

УДК 678.027.7:678.046

**Е. И. Кордикова, Г. Н. Дьякова**

Белорусский государственный технологический университет

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОВАНИЯ  
КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ  
АРМИРОВАННОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ ПРЕССОВАНИИ**

Предложен метод экспериментального исследования формуемости конструктивных элементов из отверждающейся армированной композиции. В качестве объекта исследования использовали препреги типа SMC на основе полиэфирного связующего, производимого компанией «Баутекс», Россия. Определена величина глубины затекания композиции в зависимости от основных параметров процесса компрессионного (прямого) прессования: температуры и усилия прессования. Установлено, что с повышением содержания стекловолоконного наполнителя от 20 до 25 мас. % глубина затекания снижается на 15%. Повышение давления и ширины щели приводит к увеличению пути течения материала. Установлена зависимость между шириной щели и глубиной затекания от параметров процесса.

При продавливании волокон под давлением в щель происходит направленная ориентация наполнителя вдоль движения течения, а также разрушение его от излома. Снижение значения длины волокна сказывается на снижении прочности в формуемом элементе.

Метод может использоваться для оценки возможности формования ребер жесткости, перегородок и тонких стенок в производственных условиях. Результаты эксперимента применимы при проектировании конструктивных элементов, назначении радиусов закруглений и технологических уклонов.

**Ключевые слова:** SMC-препрег, полиэфирное связующее, стекловолоконный наполнитель, компрессионное прессование, ребра жесткости, глубина затекания.

**Для цитирования:** Кордикова Е. И., Дьякова Г. Н. Экспериментальное исследование формования конструктивных элементов из термореактивной армированной композиции при прессовании // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 1 (253). С. 33–36.

**E. I. Kordikova, H. N. Dyakova**

Belarusian State Technological University

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE FORMATION OF CONSTRUCTIVE  
OF ELEMENTS FROM THERMOSTAT REINFORCED COMPOSITION  
WHEN PRESSING**

A method of experimental investigation of the formability of structural elements from a cured reinforced composition is proposed. SMC prepregs based on polyester binder manufactured by Ba-utex, Russia, were used as the object of the study. The value of the flow depth of the composition depends on the main parameters of the pressing process (direct) pressing: temperature, pressing force, as well as the influence of the content of fibrous filler in the SMC composition. It was found that with an increase in the content of fiberglass filler from 20 to 25% by weight. the leakage depth is reduced by 15%. An increase in pressure and gap width leads to an increase in the material flow path. The dependence between the gap width and the leakage depth on the process parameters has been established.

When the fibers are pressed under pressure into the slot, the filler is oriented along the direction of flow, as well as its destruction from destruction. A decrease in the value of the fiber length affects a decrease in the strength of the molded element.

The method can be used to assess the possibility of forming stiffeners, rebars and thin walls in production conditions. The results of the experiment are applicable in the design of structural elements, the assignment of radii of curves and technological slopes.

**Key words:** SMC prepreg, polyester binder, fiberglass filler, compression pressing, stiffening ribs, wicking depth.

**For citation:** Kordikova E. I., Dyakova H. N. Experimental study of the formation of constructive of elements from thermostat reinforced composition when pressing. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 1 (253), pp. 33–36 (In Russian).

**Введение.** Препреги типа SMC (Sheet Molding Compound) все чаще используются для производства прочных жестких изделий, применяемых в машиностроении. Применение готовых полуфабрикатов определенной толщины позволяет снизить ручной труд и повысить как производительность процесса, так и качество продукции по сравнению с такими классическими технологиями, как контактное формование или пропитка под давлением.

SMC представляет собой листовой композиционный материал, состоящий из трех основных компонентов, каждый из которых играет определенную роль:

- полиэфирная смола является связующим отдельных составляющих;
- стеклянный волокнистый наполнитель с длиной волокна 25–50 мм, расположенный в хаотичном порядке в плоскости листа обеспечивает механическую прочность изделий и содержится, как правило, в количестве 20–30 мас. %;
- минеральный наполнитель, чаще мелкодисперсный мел, обеспечивает транспортировку стекловолокна при течении материала.

Переработка SMC-препрегов проводится методом прямого (компрессионного) прессования. Помещенный в пресс-форму материал разогревается до температуры прессования и, подвергаясь под давлением деформации одномерного течения, заполняет полость пресс-формы и одновременно уплотняется. Фиксация формы изделия происходит в результате отверждения связующего полимера.

Формование с использованием листового формовочного препрега (SMC) обеспечивает по своей природе прочную деталь, позволяет получать изделия сложной конфигурации, а также возможность дальнейшего улучшения характеристик с помощью специальных конструктивных элементов – ребер жесткости. Включение их в конструкцию позволяет повысить жесткость детали, оптимизировать номинальную толщину, время цикла и производительность.

Расположение волокнистого наполнителя затрудняет течение материала в перпендикулярном к плоскости листа направлении при формовании конструктивных элементов. В результате для качественного оформления выступов и ребер бывает недостаточно рекомендуемого удельного давления прессования подобных материалов. Определение возможностей оформления ребер заданной толщины и глубины является проблемной задачей при проектировании изделий, и при назначении усилия деформирования заготовки необходимо знать, будет ли его достаточно для формования отдельных конструктивных элементов заданных

размеров. Возможность получения подобных элементов не изучена.

**Основная часть.** В работе показан метод практического определения формуемости ребер жесткости из SMC-препрега. Для реализации метода использовали подходы, описанные в работе [1], и форму (рис. 1) со сменными вставками различной ширины [2].



Рис. 1. Форма для испытаний

В качестве исследуемого материала применяли SMC-препреги компании «Баутекс» (Россия): SMC250HB-20CB-7035-0002 и SMCn380V0-25CB-5024) с различным содержанием волокнистого наполнителя – 20 и 25 мас. % соответственно. При проведении эксперимента создавали условия, приближенные к условиям формования изделий: температура формы, усилие и время выдержки для отверждения материала. Необходимую температуру испытаний обеспечивали системой терморегулирования и контролировали с помощью термомпары. Требуемое усилие прессования выбирали в диапазоне величин, рекомендуемых для формования реальных изделий и для материала данного типа (до 8 МПа), и задавали с помощью гидравлического пресса типа ИП-100 с регулируемой скоростью приложения нагрузки и реализуемым усилием в пределах исследуемых величин.

При проведении эксперимента навеску материала укладывали в предварительно нагретую загрузочную камеру диаметром 50 мм, располагая слои перпендикулярно прикладываемой нагрузке. Все поверхности формы смазывали тефлоновой смазкой, которая пригодна для работы при высоких температурах. После приложения давления фиксировали время выдержки из расчета 0,5 мин на 1 мм толщины щели. Течение композиции прекращалось при окончании процесса отверждения. В ходе эксперимента контролировали глубину затекания материала при исследуемых параметрах, степень измельчения волокон и их ориентацию.

Полученные зависимости глубины затекания различных материалов от усилия прессования, температуры формы и ширины щели представлены на рис. 2.

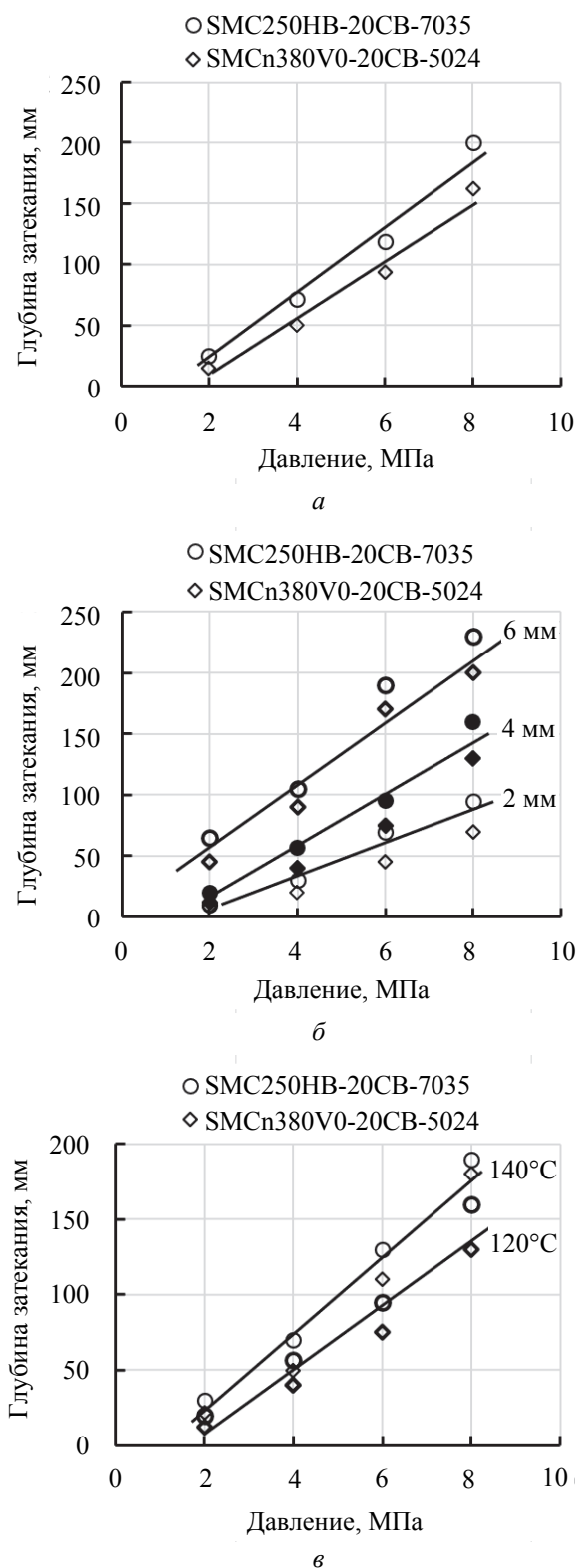


Рис. 2. Зависимость глубины затекания препрега в щель:  
 а – от содержания стекловолокна;  
 б – от ширины щели; в – от температуры формы

Материал со степенью наполнения 20 мас. % затекает на 20–25% глубже по сравнению с материалом со степенью наполнения 25 мас. % при прочих равных условиях (рис. 2, а).

С повышением давления в каждой из щелей глубина затекания увеличивается (рис. 2, б), что указывает на возможность получать более высокие и тонкие стенки в изделиях. Из проведенного эксперимента делаем вывод, что давление для хорошей текучести материала и получения ребер составляет 8 МПа; если нагрузка превышает 8 МПа, то происходит выдавливание материала через пуансон и корпус пресс-формы. При этом чем толще капилляр, тем больше глубина затекания композиции.

При использовании узких щелей (<4 мм) происходит выдавливание связующего и минерального наполнителя в торцевую часть отформованного ребра. Этот момент необходимо учитывать при проектировании конструктивных элементов, так как прочность торцевой части будет снижена по сравнению с остальным объемом изделия.

Увеличение температуры в диапазоне возможных для переработки материалов данного типа показывает увеличение глубины затекания на 18–20% (рис. 2, в).

При течении материала в щели происходит ориентация волокнистого наполнителя в направлении течения, что приводит к образованию его преимущественной ориентации по длине (однонаправленная структура).

При продавливании длинных волокон в щель в ограниченных условиях (не свободное течение) происходит их изгиб и, в самом плохом случае, излом волокнистого наполнителя, что также сказывается на снижении прочности в формуемом элементе.

Определение длины волокна в отформованном элементе и степень выдавливания текучих компонентов определяли, изучая структуру материала после выжигания. Стекловолокно и минеральный наполнитель после выжигания образца разделяли растворением минерального наполнителя в соляной кислоте 35%-ной концентрации с дальнейшей промывкой дистиллированной водой.

Определение длины волокна проводили оптическим методом на микроскопе «Альтами МЕТ 5С» путем замеров не менее 250 волокон. Анализ разрушения волокон показал, что при контакте с краями щели образуется срез. Разрушение может происходить по одной или двум поверхностям. Результат анализа размера частиц говорит о том (рис. 3), что наибольшее измельчение волокнистого наполнителя наблюдается при толщине щели 2 мм (почти в 4 раза), наименьшее – при ширине 6 мм (всего в 1,2 раза).

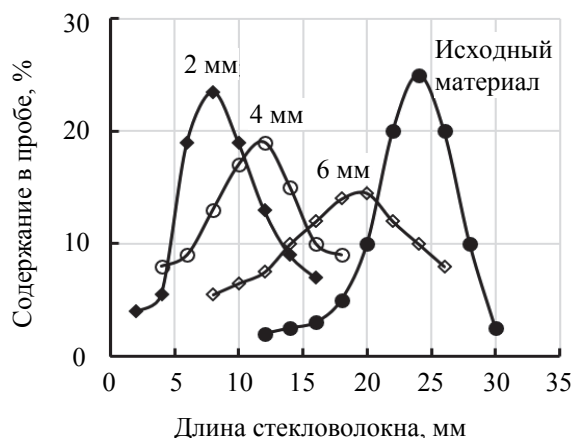


Рис. 3. Изменение длины стекловолокна при течении в щели ( $p = 8$  МПа и  $T = 120^\circ\text{C}$ )

**Заключение.** Полученные результаты исследований можно использовать для оценки минимальных размеров конструктивных элементов в изделиях.

В конструкциях ребер жесткости необходимо использовать большие радиусы захода, чтобы улучшить их функциональность, течение материала и обеспечить максимальное попадание стекловолокна в ребро без риска появления утяжин на противоположной поверхности. При этом предотвращается сильное измельчение отрезков стеклянных волокон.

Слишком глубокие и узкие ребра сложно оформить с учетом наибольшего расположения волокнистого наполнителя в них, даже при повышении давления и температуры.

Данные решения приводят к необходимости увеличения толщины основания ребра, и позволяют стекловолокну заполнять всю глубину.

С увеличением глубины ребра уменьшается количество стекловолокнутого наполнителя в торцевой части, но повышается степень ориентации волокна.

#### Список литературы

1. Карпович О. И., Наркевич А. Л., Калинка А. Н. Оценка формруемости материалов на основе металлосодержащих полимерных отходов // Труды БГТУ. 2019. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. № 2. С. 70–73.
2. Дьякова Г. Н., Кордикова Е. И. Формуемость конструктивных элементов из композиций на основе полипропилена и кожевенных отходов // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы VI Респ. науч.-техн. конф. молодых ученых, Гомель, 9–11 нояб. 2020 г. Гомель, 2020. С. 34–35.

#### References

1. Karpovich O. I., Narkevich A. L., Kalinka A. N. Evaluation of formability of materials based on metal-containing polymeric wastes. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geocology, 2019, no. 2, pp. 70–73 (In Russian).
2. Dyakova H. N., Kordikova E. I. Formability of structural elements from compositions based on polypropylene end leather waste. *Novyye funktsional'nyye materialy, sovremennyye tekhnologii i metody issledovaniya: materialy VI Respublikanskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [New functional materials, modern technologies and research method: Materials of VI Republican Scientific and Technical Conference of Young Scientists], Gomel, 2020, pp. 34–35 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Кордикова Елена Ивановна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kordikova@tut.by

**Дьякова Галина Николаевна** – ассистент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kravchenyagn1994@gmail.com

#### Information about the authors

**Kordikova Elena Ivanovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kordikova@tut.by

**Dyakova Halina Nikolaevna** – Assistant, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kravchenyagn1994@gmail.com

Поступила 10.11.2021