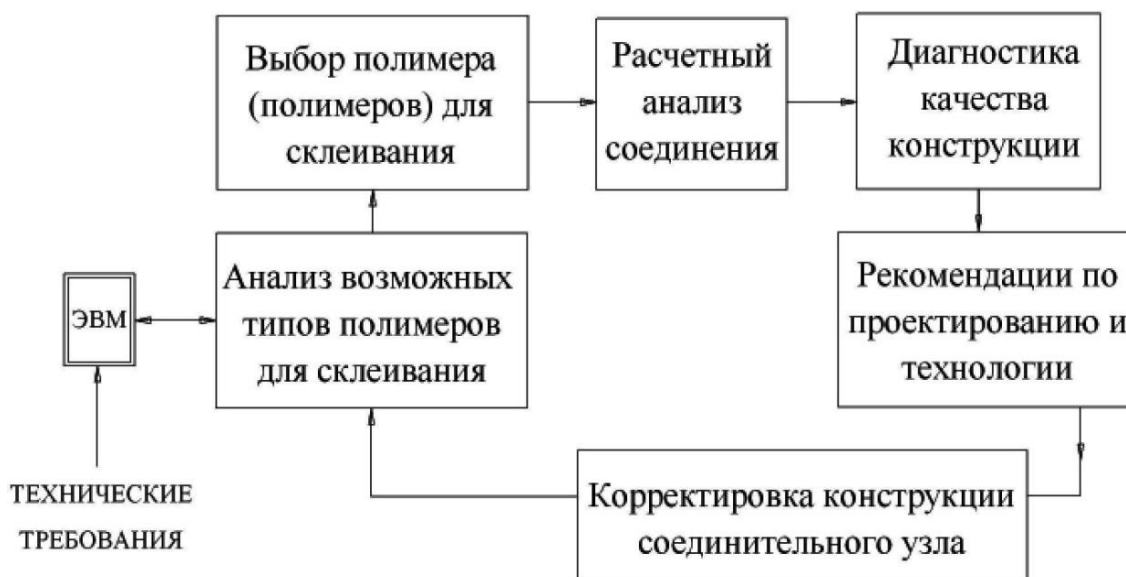


Рис. 4. Экспертная система для разработки клеевого соединения

На первом этапе при задании технологических требований анализируются механические характеристики соединяемых материалов, условия эксплуатации, геометрические параметры соединения и характер нагружения.

Это позволяет на втором этапе обоснованно выбрать ряд клеевых композиций, пригодных для рассматриваемого соединительного узла.

Анализ технологических процессов (с учетом экономической целесообразности) позволяет на третьем этапе выбрать технологический процесс склеивания и тип (или типы) применяющихся при этом полимеров.

На следующем этапе по выбранной математической модели производится расчет соединения для оценки его прочности.

Такая схема позволяет систематизировать данные и предлагать рекомендации для конструкторов и технологов.

Если предложенный вариант соединения не полностью отвечает техническим требованиям, проводится его доработка путем изменения геометрических параметров (площадь склеивания, скос кромок и т.п.), либо изменения типа соединения (применение комбинированного клеомеханического соединения), либо внесение коррективов в технологию изготовления.

Выводы

Решение об изготовлении цилиндра шнека в виде трехслойного углестеклопластикового материала потребует анализа современных методов проектирования конструкций из ПКМ с учетом возможности проведения трехмерного армирования конечного продукта. С этой целью следует оценить возможности задействования специального оборудования и оснастки: оборудования для настрачивания углеродных нитей на ткань – подложку, применение тафтинга – трехмерного армирования многослойных преформ путем введения армирующей нити в трансверсальном направлении без образования челночного или цепного стежка; оборудования для изготовления слоистых тканей, изготовления ортогональных тканей; оборудования для изготовления соответствующих преформ.

Список литературы

1. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин: прочность, устойчивость, колебания. М.: Наука. 1987. 360 с.
2. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов. Л.: Машиностроение. 1980. 240 с.
3. Ванин Г.А. Механика композиционных материалов. Киев: Наукова думка, 1985. 302 с.
4. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление полимерных и композиционных материалов. Рига: Зинатне, 1980. 572 с.

5. Образцов И.Ф., Васильев В.В., Бунаков В.А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. М.: Высшая школа. 1985. 392 с.

6. Работнов Ю.Н. Механика армируемого твердого тела. М.: Наука, 1988. 712 с.

7. Семин М.И., Стреляев Д.В. Расчеты соединений элементов конструкций из композиционных материалов на прочность и долговечность. М.: Изд-во МГАТУ «ЛАТМЭС», 1996. 288 с.

8. Черепанов Г.П. Механика разрушения композиционных материалов. М.: Наука, 1983. 294 с.

References

1. Ambartsumyan S.A. *Teoriya anizotropnih plastin prochnost ustoichivost kolebaniya* (Theory of anisotropic plates: robustness, consistency, fluctuations), Moscow, Nauka, 1987, 360 p.

2. Ashkenazi E.K., Ganov E.V. *Anizotropiya konstrukcionnih materialov* (The anisotropy of construction materials), Leningrad, Mashinostroenie, 1980, 240 p.

3. Vanin G.A. *Mehanika kompozicionnih materialov* (Mechanics of composite materials), Kiev, Naukova dumka, 1985, 302 p.

4. Malmeister A.K., Tamuzh V.P., Teters G.A. *Soprotivlenie polimernih i kompozicionnih materialov* (Strength of polymeric and composition materials), Riga, Zinatne, 1980, 572 p.

5. Obrazcov I.F., Vasilyev W.W., Bunakov V.A. *Optimalnoe armirovanie obolochek vrascheniya iz kompozicionnih materialov* (Optimal rein forcing of shell of revolution made of composites), Moscow, Visshaya shkola, 1985, 392 p.

6. Rabotnov Yu.N. *Mehanika armiruemogo tverdogo tela* (Mechanics of are in forced solid), Moscow, Nauka, 1988, 712 p.

7. Semin M.I., Strelyaev D.V. *Rascheti soedinenii elementov konstrukcii iz kompozicionnih materialov na prochnost i dolgovechnost* (Calculations of robustness and durability ratio of construction element joints made of composition materials), Moscow, MGATU publishing house «LATMES», 1996, 288 p.

8. Tcherepanov G.P. *Mehanika razrusheniya kompozicionnih materialov* (Mechanics of composites disruption), Moscow, Nauka, 1983, 294 p.