

И. З. Файзуллин, И. Н. Мусин, С. И. Вольфсон

МЕТОДЫ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСНО - ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Ключевые слова: древесно-полимерный композит, формование, экструзия, литье под давлением, прессование, утилизация отходов.

Приведена технология производства изделий из древесно-полимерного композита, которая состоит из следующих операций: измельчение древесины, сушка измельченной древесины, формование изделий из ДПК. Формование изделий из термопластичных ДПК может осуществляться несколькими методами: экструзией, литьем под давлением, прессованием, прокаткой листовых материалов. Рассмотрены различные методы экструзии.

Keywords: wood-polymer composite, molding, extrusion, injection molding, pressing, waste recycling.

The technology of manufacture of products from wood-polymer composite, which consists of the following stages: wood chopping, drying of chopped wood, molding of WPC products was described. The products made of thermoplastic WPC can be molded by several methods, such as extrusion, injection molding, pressing, rolling of sheet materials. The different methods of extrusion were described.

Технология производства изделий из древесно-полимерного композита состоит из следующих операций [4,5]:

1. измельчение древесины;
2. сушка измельченной древесины (при необходимости);
3. формование изделий из ДПК.

Измельчение - это процесс, конечным продуктом которого являются древесные частицы размером 0,7...1,5 мм. Деревоматериалы дробятся на ножевых и молотковых дробилках. Затем материал просеивается и фракционируется. На этом этапе закладывается качество продукта, а также его назначение: более тонкие фракции используются для профилей без дополнительной отделки поверхности, средние – под отделку пленками, шпоном или окраску, а грубые – для технических профилей. Следует учитывать, что качество исходного материала напрямую отражается на качестве конечного продукта.

Сушка требуется при влажности сырья более 15% [3, 5]. В процессе формования под действием температуры полимер, содержащийся в компаунде, размягчается и становится пластичным, что позволяет придавать компаунду различные геометрические формы [6,7].

Формование изделий из термопластичных ДПК может осуществляться несколькими методами [2].

1. Прессование

Прессование осуществляется в стандартных гидравлических прессах или специальных прессовых установках и может применяться для получения листовых изделий, брусков и изделий более сложных форм. Для прессования используется предварительно приготовленный древесно-полимерный компаунд. Извлечение изделий из пресса возможно только после остывания изделий до температуры ниже температуры размягчения полимера.

Этот метод довольно прост, часто применяется в лабораторных опытах, но в производстве термопластичных ДПК большого распространения не получил. Заметим, что прессование широко применяется в промышленности при формовании древесных композитных материалов на основе термореак-

тивных смол, например - древесностружечных и древесноволокнистых плит и стеклопластиковых изделий.

2. Прокатка листовых материалов

Метод прокатки реализуется на специальных прессовых установках непрерывного действия. Транспортировка компаунда внутрь пресса и вынос готового листа осуществляется при помощи бесконечных стальных лент, перемещаемых внутри плит пресса.

3. Литье под давлением

Литье под давлением является широко распространенным методом промышленного изготовления изделий сложных геометрических форм из термопластичных материалов [5]. Этот метод реализуется, как правило, при помощи специальных литьевых машин, т.н. термопласт-автоматов.

В термопласт-автомате подача разогретого компаунда в закрытую прессформу осуществляется при помощи шнекового нагнетателя, создающего достаточно высокое давление. Этим методом перерабатывается сейчас примерно 15% от всех термопластичных ДПК, например - в производстве кровельных изделий, соединительных и декоративных элементов в балюстрадах, мебельных деталей и др.

4. Экструзия

Метод экструзии широко применяется для производства полимерных листов и пленок, но особенно эффективен для производства труб и профильных деталей. В настоящее время экструзия является основным методом переработки термопластичных ДПК. [5]

Для переработки древесно-полимерных композитов применяются различные типы двухшнековых экструдеров:

- с противоположно вращающимися шнеками;
- с сонаправленно вращающимися шнеками.

К первому типу относятся экструдеры, два шнека которых вращаются в противоположных направлениях: по часовой стрелке и против нее. Такие машины часто еще называют экструдерами встреч-

ного вращения. В оборудовании данного типа смешительный эффект минимален, при этом высокие развиваемые давления, в результате чего достигается исключительно точная дозировка и подача расплава. Применяется это оборудование для экструзии порошкообразных, чувствительных к деформации сдвига пластиков (ПВХ и других).

Экструдеры, шнеки которых вращаются в одном направлении, отличаются высоким смешительным эффектом компонентов и гомогенизацией расплава. В результате на выходе получают расплав с идеальным однородным распределением компонентов по объему. Применяются такие экструдеры в качестве непрерывных смесителей для получения многокомпонентных композитных полимерных материалов, в том числе высоконаполненных.

Попытки произвести профильное изделие из древесно-полимерного композита были предприняты еще в 80-е годы XX века. За основу была взята на тот момент успешно применяющаяся технология Wood-Stock™ - производства полипропеленового листа, наполненного древесной мукой. Постэкструзионное оборудование листовой линии было заменено на традиционный «хвост» линии по производству профиля. Разумеется, низкая смешивающая способность экструдера с противоположно вращающимися шнеками не могла удовлетворить требования к качеству конечного изделия. В результате неравномерного распределения компонентов по объему материала терялись такие уникальные характеристики изделий, как влагостойкость, устойчивость к микроорганизмам, появлялась нестабильность свойств.

Решение указанных проблем было найдено в применении технологии многостадийной экструзии. Этот процесс подразумевает две или три технологические стадии:

- смешение исходных компонентов в высокоскоростном смесителе (присутствует не всегда);
- производство гранулированного древесно-полимерного композита;
- последующая переработка гранул ДПК в изделия.

Было разработано множество вариантов данной технологии (например, некоторые производители использовали двухстадийное смешение — «горячее» и «холодное»); появились различные модификации экструдеров для производства гранул: с конусными и параллельными шнеками, встречного и противоположного вращения.

Гораздо проще дело обстояло с оборудованием, предназначенным для производства изделий из гранул. В большинстве случаев применялись двухшнековые экструдеры с противоположно вращающимися шнеками, поскольку именно они обеспечивают постоянное давление расплава, а следовательно, стабильность процесса экструзии. Правда, некоторые производители оборудования предлагали использовать для этой цели простейшие одношnekовые экструдеры.

Метод двухстадийной экструзии позволил удовлетворить требования к качеству изделий, но при этом возник ряд других проблем — как про-

изводственного, так и экономического характера. С технологической точки зрения серьезной проблемой является сохранение равномерного распределения компонентов смеси материалов по всему объему после ее приготовления. При загрузке материалов в экструдер в бункере происходит расслоение смеси; особенно ярко выражен этот эффект при работе с полиэтиленом и полипропиленом, традиционно поставляемыми в форме гранул. Сложная внутрицеховая логистика требует высокой точности разработки схем материальных потоков и постоянного контроля. А наличие нескольких технологических стадий значительно увеличивает вероятность брака, вызванного человеческим фактором. Кроме того, многостадийная технология производства влечет за собой увеличенное потребление электроэнергии, большие расходы на обслуживающий персонал и необходимость в больших производственных площадях. Все это значительно влияет на стоимость конечной продукции. В результате, продукция из ДПК не может конкурировать в цене с традиционными деревянными изделиями. Это главная причина, по которой долгое время изделия из древесопластиков были признаны лишь в индустрии автомобилестроения.

«Второе рождение» использование изделий ДПК получило после разработки принципиально новой технологии прямой экструзии. Авторами идеи выступили специалисты итальянской компании ICMA San Giorgio. Они предложили использовать двухшнековый экструдер с сонаправленно вращающимися шнеками с прямой загрузкой исходных компонентов. А также разделить зоны пластикации полимера и собственно смешения компонентов путем боковой загрузки древесной муки в зону экструдера, где полимер полностью перешел в расплав.

Таким образом, время пребывания древесной муки в горячем экструдере значительно снижается, что, соответственно, уменьшает вероятность обугливания.

Метод прямой экструзии обладает целым рядом преимуществ:

- снижение энергопотребления (только один цикл нагрева/охлаждения материала);
- увеличение срока эксплуатации оборудования за счет того, что древесная мука, обладающая ярко выраженным абразивным эффектом, сразу же обволакивается расплавом полимера;
- возможность использования древесной муки с большим процентом влажности;
- возможность изменять рецептуру в режиме реального времени;
- снижение текущих расходов (энергия, трудозатраты, логистика, помещения, обслуживание).
- Немаловажным фактором является и сохранение предприятием собственных ноу-хау, так как процесс сосредоточен внутри одного производства.

Объединение компаундирования с экструзией в одну стадию представляет собой сложную задачу, поскольку необходимо обеспечить качественное перемешивание компонентов при мощной

дегазации расплава и вместе с тем непрерывную транспортировку большой массы материала с постоянным нагнетанием давления. Для процесса прямой экструзии используют экструдеры с удлиненными шнеками по сравнению с экструдерами - грануляторами. Зона дегазации располагается таким образом, чтобы обеспечить достаточную длину, необходимую для установления постоянного режима давления. При выборе конструкции элементов шнека необходимо учитывать не только функцию транспортировки, но также стабильность подачи расплава. Если допускается колебание массы погонного метра профиля ± 10 процентов, то можно экструдировать профиль напрямую. Если же подобное отклонение недопустимо, необходимо укомплектовать экструдер насосом расплава, который нагнетает постоянное давление расплавленного материала, предотвращает волнообразность потока и обеспечивает равномерность его течения при минимальном потреблении энергии. В большинстве случаев экструзионная техника комплектуется шестеренчатым насосом расплава. Это высокоточный прибор, созданный специально для нагнетания расплава с минимальным смесительным эффектом, который обеспечивает снижение флуктуации давления на порядок, то есть если колебание давления было на уровне ± 1 МПа, то с использованием шестеренчатого насоса расплава оно составит $\pm 0,1$ МПа. Стоит также отметить, что присутствует увеличение температуры в шестеренчатом насосе — в среднем на 5°C . При этом время пребывания расплава в насосе составляет 1-2 секунды. Альтернативой шестеренчатому насосу расплава может служить обыкновенный одношнековый экструдер, смонтированный на конце двухшнекового экструдера. Время пребывания расплава в одношнековом экструдере составляет приблизительно 20 секунд, правда, это оборудование не требует такого интенсивного технического обслуживания, как шестеренчатый насос расплава.

Сегодня существует тенденция постепенного перехода с двухстадийной технологии производства на одностадийную. При этом можно наблюдать ярко выраженное разделение по региональному признаку: практически все ведущие европейские производители оборудования предлагают технологию прямой экструзии, причем при наличии различных вариаций данной технологии везде используется разделение на зону пластикации полимера и зону ввода древесной муки непосредственно в расплав. Среди азиатских производителей (за исключением Японии) преобладают предложения по многостадийной схеме. Правда, стоит отметить появление на рынке оборудования для прямой экструзии ДПК от китайских компаний-производителей. Таким образом, значительное усовершенствование экструзионных систем, развитие программного обеспечения и разработка новых рецептов в последние годы делают прямую экструзию ДПК более предпочтительной, чем многостадийный процесс [1].

Высоконаполненные материалы (объем наполнителя $> 50\%$) требуют специально разработанной оснастки. Формующая головка должна обеспечивать высокое качество профиля. Для технологии

экструзии ДПК была разработана головка такой конструкции, которая ориентирует древесные волокна вдоль направления экструзии, что способствует увеличению механических свойств профиля. Для экструдирования профилей из ДПК необходимы экструдеры, развивающие высокие давления на выходе из формующей головки. Для этой цели идеально подходят двухшнековые машины. Производительность установок - до 600...900 кг/ч в зависимости от мощности. Двухшнековые машины могут перерабатывать как гранулированное сырье, размельчение которого производится непосредственно в экструдере, так и порошкообразные смеси.

Современные экструдеры позволяют изготавливать изделия различных размеров - от мелких декоративных профилей до изделий шириной 800 мм, например, крышек столов. При использовании целевой фильеры можно экструдировать мебельные листы шириной до трех метров различной толщины. Разработаны и испытаны многокамерные оконные профили.

Одна из важных особенностей - возможность экструзии пустотных профилей, уменьшающая удельный вес профиля и снижающая материалоемкость. Внутри пустот можно прокладывать провода. Если предусматривать специальные конструктивные элементы, то профили можно монтировать без гвоздей и шурупов - простым защелкиванием. Разобрать такие профили тоже легко - не ломая их и сохраняя для дальнейшего использования.

Профили из ДПК можно декорировать всеми известными способами: фанеровать шпоном, ламинировать пленками и листовыми пластиками, красить любыми красками и лаками. Добавляя пигменты непосредственно в композицию, можно получать уникальные декоративные эффекты. Обработываются они теми же инструментами, что и древесина. Легко пилятся, строгаются, сверлятся и т.п. Хорошо удерживают гвозди, скобы, шурупы, многие поддаются склеиванию обычными клеями для дерева. Некоторые композиты можно сваривать, подобно пластмассе. Возможно их гнуть в подогретом виде.

Экструдированные профили могут производиться практически без отходов, т.к. ДПК пригодно для повторного использования [1,5].

5. Повторное термическое формование

Это метод позволяет изменить форму изделия уже изготовленного из термопластичного композита. При повторном формовании изделие подогревается в печи до температуры размягчения композита (но не до его расплавления), а затем деформируется при помощи специальной оснастки.

Этот метод чаще применяется для получения тонкостенных изделий довольно сложных форм из листового ДПК, например при помощи вакуумформовочной оснастки, в частности в автомобильной промышленности.

Последующее термоформование начинают также использовать в конструкциях мебели.

Интересно использование гнутья и в строительстве, например, для гнутья перил, арочных кон-

струкций, половой доски, труб и др. профильных элементов.

6. Ротационное формование

В последнее время проводятся опыты по ротационному формованию изделий из ДПК. В этой технологии компаунд распределяется внутри вращающейся горячей формы исключительно под действием центробежных сил. Достоинством этой технологии является возможность получения крупногабаритных пустотелых изделий с применением относительно легкой и недорогой оснастки. Разумеется, что компаунд, используемый для термоформования должен обладать высокой текучестью.

7. Переработка отходов и утилизация использованных изделий

Отходы, возникающие в производстве термопластичных ДПК и изделия, срок эксплуатации которых закончился, раздробляются на мелкие частицы, которые в дальнейшем могут вновь использоваться в качестве сырья для производства термопластичных ДПК [2].

Литература

1. Экструзия древопластиков: технологии и тенденции [электронный ресурс]: <http://www.drevoplastic.ru/ekstruzia-drevoplastika.html>

2. Методы формования изделий из древесно-полимерных композитов на основе термопластичных смол [электронный ресурс]: <http://www.dpk-deck.ru/page/termoformovanie.html>
3. «Влияние наполнителей и технологических добавок на реологические свойства древесно – полимерных композитов» / И.З. Файзуллин, И.В. Имамутдинов, В.Я. Хамидов, И.Н. Мусин, С.И. Вольфсон // Вестник Казанского технологического университета. 2013г. Т.16 №10, с. 148-150.
4. «Влияние добавок на свойства древесно - полимерных композитов» / И.Н. Мусин, И.З. Файзуллин, С.И. Вольфсон // Вестник Казанского технологического университета. - 2012 г, Т. 15 № 24, с. 97-99.
5. Клесов, А.А. Древесно-полимерные композиты / А.А. Клесов// - СПб.: Научные основы и технологии - 2010. – С. 736.
6. Umpleby J.D. Material choice for wood-plastic composites/ Umpleby J.D. //Wood-Plastic Composites - A Sustainable Future. International Conference, Vienna, Austria, May 14-16, 2002. - Vienna, 2002. - p. 84-91.
7. Clemons C. Elastomer modified polypropylene-polyethylene blends as matrices for wood flour-plastic composites/ C. Clemons//Composites: Part A. - 2010. -Vol. 41.- P. 1559-1569.

© **И. З. Файзуллин** – асп. каф. ХТПЭ КНИТУ, ilnur-fz@mail.ru; **И. Н. Мусин** – к.т.н., доц., зав. каф. ТОМЛП КНИТУ, imusin@kstu.ru; **С. И. Вольфсон** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. ХТПЭ КНИТУ, svolfson@kstu.ru.

© **I. Z. Fayzullin** – PhD student the Chemistry and Processing Technology of Elastomers department of Kazan National Research Technological University, ilnur-fz@mail.ru; **I. N. Musin** - associate professor, the Department Chair of Technology, Medical Equipment and Light Industry department of Kazan National Research Technological University, imusin@kstu.ru; **S. I. Volfson** - Professor, Dr. of science, the Department Chair of Chemistry and Processing Technology of Elastomers department of Kazan National Research Technological University, svolfson@kstu.ru.