

В.С. Дорошенко, к. т. н., ст. науч. сотр. (Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев)

## Современная технология изготовления металлических отливок для производства компрессорного оборудования

*Представлены особенности технологии литья чугуна, стали и цветных сплавов по газифицированным моделям. Показаны значительные технические и экономические преимущества процесса по сравнению с традиционными литейными технологиями. Приведены примеры изготовления деталей для различных машиностроительных изделий.*

**Ключевые слова:** литье, отливка, газифицированная модель, форма, песок, пенопласт, оборудование, цех.

*Представлені особливості технології литва чавуну, сталі й кольорових сплавів по газифікованих моделях. Показані значні технічні й економічні переваги процесу в порівнянні із традиційними ливарними технологіями. Приведені приклади виготовлення деталей для різних машинобудівних виробів.*

**Ключові слова:** литво, виливок, газифікована модель, форма, пісок, пінопласт, обладнання, цех.

*The features of technology of casting of cast-iron, steel and coloured alloys are presented, on the installed gas models. Considerable technical and economic advantages of process are rotined as compared to traditional castings technologies. The examples of making of details are resulted for different machine-building wares.*

**Keywords:** casting, founding, installed gas model, form, sand, foam plastic, equipment, workshop.

Развитие реального производства с сокращением временных и материальных затрат требует применения наукоемких технологий для выпуска изделий с высокой добавленной стоимостью, т.к. именно в них в наибольшей мере используются современные научно-технические достижения, позволяющие сохранить природные ресурсы. Это способствует опережению роста общественной производительности труда над ростом потребления, импортозамещению, а также важному для отечественной экономики переходу от экспорта продукции металлургической промышленности к экспорту машиностроительной.

Промышленники в достаточной мере знакомы с одной из современных технологий получения металлических отливок – литьем по газифицируемым моделям (ЛГМ). Разработкой и совершенствованием этой технологии в Институте ФТИМС НАН Украины занимается под руководством профессора О.И. Шинского специализированный отдел ФХПФ. Отдел поставляет оборудование и

организовывает реконструкцию литейных цехов [1].

Литейные цеха относят к промышленным производствам, наиболее загрязняющим окружающую среду. В России свыше 77% отливок металлических деталей получают в песчаных формах, которые при традиционных технологиях являются основными источниками выделения газов, загрязняющих атмосферу и состоящих, в основном, из продуктов испарения и горения связующих материалов формовочного песка. Количество сыпучих отходов формовочных смесей достигает до 4 т на 1 т получаемых отливок.

По технологии ЛГМ (Lost Foam Casting Process) модели изготавливают из пенополистирола или других пенопластов и помещают в формы из сухого песка без связующего. За 50 лет с начала применения ЛГМ годовой объем выпуска отливок в мире этим способом приближается к 1,5 млн. тонн. Хотя этот способ по традиции относят к специальным видам литья, ЛГМ, в результате заимствования достижений вакуумной формовки и технологии самотвердеющих смесей (ХТС), в

настоящее время успешно применяется для получения отливок весом от 0,1 кг до нескольких тонн, составляя конкурентное направление во всех видах песчаной формовки.

Конкуренция при рыночных отношениях требует от литейного производства быстрого обновления продукции. Массовое производство заменяется мелкими и средними сериями отливок с повышенной размерно-весовой точностью. Развитие литейного производства базируется, в основном, на создании самостоятельных не крупных цехов с гибкими технологиями получения отливок высокой точности и сложности. Для этого метод ЛГМ оказался наиболее подходящим вместо литья в песчано-глинистые формы, по выплавляемым моделям, в металлические формы или другими способами. В способе литья ЛГМ формирование модели уже наповину предопределяет возможность получить качественную отливку из металла. Пенопластовая модель отливки по виду напоминает упаковку телевизора или разовую пищевую тарелку, которые штампуются на автоматах миллионами штук. По

аналогичной технологии для серии отливок производят модели из порошка полистирола в легких алюминиевых пресс-формах при нагреве до 130°C. Для разовых и крупных отливок (иногда весом до нескольких тонн) модели вырезают из плит пенопласта на гравировально-фрезерных станках с ЧПУ. В последнее время большое количество модификаций таких станков появилось на рынке по доступной цене [2, 3]. Модель и полученная по ней отливка имеют высокую точность и конкурентный товарный вид, чему способствует окраска модели быстросохнущей краской с порошковым огнеупором.

Модель по форме представляет собой отливку, что позволяет уточнить ее размеры, в том числе и толщину стенок. При обычной формовке сложных с несколькими стержнями моделей такие измерения выполнить невозможно. Смещение стержней и форм при сборке отсутствует, так как отсутствуют сами стержни (рис. 1). Литейщики не привыкли к таким возможностям технологии ЛГМ и качеству литья, что тормозит понимание потенциала этой технологии. По сути, разъемная литейная форма как бы «исчезла» в ее традиционном понимании, ее заменила литейная форма в виде засыпки модели сухим песком в ящике (контейнере). При заливке такой формы металл замещает модель, испаряя ее.

Экологическая безопасность технологического процесса обеспечивается исключением из при-

менения токсичных связующих, большого объема формовочных и стержневых песчаных смесей, транспортировки их и удаления из отливок. Например, масса 1 м<sup>3</sup> модели из пенополистирола составляет 25-27 кг. При замещении его 7-ю тоннами жидкого чугуна на 1 т литья расходуется  $\approx 25/7=3,6$  кг полимера. Тогда как в формах из смоляных холодно-твердеющих смесей (ХТС) при потреблении 3% связующего на 3 т смеси на 1 т литья расход составляет  $0,03 \times 3000 = 90$  кг полимерного связующего, или в  $90/3,6=25$  раз больше. Чтобы пенопластовая модель не выделяла в цех испарений при заливке металла в форму и в период его затвердевания, из контейнера отсасывают вакуумным насосом все газы при разрежении  $\approx 500$  кПа [4]. Отсасываемые газы через трубу вакуумной системы подают для обезвреживания в систему термokatалитического дожигания, где они окисляются до уровня не менее 98% и в виде водяного пара и двуокиси углерода удаляются в атмосферу за пределами помещения цеха. Традиционные формы после заливки металлом выделяют в помещение цеха токсичные газы даже при самой эффективной вентиляции рабочей зоны участка заливки. Такое удаление газов из сухого песка формы согласно проведенным измерениям концентраций примесей в воздухе цеха в 10-12 раз снижает показатели загрязнения атмосферы рабочей зоны цеха по сравнению с литьем в традиционные песчаные

формы. Формовочный кварцевый песок после извлечения отливок из формы, благодаря его высокой текучести, обычно транспортируют по закрытой системе трубопроводов пневмотранспорта, исключаящей выделение пыли в воздух цеха [5]. Песок поступает в установку терморегенерации, в которой освобождается от остатков конденсированных продуктов деструкции пенополистирола, а затем после охлаждения в проходных закрытых охладителях подается снова на формовку при использовании около 97% оборотного песка. Технологическая схема использования песка в технологии ЛГМ показана на рис. 2.

Значительную часть бункеров, трубопроводов и оборудования комплекса по охлаждению и складированию оборотного песка обычно монтируют за пределами помещения цеха у внешней его стены, при этом сухой песок не образует конгломерат при отрицательных температурах и быстрее охлаждается на открытом воздухе. Изолирование в закрытых трубопроводах потока песка, отсасывание из формы и последующая нейтрализация газов в сочетании с достаточным чистым модельным производством дает возможность создать экологически чистые цеха высокой культуры производства (рис. 3).

Технологические потоки и пространственное размещение моделей в объеме контейнерной формы выполняются с помощью компьютерных программ, а при изготовлении



а



б



в

**Рис. 1. Модели и отливки:** а) запорной арматуры; б) алюминиевых патрубков; в) корпуса насоса из износостойкой стали для перекачки пульпы в горнорудной промышленности

модельной оснастки применяют 3D-графику для программирования станков с ЧПУ. Растущий поток патентной информации свидетельствует о возросшем интересе к технологии ЛГМ практически всех ведущих машиностроительных компаний. Созданы, проектируются и внедряются в производство десятки видов конвейерных, оснащенных манипуляторами, и линий непрерывного действия, которые хорошо зарекомендовали себя в автотракторном моторостроении. В мелкосерийном производстве выполняется литье трубопроводной арматуры, деталей насосов, корпусов электродвигателей, деталей коммунального машиностроения и др. (рис. 4). Однако чаще создаются небольшие производственные цеха, состоящие из модельного, формовочного, плавильного и очистного участков. Они оснащаются простым оборудованием, пригодным для литья черных и цветных сплавов.

По технологии ЛГМ изготовление форм состоит в заполнении моделей сухим песком с вибрацией в течение около 1-1,5 минуты. При этом отпадает потребность в высокоточных формовочных машинах прессования, встряхивания, устройствах сборки форм. При производстве моделей из легкого материала с плотностью 25-26 кг/м<sup>3</sup> целесообразно применение женского труда с расположением участков на верхних этажах зданий. Для серийного производства отливок поставляются полуавтоматы, на которых цикл производства пенопластовых моделей составляет ≈ 2, 5...3 мин. Такое оборудование

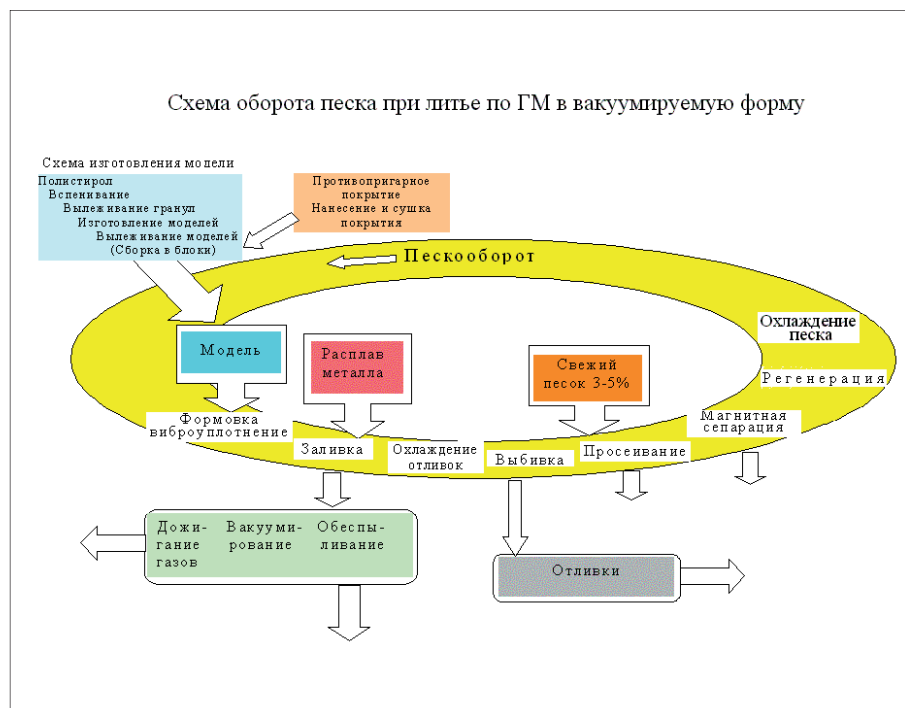


Рис. 2. Схема оборота песка в технологии ЛГМ

применяется в упаковочной отрасли, где его используют для производства фасонной упаковки, легкой тары, а также декоративных панелей и элементов фасада.

Способом ЛГМ получают отливки из чугуна, всех видов стали, бронзы, латуни и алюминия литейных марок. В формовочном ящике с расположением форм в виде «елки» или «куста» возможно выполнить десятки отливок, как в ювелирном производстве, обычно с почти «ювелирной» точностью. До 90% отливок можно применять без механической обработки.

Цеха и участки с гибкой технологией ЛГМ широко распространены во всем мире. Большинство крупнейших автопроизводителей Европы и Америки ежегодно ис-

пользуют в производимых автомобилях несколько сотен тысяч тонн точных отливок, полученных способом ЛГМ. General Motors, Ford Motors, BMW, Fiat, VW, Renault и ряд других фирм полностью перешли в 1980-90 г.г. на изготовление отливок блоков цилиндров, головок блока, впускных и выпускных коллекторов, коленвалов для наиболее массовых типов 4-х и 3-х цилиндровых двигателей методом ЛГМ [1]. Институт ФТИМС НАН Украины на протяжении тридцати лет совершенствует технологию ЛГМ. Институт спроектировал оборудование и организовал пуск ряда участков в России, поставил и внедрил такое оборудование во Вьетнаме. Крупный объект – литейный цех на 400 тонн отливок в месяц действует

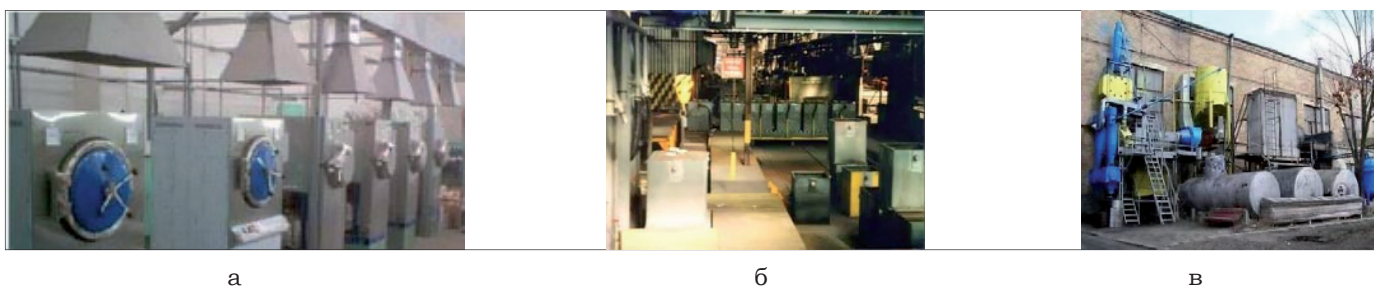
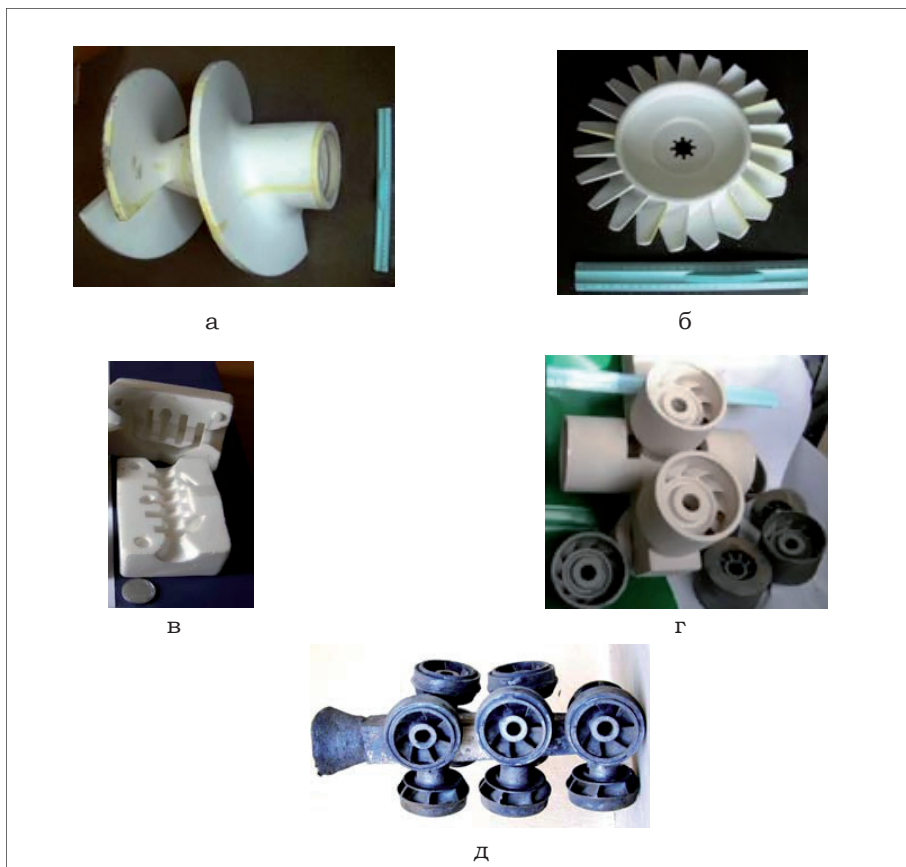


Рис. 3. Внешний вид: а – модельного цеха с рядом автоклавов; б – формовочно-заливочного участка с контейнерными песчаными формами; в – участок (линия) очистки и охлаждения оборотного песка литейного цеха опытного производства ФТИМС НАНУ





**Рис. 4. Внешний вид ГЛМ моделей и отливок:**

а – шнек; б – крыльчатка вентилятора;  
в – распределительный вал; г – блок рабочих колес насоса;  
д – блок отливок колес насоса

в г. Днепропетровске (Украина). В настоящее время институт поставляет заводам базовое оборудование для литья 100-5000 т/год с различной степенью механизации.

На опытном производстве ФТИМС в Киеве изготавливают отливки из черных и цветных металлов массой 0,1-1500 кг до 50 т /месяц, отрабатывают технологию и оснастку для новых цехов, проектируют оборудование и линии под программу и площади заказчика, которое затем поставляют литейным предприятиям под ключ. Выполняется пуско-наладка всего комплекса поставленного оборудования и внедрение технологии ЛГМ. Изготовление пресс-форм для моделей часто выполняют точным литьем.

Значительная экономия достигается при литье сложных отливок из износостойких сталей (шнеки для машин производства кирпича, била, молотки и детали дробилок), т. к. резко снижаются затраты на их механическую обработку. Литье

выполняется без ограничений по конфигурации конструкций колес, звездочек, корпусов, сантехнических изделий, головок и блоков цилиндров бензиновых и дизельных двигателей, художественного литья и др. Капитальные затраты на организацию производства сокращаются в 2-2,5 раза, также как и сроки ввода его в эксплуатацию. Легко разместить такие участки при кузнечных, термических, ремонтных и других цехах.

Производственный потенциал технологии ЛГМ далеко не исчерпан и настолько значителен, что она позволяет получать не только отливки из металлов и сплавов, но и формировать композиты и армированные конструкции, которые обладают повышенными в несколько раз служебными свойствами. При этом в модель предварительно устанавливают различные детали или материалы, которые составляют композит или армированную конструкцию, а давлением газа на

жидкий металл увеличивают стабильность пропитки таких изделий со вставками на длину свыше 1м.

### Выводы

Применение технологии литья по газифицированным моделям представляется перспективным при изготовлении деталей компрессорных машин, таких как картеры, блоки цилиндров, клапанные коробки, коленчатые валы, коллекторы теплообменных аппаратов, патрубки и др. Наряду с повышением качества отливок и снижением затрат на литье, технология ЛГМ позволяет создавать конструкции деталей с композиционным формированием металла с высокими механическими свойствами.

### Список литературы

1. Дорошенко В. С., Шинский И. О., Бердыев К.Х. Структура цеха литья по газифицируемым моделям и особенности его проектирования // Металл и литье Украины, 2010.- №4. – С. 8 – 16.
2. Дорошенко В. С., Бердыев К. Х., Шинский И.О. Обобщение опыта изготовления пенополистироловых литейных моделей // Металл и литье Украины, 2010.- №5. – С. 14 – 19.
3. Бердыев К. Х., Дорошенко В. С. Проходное оборудование для получения пенопластовых литейных моделей // Станочный парк. – Санкт-Петербург, 2010. – №1-2. – С. 36-37.
4. Дорошенко В. С., Бердыев К. Х., Болюх В.А. Вакуумные системы формовочно-заливочных участков цехов ЛГМ.// Металл и литье Украины, 2010.- №7. – С. 32 – 37.
5. Дорошенко В. С., Шинский И. О., Бердыев К.Х. Оборудование непрерывного действия для литья по газифицируемым моделям // Процессы литья, 2009.- №2. – С. 56 – 61.
6. Рыбаков С. А. Инновационные возможности литья по газифицируемым моделям, состояние и перспективы этого метода в России // Литейщик России, 2009.- № 4.- С. 44-45.