

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ ВТОРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

MANAGEMENT STRUCTURE AND PROPERTIES OF SECONDARY COMPOSITES BASED ON GLASS-REINFORCED PLASTIC

А.В. Спиглазов, Е.И. Кордикова, Я.И. Поженько

Белорусский государственный технологический университет

Введение. Волокнистые композиционные материалы на основе стеклянных волокон и терморезактивной матрицы обладают высокой прочностью и стойкостью к иным факторам воздействия. Однако в виду природы матричного полимера и высоких показателей физико-механических свойств данные материалы вторичной переработке не подлежат. Для вторичного использования наиболее привлекательна волокнистая составляющая таких композиций. При утилизации волокнистой фракции отходов стеклопластиков путем изготовления стеклоармированной композиции и формования изделий в качестве матрицы целесообразно использовать некондиционные отходы термопластичных полимеров и их смеси. Прочность вторичного композиционного материала пропорциональна доле волокон, длина которых превышает эффективную [1]. При совмещении хрупких стеклянных волокон с полимерными расплавами интенсивность разрушения волокон возрастает по мере увеличения вязкости полимерного расплава и доли вводимых в него волокон. Присутствие в композиции значительной доли коротких волокон обуславливает более интенсивное изнашивание рабочих поверхностей оборудования.

Цель исследования – повышение прочности вторичного композиционного материала, получаемого в результате утилизации изделий из стеклопластиков за счет оптимизации процессов измельчения и совмещения с расплавом термопластичного полимера волокнистой массы. Для решения поставленной цели при утилизации изделий из волокнистого композиционного материала предложена следующая схема (рисунок 1). Волокнистую фракцию, выделенную из измельченного продукта, совмещают с измельченными отходами термопластичных полимеров в дисковом экструдере, и из полученной в экструдере пластицированной композиции (вторичного композиционного материала) формуют изделие.

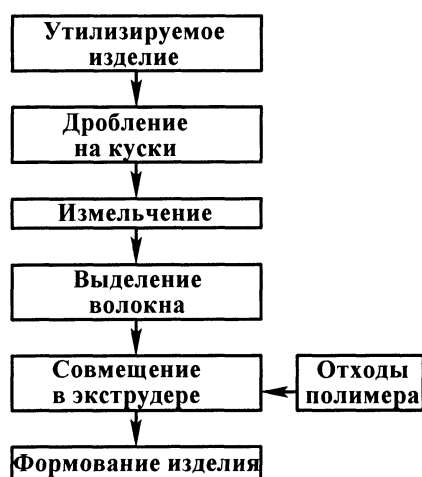


Рисунок 1 – схема метода переработки стеклопластиков

Измельчение. Утилизируемый продукт нарезают на куски, затем куски обрабатывают в ударно-центробежной мельнице с отражателями. Армирующие волокна в полной мере реализуют свою прочность в композиционном материале лишь в том случае, если их длина L не меньше эффективной, зависящей от прочности и диаметра волокна и от прочности адгезионной связи его с матрицей [2]. В зависимости от режимов работы мельницы в измельченной массе могут быть получены волокна разной длины, в том числе связанные с исходным терморезактивным полимером, и с размерами меньшими эффективной длины за счет интенсивного механического воздействия. Для подбора подходящих режимов обработки кусков утилизируемого изделия в ударно-центробежной мельнице, обеспечивающие длину волокон равной и больше эффективной, необходимы трудоемкие эксперименты.

Была предложена модель оптимизации режимов мельницы, основанная на разнице энергий хрупкого разрушения составляющих композиционного материала. Для разрушения матричного вещества (и связи между волокнами) кинетическая энергия частиц матрицы в момент удара об

отражатель ударно-центробежной мельницы должна превышать удельную энергию разрушения этого компонента. Волокна при этом не должны разрушаться, поэтому их кинетическая энергия должна быть меньше удельной энергии хрупкого разрушения. Отсюда следует приближенные соотношения между показателями свойств компонентов и частотой вращения n ротора ударно-центробежной мельницы с радиусом R , при которых обеспечивается разрушение матрицы, но волокна не разрушаются, а именно:

$$30\sigma_m / (\pi R \sqrt{E_m \rho_m}) \leq n \leq 30\sigma_b / (\pi R \sqrt{E_b \rho_b}) \quad (1)$$

где σ_m , σ_b , E_m , E_b , ρ_m , ρ_b – разрушающие напряжения при растяжении, модули Юнга и плотности матрицы (индекс «м») и армирующих волокон (индекс «в») в утилизируемом изделии из волокнистого композита соответственно.

Если выполняется условие (1), то в процессе измельчения создаются наиболее благоприятные условия для отделения волокнистой фракции от матрицы. При этом доля волокон, длина которых превышает эффективную длину во вторичном композиционном материале, оказывается наибольшей по сравнению с иными режимами измельчения. Применение соотношения упрощает задание частоты вращения ротора, необходимой для выделения таких волокон, и сокращает затраты времени на отработку подходящих режимов.

Вывод подтвержден экспериментально. Получены данные для мельницы с радиусом диска $R = 250$ мм, стеклопластиков на основе смолы ПН-1 и вторичной композиции с использованием смеси термопластичных полимеров АБС-полипропилен представлены в таблице 1.

Из соотношения (1) следует, что наиболее благоприятные режимы обеспечиваются в диапазоне частот вращения ротора $750 \text{ об/мин} \leq n \leq 2850 \text{ об/мин}$, при среднем значении равном 1800 об/мин . Из таблицы 1 и рисунка 2а видно, что при значении $n = 1800 \text{ об/мин}$, доля волокон P , длина которых превышает эффективную, близка к максимальной (примерно 0,5) для продукта, получаемого из утилизируемого изделия. В продукте, получаемом в ударно-центробежной мельнице при частоте вращения ротора менее 750 об/мин , т.е. менее нижней границы в соотношении (2), наблюдается значительная доля неизмельченных кусков. При частоте вращения ротора более 2850 об/мин , т.е. больше верхней границы в соотношении (1), в измельченном продукте преобладают мелкие фракции в виде смеси коротких волокон и частиц матричного полимера.

Таблица 1 – Показатели структуры и прочности вторичного композиционного материала

Показатель	Частота вращения ротора, об/мин						
	750	1200	1600	1800	2000	2400	2850
Доля волокон, длина которых больше эффективной, мас. %	12	34	46	51	48	38	16
Изгибающее напряжение при разрушении, МПа	24	36	42	45	41	39	28

Из таблицы 1 видно, что вторичная волокнистая композиция, полученная по предлагаемому способу, содержит наибольшую (из числа исследованных вариантов) долю волокон (51% мас.), длина которой превышает эффективную, и прочность ее при изгибе также наибольшая.

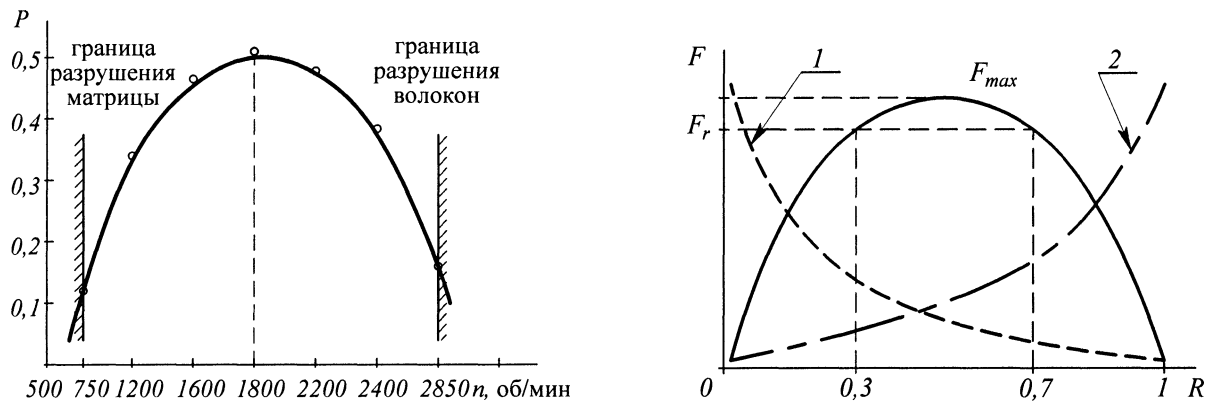
Совмещение. Метод переработки вторичной волокнистой композиции включает несколько стадий. Дозированный ввод и пластикацию термопластичного матричного полимера или смеси полимеров в червячном экструдере-пластикаторе. Дозированный ввод армирующих волокон и совмещение их с расплавом матричного полимера или их смеси в рабочей полости дискового экструдера-смесителя. Вывод пластицированной композиции из рабочей полости экструдера-смесителя через калибрующее отверстие и формирование изделия из полученной композиции. Дисковые экструдеры позволяют при относительно малых энергозатратах и низкой стоимости рабочих элементов (что позволяет не учитывать их износ) достигать высоких значений накопленной деформации сдвига, характеризующей смесительный эффект (волокна равномерно перемешиваются с расплавом матричного полимера). Достижение высокой

производительности осуществляется за счет увеличения частоты вращения диска и уменьшения зазора между диском и корпусом. Что приводит к росту скорости сдвига и к разрушению армирующих волокон [2]. Данное противоречие устраняется за счет оптимизации режимов совмещения по критерию максимума целевой функции:

$$F(D, r, \omega, h, d, \mu, n) = \dot{\gamma}(D, r, \omega, h, d, \mu, n) \cdot P_3(D, r, \omega, h, d, \mu, n), \quad (2)$$

где D – диаметр диска; r – радиальное расстояние от точки оси входного отверстия для ввода армирующих волокон до оси выходного отверстия экструдера-смесителя; ω – угловая скорость диска; h – ширина рабочей полости экструдера-смесителя (зазор между корпусом и диском); d – диаметр выходного отверстия; μ и n – коэффициент консистенции и показатель степени в законе течения пластицированной композиции.

Накопленную деформации сдвига $\dot{\gamma}(D, r, \omega, h, d, \mu, n)$ и доля волокон, длина которых больше эффективной $P_3(D, r, \omega, h, d, \mu, n)$, входящих в формулу (2), определяют, используя известные зависимости ее от параметров рабочей полости дискового экструдера и угловой скорости вращения диска [2]. В центральной части рабочей полости дискового экструдера скорости сдвига меньше, чем на периферии. При низких скоростях сдвига меньше разрушительное воздействие полимерного расплава при смешивании с армирующими волокнами. Однако если волокна вводят в дисковый экструдер вблизи от оси диска, то накопленная деформация сдвига композиции до выхода ее из экструдера может оказаться недостаточной для качественного совмещения расплава с армирующими волокнами: они могут быть не полностью покрыты матричным полимером. Волокна, не связанные полимером, имеют низкий армирующий эффект, а прочность композиции может оказаться даже ниже прочности матричного полимера. Анализ целевой функции с использованием указанных выше соотношений показывает, что наибольший эффект достигается если армирующие волокна вводятся в рабочую полость дискового экструдера на расстоянии 0,3–0,7 радиуса диска.



а) доля волокон

б) целевая функция

Рисунок 2 – критерии эффективности процесса измельчения (а) и совмещения (б) (1 – длина волокон в композиции 1 – накопленная деформация сдвига;)

Проверку качества смешения осуществляли для композиций на основе смеси термопластичных полимеров полипропилен-АБС (продавки) с содержанием волокна 50 % мас.

Таблица 2– Характеристики структуры и свойств материала

Показатель	Положение точки ввода волокнистой массы		
	0,2R	0,5R	1R
Длина волокон среднее значение, мм	7,0	5,5	1,1
доля фракции менее 4 мм, % масс.	25	45	95
Среднее значение прочности, МПа при растяжении	12	25	19
при изгибе	24	45	32

Структуру волокнистого наполнителя в композиции определяли по методу выжигания матричного полимера. Измеряли длину волокон, находили ее среднее значение и долю волокон, длина которых меньше эффективной (4 мм). Результаты испытаний представлены в таблице 2. Приведенные данные свидетельствуют, что наибольшую эффективность по физико-механическим показателям материала в изделии обеспечивает ввод волокнистой массы на расстоянии 0,5R от оси дискового экструдера, это полностью соответствует полученным аналитическим данным. Из результатов сравнения следует, заявленная цель исследования достигается.

Заключение. Оптимизация режимов процесса измельчения и совмещения дает возможность вдвое увеличить прочностные характеристики вторичного композиционного материала. Полученные аналитические зависимости позволяют отказаться от проведения трудоемких экспериментальных исследований по отработке режимов технологического процесса.

Список литературы

1. Ставров В.П. Механика композиционных материалов: учебное пособие. – Минск: БГТУ, 2008. – С. 165.
2. Ставров В.П., Шубенкова Е.В. Механизмы разрушения стекловолокна при совмещении с полимерным расплавом в червячном экструдере // The 4th International Symposium on Failure Mechanics of Materials and Structures. – Augustów, 2007. – pp. 251–254;