

УДК 621.762.4

В. В. Ивженко, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНЖЕКЦИОННОГО ЛИТЬЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАСС НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ AlN , Si_3N_4 , SiC , WC НА ПРОЦЕСС ФОРМОВАНИЯ ЗАГОТОВОК

The purpose of work consisted in experimental researches of influence of parameters of injection moulding on process of formation of preparations from thermoplastic weights on the basis of powders AlN , Si_3N_4 , SiC , WC and paraffin.

Введение

Технология инжекционного формования (ИФ) является наиболее перспективной для получения изделий сложных форм из керамических и металлокерамических материалов. Технология ИФ является аналогом технологии горячего шликерного литья с последующим спеканием и состоит из пяти этапов [1]: подготовка порошков с необходимым гранулометрическим составом частиц и морфологией; получения гомогенной смеси порошков со связующими веществами; выдавливание через инжектор смеси в пресс-форму, рабочая полость которой соответствует конфигурации формуемого изделия; удаление связующего из заготовок; уплотнение заготовок при температурах спекания материалов. Указанные технологии отличаются тем, что при горячем шликерном литье используется давление сжатого воздуха до 0,5 МПа, а при ИФ на этапе инжекционного литья – давление до 50 МПа, развиваемое с помощью машин плунжерного и шнекового типов. При горячем шликерном и инжекционном литье в качестве связующего обычно применяют термопластичные связки. При этом полученная термопластичная масса должна иметь минимальную концентрацию связующего, необходимую для образования литейной системы, обеспечивать минимальную объемную усадку и максимальную прочность материала заготовки. В качестве основы термопластичных связующих для керамических и металлокерамических порошков наиболее приемлемыми являются парафиновые связки [2, 3]. Для улучшения литейной способности в их состав вводят поверхностно-активные вещества: олеиновую и стеариновую кислоты, животные жиры, пчелиный воск и др.

Основными параметрами инжекционного литья заготовок из термопластичных масс являются температура смеси, скорость инжектирования, давление на термопластичную массу смеси в форме, скорость охлаждения заготовки [4]. Параметры процесса обычно подбираются опытным путем с соблюдением следующих правил: скорость подачи смеси при заполнении должна быть постоянной; расплавленная смесь при заполнении не должна кристаллизоваться; скорость инжектирования должна обеспечивать заполнение критических участков формы и литниковой системы.

Цель работы состояла в экспериментальных исследованиях влияния параметров инжекционного литья на процесс формования заготовок из термопластичных масс на основе порошков AlN , Si_3N_4 , SiC , WC и парафина.

Методика эксперимента

Для исследований использовали следующие порошки тугоплавких соединений:

- шихту на основе порошка нитрида алюминия печного синтеза (Донецкий завод химических реактивов, Украина) со средним размером частиц 1,2 мкм и площадью удельной поверхности 4,2 м²/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 ОКТБ ИПМ НАН Украины), со средним размером частиц 1,3 мкм и площадью удельной поверхности 6,2 м²/г. Для активации спекания нитрида кремния в шихту вводили 7 % (по массе) оксида магния;
- порошок карбида кремния печного синтеза (Запорожский абразивный комбинат, Украина) со средним размером частиц 5 мкм;
- шихту на основе карбида вольфрама и кобальта со средним размером частиц 1,1 мкм и фазовым составом (по массе) 86 % WC, 14 % Co.

В работе использовали термопластичное связующее на основе парафина и воска. Соотношение компонентов следующее: 94 % (по массе) парафина, 6 % (по массе) пчелиного воска. Подготовку термопластичных масс проводили на трехскоростном смесительном устройстве установки для горячего шликерного литья [5]. Исследовали термопластичные массы с различной концентрацией связующего и соответственно вязкостью. Кроме того, исследовали термопластичную массу на основе порошка карбида кремния дисперсностью 5 мкм с агломерированными образованиями частиц порошка [6]. Характеристики исследуемых термопластичных масс при температуре 65 °С приведены в табл. 1.

Процесс инъекционного литья при давлении 2,0 – 9,5 МПа исследовали на установке для инъекционного литья термопластичных масс, имеющей систему вакуумирования рабочего объема [7]. Эксперименты при давлении 0,5 МПа проводили на установке для горячего шликерного литья. Инъекционное литье осуществляли путем заполнения металлической пресс-формы термопластичной массой, разогретой до заданной температуры, и выдержки под давлением в течение времени, необходимого для охлаждения массы в форме. В работе использовали форму для получения изделий размером 32×45×6,3 мм (объем – 9,1 см³). Время выдержки под давлением после инъектирования массы в пресс-форму определили на основании исследований, приведенных в [8]: оно составляло 8 с. При исследовании процесса оценивали изделия на наличие таких типичных для технологии горячего шликерного литья дефектов, как недолив и неслитины [2]. Недолив – это дефект, вызванный отверждением литейной системы до полного заполнения объема камеры формы. Неслитины – результат неполноценного слияния нескольких потоков шликера из-за сильного охлаждения и затвердения поверхностных слоев вещества литейной системы.

Таблица 1. Характеристики исследуемых термопластичных масс

№ п/п	Состав шихты (по мас- се), %	Средний размер частиц порошка, мкм	Содержание связующего, %		Вязкость, Па·с (при T = 65 °C)
			по массе	по объему	
1	95 % AlN, 5 % Y ₂ O ₃	1,2	12,5	34,4	20
2	95 % AlN, 5 % Y ₂ O ₃	1,2	11,6	32,4	26
3	93 % Si ₃ N ₄ , 7% MgO	1,3	17,3	42,8	20
4	93 % Si ₃ N ₄ , 7% MgO	1,3	16,9	42,1	25
5	100 % SiC	5,0	21,1	48,9	28
6*	100 % SiC	5,0	21,4	49,4	11
7	85 % WC, 15 % Co	1,1	5,5	47,5	24

*Термопластичная масса с агломерированными образованиями частиц порошка.

Результаты и их обсуждение

В процессе экспериментов установлено, что при температуре в рабочем цилиндре ниже 60 °C и исследуемых давлениях формования 0,5–9,5 МПа инжектирования термопластичной массы в пресс-форму не происходит. При температуре выше 82 °C в питателе установки значительно вспучивается термопластичная масса. В этой связи исследования проводили в интервале температур 60–82 °C. Результаты исследования влияния температуры, давления формования при инъекционном литье на характер дефектов в модельных образцах из термопластичных материалов приведены в табл. 2.

Результаты экспериментов показали, что термопластичная масса на основе порошка нитрида алюминия с концентрацией связующего 34,4 % (по объему) инжектируется без видимых дефектов в модельных образцах при температуре процесса 62–82 °C. При температуре процесса 60 °C и давлении формования 0,5 МПа инжектирования массы в камеру пресс-формы не происходит. С увеличением давления до 2,0–9,5 МПа камера заполняется, однако в образцах наблюдаются такие дефекты, как недолив и неслитины.

Инжектирование термопластичной массы с концентрацией связующего 32,4 % (по объему) происходит без видимых дефектов только при температуре 68–82 °C. При температуре процесса 60 °C и давлении формования 2,0–9,5 МПа камера пресс-формы полностью не заполняется, а при температуре 62 °C и давлении формования 2,0–9,5 МПа в сформованных заготовках наблюдаются неслитины. При температуре 62 °C и давлении формования 0,5 МПа инжектирования массы в камеру не происходит.

Таким образом, при уменьшении концентрации связующего на 2 % (при увеличении вязкости термопластичной массы с 20 до 26 Па·с) эффективный интервал температур инжектирования уменьшается. С увеличением давления формования с 0,5 до 2,0–9,5 МПа эффективность процесса повышается и инжектирование исследуемых термопластичных масс в камеру пресс-формы происходит при температуре 60 °C. Однако при этом наблюдается неполное заполнение объема формы или неслияние потоков массы.

Аналогичные результаты получены при исследовании процесса инъекционного литья термопластичных масс на основе порошка нитрида кремния с концентрацией связующего 42,8 и 42,1 % (по объему). Эффективный интервал температур инжектирования уменьшается

с 62–82 до 68–82 °С при уменьшении концентрации связующего на 0,7 % (при увеличении вязкости термопластичной массы с 20 до 25 Па·с).

Таблица 2. Влияние режимов инжекционного литья и характеристик термопластичных масс на характер дефектов в модельных изделиях из термопластичных материалов

№ п/п	Характеристики термопластичной массы			Давление, МПа	Характер дефектов при температуре, °С					
	Шихта	Концентрация связующего, об. %	Вязкость, Па·с		60	62	68	74	76	82
1	AlN–Y ₂ O ₃	34,4	20	0,5	~	.	.	–	.	.
2	AlN–Y ₂ O ₃	34,4	20	2,0	□	.	.	–	.	.
3	AlN–Y ₂ O ₃	34,4	20	9,5	□	.	.	–	.	.
4	AlN–Y ₂ O ₃	32,4	26	0,5	~	~	.	–	.	.
5	AlN–Y ₂ O ₃	32,4	26	2,0	□	0	.	–	.	.
6	AlN–Y ₂ O ₃	32,4	26	9,5	□	0	.	–	.	.
7	Si ₃ N ₄ –MgO	42,8	20	0,5	~	.	.	–	.	.
8	Si ₃ N ₄ –MgO	42,8	20	2,0	□	.	.	–	.	.
9	Si ₃ N ₄ –MgO	42,8	20	9,5	□	.	.	–	.	.
10	Si ₃ N ₄ –MgO	42,1	25	0,5	~	~	.	–	.	.
11	Si ₃ N ₄ –MgO	42,1	25	2,0	□	0	.	–	.	.
12	Si ₃ N ₄ –MgO	42,1	25	9,5	□	0	.	–	.	.
13	SiC	48,9	28	0,5	~	~	.	–	.	.
14	SiC	48,9	28	2,0	□	0	.	–	.	.
15	SiC	48,9	28	9,5	□	0	.	–	.	.
16	SiC	49,4	11	0,5	~	.	.	–	.	.
17	SiC	49,4	11	2,0	□	.	.	–	.	.
18	SiC	49,4	11	9,5	□	.	.	–	.	.
19	WC–Co	47,5	24	0,5	~	.	.	.	Θ	–
20	WC–Co	47,5	24	2,0	0	.	.	.	Θ	–
21	WC–Co	47,5	24	9,5	0	.	.	.	Θ	–

Примечание. ~ – нет заполнения; □ – недолив; 0 – неслитины; . – нет дефектов; Θ – расслоение массы.

Исследование процесса инжекционного литья термопластичных масс на основе порошка карбида кремния показало, что термопластичная масса вязкостью 28 Па·с инжектируется в камеру пресс-формы аналогично термопластичным массам на основе нитрида алюминия с вязкостью 26 Па·с и на основе нитрида кремния с вязкостью 25 Па·с. При исследовании процесса инжектирования термопластичной массы на основе порошка карбида кремния с агломерированными образованиями частиц порошка, имеющей вязкость 11 Па·с, установлено, что эффективный интервал температур инжектирования увеличивается. Уменьшение вязкости массы с 28 до 11 Па·с обеспечивает прохождение процесса инжекционного литья при температуре 62 °С и давлении 0,5 МПа.

Как показали результаты исследований, термопластичная масса на основе карбида вольфрама инжектируется при более низких температурах процесса – 62–74 °С. При темпера-

туре процесса 76 °С инжектирование массы в пресс-форму невозможно из-за расслоения в объеме рабочего цилиндра на парафин и порошок. Очевидно, такое различие эффективного интервала температур инжектирования термопластичных масс на основе керамических и металлокерамических порошков связано со значительным различием удельной массы порошков; с повышением температуры до 76 °С значительно уменьшается вязкость литейной системы, тяжелые частицы карбида вольфрама не удерживаются молекулярными связями со связующим и оседают под действием силы тяжести.

На основании полученных результатов приходим к выводу, что основными параметрами, определяющими эффективность инжекционного литья, являются температура процесса, вязкость термопластичной массы и в меньшей степени давление формования.

Литература

1. German R. M. Powder injection molding // Metal Powd. Industr. Fed. (MPIF), Princeton, USA. – 1990. – 521 p.
2. Грибовский П. О. Керамические твердые схемы. – М.: Энергия, 1971. – 448 с.
3. Li Y., Huang B., Qu X. Viscosity and melt rheology of metal injection moulding feedstocks // Powder Metallurgy. – 1999. – 42. – N 1. – P. 86–90.
4. Mutsuddy B. C. Review of binder removal processes for ceramics injection molded parts // Proc. Gorhum Adv. Mat. Inst. “Injection Molded and Sintered Metal, Ceramic and Cermet Parts”. San Diego, USA. – 1987. Feb. 1–3.
5. Технологическое исследование закономерностей инжекционного формования изделий сложной формы из технической керамики и компьютерная оптимизация процесса: Отчет о НИР / ИСМ НАН Украины. – № ГР 0101U006189. – К., 2005. – 153 с.
6. Ивженко В. В., Попов В. А., Сарнавская Г. Ф. Исследование процесса смешивания термопластичных масс на основе порошков тугоплавких соединений и парафина // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 3. – С. 56–61.
7. Оборудование для инжекционного литья термопластичных масс на основе керамических и металлокерамических порошков /Новиков Н. В., Ивженко В. В., Попов В. А. и др. // Порошковая металлургия. – 2004. – № 9–10. – С. 119–127.
8. Экспериментальные исследования и моделирование инжекционного литья изделий сложных форм из технической керамики /Новиков Н. В., Ивженко В. В., Лещук А. А. и др. // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 5. – С. 3–19.

Поступила 29.05.08