



Органолист на основе односторонне армирующего слоя можно формовать совместно с регранулятом, полученным из обрезков подобного же органолиста. Такой последовательный подход к применению моно материалов в производстве позволяет на 100 % использовать исходное композитное сырье (источник: ENGEL)

Стопроцентное использование полимерного композитного сырья

Термопластичные композиты открывают путь для облегченных автомобильных конструкций в экономику замкнутого цикла и поэтому становятся все более востребованными, и не только в автомобилестроении. Дальнейшее расширение их применения связано с успешным решением задачи переработки производственных отходов органолистов, таких как обрезки. Компания ENGEL смогла доказать, что регрануляты, изготовленные из таких отходов, можно перерабатывать литьем под давлением, сохраняя при этом исходные свойства материала. Это позволяет на 100 % поддерживать замкнутый цикл композитного сырья.

Г. Бек, К. Фелльнер, д-р, Н. Мюллер, д-р, Технологический центр легких композитов ENGEL Austria GmbH (г. Санкт-Валентин, Австрия),
Ф. Грубер, PureLoop GesmbH (г. Ансфельден, Австрия)

Органолисты, как известно, представляют собой листовые полуфабрикаты на основе непрерывных армирующих волокон и термопластичной матрицы, которые в процессе дальнейшего формования приобретают форму конечного изделия. Поскольку годовая программа выпуска автокомпонентов обычно исчисляется шестизначными числами, переработка органолистов в изделия в настоящее время становится все более важной технологией в автомобилестроении.

Чисто «термопластичный» подход к производству изделий позволяет эффективно интегрировать формование органолистов и их последующую функционали-

зацию в один технологический процесс, что снижает себестоимость продукции и делает эту технологию привлекательной для автомобильной промышленности. В этих целях органолист сначала нагревают, затем переформовывают непосредственно в литьевой форме и, наконец, придают ему окончательную геометрию путем приформовки функциональных элементов методом литья под давлением. При этом, как правило, используются материалы на основе той же термопластичной матрицы, что у органолиста. В будущем в этих целях будут также использоваться регрануляты, полученные из обрезков органолистов. Таким образом можно



Рис. 1. Регранулят для испытаний (справа) был получен из обрезков органолистов на основе армирующих однонаправленных лент (слева) (источник: PureLoop)

производить автокомпоненты, которые полностью состоят из одного и того же армированного волокном термопласта, и по истечении их срока службы могут быть повторно переработаны в новые изделия.

Как при производстве листовых изделий, так и при их дальнейшей механической переработке, даже при условии оптимального раскроя органолистов, образуются их отходы в виде обрезков, количество которых обычно составляет от 5 до 10 % массы органолиста, но при его неудачном раскрое или сложной конструкции изделий этот показатель может возрастать до 35 % и более. Поэтому переработка таких отходов – это не только вклад в повышение экологичности производства, но и снижение затрат на предприятии.

Чтобы доказать принципиальную возможность и рентабельность такого решения, две партнерские австрийские компании – ENGEL из г. Швертберга и PureLoop из г. Ансфельдена, входящая в группу EREMA и специализирующаяся на рециклинге пластмасс, – провели серию экспериментов по подготовке и последующей переработке вторичного материала в виде отходов органолистов.

Цель: сохранить исходную длину стекловолокон

Предназначенный для испытаний гранулят был изготовлен из отходов органолистов на основе однонаправленных стекловолоконистых лент (рис. 1). Для этого их сначала измельчали, а во время плавления при дальнейшей экструзионной переработке снижали относительное содержание волокон за счет добавления чистого матричного материала. Дело в том, что органолисты обычно имеют слишком высокую долю волокон (до 72 % по массе), чтобы использовать их отходы при литье под давлением. При этом, помимо уменьшения их содержания, волокна нужно равномерно распределить по объему матрицы. Конечная цель работы состояла в том, чтобы длинноволокнистый регранулят достиг уровня свойств, сравнимого со свойствами первичного материала.

Помимо жесткости, решающим фактором для применения материала в нагруженных конструкциях является его высокая механическая прочность, которая может быть обеспечена только в том случае, если сохраняется исходная длина волокон и достигается

их равномерное распределение в матрице. Однако в результате вторичной переработки армированных длинным стекловолокном материалов получают материалы с более короткими волокнами. Поэтому, «сверхзадача» по рециклингу отходов органолистов состояла в том, чтобы реализовать процессы их подготовки и переработки таким образом, чтобы не «навредить» материалу и сохранить максимально возможную длину волокна.

Мощная комбинация: «шредер – экструдер»

В качестве объекта исследований и испытаний были выбраны органолисты марки Profol (производитель – компания Profol GmbH, г. Хальфинг, Германия) на основе полипропиленовой (ПП) матрицы и однонаправленных стеклолент, массовое содержание которых составляло 72 % (рис. 2). Обрезки этих органолистов образуются в результате их раскроя под конкретные изделия.

Регранулят из этих отходов производили на линии ISEC evo 302 компании PureLoop (рис. 3), конструктивной особенностью которой является то, что шредер и шнек экструдера установлены на общем валу. Аббревиатура ISEC означает «интегрированная комбинация шредера и экструдера» (Integrated Shredder Extruder Combination). Загрузку линии осуществляли полосками



Рис. 2. Линия компании Profol для производства стекловолоконистых ПП-органолитов, использованных для последующих испытаний (источник: Profol)

Что такое LIT Factory

Так называемый завод LIT (LIT Factory) был создан в 2019 г. 25 компаниями, в основном из Австрии и Германии, при Технологическом институте г. Линца (LIT: Linz Institute of Technology), входящем в состав Университета имени Иоханнеса Кеплера. Основной задачей этой учебно-исследовательской и в то же время бизнес-ориентированной платформы является раскрытие потенциала цифровых

технологий и сетевого объединения производственных процессов, в том числе в сфере изготовления полимерных облегченных конструкций, по всей цепочке создания добавочной стоимости продукции – от ее разработки и производства до рециклинга в контексте экономики замкнутого цикла. ENGEL и EREMA являются одними из основателей и партнеров LIT Factory.

органолита длиной около 1,5 м. В данном случае одной из основных задач было «разбавить» содержание волокон в регрануляте первичным ПП до 40% масс. для реализации возможности перерабатывать этот вторичный материал литьем под давлением.

Обрезки органолитов подаются на эту линию на ленточном транспортере и поступают в загрузочную воронку, внизу которой подвергаются воздействию режущих элементов вращающегося вала шредера. Далее уже измельченный материал проходит через зону сжатия цилиндра экструдера к диафрагме ирисового типа, которая регулирует поток материала. Неармированный ПП подается в виде гранулята, и полученная смесь вторичного армированного ПП и первичного ПП гомогенизируется в зоне пластикации. При этом фильтр расплава в экструдере был намеренно исключен, поскольку он удалял бы волокна. В завершение процесса еще горячий экструдат разрезается на гранулы, которые сушатся в центрифуге.

В исследовательских целях полученные гранулы отжигали от матрицы и оценивали длину стекловолокон в отожженных образцах визуальным-оптическим методом. Оказалось, что данная технология позволяет сохранить волокна достаточно большой длины – более 4 мм. Следует заметить, что при измельчении отходов можно оптимизировать настройку содержания волокон: чем меньше размеры частиц материала, тем более равномерно они измельчаются и смешиваются с матричным термопластом. Так, содержание волокон в регрануляте, рассчитанное через его плотность, составило около 35 % масс.

Успешная подготовка и переработка подобных производственных отходов одновременно показывает по-

тенциал дальнейшего использования автокомпонентов, изготовленных на основе органолитов, в конце срока службы транспортного средства. Так, после их очистки и удаления металлических вставок оставшийся композитный материал может быть полностью переработан в регранулят по точно такой же технологии.

Никаких отличий от первичного материала при литье под давлением

Впоследствии полученный регранулят был исследован на его пригодность к переработке литьем под давлением путем оценки технологичности процесса и достигнутого качества литьевой продукции. В Техническом центре компании ENGEL в ее штаб-квартире в г. Швертберге (Австрия) из органолитов были изготовлены образцы изделий средних размеров на литьевой машине e-victory 1640/300. Благодаря наличию бесколлоного узла смыкания эта гибридная машина с электрическим узлом впрыска предоставляет возможность быстрого переноса в форму сравнительно тонких нагретых органолитов, что предотвращает их охлаждение ниже допустимой температуры и имеет тем самым решающее значение для реализации данной технологии.

С технологической точки зрения в центре внимания был вопрос о том, как регранулят поведет себя при литье под давлением по сравнению с серийным материалом. В качестве эталона использовали новый ПП, усиленный длинным стекловолокном (содержание – 40 % масс.) марки GB477HP (производитель – компания Borealis). Оба материала были пластицированы при трех различных скоростях вращения шнека для оценки стабильности процесса, которая оказалась очень высокой,

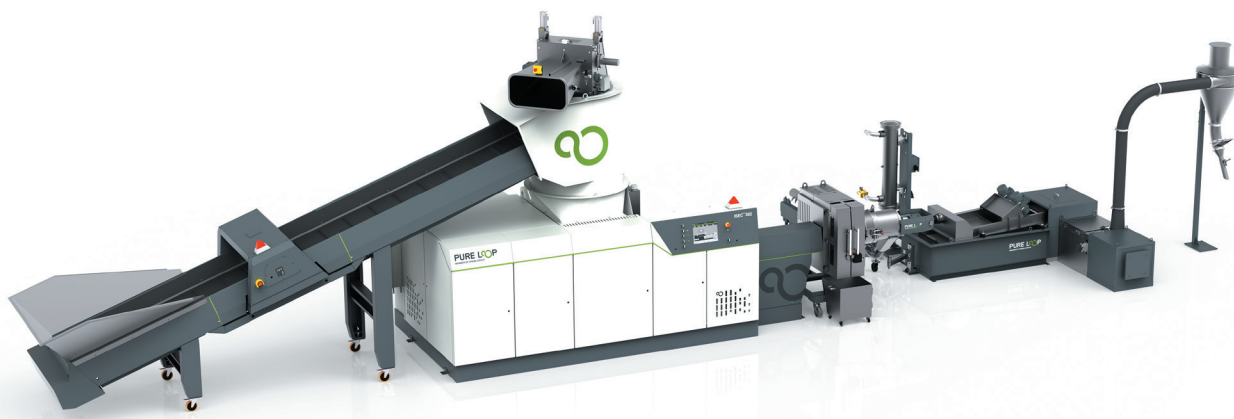


Рис. 3. Линия ISEC evo 302 для производства регранулята из обрезков органолитов (источник: PureLoop)



Рис. 4. Полностью автоматизированная производственная ячейка на базе литейной машины ENGEL duo 350, расположенная на заводе LIT в г. Линце, на которой в рамках интегрированного процесса были изготовлены близкие к серийным изделия с использованием регранулята из отходов органолистов (источник рис. 4, 5: ENGEL)

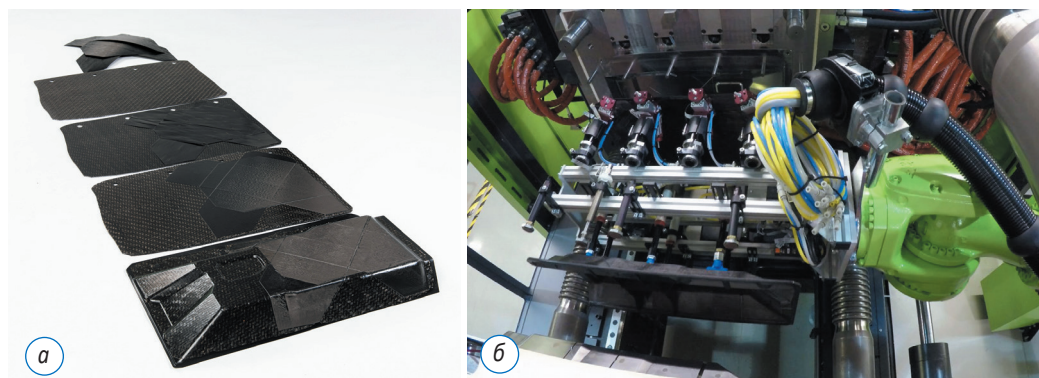


Рис. 5. Очень высокое качество образцов изделий (а) и высокая эффективность интегрированного производственного процесса (б) демонстрируют большой потенциал переработки отходов органолистов

о чем свидетельствовали почти линейные кривые дозирования. Колебания времени дозирования у обоих материалов были также сопоставимы.

В качестве эксперимента регранулят был предварительно перемешан в смесителе, предназначенном для получения суперконцентратов добавок, чтобы имитировать влияние возможной дополнительной стадии гомогенизации, например, в загрузочном бункере узла пластикации с использованием мешалки. Взвешивание литейных образцов показало несколько более высокие значения стандартного отклонения s у регранулята по сравнению с первичным материалом. Однако в абсолютном выражении величина s для обоих материалов была очень мала. Так, при заданной массе впрыска 400 г значение s у вторичного материала находилось в пределах 0,7 г, а у первичного составило около 0,15 г.

Готовность к серийному производству

Поскольку оба материала – и первичный, и вторичный – хорошо гомогенизируются во время пластикации в материальном цилиндре литейной машины, при оценке длины волокон и их содержания в литейных образцах не ожидалось значительных различий между регранулятом и исходным материалом, что и подтвердили результаты испытаний. Дополнительная гомогенизация в смесителе суперконцентратов не привела к дальнейшему улучшению и без того хороших показателей. Подводя итоги данного этапа работ, можно сказать, что регранулят может быть переработан литьем под давлением так же легко, как и первичный материал.

После успешно проведенных работ по регрануляции и литью под давлением с использованием отходов органолистов возникает вопрос, в какой степени эти результаты могут быть перенесены на реальные изделия.

Для ответа на этот вопрос компании ENGEL и PureLoop на заводе LIT Factory (см. вставку в статье) в рамках интегрированного процесса изготовили прототипы изделий, близких к серийным (см. фото у заголовка статьи). В этих целях органолисты, армированные непрерывными волокнами, раскраивали и разрезали на заготовки нужных размеров, которые принимал манипулятор и передавал в инфракрасную печь для предварительного нагрева. Затем многоосевой робот перемещал эти нагретые заготовки в форму литейной машины ENGEL duo 350 (рис. 4), где при смыкании формы им придавалась нужная конфигурация. Заключительной стадией этого интегрированного процесса была приформовка к ним методом литья под давлением функциональных элементов из регранулята, полученного из обрезков подобных органолистов (рис. 5).

Таким образом, достигнутое очень высокое качество изделий и высокая эффективность интегрированного производственного процесса демонстрируют большой потенциал исследованной технологии переработки отходов органолистов для внедрения ее в серийное производство облегченных конструкций для автомобилестроения. ENGEL и PureLoop продолжают совместную работу в целях максимального использования этого потенциала.

Full Use of Polymer Composite Raw Materials

G. Bäck, K. Fellner, N. Müller, F. Gruber

Thermoplastic composites pave the way for lightweight automotive construction into the circular economy and are therefore very popular with designers. One focus of further development is the recycling of production waste such as trimmings. ENGEL was able to prove that regregranulates made from organic sheet scrap can be processed in the injection moulding process while retaining the material initial properties. This makes it possible to keep the composite raw materials completely in circulation. ■