

**В.В. ИВЖЕНКО**, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудн.,

ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев,

**В.А. ПОПОВ**, вед. инж., ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев,

**Г.Ф. САРНАВСКАЯ**, вед. инж., ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН

Украины, Киев,

**Л.Д. ЧУЙКО**, инж., ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев;

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНЖЕКЦИОННОГО ЛИТЬЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАСС НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ НИТРИДОВ КРЕМНИЯ И АЛЮМИНИЯ**

Приведены результаты технологического исследования влияния состава термопластичных масс на основе порошков нитрида алюминия, нитрида кремния и парафина, параметров инъекционного литья на выход годных заготовок изделий.

**Введение.** Технологию инъекционного формования (ИФ) изделий из керамических и металлокерамических материалов все шире используют в промышленности индустриально развитых стран и она наиболее эффективна при производстве деталей сложных форм. Суть этой технологии заключается в получении термопластичных литейных систем из порошков тугоплавких соединений в смеси с органическими связующими и последующем заливании этих систем в металлические формы под давлением 10 – 50 МПа с помощью машин инъекционного литья плунжерного или шнекового типа. Заготовки подвергают термической обработке для удаления связующего и спеканию при предусмотренной температуре [1]. Благодаря применению повышенного давления при формовании технология ИФ обеспечивает получение изделий наиболее сложных форм и значительно увеличивает выход годных изделий за счет уменьшения количества дефектов в виде раковин, пор и повышения механических свойств материала заготовки и изделия.

Цель настоящей работы – исследовать взаимосвязь эффективного градиента температуры при инъекционном литье термопластичных масс на основе порошков нитрида кремния, нитрида алюминия, парафина и их состава, давления инъектирования, формы изделия. Эта работа является развитием ранее проведенных в ИСМ НАН Украины исследований инъекционного формова-

ния изделий из технической керамики [2 – 4].

**Методика эксперимента.** Для исследований использовали:

- шихту на основе порошка нитрида алюминия печного синтеза (Донецкий завод химических реактивов, Украина) со средним размером частиц 1,2 мкм и удельной поверхностью 4,2 м<sup>2</sup>/г; для активации спекания нитрида алюминия в шихту вводили 5 % (по массе) оксида иттрия;

- шихту на основе порошка нитрида кремния, полученного методом СВС (Макеевский филиал ОКТЬБ ИПМ НАН Украины), со средним размером частиц 1,3 мкм и удельной поверхностью 6,2 м<sup>2</sup>/г; для активации спекания нитрида кремния в шихту вводили 7 % (по массе) оксида магния.

В работе использовали термопластичное связующее на основе парафина и пчелиного воска.

Соотношение компонентов составляло 94 % (по массе) парафина и 6 % (по массе) пчелиного воска. Инжектирование при давлении 2,0 – 9,5 МПа проводили на установке для инжекционного литья термопластичных масс, имеющей систему вакуумирования рабочего объема [5], при давлении 0,5 МПа – на установке для горячего шликерного литья. При этом использовали формы для получения пластин размером 32 × 45 × 6,3 мм и сопла для аргоно-дуговой сварки (АДС, рис. 1).



Рис. 1 – Сопло для аргоно-дуговой сварки

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате технологических исследований установлено, что при температуре в рабочем цилиндре ниже 60 °С и при давлениях 0,5 – 9,5 МПа инжектирование термопластичной массы в пресс-форму не происходит. При температуре выше 82 °С в питателе установки значительно вспучивается масса. В этой связи исследования проводили в интервале температур 60 – 82 °С.

На рис. 2 представлены зависимости минимальной температуры инжек-

тирования, при которой происходит бездефектное формирование заготовок, от концентрации связующего в порошковой системе 95 мас. % AlN – 5 мас. % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при литье пластин и сопел для АДС.

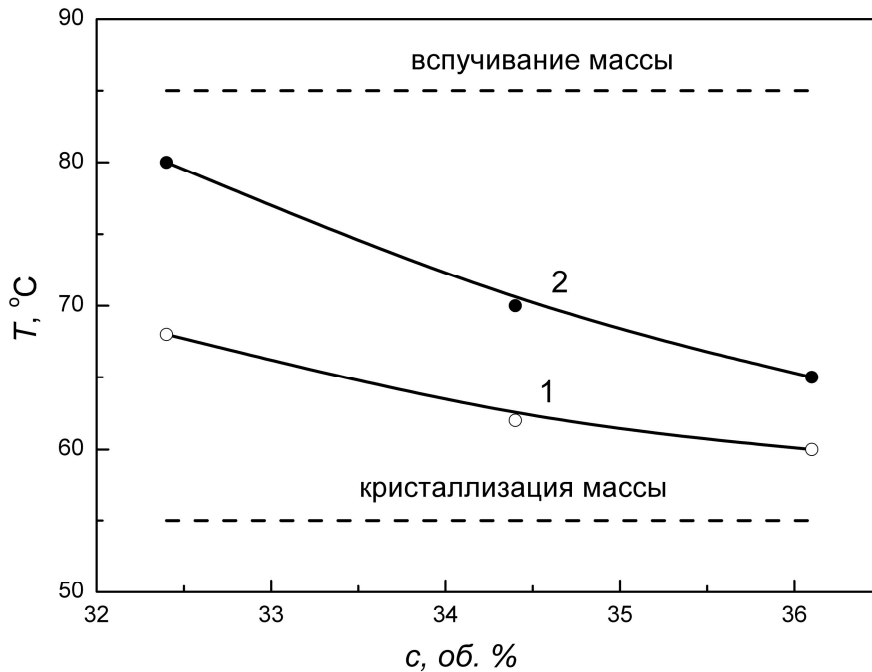


Рис. 2 – Зависимость минимальной температуры процесса от концентрации связующего в порошковой системе 95 мас. % AlN – 5 мас. % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при литье заготовок пластин 32 × 45 × 6,3 мм (1) и заготовок сопел для АДС (2)

Термопластичная масса с концентрацией связующего 36,1 об. % инжектируется без видимых дефектов при литье заготовок пластин при температуре процесса 60 – 82 °C, заготовок сопел – при температуре 65 – 82 °C. При уменьшении концентрации связующего до 32,4 об. % (при увеличении вязкости массы с 14 до 26 Па·с) эффективный интервал температуры инжектирования уменьшается до 68 – 82 °C при литье пластин и 80 – 82 °C при литье сопел.

При увеличении давления формования с 0,5 до 2,0 – 9,5 МПа эффективность процесса увеличивается и инжектирование массы в камеру пресс-формы происходит при температурах выше 60 °C, однако наблюдается неполное заполнение полости формы или неслияние потоков литейной системы.

Аналогичные результаты получены при исследовании процесса инжекционного литья термопластичных масс на основе порошка нитрида кремния с концентрацией связующего 45,1; 42,8 и 42,1 %.

На рис. 3 представлены зависимости минимальной температуры инжектирования от концентрации связующего в порошковой системе 93 масс. %  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – 7 масс. %  $\text{MgO}$  при литье пластин и сопел для АДС.

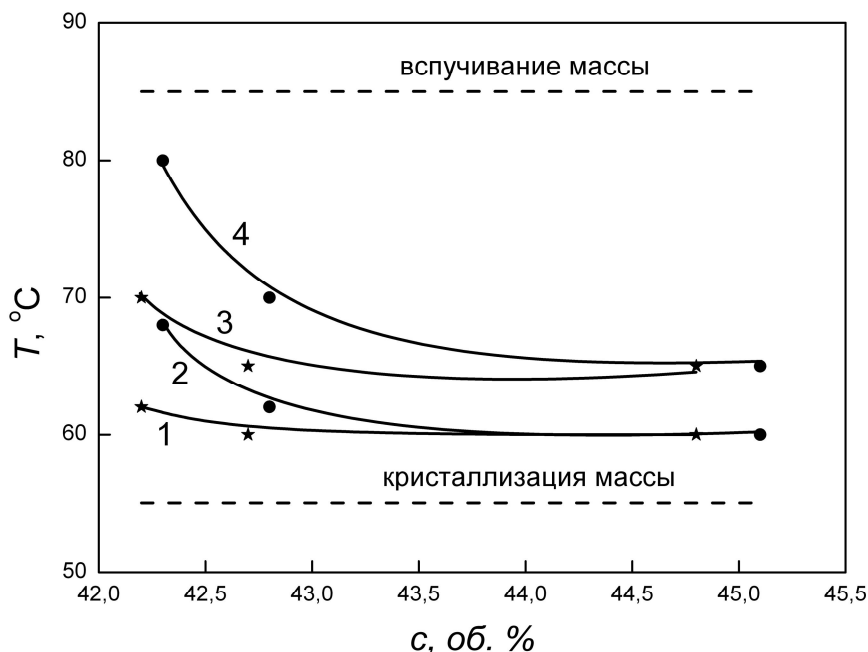


Рис. 3 – Зависимость минимальной температуры процесса от концентрации связующего в порошковой системе 93 масс. %  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – 7 масс. %  $\text{MgO}$  при литье модельных образцов (пластины  $32 \times 45 \times 6,3$  мм): 1,  $\xi$  – масса с агломерированными образованиями частиц порошка; 2,  $\bullet$  – масса на основе шихты 93 масс. %  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – 7 масс. %  $\text{MgO}$ ; при литье заготовок сопел для АДЗ: 3,  $\xi$  – масса с агломерированными образованиями частиц порошка; 4,  $\bullet$  – масса на основе шихты 93 масс. %  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – 7 масс. %  $\text{MgO}$ .

При литье заготовок пластин эффективный интервал температуры инжектирования уменьшается с 60 – 82 до 68 – 82 °C при уменьшении концентрации связующего на 3,0 об. % (при увеличении вязкости термопластичной массы с 15 до 25 Па·с). При литье заготовок сопел эффективный интервал температуры инжектирования уменьшается с 70 – 82 до 80 – 82 °C.

На основе полученных результатов можно сделать вывод: основными параметрами, определяющими эффективность инжекционного литья являются температура процесса, вязкость термопластичной массы и, в меньшей степени, давление формования.

При исследовании процесса инжектирования термопластичной массы на основе порошка нитрида кремния с агломерированными образованиями частиц порошка, имеющей вязкость 16 – 18 Па·с, установлено, что эффективный

интервал температуры инжектирования увеличивается (рис. 3, кривые 1, 3).

Уменьшение вязкости массы с 20 Па·с (концентрация связующего 42,8 об. %) до 16 Па·с (агломерированные образования частиц порошка, концентрация связующего 42,7 об. %) обеспечивает прохождение процесса инъекционного литья заготовок пластин при температуре 60 °С и давлении 0,5 МПа, а заготовок сопел – при температуре 65 °С и давлении 0,5 МПа.

Уменьшение вязкости массы с 25 Па·с (концентрация связующего 42,1 об. %) до 18 Па·с (агломерированные образования частиц порошка, концентрация связующего 42,2 об. %) обеспечивает прохождение процесса литья заготовок пластин при температуре 62 °С и давлении 0,5 МПа, заготовок сопел – при температуре 70 °С и давлении 0,5 МПа.

На рис. 4 представлены зависимости минимальной температуры инжектирования от вязкости массы при литье заготовок пластин и сопел из термопластичных масс на основе нитрида алюминия и нитрида кремния.

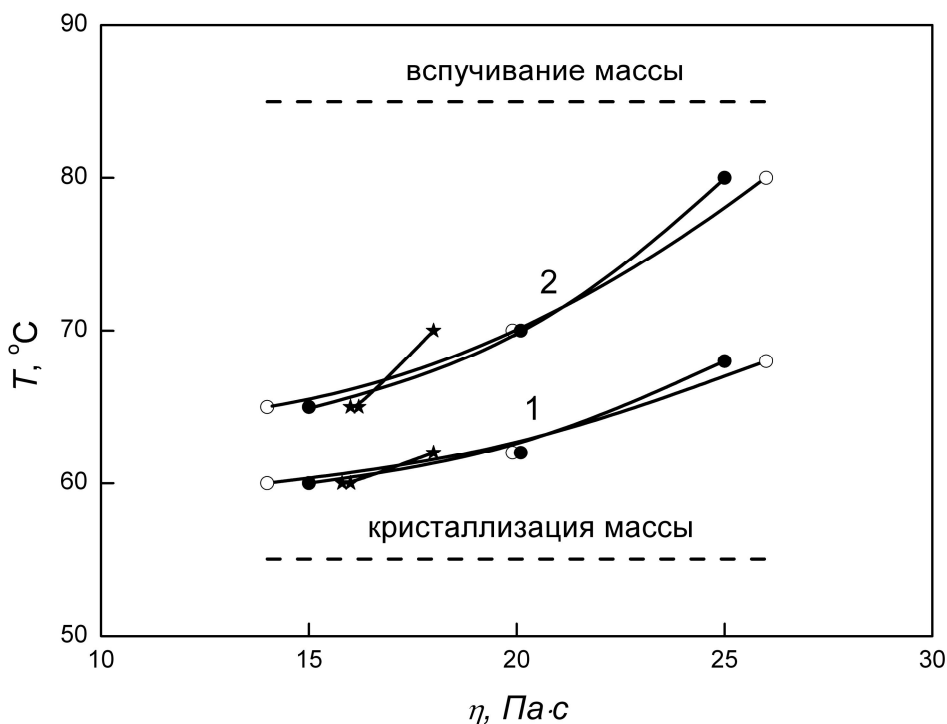


Рис.4. Зависимость минимальной температуры процесса от вязкости массы при литье заготовок пластин 32 × 45 × 6,3 мм (1) и заготовок сопел (2): ○ – масса на основе шихты 95 масс. % AlN – 5 масс. % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ● – масса на основе шихты 93 масс. % Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> – 7 масс. % MgO, ξ – масса с агломерированными образованиями частиц порошка Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> – MgO.

Эффективный интервал температуры инжектирования уменьшается с

60 – 82 °С до 68 – 82 °С (при литье пластин) и с 65 – 82 °С до 80 – 82 °С (при литье сопел) при увеличении вязкости массы с 14 до 26 Па·с и не зависит от состава термопластичной массы.

Уменьшение эффективного интервала температуры инжектирования для заготовок сопел (кривые 2) по сравнению с заготовками пластин (кривые 1) связано с тонкостенностью изделия, что приводит к высоким скоростям охлаждения термопластичной массы.

### **Выводы.**

Основными параметрами, которые определяют эффективный интервал температуры инжектирования, являются вязкость термопластичной массы и, в меньшей степени, давление формования.

Эффективный интервал температуры инжектирования уменьшается с 60 – 82 °С до 68 – 82 °С, а в тонкостенных изделиях – с 65 – 82 °С до 80 – 82 °С при увеличении вязкости с 14 до 26 Па·с.

При использовании термопластичной массы с агломерированными образованиями частиц порошка нитрида кремния при концентрации связующего 42,1 – 42,2 об. % эффективный интервал температуры инжектирования увеличивается вследствие уменьшения вязкости массы с 25 до 18 Па·с с 68 – 82 °С до 62 – 82 °С, а при инжектировании тонкостенных изделий – с 80 – 82 °С до 70 – 82 °С.

**Список литературы:** 1. *Beebhas C. Mutsuddy. Injection molding / Beebhas C. Mutsuddy // Ceramic and Glasses. – 1991. – Vol. 4. – P. 173 – 180.* 2. *Новиков Н.В. Экспериментальные исследования и моделирование инжекционного литья изделий сложных форм из технической керамики / [Н.В. Новиков, В.В. Ивженко, А.А. Лещук и др.] // Сверхтвердые матер. – 2004. – № 5. – С. 3 – 19.* 3. *Ивженко В.В. Исследование процесса смешивания термопластичных масс на основе порошков тугоплавких соединений и парафина / В.В. Ивженко, В.А. Попов, Г.Ф. Сарнавская // Сверхтвердые матер. – 2008. – № 3. – С. 56 – 61.* 4. *Ивженко В.В. Исследование влияния параметров инжекционного литья термопластичных масс на основе порошков AlN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiC, WC на процесс формования заготовок / В.В. Ивженко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2008. – Вып. 11. – С. 407 – 411.* 5. *Новиков Н.В. Оборудование для инжекционного литья термопластичных масс на основе керамических и металлокерамических порошков / [Н.В. Новиков, В.В. Ивженко, В.А. Попов и др.] // Порошковая металлургия. – 2004. – № 9 – 10. – С. 119 – 127.* 6. *Ивженко В.В. Исследование влияния параметров инжекционного литья на физико-механические свойства керамики на основе нитрида алюминия / [В.В. Ивженко, И.П. Фесенко, Н.В. Новиков и др.] // Сверхтвердые материалы. – 2008 – № 4. – С. 53 – 60.*

*Поступила в редколлегию 21.08.12*

**Исследование процесса инъекционного литья изделий из термопластичных масс на основе порошков нитридов кремния и алюминия / В.В. ИВЖЕНКО, В.А. ПОПОВ, Г.Ф. САРНАВСКАЯ, Л.Д. ЧУЙКО // Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 48 (954). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 67 – 73. – Библиогр.: 6 назв.**

Наведені результати технологічного дослідження впливу складу термопластичних мас на основі порошків нітриду алюмінію, нітриду кремнію і парафіну, параметрів інжекційного лиття на вихід придатних заготовок виробів.

The results of the technological study of the effect of thermoplastic mass composition on the basis of aluminum nitride, silicon nitride powders and paraffin, the parameters of injection molding, on the yield of good products have been reported.

**Д.О. КАПУСТІН**, асп., СНУ ім. В.Даля, Луганськ

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОТРАНСПОРТУВАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ ЗАЛИШКІВ ВІД СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ ПАЛИВ**

В статті викладаються матеріали експериментальних досліджень по визначенню втрат тиску та ефективних коефіцієнтів лінійних втрат на тертя і місцеві опори при транспортуванні концентрованих золових відходів, які проявляють властивості неньютонівської рідини, в сталому режимі по трубопроводу постійного діаметру, що має прямолінійну ділянку та повороти на 90° і 180°.

**Постановка проблеми.** В умовах світової економічної нестабільності та подорожчання основних енергоносіїв актуальним є впровадження енергосберегаючих технологій та підвищення енергоефективності використовуваних систем і комплексів.

На Україні близько 30 % електричної енергії виробляють ТЕС, де видалення твердих залишків організовано системами гідрозоловидалення (ГЗВ). Одним з основних недоліків таких систем є низька ефективність гідротранспорту за рахунок великої кількості рідини на одиницю транспортованого матеріалу (до 50 – 80 м<sup>3</sup> води на тону твердого матеріалу). Витрати на утриман-

© Д.О. Капустін, 2012