

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНОГО ОБОДА КОЛЕСА

Больших А.А., к.т.н. Вдовин Д.С., к.т.н. Еремин Г.П.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

bolshikh@baumanracing.ru

Целью работы является уменьшение неподрессоренной массы, момента инерции колеса гоночного автомобиля при сохранении необходимой прочности за счет применения композиционных материалов в его конструкции. В настоящее время композитные материалы получили широкое распространение в качестве конструкционных материалов в узлах и агрегатах автомобиля. В частности, применение современных композитных материалов в элементах трансмиссии автомобиля, таких как приводные валы, полуоси или колеса, позволяет существенно улучшить характеристики колесной машины: снизить полную и неподрессоренную массу. Из современных композитных материалов можно выделить полимерные композитные материалы, имеющие в качестве армирующего элемента углеродные волокна, обладающие малой плотностью, и наилучшим образом сочетающие высокий уровень удельной прочности с технологичностью изготовления изделий. Объектом исследования является колесо гоночного автомобиля класса «Формула студент». Предметом исследования является применение композиционных материалов в конструкциях подобных колес, а также расчетная оценка прочности колеса при его изготовлении из композитных материалов. Регламент соревнований допускает большую свободу в выборе конструкции колеса. Расчетная оценка прочности проведена методом конечных элементов, для этого разработана оригинальная конечно-элементная модель колеса с учетом анизотропных свойств армированных материалов. Численное исследование прочности выбранной конструкции показало, что обод из композиционного материала обладает избыточным запасом прочности при расчетных нагрузках. Предложенное конструкторское решение позволяет уменьшить массу колеса на 33 % (до 1,68 кг) по сравнению с цельковым колесом из магниевых сплавов (2,5 кг).

Ключевые слова: колесо, композитный обод, композитное колесо, углепластик, метод конечных элементов, спортивный автомобиль.

Введение

В настоящее время композитные материалы получили широкое распространение в качестве конструкционных материалов в узлах и агрегатах автомобиля. В частности, применение современных композитных материалов в элементах трансмиссии автомобиля, таких как приводные валы, полуоси или колеса, позволяет существенно улучшить характеристики колесной машины: снизить полную и неподрессоренную массу. Из современных композитных материалов можно выделить полимерные композитные материалы, имеющие в качестве армирующего элемента углеродные волокна, обладающие малой плотностью, и наилучшим образом сочетающие высокий уровень удельной прочности с технологичностью изготовления изделий. В статье приведены результаты исследований применения композиционных материалов в конструкции обода колеса, целью которых является уменьшение неподрессоренной массы, момента инерции

и сохранение необходимой прочности колеса гоночного автомобиля класса «Формула студент» за счет применения обода из углепластика в его конструкции [1].

Регламент соревнований допускает большую свободу в выборе конструкции колеса. Наиболее широко в автомобилях класса «Формула студент» применяются колеса из алюминиевых сплавов, выполненные по технологии литья под давлением. Такие колеса дешевы, однако обладают значительной массой. Также применяются сборные колеса из трех частей, состоящие из фрезерованного диска и тонкостенного раскатанного обода. Наиболее легкими колесами традиционной конструкции являются литые колеса из магниевых сплавов (рис. 1, а) [2].

Снижение массы колеса возможно за счет применения композиционных материалов. Наиболее распространенные конструкции состоят из алюминиевого диска и композитного обода, собираемого на болтах, как показано на рис. 1б. Еще меньшей массой обладают цель-



Рис. 1. Колеса:

a – сборное алюминиевое Keizer 13» Formula CL-1;
б – сборное из алюминиевого диска и композитного обода; *в* – цельное неразборное композитное

Однако такие колеса сложны и дороги в изготовлении. Для производства требуются матрицы, состоящие из большого числа деталей, а также закладные детали из пенопласта, получаемые фрезерованием на станках с ЧПУ. Укладка ткани в матрицу также представляет технологическую сложность. Наименьшей массой обладают неразборные цельные колеса, изготовленные из композитных материалов. Колеса такой конструкции наиболее дорогие за счет высокой цены используемых в производстве материалов, а также оснастки, состоящей из большого числа частей, получаемых фрезерованием на станках с ЧПУ.

Цель исследования

Целью работы является исследование прочности конструкции колеса из алюминиевого диска и композитного обода, собираемой с помощью болтов, как компромиссного решения среди рассмотренных выше.

Технология изготовления композиционного колеса

Для упрощения производства предлагается изготавливать обод из двух частей, обе части обода выполняются тонкостенными и изготавливаются методом вакуумной инфузии. После укладки композиционного материала-полуфабриката или препрега на оснастку под необходимыми углами и с определенным числом слоев заготовку помещают в автоклав, предназначенный для полимеризации композиционных изделий и обеспечения максимального коэффициента армирования.

Завершающим этапом изготовления обода является токарная обработка посадочных мест шины для обеспечения правильного монтажа и герметичности [3]. Готовый композитный обод собирается с алюминиевым диском в единую конструкцию колеса с помощью болтовых соединений, как показано на рис. 2, *a*.

В качестве материала для обода часто используют углепластик. Технологии получения деталей из углеткани и стеклоткани не отличаются, но детали из углепластика обладают меньшей массой и большей удельной прочностью, хотя и имеют более высокую стоимость. Наружные поверхности из стеклопластика требуют покраски из-за неэстетичного внешнего вида, в то время как изделия из углепластика могут иметь наружную поверхность, не требующую покрытия.

Существует несколько типов переплетения нитей в тканях: полотняное, сатиновое и твилловое.

При полотняном плетении сильно снижаются показатели механической прочности готового изделия, т.к. нить имеет множество изгибов, но при этом такая ткань позволяет выкладывать поверхности сложной формы. Сатиновое переплетение имеет более высокую прочность, но из-за редкого переплетения волокон разного направления тканью сложно выкладывать сложные поверхности. Твилловое переплетение является промежуточным вариантом, обладает средними показателями механической прочности и позволяет выкладывать поверхности сложной формы [4].

Нагрузочные режимы

Автомобильное колесо представляет собой конструкцию, состоящую из тонкостенного оболочечной конфигурации обода (для установки шины) и диска (для крепления к ступице). Жесткость колеса в плоскости его вращения выше его изгибной жесткости.

Общая конструкция колеса показана на рис. 2, *в*, где прописными буквами обозначены следующие элементы: А – полка, является посадочным местом шины; Б – закраина обода, служит боковым упором для бортов шины; Г – плоскость крепления колеса к ступице. Гео-

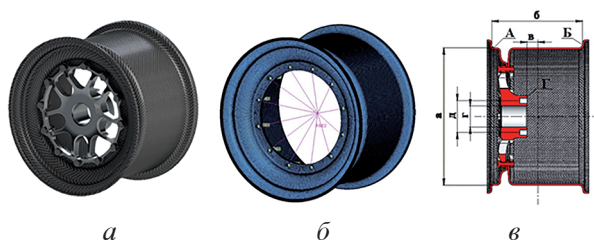


Рис. 2. Колеса:

a – общий вид сконструированного колеса;
б – конечно-элементная модель обода колеса;
в – основные элементы и размеры колеса легкового автомобиля

метрические размеры колеса характеризуются четырьмя основными параметрами: а – монтажный диаметр колеса; б – ширина обода; в – вылет (расстояние между плоскостью симметрии обода и крепежной плоскостью колеса); г – диаметр центрального отверстия под ступицу; д – диаметр окружности расположения крепежных штифтов. Определяющими для обода размерами служат монтажный (посадочный) диаметр (а) и ширина профиля обода (б) [5].

В процессе эксплуатации колеса гоночных автомобилей класса «Формула студент» подвергаются различным нагрузкам, влияющим на такие показатели, как прочность и долговечность колеса. Нагрузки, действующие на колесо автомобиля, зависят от режимов движения, скорости, боковых ускорений, массы шины, массы автомобиля, радиусов качения. Пиковые нагрузки, действующие на колесо, могут приводить к накоплению повреждений в материале конструкции и, как следствие, возникновению трещин или разрушению колеса. Под действием циклически действующих на колеса усилий, могут возникать усталостные трещины. Величина усилий, действующих на колесо во время удара, может в разы превышать усилия, возникающие при обычном движении автомобиля по гоночному треку. Такие усилия могут привести к изменению формы обода или диска, приводящие к биению, утечке воздуха в шине и даже к полному разрушению колеса. Для спортивных автомобилей класса «Формула студент» не имеет смысла учитывать ударные нагрузки, возникающие в следствии неровностей дороги, так как гоночные треки, где эксплуатируются автомобили данного класса обладают высочайшим качеством дорожной поверхности и не имеют как выбоин, так и бордюров. При движении по гоночным трекам, имеющим малое количество прямых и большое количество поворотов, имеющих различную кривизну и направление, могут возникать циклические нагрузки. Усилия на колесо также возникают вследствие давления воздуха в шине и натяга ее бортов на посадочные полки обода. Фиксация колеса на ступице приводит к появлению дополнительных контактных усилий в местах крепления. Если переменные усилия, возникающие в конструкции колеса, – значительные, то при эксплуатации автомобиля в таких условиях могут возникать усталостные повреждения в материале конструкции обода и диска, приводящие к образованию

усталостных трещин и разрушению колеса.

Расчетная схема внешних сил, действующих на колесо, представлена на рис. 3. Для описания всех действующих на колесо сил используется декартова система координат XYZ , начало которой располагается в точке пересечения оси вращения колеса с ее плоскостью вращения. Ось Z направлена вертикально, ось X – горизонтально, по направлению движения автомобиля, Y – горизонтально, перпендикулярно продольной плоскости автомобиля. На колесо действуют вектор силы F и моменты M , компоненты которых направлены вдоль осей и относительно осей XYZ соответственно. В зоне пятна контакта колеса с опорной поверхностью возникают реакции R_x , R_y и R_z [6].

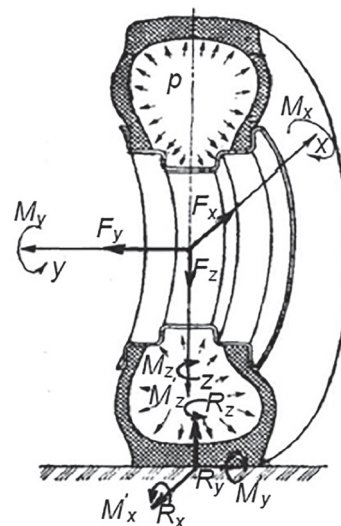


Рис. 3. Схема внешних сил, действующих на колесо [6]

К внешним силам, моментам и реакциям, приложенным к катящемуся колесу со стороны автомобиля, относят составляющие равнодействующей всех сил, направленных перпендикулярно соответственно опорной, поперечной и продольной плоскостям колеса. Нормальная сила F_z приложена вертикально к оси вращения колеса в сторону опорной поверхности и представляет собой часть веса автомобиля с пилотом, приходящегося на колесо. Продольная сила F_x приложена по направлению продольной оси автомобиля и определяет режим движения автомобиля (торможение или ускорение). Боковая сила F_y приложена по направлению поперечной оси автомобиля. На горизонтальном и ровном основании осевые силы являются следствием действия боковых сил, например, центробежной силы при повороте автомобиля [7].

Описание математической модели композитного колеса гоночного автомобиля класса «Формула студент»

Для оценки работоспособности конструкции композитного колеса под действием предельных нагрузок был использован метод конечных элементов, позволяющий рассчитывать напряженно-деформированное состояние композитных конструкций на основе математических моделей анизотропных материалов. Создана трехмерная конечно-элементная модель колеса, изображенная на рис. 2, б, которая состоит из 58030 конечных элементов преимущественно оболочечных элементов.

Диск колеса смоделирован с помощью жестких элементов типа *RBE2*. Такие элементы представляют собой жесткое тело, присоединенное к одному узлу с независимыми степенями свободы и произвольному количеству узлов с зависимыми степенями свободы [8].

Две части обода смоделированы оболочечными четырехузловыми элементами. Соединяющие их болты смоделированы упрощенно балочными конечными элементами.

Моделирование упругих свойств углепластика проводится с использованием модели анизотропного материала. Для разных слоев могут быть заданы разные толщины, материалы и направления армирующих волокон. Могут быть заданы слои из однонаправленной ткани или из ткани с переплетением. Плоскости слоев считаются параллельными срединной поверхности плоского конечного элемента.

Для рассматриваемой в данной работе конструкции обода выбрана укладка и число слоев, показанные в табл. 1.

Схема укладки препрега

Напряжения и деформации для каждого отдельного слоя могут быть вычислены из усредненных напряжений и деформаций оболочечного элемента. Эти результаты затем могут использоваться для расчета критериев разрушения композиционных материалов, а также для выявления разрушений отдельных слоев по матрице или волокну [10].

Для оценки прочности композиционного материала разработано большое количество критериев разрушения, среди них выделяют:

Критерий Цая-Хилла;
Критерий Хоффмана;
Критерий Цая-Ву;
Критерий максимальных деформаций;
Критерии разрушения матрицы.

Обычно критерий разрушения записывается в виде математического выражения, называемого функцией критерия разрушения. Параметрами функции являются действующие напряжения или деформации, а также предельно допустимые механические свойства материалов. Функции строят так, что значения большие 1 свидетельствуют о разрушении материала. Таким образом, значение функции критерия разрушения равно обратному значению коэффициента запаса прочности [11].

В качестве критерия разрушения в данной работе выбран критерий Хоффмана, так как он учитывает неравенство пределов прочности при растяжении и при сжатии, а также несовпадение осей координат, осей симметрии материала и главных осей тензора напряжений. Функция данного критерия разрушения записывается в виде:

$$F = \left(\frac{1}{X_t} - \frac{1}{X_c} \right) \sigma_1 + \left(\frac{1}{Y_t} - \frac{1}{Y_c} \right) \sigma_2 + \frac{\sigma_1^2}{X_t X_c} + \frac{\sigma_2^2}{Y_t Y_c} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{X_t X_c} + \frac{\tau_{12}^2}{S^2},$$

где X_t и Y_t – допустимые напряжения при растяжении; X_c и Y_c – при сжатии [12].

Описание реализации нагрузочных режимов в конечно-элементной модели колеса

Обычно давление в шине автомобиля «Формулы студент» составляет 1...1,2 атм. Максимальное возможное давление в шине – 2 атм. Давление воздуха в шине оказывает воздействие на боковую поверхность шины и на внутреннюю поверхность обода под шиной (рис. 4, е).

Осевая нагрузка от давления шины на закраину передается на закраину обода при

Таблица 1

Деталь	Количество слоев и направление укладки
Внутренняя часть обода	[0,90/-75,15/-45,45/-60,30/0,90/0,90/-75,15/-45,45/-60,30/0,90]
Внешняя часть обода	[0,90/-75,15/-45,45/-60,30/0,90/0,90/-75,15/-45,45/-60,30/0,90]

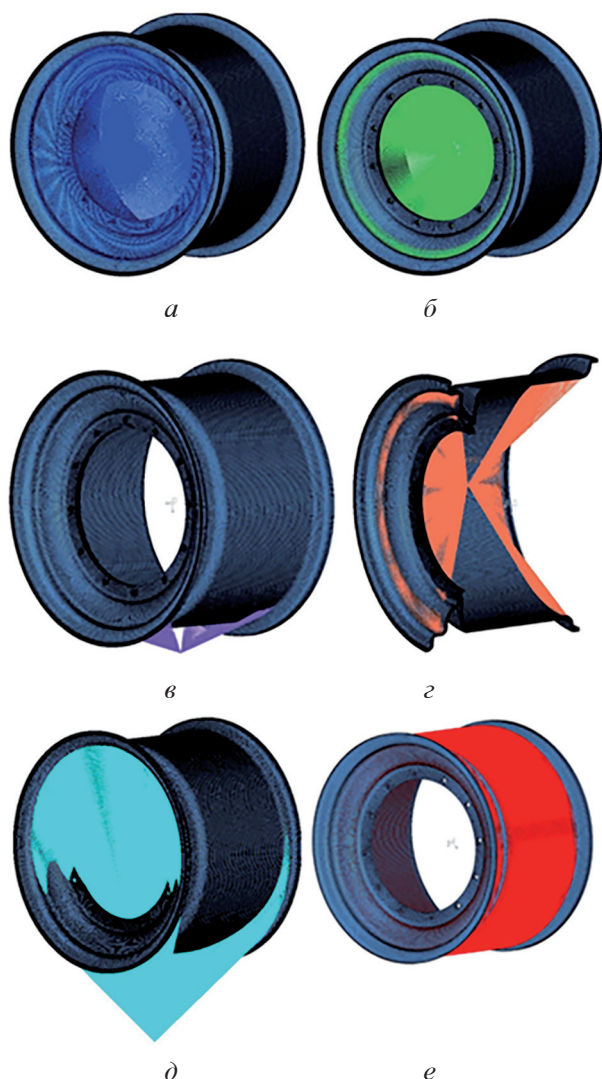


Рис. 4. Силовые факторы, воздействующие на колесо:

a – RBE3-элемент, моделирующий усилие на закраину обода по углу 360° от давления воздуха в шине; *b* – RBE3-элемент, моделирующий передачу крутящего момента на закраину обода по углу 360° ; *c* – RBE3-элемент, моделирующий вертикальную силу по посадочной полке обода с углом охвата 60° ; *d* – Два RBE3-элемента, моделирующих продольную силу, передающуюся по закраине и посадочной полке шины на обод с углом охвата 180° ; *e* – RBE3-элемент, моделирующий передачу боковой силы на закраину обода с с углом охвата 360° ; *f* – давление воздуха в шине, приложенное на внутреннюю поверхность обода

помощи балочных элементов типа *RBE3* с углом охвата 360° , такой элемент представляет собой интерполяционный элемент, который определяет перемещение мастер-узла как среднее взвешенное от перемещений других узлов (рис. 4, *a*) [8]. Данный элемент удобно

использовать для распределения нагрузки по множеству узлов конечно-элементной модели.

Поперечная реакция распределяется по закраине обода с углом охвата 360° и передается при помощи элементов типа *RBE3*. Сила прикладывается к пятну контакта (рис. 4, *d*).

Продольная реакция передается при помощи элементов типа *RBE3* и разделяется на две составляющие: первая составляющая моделирует трение шины о закраину обода и распространяется с углом охвата 360° , вторая составляющая моделирует упор шины о посадочную полку обода и распространяется с углом охвата 180° (рис. 4, *г*).

Вертикальная реакция распределяется по посадочной полке обода с углом охвата 60° и передается при помощи элементов типа *RBE3* (рис. 4, *в*).

Крутящий момент передается на закраину обода при помощи элементов типа *RBE3* с углом охвата 360° (рис. 4, *б*).

Данная система нагружения обода колеса является упрощенной и не учитывает истинного распределения нормальных контактных сил и сил трения, возникающих в контакте шины под давлением с ободом и его закраинами, в том числе эволюции этих контактных сил с учетом совместной деформации шины и обода при передаче нагрузок шиной от пятна контакта с дорогой к ободу колеса. Решение такой контактной задачи является отдельной сложной задачей и представляет научный интерес.

В данной работе рассматриваются следующие расчетные случаи:

- поворот автомобиля при максимальном ускорении;
- вход в поворот при торможении;
- максимальное давление в шине;
- максимальная боковая реакция на колесо при заносе автомобиля [9].

Расчетные силы и схемы не приведены с целью сокращения объема статьи.

Результаты расчетов

На основе описанных выше нагрузочных режимов был проведен расчет напряженно-деформированного состояния обода колеса из композиционного материала. Результаты расчета для наиболее нагруженного режима – поворот плюс торможение – представлены на рис. 5, *a* и рис. 5, *б*. Также выведены результаты расчета напряжений только от действия максимального давления в шине – рис. 5, *в* и рис. 5, *г*.

В результате расчета можно увидеть наибольшие значения критерия разрушения композиционного материала в районе болтового соединения. В данном случае болтовое соединение имитируется при помощи элементов типа *RBE2* и не дает высокую точность в зоне болтового соединения. Также высокий критерий разрушения композиционного материала можно увидеть в месте резкого перехода диа-

метра внутренней части обода (рис. 5, а). Критерий разрушения в данной области составляет 0,31, что говорит о коэффициенте запаса колеса равном ~ 3 . Деформированное состояние для композитного обода и распределение перемещений при повороте с торможением представлено в масштабе 20:1 на рис. 5, б.

Деформированное состояние композитного обода при максимальном давлении представлено в масштабе 20:1 на рис. 5, г. По результатам расчета для данного режима нагружения можно увидеть, что наибольшие значения критерия разрушения композиционного материала возникают в районе болтового соединения и месте резкого перехода диаметра внутренней части обода (рис. 5, в).

Обсуждение результатов расчета

На рис. 6 представлены величины критерия разрушения по Хоффману композиционного материала в зависимости от режима нагружения. По данной диаграмме можно видеть, что наиболее опасным режимом нагружения колеса является поворот плюс торможение для переднего колеса со значением критерия разрушения по Хоффману 0,31 или минимальным коэффициентом запаса по разрушению 3,2.

Данный расчетный запас прочности, очевидно, является переразмеренным для класса гоночных автомобилей, и можно сделать вывод о возможности дальнейшего снижения массы такого колеса за счет уменьшения числа слоев и снижения запаса прочности рассматриваемого обода. Однако допустимый минимальный запас прочности необходимо принимать не только исходя из максимальной нагрузки, но и в соответствии с обеспечением минимально необходимого ресурса колеса (который может определяться несколькими гонками, исходя из экономических соображений). Методика экспериментального определения ресурса колеса

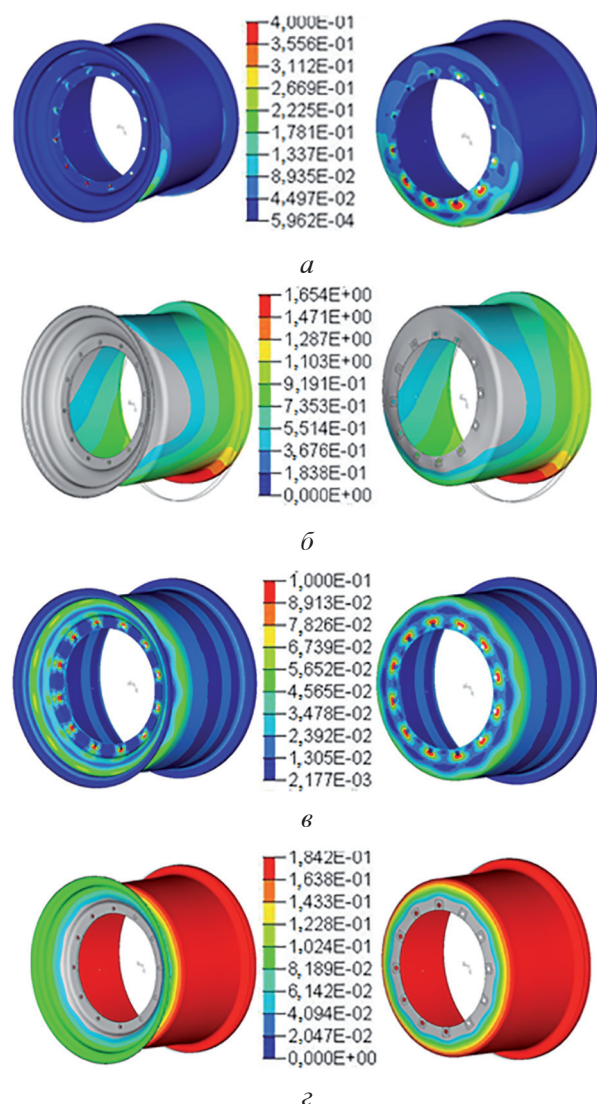


Рис. 5. Результаты расчетов:

а – карта критерия разрушения композиционного материала по Хоффману при повороте с торможением, (Па/Па); б – деформированное состояние и карта суммарных перемещений (магнитуа) при повороте с торможением, (мм); в – карта критерия разрушения композиционного материала по Хоффману при действии максимального внутреннего давления в шине, (Па/Па); г – деформированное состояние и карта суммарных перемещений (магнитуа) при действии максимального внутреннего давления в шине (мм)



Рис. 6. Критерий разрушения композиционного материала обода колеса по Хоффману в зависимости от режима нагружения, (Па/Па)

приведена в [13] и может быть включена в будущее в расчетные исследования на этапе проектирования композиционного колеса, а также в экспериментальные работы по проверке принятых конструктивных решений.

Общие выводы

1. Снижение массы колеса возможно за счет применения композиционных материалов. Наиболее распространенные конструкции состоят из алюминиевого диска и композитного обода, собираемого на болтах.

2. Цельные, неразборные колеса, изготовленные из композиционных материалов, обладают наименьшей массой, но при этом являются наиболее дорогими за счет высокой цены используемых в производстве материалов, а также оснастки, состоящей из большого числа деталей, получаемых фрезерованием на станках с ЧПУ. Поэтому выбор в данной статье был сделан в пользу компромиссной конструкции из алюминиевого диска и композитного обода, собираемой с помощью болтов. Такое конструкторское решение позволяет уменьшить массу колеса на 33 % (до 1,68 кг) по сравнению с цельковым колесом из магниевых сплавов (2,5 кг).

3. Дальнейшим развитием данного исследования является:

- совершенствование способов нагружения конечно-элементной колеса путем решения совместной контактной задачи шина-обод;

- выбор минимально допустимого запаса прочности колеса с учетом характера нагружения колеса в гонке, в том числе расчетно-экспериментальной оценки усталостных повреждений в композиционных материалах;

- изготовление тестовых образцов колес для натурных испытаний на автомобиле класса «Формула студент».

Литература

1. Афанасьев Б.А., Даштиев И.З. Проектирование элементов автомобиля из полимерных композиционных материалов / Под ред. Б.А. Афанасьева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 92 с.
2. The Tire and Rim Association. (2006). 2006 Year Book – Rim Sections. The Tire and Rim Association.
3. K. Yay and I. Ereke. Fatigue Strength of a Rim Model with FEM Using a New Approximation Technique // SAE technical paper 2001-01-3339.
4. Васильев В. В. Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1988. 272 с.

5. Афанасьев и др. Проектирование полноприводных колесных машин: в 3 т. Т. 3 / Под общ. ред. А.А. Полунгяна. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 432 с.
6. Расчет и экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния автомобильных колес на статическую нагрузку / Под ред. И.В. Демьянушко, Е.М. Логнова, В.В. Мироновой. М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2014. 48 с.
7. Ларин В.В. Теория движения полноприводных колесных машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 391 с.
8. Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф., Динисихин С.В., Сотник Д.Е. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М.: ДМК Пресс, 2012. 504 с.
9. Theander A. Design of a Suspension for a Formula Student Race Car. 2004. 74 p.
10. Васильев В.В. и др. Композиционные материалы: справочник / Под ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
11. Kaw A. K. Mechanics of composite materials. Boca Raton (Florida): Taylor & Francis Group, 2006. 457 p.
12. Pedro P. Camanho Failure criteria for fibre-reinforced polymer composites. Режим доступа: <http://paginas.fe.up.pt/~stpinho/teaching/feup/y0506/fcriteria.pdf> (Дата обращения 22.08.17).
13. Соломатин Н.С. Испытания узлов, агрегатов и систем автомобиля. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. 142 с.

References

1. Afanas'ev B.A., Dashtiev I.Z. *Proektirovanie elementov avtomobilya iz polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Design of automobile components from polymer composite materials]. Pod red. B.A. Afanas'eva. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2006. 92 p.
2. The Tire and Rim Association. (2006). 2006 Year Book – Rim Sections. The Tire and Rim Association.
3. K. Yay and I. Ereke. Fatigue Strength of a Rim Model with FEM Using a New Approximation Technique. SAE technical paper 2001-01-3339.
4. Vasil'ev V.V. *Mekhanika konstruktivnykh materialov* [Mechanics of constructions from composite materials]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. 272 p.
5. Afanas'ev i dr. *Proektirovanie polnoprivodnykh kolesnykh mashin* [The design of four-wheel drive vehicles]: v 3 t. T. 3. Pod obshch. red.. A.A. Polung-

- yana. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2008. 432 s.
6. *Raschet i eksperimental'noe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya avtomobil'nykh koles na staticheskuyu nagruzku* [Calculation and experimental investigation of the stress-strain state of automobile wheels on the static load]. Pod red. I.V. Dem'yanushko, E.M. Lognova, V.V. Mironovoy. Moscow: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet (MADI) Publ., 2014. 48 p.
7. Larin V.V. *Teoriya dvizheniya polnoprivodnykh kolesnykh mashin* [Theory of motion of four-wheel drive vehicles]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2010. 391 p.
8. Goncharov P.S., Artamonov I.A., Khalitov T.F., Dinisikhin S.V., Sotnik D.E. *NX Advanced Simulation. Inzhenernyy analiz* [NX Advanced Simulation. Engineering analysis.]. Moscow: DMK Press Publ., 2012. 504 p.
9. Theander A. Design of a Suspension for a Formula Student Race Car. 2004. 74 r.
10. Vasil'ev V.V. i dr. *Kompozitsionnye materialy: spravochnik* [The composite materials: reference book]. Pod red. V.V. Vasil'eva, Yu.M. Tarnopol'sko. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1990. 512 p.
11. Kaw A. K. Mechanics of composite materials. Boca Raton (Florida): Taylor & Francis Group, 2006. 457 p.
12. Pedro P. Camanho Failure criteria for fibre-reinforced polymer composites. URL: <http://paginas.fe.up.pt/~stpinho/teaching/feup/y0506/fcriteria.pdf> (accessed: 22.08.17).
13. Solomatin N.S. *Ispytaniya uzlov, agregatov i sistem avtomobilya* [Tests of assemblies, units and systems of the car]. Tol'yatti: Izd-vo TGU Publ., 2013. 142 p.

CALCULATION INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF THE COMPOSITE WHEEL RIM

A.A. Bol'shikh, Ph.D. D.S. Vdovin, Ph.D. G.P. Eremin

Bauman MSTU, Moscow, Russia
bolshikh@baumanracing.ru

The aim of the research is to reduce the unsprung mass, the moment of inertia of the racing automobile's wheel while maintaining the necessary strength due to the using of composite materials in its construction. Currently, the composite materials have been obtained a widespread usage as structural materials in the automobile assemblies and units. Particularly, the using of modern composite materials in the transmission elements of the automobile, such as drive shafts, axle shafts or wheels, makes it possible to substantially improve the performances of the wheeled vehicle: reduce the full and the unsprung weight. It is possible to point out from the modern composite materials, the polymeric composite materials having carbon fibers as a reinforcing element, which are possessing a low density and the best combining a high level of specific strength with producibility of the products. The object of the research is the racing automobile's wheel which belongs to the class of "Formula Student". The usage of composite materials in the construction of similar wheels, as well as the estimated evaluation of the wheel's strength during its manufacturing from composite materials are discussed. The regulations of the competitions permit a great freedom in choosing the wheel construction. The estimated strength evaluation was carried out by the finite element method, the original finite element wheel model was developed for this purpose taking into account the anisotropic properties of the reinforced materials. The computational investigation of the strength of the selected construction showed that the rim which is made of the composite material has an excessive safety factor at the design loads. The proposed constructive decision allows to reduce the wheel weight by 33 % (up to 1,68 kg) in comparison with the one-piece wheel made of magnesium alloys (2,5 kg).

Keywords: wheel, composite rim, composite wheel, carbon fiber, finite element method, sport car.