

**ВЫВОДЫ:** 1. В результате проведенных исследований установлено, что все три покрытия имеют округлую и строчную капельную фазу. Покрытия, полученные на образцах 16 и 17, имеют дополнительно рыхлые слоистые структурные составляющие.

2. Исследование структуры трех покрытий показало, что наиболее плотное и равномерное строение имеют ионно-плазменные покрытия, полученные на образцах № 15 и № 17.

3. Показано, что покрытие, полученное на образцах № 16, имеет рыхлое зеренное строение, что может отрицательно сказаться на его эксплуатационных свойствах.

УДК 621.774.678.686

Колдаева С.Н., Васюта В.А., Полищук Л.Н.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
МАКРОСТРУКТУРЫ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ  
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, АРМИРОВАННЫХ  
ВЫСОКОМОДУЛЬНЫМИ ВОЛОКНАМИ**

*УО МГПУ имени И. П. Шамякина, г. Мозырь*

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 термореактивном связующем, армированные волокнами с разветвленной поверхностью – стекловолокном, углеродным волокном. Такие материалы перерабатываются в профильные изделия плунжерной экструзией. По производительности указанный метод в 2–3 превосходит прямое прессование. Однако получаемые таким методом изделия имеют более низкие показатели по ударной вязкости и прочности

на изгиб. Этот недостаток связан с образованием резких границ между порциями прессовки, приводящим к низкой когезионной прочности композита на этих участках.

Исходная пресс-композиция представляет собой изотропную механическую смесь компонентов в твердой фазе. Структура материала в изделии определяется способом прессования. В случае формирования изделия прямым прессованием материал сохраняет изотропную структуру. При применении плунжерной экструзии материал представляет собой совокупность изотропных участков, разделенных границами

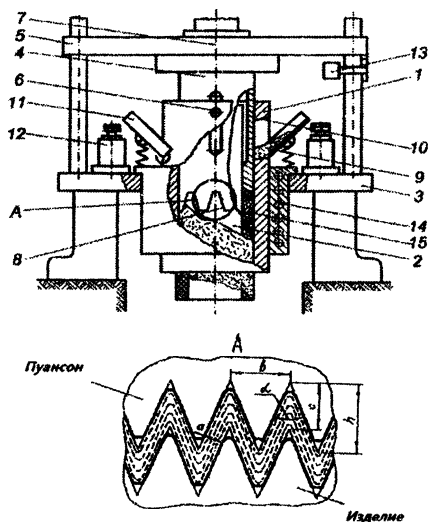


Рисунок 1 – Схема устройства

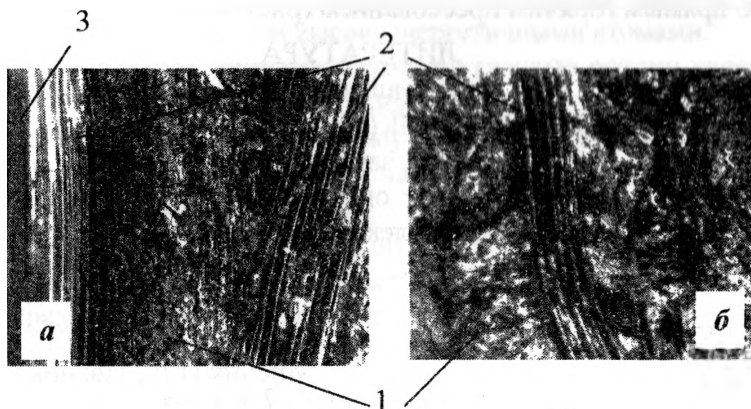
порций прессовки. С целью повышения прочности изделий на статический и ударный изгиб нами разработаны приемы устранения резких границ между порциями прессовки. Для этого поверхность пуансона выполняли криволинейной (зубчатой) и сообщали ему дополнительное возвратно-вращательное движение (рисунок 1). Во время обратного хода пуансона он поворачивался относительно продольной оси и в следующем цикле рыхлил верхнюю спрессованную поверхность предыдущей порции, что позволило устранить резкие границы между порциями прессовок и повысить прочность изделий в осевом направлении. В результате механические характеристики получаемых изделий были улучшены на 10–15% [1].

Дальнейший ресурс упрочнения изделий, получаемых плунжерной экструзией, лежит в области формирования специфической макроструктуры композита, характеризующейся оптимальной ориентацией наполнителя и армирующих волокон в его объеме.

Расчет геометрических параметров зубьев торца пуансона, при которых обеспечивается ориентация частиц наполнителя и армирующих волокон в объеме изделия преимущественно вдоль оси экструзии. Проведенные расчеты распределения напряжений в объеме композита подтвердили повышение армирующего эффекта при ориентации армирующих волокон в направлении эффективных действующих напряжений. Таким образом, использование указанных технологических приемов позволяет повысить механические характеристики композитов конструкционного назначения. 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.

В процессе формования изделия методом плунжерной экструзии наличие технологического зазора между матрицей и пуансоном приводит к появлению микрообласти пониженного давления вблизи оформляющей поверхности. В зоне плавления это вызывает миграцию к поверхности жидкофазных компонентов композиции (связующее, стеараты металлов) и растворенных в них низкомолекулярных модификаторов. Благодаря этому формируется поверхностный слой изделия, обедненный наполнителем и волокном и насыщенный целевыми модификаторами. Формирование поверхностного слоя, состоящего из полимерного связующего, является важным преимуществом метода плунжерной экструзии. Поверхностный слой изделий, полученных прямым прессованием, может содержать

частицы наполнителя и волокна. Выход на поверхность частиц древесного наполнителя очевидно снижает влаго- и химстойкость и увеличивает горючесть изделий. Выход на поверхность участков стекловолокна, особенно ориентированных по нормали к поверхности, заведомо снижает антифрикционные характеристики.



- 1 – древесный наполнитель, 2 – стекловолокно,  
3 – поверхность изделия, насыщенная связующим  
*а* – образец изготовлен методом плунжерной экструзии  
с применением специального устройства, позволяющего  
ориентировать частицы наполнителя и армирующие  
волокна преимущественно вдоль оси экструзии;  
*б* – образец изготовлен методом прямого прессования;

Рисунок 2 – Микрофотографии ( $\times 135$ )  
структуры композитов

Еще одним преимуществом описываемого метода является обеспечение доминантной концентрации целевых модификаторов вблизи оформляющей поверхности. Преимущественная концентрация модификаторов в поверхностном слое изделия улучшает эксплуатационные характеристики и снижает эффективную концентрацию добавок в объеме композита.

Результаты сканирующей электронной микроскопии (рисунок 2, а) подтверждают наличие ориентированной структуры и поверхности, насыщенной полимерным связующим, у пластинок, сформированных указанным методом. Для сравнения приведена микрофотография структуры материала, сформированного прямым горячим прессованием (рисунок 2, б).

#### ЛИТЕРАТУРА

Устройство для изготовления погонажных изделий: пат. 2463 Респ. Беларусь, МПК(2006) В 29N 3/00 / А. Н. Екименко, С. Н. Колдаева и др.; заявитель УО «БелГУТ». – № u 20060228; Заявл. 22.04.2005; опубл. 28.02.2006 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2006. – №1. – С.176.

УДК 621.793

Мисник И.В., Иванов И.А.

### **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ЧАСТИЦ ПРИ НАНЕСЕНИИ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ**

*БНТУ, г. Минск*

Процесс нанесения вакуумных покрытий предполагает реализацию следующих основных стадий:

- образование газовой фазы осаждаемого вещества;
- перенос атомов, частиц вещества от источника газовой фазы до покрываемой поверхности;
- взаимодействие частиц газовой фазы с поверхностью и образование покрытия.

Все известные методы нанесения покрытий отличаются способами формирования газовой фазы, режимами и условиями массопереноса и пленкообразования.

Цель статьи – проанализировать существующие технологические методы нанесения покрытий из газовой (в том числе