

УДК 634.0.381

**ПРОФИЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ
ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ПЛАСТИКОВ НА ТЕРМОРЕАКТИВНОМ СВЯЗУЮЩЕМ**

*канд. техн. наук С.Н. КОЛДАЕВА, О.Ю. КОЛДАЕВ
(Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь)*

Описаны способы упрочнения изделий в направлении, нормальном к оси экструзии, на стадии прессования путем введения в объем композитного изделия предварительно напряженных стальных струн, устранения резкой границы между порциями прессовки и усиления армирующего эффекта за счет придания оптимальной ориентации частицам древесного и волокнистого наполнителей в объеме композита.

Способ изготовления композитного изделия определяется его назначением и характеристиками компонентов композиции. Для профильных погонажных изделий наиболее производительным методом является экструзия. Для изделий конструкционного назначения, предназначенных к эксплуатации в условиях экстремальных механических нагрузок, воздействия агрессивных абразивосодержащих сред и знакопеременных температур, целесообразно использовать композиционные материалы на терморезактивном связующем, армированные волокнами с разветвленной поверхностью – стекловолокном, углеродным волокном. Такие материалы перерабатываются в профильные изделия плунжерной экструзией. По производительности указанный метод в 3...4 раза превосходит прямое прессование.

Выполненные нами исследования показали [1], что в отличие от традиционно применяемого метода прямого прессования, при котором композит подвергается тепловому воздействию с резкими перепадами температур, детали, получаемые по разработанной технологии, обладают значительно более низкими остаточными напряжениями. Импульсное прессование требует меньших энергетических затрат и позволяет получать из высоконаполненных композитов погонажные изделия произвольной длины, что невозможно при прямом прессовании.

Основным недостатком метода плунжерной экструзии является низкая прочность изделий при нагружении по нормали к направлению экструзии. Этот недостаток связан с образованием резких границ между порциями прессовки, приводящим к низкой когезионной прочности композита на этих участках.

Установлено, что изготовление пуансона с криволинейным профилем рабочей поверхности позволяет повысить на 15...20 % прочностные характеристики получаемых изделий. Дальнейшее повышение прочности достигается при сообщении пуансону возвратно-вращательного движения. При снятии давления и движении пуансона вверх происходит его поворот относительно гильзы направляющими роликами, которые перемещаются в криволинейном пазу пуансона. При этом происходит рыхление поверхностного слоя спрессованной порции материала, что обеспечивает необходимую структуру, стабильность степени уплотнения и механических свойств по длине изделия, исключает возможность образования четко выраженной границы раздела между участками двух соседних циклов прессования и падения прочности материала в этой области.

Метод импульсного прессования позволяет в процессе изготовления изделия вводить в его объем армирующие элементы. Наиболее эффективно применение оцинкованных стальных струн диаметром менее 3 мм. Конструкция разработанного устройства позволяет осуществлять армирование предварительно напряженной проволокой. Для этого устанавливаются фильеры меньшего, чем проволока, диаметра, что обеспечивает ее растяжение, создание сжимающих напряжений в объеме изделия и компенсации внутренних растягивающих напряжений. Эффект усиливается нанесением на поверхность проволоки волнообразного рельефа. Испытания показали, что описанный метод упрочнения повышает в 1,5...2 раза долговечность корпусов роликов, эксплуатирующихся при ударных нагрузках.

Эффективность метода была изучена на полых цилиндрических образцах ($R_{нн} = 63,5$ мм, $R_{внн} = 50$ мм), подвергаемых разрушению падающим с высоты 2000 мм бойком различной массы. Армирование осуществлялось четырьмя рядами стальной проволоки. Результаты сравнительных испытаний показывают, что армирование повышает сопротивление композитного изделия разрушению в 1,3 раза (таблица).

Некоторое падение прочности композитного изделия при армировании проволокой диаметром выше 3 мм обусловлено, по-видимому, слабым адгезионным взаимодействием и образованием дефектов на границе металл – связующее.

Выполненные нами исследования [2] показали, что в этом случае целесообразно применение покрытий из цинка или хрома, оксиды которых способствуют образованию химических связей фенолофор-

мальдегидной смолы с лигниновым комплексом древесины и повышают адгезию связующего к армирующим элементам, а также снижают температуру поликонденсации связующего.

Дальнейший ресурс упрочнения материалов указанного класса лежит в области формирования специфической макроструктуры композита, характеризующейся оптимальной ориентацией наполнителя и армирующих волокон в его объеме (в направлении эффективных действующих напряжений) [3].

Влияние армирования предварительно напряженной стальной проволокой на стойкость композитного изделия к ударным нагрузкам

Диаметр армирующего элемента, мм	Масса бойка, необходимая для разрушения, кг
0	2,20
1	2,40
2	2,65
3	2,83
5	2,75

Исследования зависимости механических характеристик композита от ориентации древесного наполнителя показали, что при достижении оптимальной ориентации ударная вязкость (α_y) и предел прочности на изгиб (σ_u) повышаются в 2 раза [4].

При оценке зависимости свойств материала от ориентации армирующих волокон известными методами [5] было принято допущение, что нагрузка от полимерной матрицы на волокно передается только посредством сдвиговых касательных напряжений. Торцы волокон считали ненагруженными, падение напряжения на концах волокон – линейным.

Рассмотрим сначала композит, состоящий из матрицы и параллельно расположенных непрерывных волокон. Такой материал существенно анизотропен. С учетом приведенных выше допущений и учитывая линейное падение напряжения на концах волокна, получим выражение для среднего напряжения в волокне:

$$\bar{\sigma}_f = \frac{1}{l} \int_0^l \sigma_f dx = \sigma_f \left(1 - \frac{l_c}{2l}\right) = E_f \varepsilon_m \left(1 - \frac{l_c}{2l}\right) \text{ при } l > l_c; \quad (1)$$

$$\bar{\sigma}_f = \frac{\tau}{d_f} l = E_f \varepsilon_m \frac{l}{2l_c} \text{ при } l < l_c. \quad (2)$$

Для модуля упругости однонаправленного композита, содержащего α волокон длиной l (считаем напряжение величиной аддитивной):

$$E_{II} = E_m (1 - \alpha) + E_f \alpha \left[1 - \frac{l_c}{2l}\right] \text{ при } l > l_c; \quad (3)$$

$$E_{II} = E_m (1 - \alpha) + E_f \alpha \frac{l}{2l_c} \text{ при } l < l_c. \quad (4)$$

где l_c – критическая длина волокна; α – количество волокна в композиции; E_m и E_f – модули упругости матрицы и волокна соответственно.

Для однородного статистического распределения волокна в объеме композита при выполнении условия $E_f \gg E_m$ осреднение по критерию ориентации волокон дает следующий результат:

$$E^* = E_m (1 - \alpha) + \frac{1}{6} E_f \alpha \left[1 - \frac{l_c}{2l}\right] \text{ при } l > l_c; \quad (5)$$

$$E^* = E_m(1 - \alpha) + \frac{1}{6} E_f \alpha \frac{l}{2l_c} \text{ при } l < l_c. \quad (6)$$

Таким образом, ориентирование армирующих волокон в объеме изделия в направлении действующих эффективных напряжений должно приводить к повышению механических характеристик.

Для регулирования макроструктуры экструзионных пластиков и обеспечения оптимальной ориентации частиц наполнителя и армирующих волокон в объеме композита были разработаны способ и устройство [6], позволяющие в процессе прессования ориентировать древесный и волокнистый наполнители преимущественно вдоль оси экструзии. Принципиальная схема устройства, реализующего описанный механизм, приведена на рисунке 1.

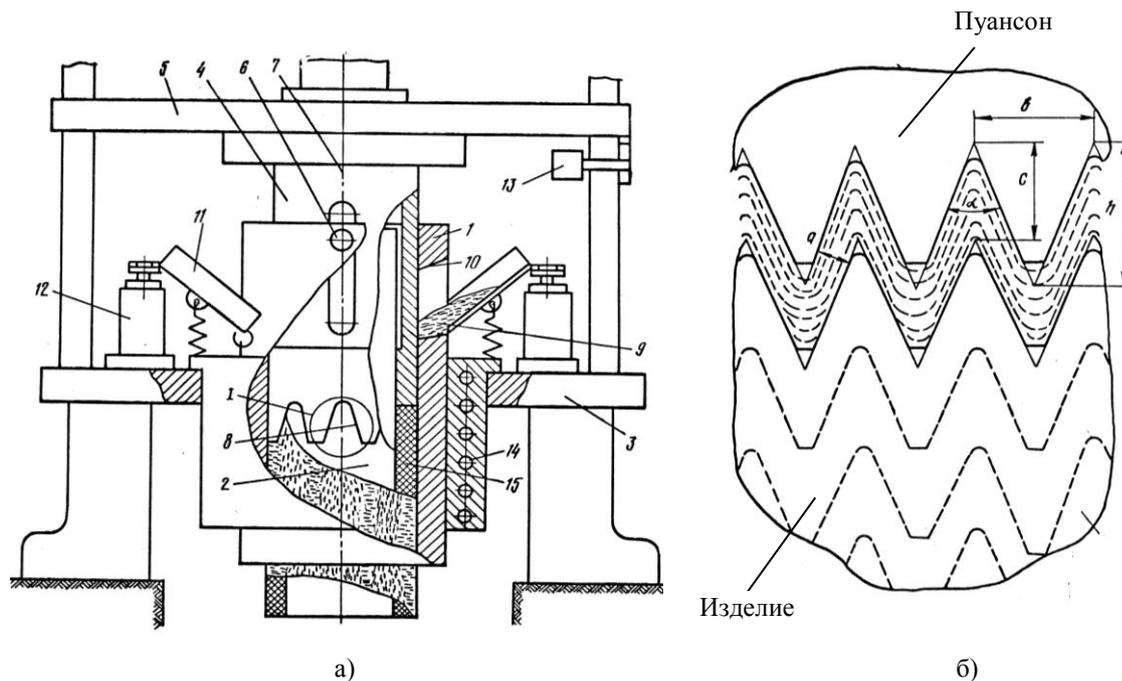


Рис. 1. Схема устройства, позволяющего регулировать макроструктуру композита при переработке в изделия плунжерной экструзией:
а – общий вид устройства; б – выделенный фрагмент

Устройство состоит из гильзы 1 и сердечника 2, образующих формирующий канал и закрепленных на неподвижной плите 3 пресса, пуансона 4, закрепленного на подвижной плите 5 пресса и совершающего возвратно-поступательное движение в формирующем канале. Сердечник зафиксирован относительно гильзы переключкой 6, которая одновременно является направляющей для пуансона, в боковых стенках которого выполнены две вертикальные прорези. Рабочая прессующая часть пуансона выполнена зубчатой с радиальным расположением зубьев по периметру, причем размеры зубьев выбираются из условия:

$$h > \frac{ab}{\sqrt{b^2 - 4a^2}}, \quad (7)$$

где h – высота зуба, мм; b – ширина зуба у основания, мм; a – технологическая характеристика прессования, $a = 20 - 40$ мм; при этом $b > 2a$.

При выполнении условия (7) древесные частицы и армирующие волокна, размеры которых не превышают 35 мм, в процессе прессования ориентируются вдоль боковой поверхности зубьев, т.е. преимущественно вдоль оси экструзии, что обеспечивает улучшение механических характеристик композитов. Кроме того, ориентация армирующих волокон преимущественно вдоль оформляющей поверхности улучшает триботехнические характеристики изделий из материалов разрабатываемого класса, поскольку снижается вероятность разрушения контртела фрагментами жесткого волокна, ориентированного по нормали к поверхности фрикционного контакта.

Изготовленные по описанной технологии трубы (рис. 2) испытывали на обогатительной фабрике Первого рудоуправления ПО «Беларуськалий» в качестве фильтровальных и канализационных. Было установлено, что по сравнению с металлическими они обладают более высокой стойкостью, отсутствует налипание транспортируемых веществ на поверхность рабочего слоя. Кроме того, трубы из полимерных композитов обладают меньшей плотностью – масса одного погонного метра трубы из древопласта композиционного армированного (ДПКА) составляет 6,9 кг, металлической – 27 кг. Эксплуатационные испытания показали, что замена металла древопластом обеспечивает повышение долговечности трубопровода в среднем в 1,6 раза. Низкая адгезионная способность внутреннего слоя полимерной трубы препятствует налипанию солей на стенки и сужению рабочего пространства трубы.



Рис. 2. Труба древесно-полимерная

Трубы диаметра 127 мм и толщиной стенок 10 мм использовали в качестве трубных заготовок для корпусов роликов ленточных конвейеров (рис. 3). Эксплуатационные испытания корпусов роликов осуществляли на ПО «Беларуськалий». Корпуса были установлены в верхних желобчатых и нижних прямых роlikоопорах конвейера КЛС-1000, транспортирующего мелкозернистый хлористый калий. Производительность конвейера – 250 т/ч, режим работы непрерывный. Отличительная особенность условий эксплуатации – высокая концентрация мелкодисперсных частиц хлористого калия в окружающей среде. Было установлено, что средняя скорость абразивного изнашивания корпусов составила 0,15 мм в год. Благодаря хорошим антифрикционным свойствам характерно незначительное налипание транспортируемого материала на поверхность роликов.



Рис. 3. Заготовки трубные для роликов

Сравнительные эксплуатационные испытания роликов на забойных конвейерах производительностью 250...600 т/ч и солеотвальных конвейерах КЛС-1200 производительностью 800 т/ч показали, что долговечность металлических роликов составляет в среднем 4,9 года на верхней ветви и 2,3 года – на ниж-

ней. Основной причиной выхода из строя роликов верхней ветви является коррозионно-механический износ, нижней – коррозионно-механический износ и усталостные повреждения, вызванные циклическими ударными нагрузками. По сравнению с металлическими долговечность древесно-полимерных роликов в 3...5 раз выше. Срок службы роликов верхней ветви ограничивается в основном абразивным изнашиванием рабочего слоя, а для нижней ветви – усталостным разрушением. Важным преимуществом роликов из древопласта является их низкая адгезионная способность к транспортируемому веществу (соли натрия и калия, галитовые хвосты). Испытания показали, что масса вещества, налипающего на поверхность корпусов из ДПКА, как правило, не превышает 0,1 кг. Это в 6...10 раз меньше, чем при использовании металлических корпусов.

Для исследования работоспособности изделий под воздействием циклической влажности и неблагоприятных атмосферных условий корпуса роликов, изготовленные из разработанного материала, испытывали на непрерывно эксплуатируемых солеотвальных конвейерах типа КЛС-1200, установленных на открытом воздухе. Корпуса роликов находились в контакте с влажной средой, содержащей растворы хлористого натрия и калия. Отмечено налипание на поверхность корпуса транспортируемой массы в виде полос толщиной до 1 мм. Скорость изнашивания корпуса составляла в среднем 0,1 мм в год.

Таким образом, применение полимерных корпусов снижает дополнительную нагрузку на подшипники роlikоопор, обусловленную возникновением неуравновешенных центробежных сил. В этом плане существенным является и тот факт, что применение композитов позволяет снизить массу корпуса в 2,4 раза. При этом уменьшается не только нагрузка на подшипники роlikоопор, дисбаланс роликов, но и затраты энергии на их вращение. Последний фактор вносит ощутимый вклад в снижение энергопотребления, поскольку длина конвейера достигает 600 м, а количество роликов – 3 тыс. штук. Кроме того, применение корпусов из древопласта позволяет экономить при изготовлении одного конвейера в среднем около 60 тонн трубного проката. Внедрение 12 тыс. древесно-полимерных роликов и 485 пог. м труб в 2003 году обеспечило экономию денежных средств свыше 500 млн. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прушак В.Я., Колдаева С.Н., Михайлов М.И. Технология древесно-полимерных композитов для деталей машин. – Гомель: Информтрибо, 1992. – 225 с.
2. Колдаева С.Н. Технологические приемы регулирования макроструктуры экструзионных пластиков // Горная механика. – 2005. – № 1. – С. 69 – 72.
3. Белый В.А., Врублевская В.И., Купчинов Б.И. Древесно-полимерные конструкционные материалы и изделия. – Мн.: Наука и техника, 1980. – 280 с.
4. Принципы создания композиционных полимерных материалов / Ал.Ал. Берлин, С.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян, Н.С. Ениколопов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
5. Колдаева С.Н., Екименко А.Н., Колдаев Ю.Н. Технологические особенности конструирования и изготовления деталей машин из композиционных древопластов и антифрикционной прессованной древесины // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 2. – С. 94 – 96.