

## Список литературы

1. Кунцевич Т.Э., Пушин В.Г. Структура и свойства быстрозакаленных сплавов на основе никелида титана. Сборник тезисов XV Междун. конфер. «Актуальные проблемы прочности» 25-28 сентября 2006г. Белгород, Россия
2. Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл. Получение тонких TiNi плёнок методом ионно-плазменного осаждения. Сборник тезисов XV Междун. конфер. «Актуальные проблемы прочности» 25-28 сентября 2006г. Белгород, Россия

УДК 677.494:53

## ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОРИЕНТИРОВАННОГО ВОЛОКНА ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Лаппо Н. М.

*Витебский государственный технологический университет,  
Витебск, Беларусь*

Изготовление высокоориентированного моноволокна и микропластика осуществляют методом протягивания через волокна из сверхтвёрдых или синтетических материалов. Предварительно цилиндрические заготовки из ПЭВП помещают в контейнер с коническим соплом диаметром на выходе 1,0 мм, нагревают их до температуры 110 °С и термостатируют при этой температуре, а затем экструдировывают. После выхода полимера из сопла экструзию прекращают и извлекают заготовку, которую подвергают волочению на специальных станках. Полученная таким образом моноплетня полимера обладает существенным недостатком, а именно: в ней возникают фибрилляции (изменение поперечных размеров волокна), которые уменьшают эксплуатационные свойства моноплетней. Для повышения эксплуатационных свойств волокна, за счёт уменьшения или исключения фибрилляции, разработан способ получения ориентированного волокна из термопластичных полимеров путем применения ультразвуковых колебаний на заключительной стадии их изготовления. После ориентационного волочения моноплетню дополнительно подвергают протягиванию через калибрующую волоку, в которой возбуждают продольные или радиальные ультразвуковые колебания, причем волочение осуществляют при амплитуде ультразвуковых колебаний, равной 5 – 15 мкм, а скорость протягивания равна 0,2–0,5 м/с. Под действием ультразвуковых колебаний внешняя часть моноплетни проплавляется и частично разориентируется. В результате этого происходит уменьшение или даже исключение фибрилляции. Волочение моноплетней ласана и полистирола проводили на лабораторном волочительном стане через волокна из синтетического алмаза, которые были запрессованы в волноводы специальной конструкции. Источником ультразвуковых колебаний служили генераторы типа УЗГ-0,4 и УЗДН-2Т.

При возбуждении ультразвуковых колебаний в волоке на границе контакта двух сред выделяется тепло, причем интенсивность выделения тепла прямо пропорциональна квадратам амплитуды и частоты ультразвуковых колебаний. При этом происходит разогрев как волокна, так и полимера, и температура на границе раздела сред может достигать высоких значений (например, может быть намного выше температуры плавления полимера).

Температуру волоки в калибровочной зоне (а значит, и степень разогрева полимера) можно регулировать изменением частоты и амплитуды ультразвуковых колебаний, однако, поскольку УЗ-генераторы работают на фиксированных частотах, то количество тепла регулировали путем изменения амплитуды.

Поскольку материалом волоки служили синтетические и природные алмазы, а они имеют большую теплопроводность, чем полимер, то тепловой поток, в основном, направлен от границы контакта двух сред в волоку, однако развивающиеся температуры могут превысить температуру перехода полимера в вязкотекучее состояние.

Поток энергии, направленный от границы контакта двух сред к центру мононити, способен расплавить ориентированный полимер, однако в процессе волочения мононить нагревается до температуры вязкотекучего состояния только по периферийному слою, и толщина (или глубина) этого слоя зависит только от амплитуды ультразвуковых колебаний и скорости, с которой мононить проходит через калибрующую зону волоки.

При постоянной температуре на границе контакта двух сред поток тепла, выходящий в моноволокно можно записать в таком виде:

$$Q = \frac{2\pi\lambda l T_{K3}}{\ln \frac{D}{D-2\Delta R}}$$

где  $\lambda$  – теплопроводность полимера;  $l$  – длина калибрующей зоны;  $T_{K3}$  – разность температур на границе контакта сред и на глубине прогрева  $\Delta R$  полимера до температуры плавления;  $D$  – диаметр волокна;  $t$  – время протягивания.

В то же время количество тепла, необходимое для нагрева полимера до плавления равно:

$$Q_{пл} = C_V m \Delta T_n,$$

где  $C_V$  – теплоемкость полимера;  $m$  – масса полимера;  $\Delta T_n$  – разность температур полимера на входе в волоку и расплавленного полимера. Масса полимера  $m = \rho V_{об}$ , где  $\rho$  – плотность;  $V_{об}$  – объем полимера:

$$V_{об} = L\pi\Delta R (D - \Delta R),$$

где  $L$  – скорость волочения, умноженная на время (длина моноволокна, проходящая через точку за единицу времени), т.е.

$$V_{об} = V_{вол} t \pi \Delta R (D - \Delta R)$$

Подставляя значения и сравнивая, получаем

$$Q = C_V \rho V_{вол} t \pi \Delta R (D - \Delta R) \Delta T_n = \frac{2\pi\lambda l t T_{K3}}{\ln \frac{D}{D-2\Delta R}}$$

После преобразования получим:

$$V_{вол} = \frac{2\lambda T_{K3} l}{C_V \rho \Delta T \Delta R (D - \Delta R) \ln \frac{D}{D-2\Delta R}}$$

Анализ полученного выражения показывает, что скорость волочения полимера для проплавления его на заданную глубину зависит от температуры, развивающейся в калибрующей зоне волоки, и температуры полимера на входе в волоку.

Ориентированная структура моноволокна в процессе проплавления разориентируется на заданную глубину, в результате чего мононить имеет центральный стержень из

высокоориентированного полимера, "одетый" в чехол из разориентированного эластичного полимера. Такая структура существенно повышает поперечную и изгибную прочность моноволокна. При изгибе моноволокно не расщепляется.

Температурные условия осуществления процесса поддерживали в определенном интервале, поскольку известно, что ниже температуры плавления процесс оплавления неосуществим, а с другой стороны – температуру калибрующей зоны волокна нельзя повышать выше разумного предела, например, поддерживать температуру выше или равной температуре деструкции полимера. То же самое можно отнести и к амплитуде ультразвуковых колебаний.

На выходе из калибрующей волокни мононити охлаждают. Дополнительно нить после оплавления может быть подвергнута отжигу в инертной атмосфере для стабилизации надмолекулярной структуры полимера.

В нашем случае для получения заготовки мононити полимера осуществляли его экструзию, для чего цилиндрическую заготовку из ПЭВП диаметром 4,0 мм и длиной 150 мм помещали в контейнер для экструзии с коническим соплом (диаметр на выходе 1,00 мм, длина сопла 100 мм) и нагревали до 110 °С, термостатировали при этой температуре и экструдировали. После выхода полимера из сопла экструзию прекращали и извлекали заготовку. Далее оттянутый конец заготовки заправляли в волоку, волоку помещали в контейнер с обогревом, нагревали систему до 104 °С и термостатировали при этой температуре. Свободный конец мононити захватывали зажимом и волочили полимер. Диаметр волокни составлял 1,01 мм. Скорость волочения – 0,1м/с. Полученную мононить далее заправляли в калибрующую волоку, соединенную с источником ультразвука, и затем волочили. Одновременно в волоке возбуждали ультразвуковые колебания. Температура в калибровочной зоне составляла 105 °С. Диаметр калибрующей волокни 1,0 мм, скорость волочения 0,5 м/с. Амплитуда ультразвуковых колебаний составляла 10 мкм при частоте колебаний 22 кГц. Прочность мононити ПЭВП до волочения через калибровочную волоку составляла 630 МПа, после волочения через калибровочную волоку с ультразвуком – 610 МПа. Глубина проплавления моноволокна составляла 20 мкм. После десятикратного изгибания мононити на угол 180° фибрилляции не наблюдаются.

Таким образом, применение ультразвуковых колебаний с амплитудой 5 – 15мкм и частотой 22 кГц, на заключительной стадии получения мононити, например, из лавсана или других термопластичных полимеров, методом протягивания их со скоростью 0,2 – 0,5м/с, позволяет получать практически не фибриллизующуюся мононить высокого качества.

#### Список литературы

1. Артемьев В.В., Клубович В.В., Рубанич В.В. Ультразвук и обработка материалов // Минск УП «Экоперспектива» 2003 – 336 с.
2. Клубович В.В., Рубанич В.В., и др. Установка для термообработки тонкой проволоки на проход: Инф. листок. Витебск: ЦНТИ, 1987. № 87-27 3 с.
3. Клубович В.В., Рубанич В.В., Барановская Г.С. Устройство для волочения металла через две волокни с воздействием ультразвуковыми колебаниями: А.с. 1014621 СССР. Опубл. в Б.И., 1983. №16.
4. Вагапов И.К. Основы теории и технологии волочения проволоки иковки микроизделий с наложением УЗК: авт. реф. дисс. д-ра технических наук. 05.16.05. Мн.: БГПА, 1991 42 с.