



УДК 621.74.045

Поступила 04.10.2016

ТОЧНОЕ ЛИТЬЕ В КЕРАМИЧЕСКУЮ ФОРМУ – ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

PRECISION CASTING INTO DISPOSABLE CERAMIC MOLD – A HIGH EFFICIENCY METHOD OF PRODUCTION OF CASTINGS OF IRREGULAR SHAPE

*Б. И. УВАРОВ, П. Е. ЛУЩИК, Унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ
«Политехник», г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24. E-mail: pavel86lu@gmail.com,*

*А. А. АНДРИЦ, Л. П. ДОЛГИЙ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: a6584595@gmail.com,*

А. В. ЗАБЛОЦКИЙ, ЗАО «БелВирТел», г. Минск, Беларусь, ул. Лукьяновича 10. E-mail: zabl64@gmail.com

*B. I. UVAROV, P. E. LUSHCHYK, The unitary enterprise the BNTU «Politekhnik» Scientific and
Technological Park, Minsk, Belarus, 24, Kolasa str., E-mail: pavel86lu@gmail.com,*

*A. A. ANDRITS, L. P. DOLGIY, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
E-mail: a6584595@gmail.com,*

A. V. ZABLOTSKIY, CJSC Belvirtel, Minsk, Belarus, 10, Luk'yanovich str. E-mail: zabl64@gmail.com

В работе показаны преимущества и недостатки методов точного литья в разовые формы. Доказана перспективность использования усовершенствованной технологии точного литья в керамическую форму при изготовлении фасонных отливок.

The article shows the advantages and disadvantages of precision casting into disposable ceramic molds. The high quality shaped castings produced by modernized ceramic molding process are proved the reliability and prospects of this advanced technology.

Ключевые слова. Точное литье, керамическая форма, литейное производство, изготовление фасонных отливок.

Keywords. Precision casting, ceramic form, foundry production, production of shaped castings.

Литейное производство является заготовительной базой машиностроения, авиационной и космической отрасли, военно-промышленного комплекса. Сегодня уже невозможно обойтись без деталей, отлитых из металла, большинство сложных технических изделий содержат отливки определенной конфигурации, выполненные из разных металлов по различным литейным технологиям. Но отливки ненадлежащего качества снижают надежность и конкурентоспособность продукции, подрывают доверие к компании-производителю, приводят к потере рынков. Это касается большинства техники, производимой в республике, от нефтяных насосов и большегрузных карьерных автомобилей до сложных изделий ВПК.

Литейное производство – многосегментная отрасль, использующая десятки литейных технологий, методов формообразования, формовочных материалов, сплавов и оборудования, отрасль, требующая глубоких познаний во многих смежных науках и отраслях, развивающаяся неравномерно по ряду причин. В Республике Беларусь литейное производство модернизируется в основном путем закупок импортного формовочного и плавильного оборудования для массового производства отливок в песчано-глинистых и холоднотвердеющих формах. Современные автоматические формовочные линии типа Дизаматик позволяют производить средние и мелкие отливки хорошего качества по стандартным технологиям. При этом существует достаточно большой сегмент изделий с повышенными техническими требованиями к литым компонентам и без внедрения передовых технологий невозможно получить литье требуемого

качества. В литейных цехах практически не используются компьютерные программы моделирования литейных процессов по причине отсутствия квалифицированных специалистов и дорогостоящего лицензионного программного обеспечения. В результате большинство отливок изготавливается по устаревшим технологиям с применением неоправданно больших припусков на механическую обработку, а с поверхности отливок срезается самый прочный слой – «литейная корочка». Кроме того, из-за недостаточной технологической проработки отливки поражены литейными дефектами, такими, как усадочная и газовая пористость, горячие или холодные трещины, пригар на поверхности литья, отливки имеют коробление и низкую точность. Затраты на исправление брака, высокая трудоемкость механообработки повышают себестоимость деталей, а дефекты, скрытые и даже устраненные, снижают рабочий ресурс изделий. Указанных дефектов можно избежать применением передовых литейных технологий и формовочных материалов, а в технологической подготовке производства необходимо использовать хорошо зарекомендовавшие себя программы моделирования техпроцессов и проектирования оснастки.

К сожалению, в Беларуси с трудом находят развитие технологии и производства, позволяющие получать отливки с окончательными размерами (Near Net Shape Casting), к которым относятся процессы точного литья в керамические формы, по выплавляемым и постоянным моделям. Мировая практика показывает, что это перспективные направления развития. Существующие в республике цехи литья по выплавляемым моделям производят в основном мелкое литье массой от 0,02 до 2 кг крупными сериями (от 10 тыс. шт.) по высоким ценам. При этом используется единая техника размещения отливок вокруг центрального стояка, так называемая «ёлка», подходящая только для производства мелких отливок. Габаритное корпусное алюминиевое и стальное литье по выплавляемым моделям, необходимое отечественным производителям спецтехники, закупается за рубежом, в РБ не существует производств такого типа. Из-за отсутствия нужных технологий затрудняется воплощение в металле новых конструкторских разработок ученых и инженеров, снижается экспортный потенциал страны. Существует острая необходимость в организации производства единичных и мелкосерийных точных отливок для быстрого изготовления опытных образцов техники и оснастки.

Сотрудниками научно-технологического парка БНТУ «Политехник» и научно-исследовательской части БНТУ разработана и проходит производственные испытания инновационная технология точного литья, не имеющая аналогов. Основой послужила (Sol-Gel) золь-гель технология превращения жидкого золя связующего в твердый гель при определенных условиях и катализаторах процесса. В мире известны близкие литейные технологии под названиями Shaw-процесс, Din-процесс и Unicast-процесс, но разработанная технология значительно проще и дешевле в осуществлении. Оригинальные ноу-хау (комплекс устройств, технологических секретов и методов работы) позволяют изготавливать уникальные сложные и точные отливки с минимумом механообработки из любых литейных сплавов практически без ограничения по размерам и развесу литья (от нескольких граммов до сотен килограммов), в том числе тонкостенное корпусное литье и отливки со сложными внутренними полостями (рис. 1).

К примеру, производство изнашиваемой технологической оснастки по новой технологии позволит значительно снизить себестоимость продукции по сравнению с механообработкой из проката, сократить цикл производства, повысить коэффициент использования металла, в несколько раз снизить трудоемкость изготовления, сэкономить электроэнергию, транспортные расходы, технологические материалы и самое важное – многократно переплавлять отработанную оснастку. Снижается потребность в использовании дефицитного металлопроката, дорогостоящего обрабатывающего оборудования и металлорезающего инструмента (электроэрозионные станки и обрабатывающие центры, фрезы, сверла, расшивки, отрезные круги и т. д.).

Область применения разработанной технологии очень широка, неполный перечень приведен ниже:

- 1) обрезающие матрицы и пуансоны для удаления облоя кузнечного производства;
- 2) прессовые и гибочные штампы, вставки ковочных штампов;



Рис. 1. Примеры отливок, изготавливаемых методом точного литья в керамическую форму

- 3) поддерживающие и кантующие ролики для высокоскоростных прокатных станов стальной арматуры и проволоки;
- 4) пресс-формы для литья пластмасс, резины (обувь, полиуретановые подошвы, автомобильные и мотоциклетные шины и т. д.);
- 5) пресс-формы для литья и прессования стекла, хрусталя (формы и пуансоны для изготовления бутылок);
- 6) литейные кокили (постоянные металлические формы) для производства отливок из цветных сплавов (алюминий, латунная гидроарматура, сантехнические краны, фитинги и т. д.);
- 7) пресс-формы литья под давлением ЛПД цветных металлов;
- 8) вставки стержневых ящиков и литейные модели для автоматических формовочных линий;
- 9) пустотообразующие пуансоны для прессования силикатного кирпича;
- 10) цельнолитые матрицы (пресс-формы) и пуансоны для сухого вибропрессования бетонного камня (блоки, тротуарная плитка);
- 11) накатной инструмент (плиты клиновой прокатки, резьбонакатные ролики);
- 12) рабочие колеса и направляющие аппараты нефтяных насосов;
- 13) сегменты брикет-прессов для брикетирования стружки и отходов;
- 14) матрицы и прессующие ролики для производства комбикормов и древесных топливных гранул (пеллеты) из опилок и измельченных твердых отходов;
- 15) сегменты мельящей гарнитуры дисковых и конических мельниц для помола щепы, отходов дерева, резины (шин), пластмассы и других твердых отходов;
- 16) калибровочные конусы и протяжки;
- 17) ножи промышленных мясорубок;
- 18) фрезы и сверла больших диаметров для обработки дерева и металла;
- 19) гребные винты водных судов;
- 20) художественные скульптуры и орнаменты художественного литья.

Технология постоянно совершенствуется и подтверждаются ее многочисленные преимущества. Литейная керамическая форма изготавливается по высокоточным моделям, имеет линии разреза и может состоять из нескольких частей. Это позволяет обнаружить любой возможный дефект поверхности формы и отремонтировать его до сборки и заливки металла в форму. При правильном расчете усадки металла возможно получить отливку с точностью до 0,1 мм. Такая точность достаточна для производства литых ковочных вставок, обрезных матриц и пуансонов, литейных кокилей и постоянных металлических форм и многих других изделий без последующей механообработки рабочей гравюры. Отрезаются только питающие прибыли и литники. Применение специальных съемников модели позволяет использовать модели отливки без литейных уклонов. Это дает возможность получать литые вертикальные поверхности без последующей обработки. Форму и стержни изготавливают из жидкоподвижной керамической суспензии путем заливки суспензии в промежуток между моделью и опорным слоем (рис. 2).

Суспензия состоит из жидкого связующего, огнеупорных пылевидных и зернистых составляющих и гелеобразователя. Связующее готовится по специальной технологии путем проведения реакции ги-

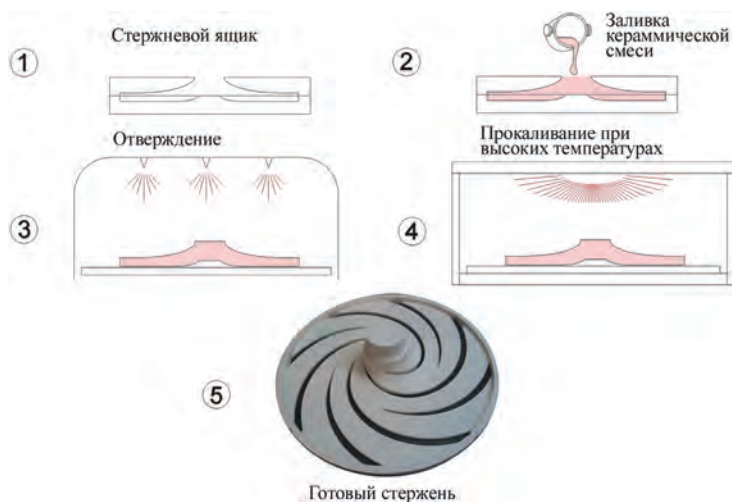
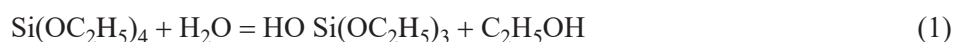


Рис. 2. Процесс изготовления керамических стержней (форм) [1]

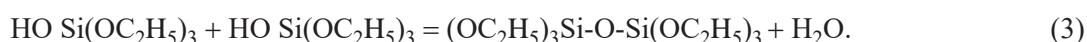
дролитической поликонденсации этилсиликата в среде общих органических растворителей, так как вода и этилсиликат нерастворимы друг в друге. Без подходящего растворителя реакция гидролиза этилсиликата идет только на поверхности контакта фаз. Существует множество способов приготовления связующего: одноступенчатый и многоступенчатый методы гидролиза, кислотный и щелочной. В зависимости от прочности керамики, которую нужно получить, содержание условного %SiO₂ в связующем варьируется от 12 до 20%. Полнота проведения гидролиза этилсиликата влияет на живучесть и связующие свойства. Степень гидролиза определяется количеством введенного кислотного катализатора и воды. Реакция дролитической поликонденсации этилсиликата является экзотермической, необходимо охлаждать раствор, чтобы температура не повышалась выше 45 °С. Приобретение связующих свойств этилсиликатом основано на способности эфиров ортокремниевой кислоты отщеплять этоксильную группу при действии воды и катализатора:



или



Продукты гидролиза затем конденсируются с выделением воды:



За счет выделившейся воды полученные соединения снова гидролизуются:



В результате одновременно происходящих процессов гидролиза и поликонденсации образуются полимерные соединения линейного, разветвленного, циклического и пространственного строения. Гидролиз и сопутствующая ему поликонденсация продолжают непрерывно в течение всего технологического процесса: при приготовлении связующего и суспензии и их хранении (старение связующего), при изготовлении и отверждении форм, даже при выжигании растворителя и прокаливании. От структуры формирующихся полисилоксанов и условий их окончательного отверждения (перехода в гель SiO₂) зависят физико-механические характеристики керамических форм.

В качестве огнеупорного наполнителя керамической суспензии можно использовать дешевые пылевидный кварц и зернистый песок, но качество литья существенно выше при применении цирконового концентрата, муллита, электрокорунда или плавленного кварца. Степень наполнения суспензии огнеупорными составляющими определяется жидкотекучестью суспензии и сложностью рельефа модели. Чем мельче помол пылевидной фракции, тем четче отпечаток модели на керамике. После отверждения керамической суспензии до резиноподобного состояния модель извлекают из формы, а форму прокаливают для удаления паров растворителя. Керамическая форма чрезвычайно точно воспроизводит мельчайшие детали рельефа модели, имеет гладкую поверхность, обладает исключительной стабильностью размеров и устойчивостью к жестким термическим ударам, не имеет усадки.

Перед заливкой металлом керамическая форма прокаливается при температуре 1000 °С в течение 1–2 ч в термической печи или газовой горелкой для удаления оставшихся этоксильных групп этилсиликата. После прокаливания форма является абсолютно инертной, вся органика выгорает, форма не газотворна, но имеет низкую газопроницаемость, что учитывается при разработке технологии отливки. Чтобы получить четкое воспроизведение отливкой тончайших особенностей рельефа формы, ее необходимо заливать в горячем состоянии. Ввиду повышенной плотности керамики на поверхности раздела «металл-форма» происходит быстрый отвод тепла от жидкого металла и его кристаллизация (как в кокиле) и образуется мелкозернистый слой металла отливки повышенной плотности. Для устранения недоливов и неспаев при производстве тонкостенного литья металл заливают в формы, нагретые до температуры 600–800 °С. Толщиной керамического слоя регулируется скорость отвода тепла от металла отливки и осуществляется необходимая направленность кристаллизации тепловых узлов. Возможна организация принудительного охлаждения отдельных элементов формы после заливки металла. Использование огнеупорных наполнителей с различными коэффициентами теплопроводности и аккумуляции тепла для изготовления отдельных элементов одной формы облегчает создание направленности кристаллизации. Кроме того, перед заливкой металла можно нагреть до высоких температур определенные места керамической формы газовой горелкой. Отливки быстро кристаллизуются в керамических формах и легко отделяются от керамики. Так как толщина керамики обычно составляет от 0,5 до 2,0 см, то отходов об-

разуется немного. Расход формовочных материалов снижается в несколько раз по сравнению с традиционными методами формовки. Все отходы керамики экологически безопасны, состоят только из чистого кварца SiO₂ и могут быть использованы для приготовления дорожных или строительных смесей.

Таким образом, усовершенствованная технология точного литья в керамическую форму является перспективным и высокоэффективным способом изготовления фасонных отливок, практически без ограничения по массе и геометрии.

Литература

1. Core Making [Электронный ресурс] // Unicast Development Company [Офиц. сайт]. URL: <http://unicastdev.com/core-making>.

Международные выставки и мероприятия по литью и металлургии в 2017 году

Дата	Наименование мероприятия	Место проведения	Сайт
03–05 февраля	IFEX-Международная выставка технологий, оборудования и материалов для литья	Индия, г. Калькутта	www.itexindia.com
09–11 марта	Metal & steel Middle East – Международная выставка по производству стали, литью и металлообработке	Египет, г. Каир	www.metalsteelegy.com
23–25 марта	EUROSTAMPI- Выставка европейских форм и штампов, прессов и инжекционного оборудования	Италия, г. Парма	www.eurostampi.biz
28–30 марта	13 международный Форум – лом черных и цветных металлов	Россия, г. Москва	www.lomrusmet.ru
04–07 апреля	Powder Metallurgy – Порошковая металлургия- материалы, технологии и оборудование для порошковой металлургии	Беларусь, г. Минск	www.minskexpo.com
12–15 апреля	INTERMOLD- Международная выставка технологии производства форм и штампов	Япония, г. Токио	www.intermold.jp
08–11 мая	AISTech – Международная конференция и выставка по технологиям чугуна и стали	США, г. Нэшвилл	www.aist.org
17–18 мая	Конференция «Дни литья в Германии» – организует Ассоциация литья Германии	Германия, г. Дюссельдорф	www.afsinc.org
17–19 мая	STEEL – Сделано из стали. Выставка и конференция по производству стали	Италия, г. Милан	www.madeinsteel.it
23–26 мая	CAST-EX Международная выставка по литью и литейным технологиям	Словакия, г. Нитра	www.eventseye.com
30 мая – 2 июня	ЭКСПО по отливкам, инструментам, изготовлению моделей	Германия, г. Штутгарт	www.messe.stuttgart.de
5–8 июня	ЛИТМАШ – металлургия – литмаш, трубы России, алюминий, цветмет	Россия, г. Москва	
6–9 июня	METALFORUM Выставка металлургии, литейного оборудования и металлов	Польша, г. Познань	
11–15 июня	12 Европейская Конференция по неразрушающим методам контроля	Швеция, г. Стокгольм	www.ndtsweden.com
13–16 июня	МЕТАЛЛ + МЕТАЛЛУРГИЯ КИТАЯ – 15 Международная ЭКСПО по литью, Выставка промышленных печей	Китай, г. Шанхай	www.mm-china.com/en/
20–22 июня	ROSMOULD Литые формы, литье под давлением, штампы	Россия, г. Москва	www.rosmould.com
21–24 июня	METEF –международная выставка по производству алюминия	Италия, г. Верона	www.metef.com
22–23 июня	Международная конференция по вагранчному литью	Германия, г. Саабрюкен	
28–30 июня	Литье под давлением, литье и выставка промышленных печей (плюс пять выставок)	Китай, г. Гуанчжоу	
19–21 июля	Алюминий Китай – технологии и производство алюминия	Китай, г. Шанхай	
12- 17 сентября	Цветные металлы и минералы Международная выставка и Конгресс	Россия, г. Красноярск	
25–27 сентября	METAL 25–ая Международная ярмарка и технологии литья	Польша, г. Кельце	www.targikielce.pl
18–20 октября	25 -ая Международная научно-техническая конференция и выставка «Литейное производство и металлургия 2017. Беларусь»	Беларусь, г. Минск	www.alimrb.by
24–26 октября	Международная выставка по чистке поверхностей	Германия, г. Штутгарт	www.parts2clean.com