

УДК 676.085.4

Н.Р. Прокопчук, д-р хим. наук, проф., член-корр. НАН Беларуси;  
А. Ю. Ключев, д-р техн. наук, проф.; И. О. Лаптик, инж.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ МОДЕЛЬНОГО СОСТАВА ДЛЯ ТОЧНОГО ЛИТЬЯ НАНОАЛМАЗНЫМИ ЧАСТИЦАМИ**

Метод литья по выплавляемым моделям, благодаря преимуществу по сравнению с другими способами изготовления отливок, получил значительное распространение. Он позволяет максимально приблизить отливки к готовой детали, а иногда получить литую деталь без дополнительной обработки перед сборкой.

В настоящее время на рынке стран ЕАЭС присутствуют достаточно эффективные модельные составы, производимые фирмами США, Германии, России, и модельные составы, производимые белорусским ОАО «Завод горного воска». Базовым вариантом нескольких типов модельных составов, выпускаемых этим предприятием, является ЗГВ-1, применяемый на ряде предприятий России и Беларуси [1]. Он уступает зарубежным аналогам по теплостойкости, но отличается от них меньшей стоимостью из-за использования в его составе доступных, недорогих компонентов. Модельный состав ЗГВ-1 применяется для получения отливок из многих литейных сплавов.

Теплостойкость – способность материала не размягчаться при его нагревании до определенной температуры. Высокая теплостойкость модельных составов особенно важна при производстве сверхточных деталей больших геометрических размеров во избежание потери формы модели, особенно при повышенных температурах воздуха в цеху в летний период времени.

Целью исследования является создание модельного состава для точного литья повышенной теплостойкости путем связывания компонентов дополнительными физическими взаимодействиями, создаваемыми наноалмазными частицами (ультрадисперсный алмаз сухой порошок (УДА-СП), ультрадисперсный алмаз в толуоле (УДА Т), ультрадисперсный алмаз в бутилацетате (УДА БА), ультрадисперсный алмаз водный концентрат (УДА ВК), алмазосодержащая шихта (АШ-А) (производства НПЗАО «Синта» (г. Минск, Беларусь).

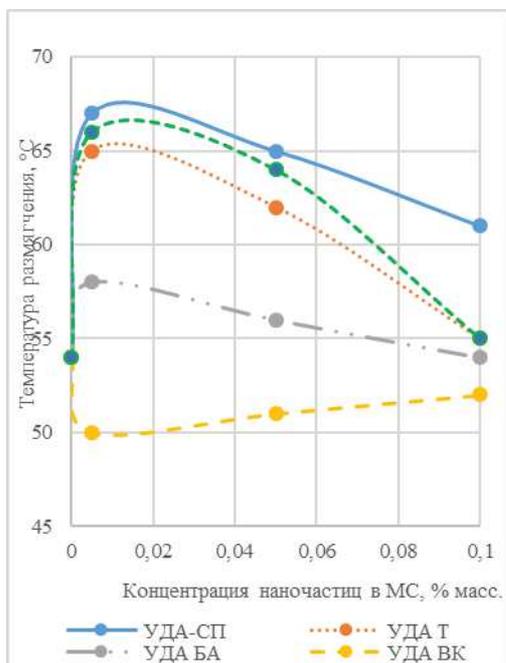
Объектами исследования служили: модельный состав ЗГВ-1, наноалмазные частицы – алмазосодержащая шихта марки АШ-А (ТУ РБ 100056180.003-2003) и ультрадисперсный синтетический алмаз марки УДА (ТУ РБ 28619110.001-95). Характеристика углеродных наноматериалов приведены в статье [2].

Температура размягчения модельных составов немодифицированного ЗГВ-1 и содержащих разные концентрации АШ-А и УДА определяли по ГОСТ 23863-79 на аппарате типа ИКАР. За температуру размягчения принимали среднее арифметическое четырех показаний термометра для каждого образца. Расхождения между наиболее отличающимися показаниями термометра не превышали 0,8 °С.

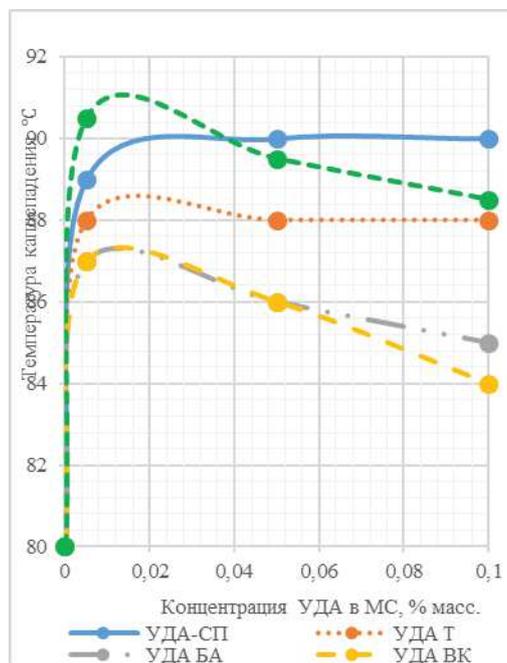
Температурой каплепадения называют температуру, при которой капля олигомера отделяется от равномерно нагретой массы испытуемого вещества под действием собственного веса. Температура каплепадения определяется на приборе Уббеллоде [3].

Модельный состав, содержащий наночастицы, получали путем введения в него расчетного количества (% масс.) 0,005; 0,01; 0,05; 0,1 УДА-СП, УДА Т, УДА БА, УДА ВК, АШ-А порциями, предварительно перемешивая нагретую массу ЗГВ-1 до жидкого состояния на мешалке типа ИКА RW 20 digital со скоростью 220 об/мин. в течение 30 минут.

На рис. 1 и 2 представлены экспериментальные данные по влиянию концентрации наноалмазных частиц, введенных в модельный состав ЗГВ-1, на температуру размягчения и температуру каплепадения по Уббеллоде модифицированного композиционного состава ЗГВ-1.



**Рисунок 1 – Зависимость температуры размягчения от концентрации наночастиц**



**Рисунок 2 – Зависимость температуры каплепадения по Уббеллоде от концентрации наночастиц**

Из рисунков видно, что зависимости температур размягчения и температур каплепадения по Уббеллоде от концентрации наноал-

мазных частиц по своему характеру схожи. В начале при малых концентрациях АШ-А (0,005 % масс.) наблюдается резкий рост температур. Затем этот рост прекращается и при содержании наночастиц 0,02 % масс. наблюдается снижение теплостойкости (температуры размягчения). При больших концентрациях 0,05 % масс. и 0,1 % масс. наблюдается дальнейшее снижение теплостойкости наномодифицированного модельного состава ЗГВ-1. Таким образом, оптимальной концентрацией наноалмазных частиц АШ-А в ЗГВ-1 является концентрация 0,01 % масс. Экспериментальный характер зависимостей на рисунках 1 и 2 можно объяснить следующим образом. В области концентраций наночастиц 0,001–0,005 % масс. формируется пространственная физическая сетка в результате взаимодействия энергетически активной поверхности наночастиц с карбоксильными и гидроксильными группами компонентов, входящих в состав модельного состава ЗГВ-1. При концентрации наночастиц 0,01 % масс. эта сетка наиболее однородная и плотная. При дальнейшем увеличении содержания наночастиц в композиции в начале нарушается однородность физической сетки, а затем и ее плотность из-за сближения наночастиц и их агрегации.

Для модификации ЗГВ-1 частицами УДА эти закономерности в основном сохраняются. Исключение составляет ведение наномодификатора УДА ВК: значение  $T_r$  и  $T_{уб}$  ниже, чем у немодифицированного образца, что можно объяснить несовместимостью УДА ВК с компонентами модельного состава ЗГВ-1. Эффект повышения теплостойкости модификатором УДА БА при его малых концентрациях 0,005 мас. % составляет всего 2–3 °С. Таким образом, наиболее эффективны в повышении теплостойкости модельного состава ЗГВ-1 наночастицы АШ-А и УДА СП.

Достигнутое повышение теплостойкости модельного состава ЗГВ-1 при очень малых концентрациях наноалмазных частиц имеет практическое значение: температура размягчения повышается на 12–13 °С, а температура каплепадения по Уббеллоде возрастает на 9–10 °С.

Предложен механизм повышения теплостойкости состава ЗГВ-1: наноалмазные частицы с большой нескомпенсированной поверхностной энергией взаимодействуют друг с другом, образуя цепочечные и далее сетчатые структуры; компоненты модельного состава, взаимодействуя по полярным карбоксильным и гидроксильным группам, также образуют физическую сетку, удерживающую компоненты в композиции; две физические сетки пронизывают друг друга, образуя таким образом систему взаимопроникающих сеток. При нагревании

модельного состава до температуры размягчения физические связи в основном разрушаются, а при его охлаждении связи восстанавливаются, композиция затвердевает. Этот обратимый процесс можно осуществить несколько раз без потери теплостойкости модельного состава. Поэтому его можно использовать повторно для получения литых деталей, что повышает конкурентоспособность состав ЗГВ-1.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев А.Ю., Прокопчук Н.Р. Новые направления переработки и использования сосновой живицы – Минск, БГТУ. 2020. – 412 с.
2. Прокопчук Н.Р., Глоба А.И., Лаптик И.О., Сырков А.Г. Улучшение свойств покрытий по металлу нанодиазными частицами // Цветные металлы. – 2021. № 6. – С. 55–58.
3. Прокопчук Н.Р., Сырков А.Г., Ключев А.Ю., Лаптик И.О. Модификация нанодиазными частицами модельного состава для точного литья по выплавляемым моделям // Нанопизика и наноматериалы: сборник научных трудов международного симпозиума, Санкт-Петербург, 24–25 ноября 2021 г. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 234–239.

УДК 678.4.029.66(043.3)

В.В. Боброва, асп.;  
А.В. Касперович, канд. техн. наук, зав. кафедрой ПКМ;  
Р.М. Долинская, канд. хим. наук, доц (БГТУ, Минск);  
С.Г. Тихомиров, д-р техн. наук, проф.  
(ВГУИТ, Воронеж, Российская Федерация)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ ЭЛАСТОМЕРА**

Действие ионизирующего излучения представляется признанным и универсальным методом инициирования химических и физико-химических превращений в полимерах и мономерах. Данные превращения изменяют свойства вещества вследствие образования поперечных связей, разрыва связей в основной и боковой цепях, устранения и образования двойных углерод-углеродных связей, внутримолекулярных связей и других эффектов. Известные взаимосвязи данных процессов позволяют направленно изменять состав поверхностных слоев в полимерах и композитах и придавать им улучшенные или уникальные