

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-4-48-52

А.В. Борщев¹, Ю.А. Гусев¹**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПКМ В АВТОМОБИЛЬНУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. РАЗНОВИДНОСТИ HP-RTM ПРОЦЕССОВ**

Для уменьшения расхода топлива машины перед автопроизводителями стоит задача уменьшения массы деталей кузова. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) могут служить альтернативой металлам, они имеют лучшие коррозионные и усталостные свойства, соотношение массы к прочности и хорошую ударостойкость. Однако, чтобы полностью использовать высокий потенциал ПКМ в автомобильной промышленности, необходимо применение высокопроизводительных и низкочастотных технологий. Все мировые автогиганты уже давно ищут пути запуска производства деталей кузова из ПКМ. Например, концерн BMW уже запустил в серийное производство i8 и i3 – полностью углепластиковые модели. В статье рассматривается влияние возможных процессов формования для производства автодеталей на ударную вязкость, характеризующую поглощение энергии при столкновении.

Ключевые слова: композиционные материалы, пропитка под давлением, процессы HP-IRTМ и HP-CRTM, автомобилестроение.

To reduce a fuel consumption of cars, automakers have to decrease a mass of body parts. Polymeric composite materials (PCM) can serve as an alternative to metals, they have better corrosion and fatigue properties, a ratio of mass to strength and good shock resistance. However, to use PCM high potential entirely in automotive industry, it is necessary to implement high-production and low-cost technologies. All world auto giants for a long time have already been looking for ways to start a production of body parts from composite materials. For example, BMW has already begun a commercialization of i8 and i3, they are completely carbon fiber models. This article examines an impact of forming processes for production of car parts, on impact strength, that characterizes an absorption of energy in collision.

Keywords: composite materials, resin transfer molding, HP-IRTМ, HP-CRTM processes, automotive industry.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

В настоящее время авиационная промышленность остается одним из наиболее высокотехнологичных секторов экономики, однако без новых материалов невозможно развитие и других отраслей промышленности – электроэнергетики, машиностроения, строительства, медицины, приборостроения и др. [1]. Необходимо отметить, что производство композиционных материалов нового поколения – одно из самых быстро развивающихся в мире направлений, которое вносит наибольший вклад в увеличение валового внутреннего продукта в каждом регионе мира.

Главной задачей современного автомобилестроения является уменьшение расхода топлива в автомобилях, что влечет за собой снижение вредных выбросов в окружающую среду [2, 3]. Одним из решений служит уменьшение массы кузовных деталей. Уже более 20 лет углеродные материалы применяются в конструкции кузова спортивных гоночных автомобилей [4]. С помощью технологий, по которым изготавливают детали для гоночных болидов, возможно выпускать по 1–3 автомобиля в день, что в настоящее время невозможно при серийном производстве автомобилей из ста-

ли. Поэтому практически все ведущие автопроизводители проводят исследовательские работы в инновационных центрах по внедрению угле- и стеклопластиков в конструкцию автомобилей [5]. В Японии в Composite Materials Research Laboratory совместно с фирмой Nissan с 2003 г. была поставлена задача на последующие пять лет по замене стали в кузове автомобиля на углепластик [6]. Результатом их исследований стал полностью углепластиковый кузов, а также данные краш-теста:

	Углепластик	Сталь
Масса кузовных деталей транспортного средства, кг	200	400
Поглощение энергии при ударе углепластиком относительно стали	1,5	1,0

Ученые, работавшие над этим проектом, применяли технологию пропитки под высоким давлением (рис. 1).

Ведущий мировой производитель оборудования для переработки композиционных материалов фирма Krauss Maffei получила заказ от концерна BMW на установку оборудования в цехах

серийного производства кузовных деталей. Пропиточные машины, изготовленные под процесс HP-CRTM, были установлены на заводах BMW для поддержки серийного производства и дальнейшего переоборудования (рис. 2).

Все мировые автогиганты в дальнейшем будут внедрять угле- и стеклопластики в автомобильную промышленность. Как показывает практика, это становится возможным только при применении процессов RTM-технологии.

Классические RTM-технологии

В последнее время вызывает интерес изготовление серийных деталей методами пропитки под давлением, которые хорошо известны для применения в малотоннажном производстве [7]. Это особенно актуально в автомобильной и аэрокосмической промышленности, что связано с необходимостью снижения массы конечного изделия. Применение классических RTM-процессов (resin transfer molding) по разработанным до настоящего времени технологиям не позволяет использовать пропитку под давлением для массового производства деталей [8]. Достаточно долгая продолжительность пропитки и отсутствие надежного оборудования являются основными недостатками для внедрения данной технологии [9]. В классической технологии пропитки под давлением наполнитель помещают в полость пресс-формы и уплотняют заготовку до конечной толщины детали, тем самым снижая проницаемость преформы. Затем предварительно смешанную смолу с отвердителем вводят в полость под давлением – обычно от 0,1 до 2 МПа. Связующее течет вдоль длины заготовки, медленно пропитывая волокна наполнителя. После процесса пропитки проводится режим отверждения связующего, а затем по истечении определенного времени готовое изделие извлекается из пресс-формы.

Альтернативным методом для уменьшения продолжительности процесса впрыска смолы в полость формы может служить увеличение скорости подачи связующего с помощью высокого давления [10]. Использование сразу двух методов RTM-процессов: а именно, применение высокого давления при впрыске связующего (HP-IRTM – highpressure injection resin transfer molding) и при сжатии пресс-формы сразу после инъекции смолы (HP-CRTM – high-pressure compression resin transfer molding) – помогает решить проблему применения пропитки под давлением при массовом производстве деталей.

Процесс HP-IRTM

Процесс HP-IRTM отличается от классического RTM-процесса только большей мощностью компрессора и более надежной пресс-формой, способной выдержать нагрузку >2 МПа (рис. 3). Как и при классической пропитке под давлением в процессе HP-IRTM наполнитель помещают в полость формы, затем пресс-форму полностью закрывают до конечной толщины детали [11].

После этого проводят инъекцию смолы под высоким давлением. Этот способ позволяет использовать термореактивные смолы.

Процесс HP-CRTM

Процесс HP-CRTM представляет собой сочетание классической пропитки под давлением с последующим высоким приложенным давлением при сжатии пресс-формы [12]. В этом процессе наполнитель помещают в полость пресс-формы и закрывают ее не полностью, оставляя небольшой зазор между поверхностью формы и заготовкой. Связующее поступает в это свободное пространство, практически не имея сопротивления пресс-формы, и частично пропитывает наполнитель. После того как расчетное количество смолы введено, подачу связующего прекращают и смыкают пресс-форму полностью. На этом этапе заготовка уплотнена до расчетной толщины изделия и нужного соотношения волокна к смоле (рис. 4).

Эксперимент и материалы

В исследовании проведено сравнение свойств материалов, полученных с помощью трех различных процессов (HP-IRTM, HP-CRTM и HP-IRTM+HP-CRTM).

Основной наполнитель в данном эксперименте – стеклоткань марки Т-10, которая выбрана, прежде всего, из-за своей низкой стоимости. Разработано также связующее не только для укороченного режима отверждения, но и обладающее широким диапазоном прочностных характеристик [13–15]. На основе изучения научной зарубежной литературы, а именно статьи компании Hexcel Corporation, разработавшей связующее для HP-RTM технологии, в данной работе синтезирована эпоксидная полиуретановая смола. По трем исследуемым процессам изготовлены плиты размером 0,47×0,47×0,002 м.

Для сравнения свойств материалов, полученных по трем процессам, проведены испытания на ударную вязкость по ГОСТ-4647–80 [16, 17]. Этот вид испытаний является основополагающим при разработке материалов для кузовных деталей автомобиля. Но получить хорошие результаты по замене стальных деталей на пластиковые пока не удалось. Необходимо сосредоточиться на подборе состава связующего, чтобы получить высокие показатели характеристик.

При сравнении трудоемкости процессов и требуемого технического оснащения, процесс HP-IRTM+HP-CRTM оказывается самым сложным, но качество плиты, полученной с его помощью, можно назвать неудовлетворительным. Наблюдается значительный перекося волокон наполнителя, который, по-видимому, значительно повлиял на результаты испытаний. У образцов, изготовленных по данному процессу, значения ударной вязкости оказались самыми низкими по сравнению с образцами, полученными по другим

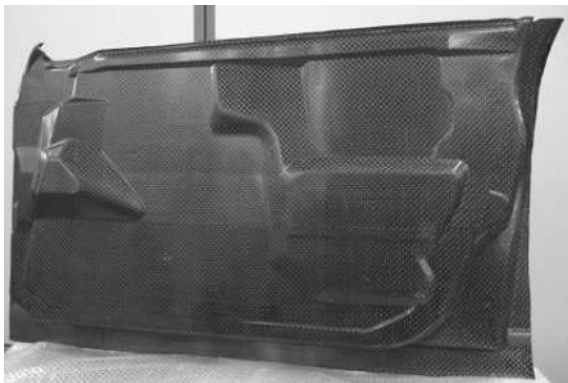


Рис. 1. Дверь автомобиля, изготовленная за 10 мин



Рис. 2. Формовочная установка фирмы Krauss Maffei

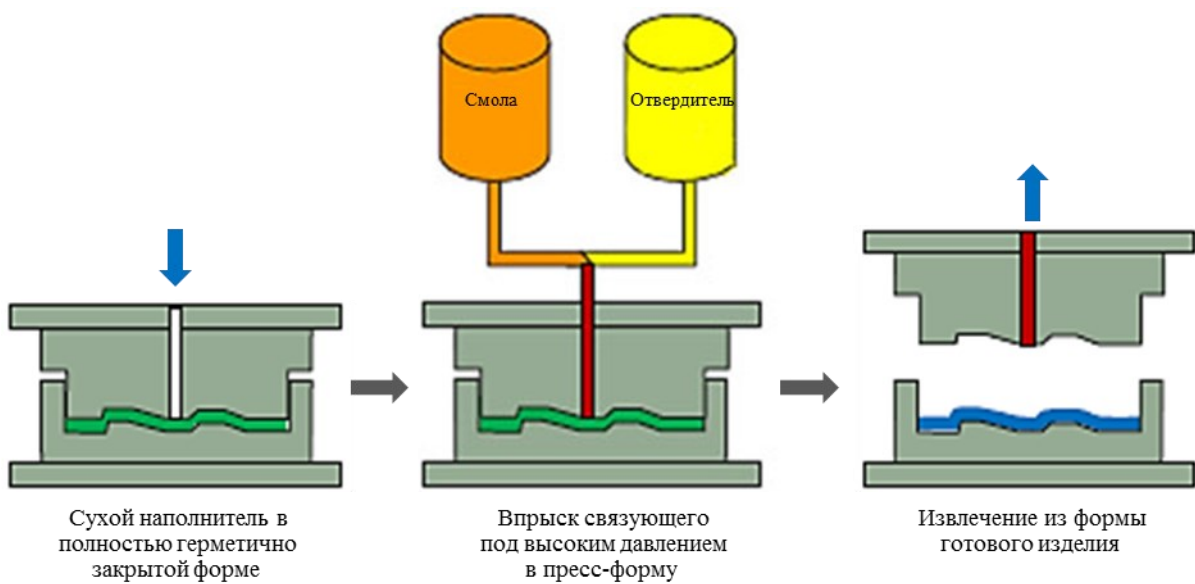


Рис. 3. Последовательность действий при HP-IRTM процессе

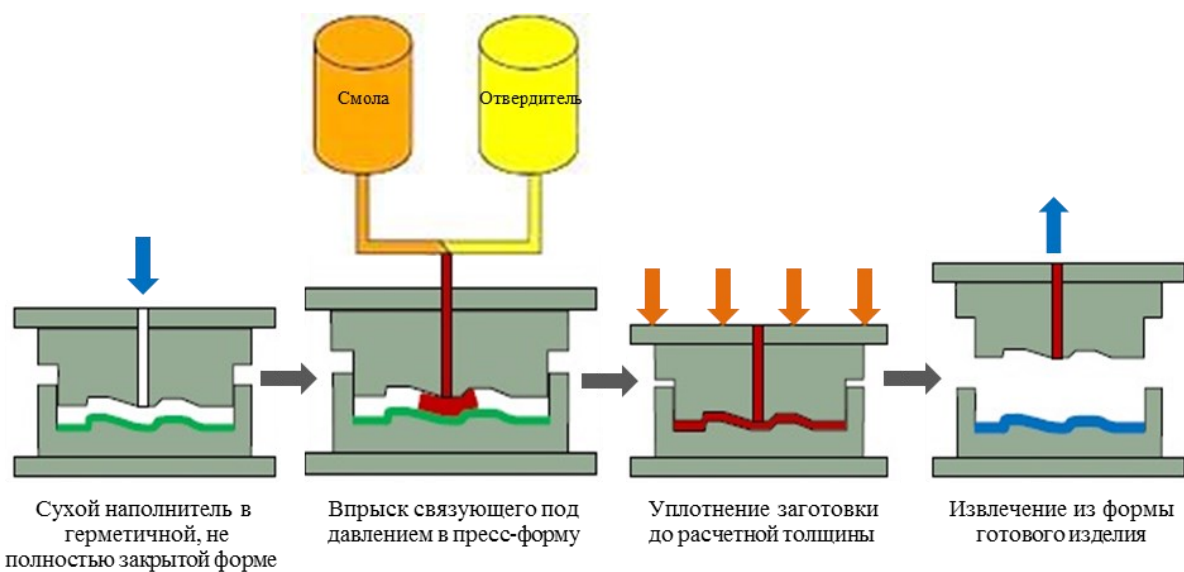


Рис. 4. Последовательность действий при HP-CRTM процессе

исследуемым процессам (рис. 5). Получены и положительные результаты – продолжительность инъекции составила ~30 с, что является очень хорошим показателем для плиты размером 0,47×0,47×0,002 м.

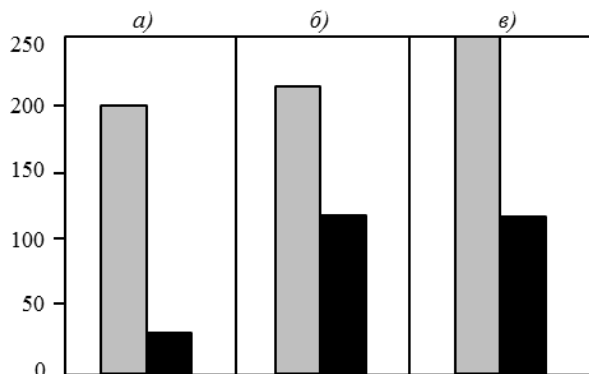


Рис. 5. Результаты испытаний (средние значения) пяти образцов на ударную вязкость при HP-IRTM+HP-CRTM (а), HP-IRTM (б) и HP-CRTM (в) процессах: ■ – ударная вязкость, кДж/м²; ■ – продолжительность пропитки, с

При применении HP-IRTM процесса значения ударной вязкости оказались немного выше, чем при комбинированном процессе (см. рис. 5). Визуально перекося волокон почти не отличается от перекося при предыдущей пропитке, но продолжительность впрыска уже составила ~120 с.

Процесс HP-CRTM не требует высокопрочной оснастки, но предъявляются высокие требования

к характеристикам прессы, в котором в дальнейшем происходит равномерное сжатие пресс-формы [18, 19]. В данном эксперименте оснастка находилась в ручном гидравлическом прессе, в котором нет возможности установить скорость сжатия плит. С учетом того, что давление впрыска установлено на порядок меньше, чем при технологии HP-IRTM, продолжительность процесса пропитки составила также ~120 с. Из данных (рис. 5) видно, что материал, изготовленный по технологии HP-CRTM, поглощает больше энергии, чем при двух других процессах.

Заключение

В данной статье проведен анализ мировых разработок композитов для автомобильной промышленности. Опыт, накопленный в Германии, США и Японии в этой области, достаточно велик, поэтому, основываясь на их исследованиях, можно сделать вывод об использовании в разработках полиуретановой смолы [20–22]. Применение этой смолы позволит приблизиться к показателям для деталей, изготовленных из стали, по поглощению энергии от столкновения. Только начав изучать HP-RTM технологию, авторам удалось определить, что ударная вязкость стеклопластика на порядок выше, чем у стали, используемой ранее для изготовления аналогичных деталей автомобилей. В результате исследования показано преимущество HP-CRTM процесса перед другими технологиями, применяющихся при производстве автомобильных деталей кузова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Гончаренко А. Карбоновое будущее //Композитный мир. 2013. №5. С. 50–51.
3. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Алексахин В.М. Модифицирование конструкционных углепластиков углеродными наночастицами //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 5–11.
4. Christian F. Lightweight automotive design with HP-RTM //Reinforced Plastics. 2011. P. 29–31.
5. Chensong Dong. A modified rule of mixture for the vacuum-assisted resin transfer moulding process simulation //Composites Science and Technology. 2008. V. 68. №9. P. 2125–2133.
6. Simacek P., Suresh G., Stanley A. Modeling Flow in Compression Resin Transfer Molding for Manufacturing of Complex Lightweight High-Performance Automotive Parts //Journal of Composite Materials. 2008. №42. P. 2523–2545.
7. Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р., Чурсова Л.В. Особенности изготовления изделий из ПКМ методом пропитки под давлением //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 18–26.
8. Нелюб В.А., Гращенков Д.В., Коган Д.И., Соколов И.А. Применение прямых методов формования при производстве крупногабаритных деталей из стеклопластиков //Химическая технология. 2012. Т. 13. №12. С. 17–23.
9. Хрульков А.В., Душин М.И., Попов Ю.О., Коган Д.И. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 292–301.
10. Душин М.И., Мухаметов Р.Р., Платонов А.А., Меркулова Ю.И. Исследование фильтрационных характеристик армирующих наполнителей и связующих при разработке технологии безавтоклавного формования полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 22–25.
11. Mouton S., Teissandier D., Sebastian P., Nadeau J.P. Manufacturing requirements in design: the rtm process in aeronautics //Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing. 2010. V. 41. №1. P. 125–130.

12. Боршев А.В., Гусев Ю.А. Особенности формования композиционных изделий с применением высокого давления в RTM-технологии для производства автомобильных деталей //Композитный мир. 2013. №5. С. 40–44.
13. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
14. Мухаметов Р.Р., Меркулова Ю.И., Чурсова Л.В. Термореактивные полимерные связующие с прогнозируемым уровнем реологических и деформативных свойств //Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 19–24.
15. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 260–265.
16. ГОСТ 4647–80 Изменение №2. Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи.
17. Ерасов В.С., Гриневиц А.В., Сенник В.Я. и др. Расчетные значения характеристик прочности авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 14–16.
18. Deleglise M. Modeling of high speed RTM injection with highly reactive resin with on-line mixing //Applied Science and Manufacturing. 2011. V. 42 (10). P. 1390–1397.
19. Graf M., Fries E., Renkl J. et al. High-Pressure Resin Transfer Molding – Process Advancements /In: 10-th SPE ACCE. 2010. P. 15–16.
20. Бабин А.Н. Связующие для полимерных композиционных материалов нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).
21. Эпоксидная композиция: пат. 2447104 Рос. Федерация; опубл. 05.10.2010.
22. Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него: пат. 2424259 Рос. Федерация; опубл. 22.10.2009.