

Н. В. Воронин, Г. В. Рыбин*

СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Полимеры прочно заняли свое место среди большого количества применяемых сегодня конструкционных материалов. Но тем не менее, вне зависимости от самой их природы, среди исследователей, инженеров и конструкторов стоят вопросы либо получения принципиально новых материалов, либо улучшения эксплуатационных характеристик существующих путем упрочнения или иначе, модификации. В условиях современного производства наиболее популярен именно второй вариант, так как является менее затратным с точки зрения внедрения и последующего использования.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество методов упрочнения полимеров, и каждый из них применяется в зависимости от поставленных задач. В рамках данной работы предполагается провести краткий обзор самых распространенных методов упрочнения, не затрагивая узкоспециализированные. Так же будет рассмотрен разрабатываемый в настоящее время исследователями ТГТУ метод поверхностного упрочнения полимерных материалов.

1) *Ориентационное упрочнение*. По-другому именуется ориентационной вытяжкой. При использовании данного метода происходит ориентирование макромолекул полимера в направлении вытяжки при температуре выше, чем температура стеклования используемого полимера, упрочнение происходит также в направлении вытяжки. Может быть одноосной либо двухосной (для пленок). Прочность при разрыве в направлении ориентирования повышается в 2 – 5 раз, модуль упругости в направлении одноосной ориентации повышается до 2 раз. Данный метод используется в производстве высокопрочных полимерных волокон. Основной его недостаток – снижение прочностных характеристик полимера на 30...50% в направлении, перпендикулярном направлению вытяжки [1, 2].

2) *Экструзия*. Если рассматривать экструзию как технологический процесс, то это не столько упрочнение, сколько метод формования изделий из полимеров. Тем не менее, отдельные ее вариации

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» Ю. В. Родионова.

(например, равноканальная угловая экструзия, РКУЭ) может использоваться именно для улучшения механических характеристик полимера. Основным недостатком, в частности, метода РКУЭ – наличие больших сил трения в рабочем канале, что приводит к снижению производительности, а также невозможность изготовления изделий из полимеров сложной формы. Твердофазной «версией» этого процесса на данный момент занимаются исследователи НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии» [3].

3) *Упрочнение полимеров высокодисперсными частицами* (создание полимерных композиционных материалов, ПКМ). Один из самых популярных методов улучшения характеристик полимерных материалов. Суть его заключается во введении в полимерную основу (или матрицу) высокодисперсных частиц (наполнителя). Путем подбора матрицы и наполнителя достигаются лучшие физико-механические характеристики, нежели у исходного полимера. Один из его недостатков заключается в достаточно узком диапазоне процентного соотношения вещества матрицы и наполнителя – превышение некоторого критического значения зачастую ухудшает характеристики композита, слишком низкое может не дать никакого упрочняющего эффекта. Упрочнения также не будет, если размер частиц наполнителя будет больше критического из-за большей вероятности появления крупных трещин в полимере при гораздо меньших нагрузках, чем при меньшем размере частиц. Тем не менее, большая часть ПКМ создана именно этим способом.

4) *Нанесение металлических покрытий на исходную полимерную деталь*. Суть его состоит в том, что требуемый металл наносят на подготовленную полимерную деталь-основу гальваническим или иным методом (например, обрызгиванием или вжиганием). Данный способ также весьма распространен, однако его не стоит рассматривать как способ упрочнения, поскольку в таком случае происходит не повышение прочностных характеристик полимера, а получение требуемых свойств поверхности детали, в зависимости от поставленной задачи. К тому же, этот способ резко ограничивает номенклатуру используемых полимеров – зачастую из-за недостаточных адгезионных свойств.

В настоящее время исследователями ТГТУ разрабатывается новый метод магнито-термического упрочнения полимерных термопластичных материалов. В рамках этого метода сочетается воздействие на полимерную заготовку детали теплового и мощного магнитного поля вкпе с внедрением в поверхность заготовки диспергированного металлического материала нужной фракции. При этом происходит фор-

мирование на поверхности полимера поля внедренных частиц металла, и поверхность приобретает высокую поверхностную твердость и износостойкость. Все это актуально при изготовлении из полимеров шестерен, лопаток насосов и подобных деталей машин и механизмов в транспортных машинах и установках различного назначения. Особенно широко эта технология может получить распространение в АПК, так как она недорога и применима практически ко всем видам термопластичных полимеров. Следует отметить, что в данном направлении подобных работ ранее не проводилось – различные исследования магнито-термических эффектов использовались для построения моделей каких-либо процессов, либо для исследования углеродных нанотрубок. На данный момент по этой технологии возможно обработать лишь небольшие поверхности деталей. Так же особенностью является то, что используемый для упрочнения поверхности порошок должен быть изготовлен из ферромагнитного материала (чистое железо, сталь, никель и т.д.). Ведутся дополнительные исследования для расширения областей применения и совершенствования данного метода.

Существуют теоретические предпосылки создания перспективного метода упрочнения армированных нуль-мерными наполнителями полимеров, заключающегося в создании повышенной концентрации частиц металла в необходимом месте, к примеру, около поверхности полимерной заготовки. В этом случае речь может вестись о своего рода «направленной ликвации». Такой метод может быть применен как для деталей, изготовленных методом экструзии или спекания, так и для деталей, напечатанных на 3D-принтере, однако для его отработки необходимы дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

Выводы.

1. Самым массовым на сегодняшний день методом упрочнения полимеров является создание ПКМ путем введения частиц наполнителя в полимерную матрицу.
2. Активно разрабатываются теоретические базы и проводятся практические исследования перспективных методов упрочнения изделий полимерных материалов.
3. Указанные в докладе перспективные методы упрочнения полимерных материалов требуют доработки и дополнительных исследований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках исследований по гранту (договор № 20-33-90298\20).

Список литературы

1. Полимерные нанокомпозиты и изделия на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), полученные объемной штамповкой в твердой фазе / Г. С. Баронин, В. М. Бузник, С. В. Мищенко и др. // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы VIII Междунар. науч.-инновац. молодежной конф. – Тамбов, 2016. – С. 28 – 33.
2. Теоретические исследования контактных и изгибных напряжений лопаток рабочего колеса и корпуса жидкостнокольцевого вакуумного насоса из полимеров / Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов, А. И. Скоморохова и др. // Наука в центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 85 – 97.
3. Manufacturing products from polymers and polymerbased composite materials by solid phase pressure forming: problems, solutions and prospects / D. Yu. Kobzev, P. V. Kombarova, G. S. Baronin et al. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 15th. – 2015. – P. 127 – 134.