

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ЛЫЖ

С.В. Шилько¹, Т.В. Рябченко¹, Е.М. Петроковец¹, Д.А. Черноус¹, С.Н. Целуева²

¹Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь, shilko_mpr@mail.ru

²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Введение. Современные спортивные лыжи изготавливаются в виде «сэндвича» (рис. 1), в котором относительно тонкие армирующие слои высокомодульного направленно-армированного стеклопластика работают совместно с легким сотовым или микропористым наполнителем (сердечником). Дополнительный вклад в изгибную жесткость и прочность лыжи вносят слой скольжения из антифрикционного полимерного материала и декоративное покрытие. Таким образом, лыжи представляют собой геометрически сложные композитные конструкции с выраженным градиентом механических свойств по толщине. Оптимальный выбор модуля упругости материала и толщины слоев позволяет добиться требуемой изгибной жесткости и, в итоге, улучшить трибологические характеристики лыжи за счет оптимального распределения зон опирания при толчке и последующем скольжении.

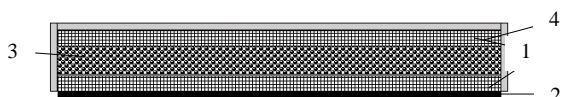


Рис. 1. Поперечное сечение лыжи: 1 — армирующие слои; 2 — слой скольжения; 3 — сердечник; 4 — декоративное покрытие.

Целью работы является оптимизация изгибной жесткости композитной лыжи посредством механических испытаний и механико-математического моделирования.

Методы исследования. Статические механические испытания, аналитические и численные решения задач о трехточечном изгибе слоистых стержней и пластин из изотропных материалов.

Результаты и их обсуждение. Исследование включало испытания на машине Инстрон 5567 лыж известных производителей и модельных призматических образцов «полиэтилен — стеклопластик — пенопласт» на трехточечный изгиб (рис. 2, 3); конечноэлементные расчеты в двумерной и трехмерной постановке, а также аналитическое определение прогиба модельных образцов (таблица).



Рис. 2. Определение изгибной жесткости лыжи Fisher LS Combi (а) и модельного образца (б).

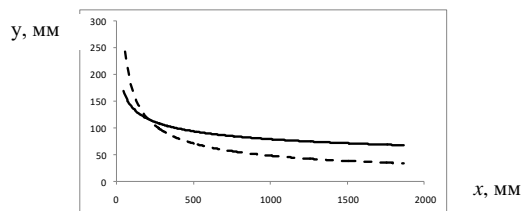


Рис. 3. Профиль лыжи Fisher LS Combi до (сплошная линия) и после приложения нагрузки 230 Н (пунктирная линия).

Вертикальное перемещение в центре трехслойного образца вычисляли по теории изгиба

$$H_{теор} = \frac{\Delta F}{\Delta u_{max}} = \frac{48b}{L^3} \left(M_3 - \frac{M_2^2}{M_1} \right), \quad (1)$$

где L — расстояние между опорами; b — ширина образца; M_1, M_2, M_3 — условные моменты:

$$M_j = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^n E_i (y_i^j - y_{i-1}^j). \quad (2)$$

Здесь i — номер слоя; n — число слоев; E_i — модуль Юнга материала i -ого слоя; y_i — поперечная координата верхней точки i -ого слоя; $y_0 = -h/2$, где h — толщина образца. В левой части уравнения (2) для моментов j — индекс, а в правой — число от 1 до 3.

Таблица. Зависимость прогиба, мм от нагрузки

F, Н	Эксп.	Пл. деформация		Пл. напряж. состояние		3D	Ан. реш.
		1	2	1	2		
1	2,5	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,1
2	5,0	4,2	4,2	4,2	4,2	4,4	4,2
3	7,5	6,3	6,3	6,4	6,3	6,5	6,3
4	10,0	8,3	8,3	8,5	8,5	8,7	8,4
5	12,5	10,4	10,4	10,6	10,6	10,9	10,5
6	14,2	12,5	12,5	12,7	12,7	13,1	12,6

Э — эксперимент, 1 — сосредоточенная сила, 2 — учет контактных деформаций.

Установлено, что предположения о плоской деформации или напряженном состоянии, а также изотропии армирующих слоев приводят к завышенной оценке изгибной жесткости. Так, экспериментальному значению изгибной жесткости модельного образца «полиэтилен — стеклопластик — пенопласт» $H_{экс} = 0,4$ Н/мм соответствует расчетное значение $H_{теор} = 0,443$ Н/мм, найденное по формуле (1).

Заключение. Для расчета изгибной жесткости композитных спортивных лыж необходимо использовать 3D моделирование реальной геометрической формы лыжи с учетом анизотропии армирующих слоев.

Благодарности. Работа выполнена по заданию ПМТ 6.09 и при поддержке БРФФИ (Т18КОРГ-004).