

ФОРМОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ НАПЫЛЕНИЯ

Б.Б. Бобович

Разработана технология мелкосерийного производства стеклопластиковых деталей кузова автомобиля с использованием современного оборудования и технологической оснастки. Найдена оптимальная структура композита. Проведен выбор полимерного связующего и стекловолоконного наполнителя. Оптимизирована технология изготовления формообразующей оснастки для производства стандартных и специальных корпусных деталей автомобилей.

Ключевые слова: армированные полимерные композиционные материалы, детали кузова автомобиля, формование.

Введение

Важнейшая роль в развитии машиностроения принадлежит материалам, среди которых все большее значение приобретают полимеры. В настоящее время повышение технического уровня автомобилей без применения полимеров невозможно. Использование полимеров позволяет снизить массу, трудоемкость изготовления и материалоемкость продукции, повысить долговечность и надежность автомобильной техники, улучшить ее эксплуатационные характеристики и комфортабельность. В современном автомобиле среднего класса применение полимерных материалов (пластмасс, резин, клеев, лакокрасочных и текстильных материалов) достигает 35 %.

В дальнейшем, благодаря появлению на рынке современных полимерных композици-

онных материалов, имеющих необходимые физико-механические и технологические свойства, области применения пластмасс в машиностроении будут расширяться. Кроме того, эти материалы не только не уступают металлам, но и превосходят их по комплексу показателей.

Ряд зарубежных фирм (General Motors, Renault и др.) уже производят автомобили, кузова которых частично или полностью изготовлены из полимерных композитов. Однако широкому внедрению таких материалов в производство мешает высокая стоимость технологической оснастки для изготовления крупногабаритных деталей кузова. Как видно из табл. 1, экономически эффективным является изготовление изделий методом литья под давлением при объеме партии 10 000 – 100 000 шт.

Таблица 1

Зависимость экономически эффективного объема партии изделий из пластмасс от способа их производства [1]

Способ производства	Объем партии, шт.
Механическая обработка	1 – 100
Термоформование	100 – 1000
Свободное литье	500 – 1000
Ротационное формование	500 – 1000
Прессование	1000 – 2000
Экструзия	1000 – 3000
Экструзия с раздувом	3000 – 10 000
Литье под давлением	10 000 – 100 000

При этом, чем крупнее и сложнее изделия, тем дороже пресс-формы и тем больше должен быть объем выпуска изделий для амортизации оснастки.

Структура и свойства армированных полимерных композитов

Альтернативой композиционным материалам с дисперсным наполнителем, которые перерабатываются литьем под давлением, являются композиционные полимерные материалы, армированные непрерывным наполнителем [2]. Такие материалы имеют двухфазную структуру. Одна из фаз выполняет роль матрицы (в про-

цессе изготовления – роль связующего), другая является высокопрочным волокном, определяющим физико-механические свойства композиционного материала.

Армированные полимерные композиты имеют высокие механические характеристики, превосходящие по удельным показателям характеристики других материалов, в том числе металлических сплавов (табл. 2).

Выбор сырья для производства армированных полимерных композитов

Химическая природа волокон, используемых для производства армированных пластиков,

Таблица 2

Характеристики конструкционных материалов [3]

Материал	Плотность ρ , г/см ³	Прочность при растяжении σ_p , ГПа	Модуль упругости при растяжении E_p , ГПа	Удельная прочность $\sigma_p/(\rho g)$		Удельный модуль упругости $[E_p/(\rho g)] \cdot 10^{-3}$	
				км	% от σ_p сплава ЭП-679	км	% от E_p сплава АМг6
Полимерные композиционные материалы							
Стеклопластики: однаправленные (1:0)	2,1	1,6 – 2,1	56 – 70	76 – 100	314 – 413	2,6 – 3,2	96 – 118
перекрестные (2:1)	2,0	1,0 – 1,2	36 – 42	50 – 60	206 – 250	1,8 – 2,0	66 – 74
Органопластики: однаправленные (1:0)	1,35	1,9 – 1,5	80 – 95	140 – 185	578 – 764	5,9 – 7,0	218 – 260
перекрестные (2:1)	1,35	1,2 – 1,6	53 – 63	88-118	363 – 487	3,9 – 4,6	144 – 170
Углепластики: однаправленные (1:0)	1,5	1,0 – 1,5	120 – 180	66 – 100	275 – 413	8,0 – 12,0	296 – 444
перекрестные (2:1)	1,5	0,6 – 1,0	80 – 120	40 – 66	165 – 275	5,3 – 8,0	200 – 300
Боропластики: однаправленные (1:0)	2,0	1,5	240	75	300	12	444
перекрестные (2:1)	2,0	0,9	160	45	185	8	300
Металлические сплавы							
АМг6	2,64	0,34	72	12,9	55	2,70	100
Ма2-1	1,80	0,32	43	17,8	75	2,40	90
ВТЗ-1	4,50	1,25	110	28,0	115	2,23	80
АБМ-1	2,35	0,42	140	18,0	75	5,97	220
Сталь ЭП-679	7,89	1,90	200	24,2	100	2,54	95

Примечание. В скобках приведены массовые отношения продольных волокон материала к поперечным.

многообразна. Это могут быть полимерные материалы, стекло различных составов, углерод, базальт и т.д. Как видно из табл. 3, характеристики волокнистых армирующих материалов различной химической природы принципиально отличаются друг от друга.

Кроме того, характеристики армирующих материалов одной и той же природы могут отличаться друг от друга на десятки процентов в зависимости от их предыстории: температуры и продолжительности сушки, длительности контакта с кислородом воздуха, а также условий обжига замасливателя, природы аппрета и др.

Наиболее целесообразным для изготовления деталей кузова из армированных полимерных материалов является использование армирующих наполнителей на основе стеклянного волокна. Помимо высоких прочностных характеристик стеклянные волокна имеют самую низкую по сравнению с другими армирующими волокнами стоимость. Химический состав стекла влияет на свойства волокна и в конечном итоге на свойства композиционных материалов. Основу стекол, используемых для производства волокон, составляют оксиды кремния, алюминия, магния, кальция. Для достижения специальных свойств в стеклянную массу добавляют в небольших количествах оксиды бора, натрия, циркония и др.

Выбор марки стекловолокна определяется назначением стеклопластика и технологией его переработки. Как показал опыт, для изготовления деталей кузова автомобиля из армированных пластиков на основе олигомерных связующих целесообразно использование стекловолокна типа Е, имеющего следующие характеристики: плотность 2,58 г/см³, температуру плавления 846 °С, прочность при разрыве 3445 МПа, модуль упругости 72 ГПа и удлинение при разрыве 4,8 %.

В качестве связующего полимерного композита могут использоваться низковязкие олигомерные смолы, имеющие хорошую смачивающую способность по отношению к стекловолокну и высокую когезионную прочность после полимеризации и отверждения [4]. Наибольшее распространение для этих целей получили эпоксидные, полиэфирные и фенолформальдегидные смолы (табл. 4). В процессе исследований установлено, что наибольший интерес для производства крупногабаритных изделий из армированных полимерных композитов представляют ненасыщенные полиэфирные смолы, позволяющие изготавливать изделия с высокими прочностными характеристиками.

В состав полимерной композиции наряду с полиэфирной смолой входят катализатор отвер-

Таблица 3

Характеристики армирующих волокон

Волокна	Прочность при растяжении, ГПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа
Полиэтиленовые (ПЭНД)	0,45–0,80	3,0–8,5
Полипропиленовые	0,30–0,70	3,3–10,0
Полиамидные	0,50–0,95	2,0–4,5
СВМ, армос, терлон	3,50–4,50	125,0–175,0
Кевлар 149	3,80–4,20	150,0–180,0
Углеродные	2,00–4,50	200,0–500,0
Стеклянные	2,00–4,90	50,0–95,0
Базальтовые	1,80–2,80	95,0–100,0

Таблица 4

Влияние полимерной смолы на характеристики композитов
(содержание стекловолокна 33 % по массе)

Показатель	Полиэфирная смола	Эпоксидная смола	Фенолформальдегидная смола
Прочность при растяжении, МПа	65	70	58
Прочность при изгибе, МПа	140	140	65
Плотность, г/см ³	1,58	1,62	1,64
Линейная усадка, %	0,35	0,25	0,21
Ударная вязкость, кДж/м ²	52	48	24

ждения и ускоритель, позволяющие регулировать скорость и продолжительность формования – важнейшие характеристики материала, от которых зависит технологическая возможность изготовления крупногабаритных изделий.

Полимеризация смолы является экзотермическим процессом, вследствие чего материал разогревается. При неправильно построенной технологии формообразования могут возникнуть значительные внутренние напряжения в материале изделия, что может привести к его растрескиванию при эксплуатации. В связи с этим при производстве крупногабаритных изделий из композитов на основе ненасыщенных полиэфирных смол большое значение имеет скорость гелеобразования смолы, поскольку при высокой скорости полимеризации процесс протекает столь быстро, что не удастся вовремя завершить уплотнение ламината.

На рис. 1 приведена зависимость температуры полимерной композиции от времени полимеризации для смол с различным временем гелеобразования, которое определяется содержанием в смоле ускорителя нафтената кобальта [5].

Как видно из рис. 1, в процессе гелеобразования полимерная композиция разогревается, и ее температура увеличивается на 35 °С. Для формования изделий с большой площадью поверхности целесообразно использовать полиэфирные смолы с большим временем гелеобразования, что позволяет завершить нанесение полимерной композиции на формообразующую оснастку и ее уплотнение до начала отверждения.

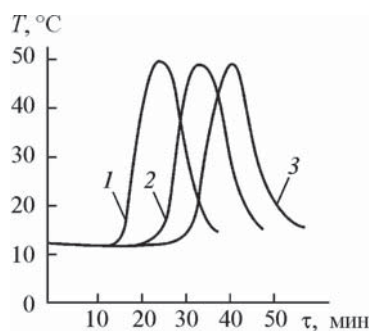


Рис. 1. Влияние времени полимеризации τ смолы с малым (кривая 1), средним (кривая 2) и большим (кривая 3) временем гелеобразования на температуру T ламината

Разработка технологии изготовления деталей из армированных полимерных композитов

Проведенный анализ различных технологий производства корпусных деталей кузова автомобиля из армированных полимерных композитов показал, что особую привлекательность имеет контактное формование методом напыления на формообразующую поверхность матрицы (рис. 2).

Особенностью напылительного оборудования последнего поколения является то, что смешение смолы и катализатора отверждения осуществляется вне напылительного пистолета в потоке воздуха, транспортирующего и перемешивающего все три компонента (смолу, катализатор отверждения и рубленое стекловолокно). Такая конструкция напылительного оборудования позволяет избежать отверждения полимерной композиции внутри смесительной камеры. Поток воздуха выполняет двойную функцию: перемешивает компоненты и транспортирует смесь к матрице.

Применение высокоточного дозирующего оборудования позволяет механизировать процесс и организовывать мелкосерийное производство изделий из композитов.

При использовании технологии напыления не требуются предварительный раскрой стекломатериалов, подготовка полимерной композиции и пропитка ею армирующего наполнителя, что позволяет сократить производственные площади, повысить производительность труда и снизить себестоимость продукции.

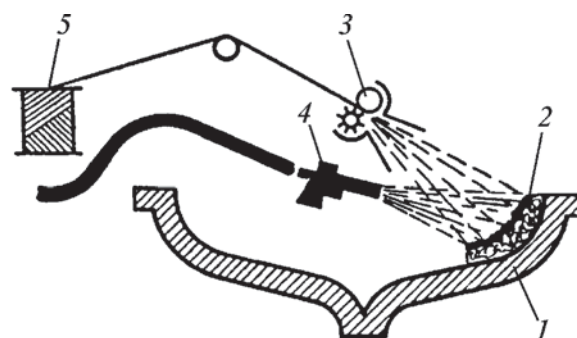


Рис. 2. Схема производства изделий из стеклопластика методом напыления:

1 – форма; 2 – ламинат; 3 – режущее устройство; 4 – напылительный пистолет; 5 – бобина ровинга

Технология производства изделий путем напыления наиболее экономически целесообразна при изготовлении крупногабаритных деталей, так как количество образующихся отходов снижается с увеличением площади поверхности изделия. Как показал опыт, при площади поверхности более 1 м² масса отходов не превышает 2 %.

Для напыления композиции использовали установку модели 3WPG фирмы Glas-Craft (США), имеющую узел внешнего смешения трех компонентов: полиэфирной смолы, катализатора полимеризации и рубленого стекловолокна. Применение этой установки обеспечило однородность структуры получаемого композиционного материала.

Использование внешнего смешения компонентов позволило осуществлять процесс формования непрерывно, поскольку не требовалась промывка узла смешения от продуктов полимеризации. Воздушно-транспортный «тоннель», по которому движется напыляемая композиция, позволил значительно сократить эмиссию химических продуктов в окружающую среду.

Формование крупногабаритных изделий с большой толщиной стенки (8 – 12 мм) производилось путем послойного нанесения с контролем температуры ламината и охлаждением каждого слоя перед нанесением следующего.

Нанесение на матрицу и отверждение олигомерной композиции производилось при температуре 18 – 22 °С. При нанесении композиции на матрицу толщину каждого слоя контролировали с помощью толщиномера-щупа, а толщину готового изделия после отверждения смолы – с помощью ультразвукового толщиномера, имеющего микропроцессор марки ТМ-8810.

Съем отформованных деталей кузова с формообразующей оснастки проводили с помощью сжатого воздуха, который подавался в зазор между деталью и оснасткой. Для съема сложных деталей в оснастке предусматривали винтовые толкатели.

При изготовлении деталей кузова автомобиля для тюнинговой доводки, при производстве деталей для ремонта и других целей большое значение имеет их цветовое оформление. Обеспечение требуемых цветов деталей с одновременным повышением их устойчивости к воздействию УФ-облучения, а также к различным агрессивным средам, истиранию и другим нагрузкам осуществляли путем использования в качестве лицевого слоя специальных полимерных ком-

позиций (гель-коутов), окрашенных в требуемый цвет. Для их изготовления используются полиэфирные смолы с более высокими физико-механическими и физико-химическими характеристиками по сравнению со смолами, применяемыми для изготовления самих деталей.

Для окрашивания гель-коутов в требуемые цвета применяют органические и неорганические пигменты. Используя комбинации цветных паст, химическая промышленность предоставляет потребителям сотни гель-коутов различных цветовых оттенков.

Финишная обработка отформованных стеклопластиковых изделий заключалась в обрезке их по периметру. Обрезку стеклопластиковых модулей производили пневмоинструментом с алмазным отрезным диском, имеющим высокую производительность и долговечность.

Заключение

Отработана рецептура армированных полимерных композиционных материалов и технология изготовления крупногабаритных деталей кузова автомобиля методом напыления.

Использование полимерных композиционных материалов с непрерывной стеклянной фазой позволяет производить мелкими сериями по доступной технологии крупногабаритные детали кузова автомобиля без разработки и изготовления дорогостоящей технологической оснастки.

Разработанная технология экономически выгодна при производстве автомобилей малыми сериями (до нескольких тысяч штук), обработке их конструкции, выполнении тюнинговых работ, а также при производстве запасных частей.

Список литературы

1. Бобович Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы: учебное пос. – М.: Изд-во МГИУ, 2009. – 384 с.
2. Тышкевич В.Н., Кулько П.А. Расчет и изготовление конструкций из армированных пластиков : учебное пос. / ВПИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2010. – 178 с.
3. Бунаков В.А., Головкин Г.С., Машинская Г.П. и др. Армированные пластики / под ред. Г.С. Головкина, В.И. Семенова. – М.: Изд-во МАИ, 1997. – 404 с.
4. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А. и др. Полимерные композиционные мате-

риалы. Прочность и технология. – г. Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2010. – 347 с.

5. Бобович Б.Б. Полимерные композиционные материалы. http://www.ics2.ru/articles/index.php?ELEMENT_ID=5048

Материал поступил в редакцию 07.05.2012

**БОБОВИЧ
Борис Борисович**

Е-mail: **Boris0808@yandex.ru**

Тел.: **+7(495) 465-96-45 (дом.)**

Доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов ФГБОУ ВПО «МГИУ», действительный член Российской академии естественных наук. Сфера научных интересов – конструирование и исследование структуры и свойств полимерных композиционных материалов с заданными свойствами для машиностроения, а также инженерная защита окружающей среды. Автор около 200 научных трудов, в том числе 13 книг, 26 авторских свидетельств и патентов на изобретения.