

УДК 621.744.072.2

**В. С. Дорошенко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ ЗАТВЕРДЕВАЮЩЕЙ ОТЛИВКИ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

*Описаны способы литья по газифицируемым моделям с использованием регулируемого давления на металл или поверхность отливки в литейной форме. Применение изостатического давления (всестороннего действия) на отливку в период затвердевания металла позволяет получать высококачественные отливки из алюминиевых сплавов для транспортных средств.*

**Ключевые слова:** литьё по газифицируемым моделям, изостатическое давление, точное литье, литье под давлением, автоматизация.

*Описано способи лиття за моделями, що газифікуються, з використанням регульованого тиску на метал або поверхню виливка в ливарній формі. Застосування ізостатичного тиску (всєбічної дії) на виливок в період твердіння металу дозволяє отримувати високоякісні виливки з алюмінієвих сплавів для транспортних засобів.*

**Ключові слова:** лиття за моделями, що газифікуються, ізостатичний тиск, точне лиття, лиття під тиском, автоматизація.

*The review describes methods of casting on gasified patterns using a controlled pressure on the metal surface, or casting in mold. The use of isostatic pressure (full action) on the casting during solidification allows get high-quality aluminum alloy castings for vehicles.*

**Keywords:** lost foam casting, isostatic pressure, precision casting, injection molding, automation.

Развитие литейных процессов идёт в направлении снижения металлоёмкости отливок для изделий машиностроения, в первую очередь транспортных средств с учётом роста их эксплуатационного ресурса [1]. Этой цели отвечают исследования под руководством проф. О. И. Шинского по теме «Разработка научных и технологических основ по созданию литых конструкций из чёрных и цветных сплавов, оптимальных процессов их получения и автоматизированных методов проектирования» с принципиальным подходом планомерного сочетания процессов точного литья (near net shape, precision casting) с технологиями выплавки высокопрочных сплавов.

Наиболее точные сберегающие металл отливки получают специальными методами литья, в частности, сложнофасонные отливки – в неразъёмных песчаных формах по разовым моделям. Малая металлоёмкость литых деталей по разовым моделям

достигается благодаря минимизации припусков и уклонов при их производстве, а также отсутствием сборки песчаных форм с присущими ей перекосами. Наиболее широким охватом размерных и массовых характеристик таких отливок обладает технология литья по газифицируемым моделям (ЛГМ, Lost Foam Casting). Отсутствие разъёма формы, свойственное традиционным способам литья, размещение моделей и отливок по всему объёму контейнера с песком при ЛГМ повышает выход годного по стальному и чугунному литью до 70-90 %. Применение ЛГМ повышает размерную точность мелких и средних отливок до уровня 6-7 класса по ГОСТ Р 53464-2009 (26645-85) против 9-11 класса для литья равноценных деталей с традиционными видами формовки, что позволяет снизить массу литья не менее чем на 15 %, а в случае замены литья по выплавляемым моделям равнозначной точности обеспечит снижение энергетических, материальных затрат и трудоёмкости в 2-4 раза [1].

Применение герметичных контейнерных опок при ЛГМ позволяет оказывать на кристаллизацию отливки такое физическое воздействие как давление, что ранее отмечено авторами в работах [2, 3] о способе сочетания ЛГМ и литья под регулируемым давлением. Автоматизация подачи жидкого металла под давлением снизу в полость формы на удаляемую модель состоит в том, что это давление выше атмосферного рассматривают как единое давление в бинарной среде жидкости металла и газов от газифицирования модели, и посредством датчика давления газа обратной связи подают импульс на вход регулятора. Регулятор сравнивает сигнал датчика с заданным и определяет знак и величину управляющего сигнала, с помощью которого регулируют давление металла в песчаной форме. В качестве регулятора и датчиков давления выбраны микропроцессорное оборудование и преобразователи давления отечественного производства, а для литья предложено использовать газовое давление выше или ниже атмосферного (в последнем случае – разрежение), их сочетание, а также создаваемое на металл электромагнитным способом [2, 3].

Применение газового давления вместо (или в дополнение) вакуумирования формы предложено по способу [4] с действием такого давления на или через контрклад формы, накрытой крышкой. Пример реализации (рис. 1) включает устройство 1 как элемент подвесного конвейера, для скрепления полуформ 2 с транспортной плитой 3, которое снабжено герметизирующей крышкой 4 с приводом 5. Вместо вакуума, ранее подаваемого в толщу песка формы, изготовленную вакуумно-плёночной формовкой (ВПФ), под крышку 4 по трубопроводу подают газ под давлением не менее ~150 кПа и создают в толще песка перепад давлений (не менее ~50 кПа), обычный для вакуумирования при ВПФ. Это газовое давление упрочняет песок формы вместо вакуумирования и после заливки воздействует на металл отливки при его кристаллизации.

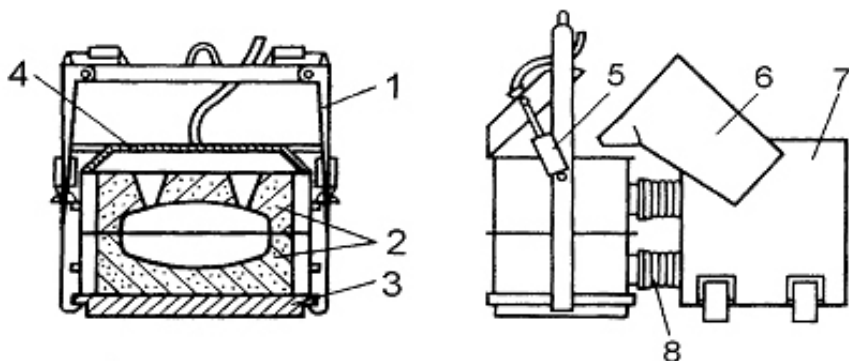


Рис. 1. Схема устройства для создания повышенного давления на песчаную форму: 1 – элемент подвесного контейнера; 2 – полуформы; 3 – транспортная плита; 4 – герметизирующая крышка; 5 – привод; 6 – ковш; 7 – заливочная машина; 8 – клапаны

Вакуумируют песок при формовке и заливке. А в течение длительного времени при перевозке, накоплении форм под заливку и затвердевании отливки вакуумирование заменяют выдержкой форм под давлением с рекомендацией использования традиционной цеховой сети воздуха под давлением. Это даёт экономию в применении часто громоздких и энергоёмких цеховых систем вакуумирования [5]. Заливают форму под вакуумом с открытой крышкой 4 расплавом из ковша 6, с заливочной машины 7 (или с крюка крана), подключив клапанами 8 к вакуумному насосу, установленному на машине 7. После заливки форму накрывают крышкой с подачей под неё воздуха под давлением, а вакуум отключают.

В данном способе используют то свойство, что форма при ВПФ является практически герметичной конструкцией. И стоит наложить на контрлад верхней опоки металлическую крышку с несложным способом уплотнения по периметру (для повышения герметичности), как получаем возможность подать в полость формы газ под давлением от ~150 кПа и выше. Газовое давление на форму с отливкой позволяет выполнять затвердевание отливки под давлением, что предотвращает пористость, измельчение кристаллической структуры металла и повышение его прочности.

Литьё под регулируемым газовым давлением наиболее широко применяют для алюминиевых сплавов в металлические формы, включая детали гидравлических систем транспортных средств [6]. Однако его конструкция должна быть достаточно проста для извлечения из такой формы. Эти ограничения снимает процесс ЛГМ с кристаллизацией металла отливки под давлением, названный Castyral, который с 1995 г. применяет компания Albert Handtmann (Германия), что показано на её сайте [7]. Компания поставляет для автомобильной промышленности сложнофасонное алюминиевые литьё с высокими требованиями к прочности.

Принцип процесса Castyral подобен обычному ЛГМ (рис. 2), отличающемуся действием давления на затвердевающую отливку. Заливка алюминиевым сплавом производится автоматически двумя манипуляторами, из которых поворотной роботизированной рукой 1 устанавливается приставная воронка 2 к форме, а второго (не показан) – производится заливка из ковша. Сразу после завершения заливки и удаления рук манипуляторов контейнерную форму 4 герметично накрывают крышкой 3 и подают под неё газовое давление (рис. 2, б). При этом песчаная форма в цилиндрическом контейнере подобна автоклаву для модифицирования под давлением чугуна в ковше металлическим магнием. Изостатическое (всестороннего действия на отливку) давление (рис. 2, а) достигает 10 бар, производится по заданной программе и отключается после затвердевания отливки. Последующие операции после открытия формы вновь подобны обычному ЛГМ-процессу.

Автоматизация процесса при строгом позиционировании формы способна практически одновременно обеспечить

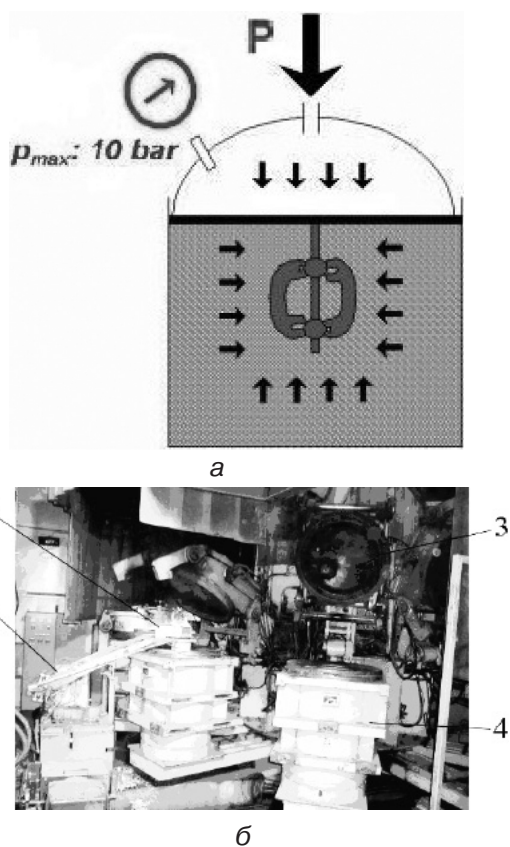


Рис. 2. Процесс Castyral: схема создания давления на отливку (а); технологическое оборудование (б): 1 – манипулятор для установки воронки; 2 – воронка; 3 – крышка; 4 – контейнерная форма [7]

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

прекращение заливки, удаление воронки и начало движения по накрыванию формы крышкой для того, чтобы действие давления успело обеспечить эффект изостатического прессования затвердевающей отливки до требуемой её плотности. Автоматизация оптимально синхронизирует эти операции и устраняет влияние субъективного фактора на качество отливок. Очевидно, для мониторинга процесса заливки – прессования используются датчики контроля заполнения формы металлом, взаимного движения и позиционирования подвижных частей манипуляторов и герметизирующей крышки.

Применением давления гарантировано повышают механические и физические свойства отливок без образования газовых дефектов. Показанные компанией на сайте [7] (рис. 3) в открытом доступе фотографии высококачественных отливок массой до 50 кг впечатляют своим разнообразием и сложностью, и, по мнению её литейщиков, не могут быть выполнены с использованием других методов литья.

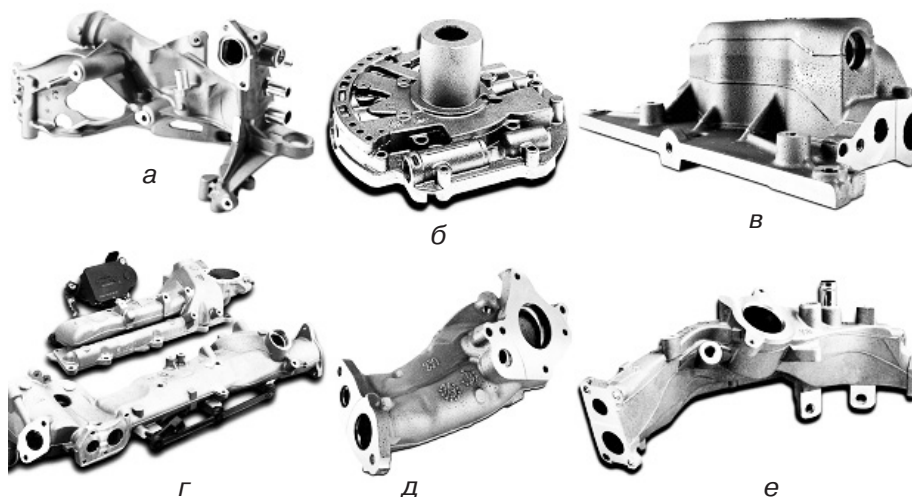


Рис. 3. Алюминиевые отливки: деталь суппорта (а), крышка насоса (б), крышка редуктора (в), коллектор нагнетателя (г), детали линии рециркуляции отработанных газов (д, е) [7]

Литниковые системы моделей рассмотренного процесса сконструированы так, чтобы обеспечить питание отливок в тепловые узлы под газовым давлением. Для этого модельные кластеры имеют достаточно массивные плоские коллекторы (рис. 4) [7, 8], по своему действию в некотором роде аналогичные питающим приборам, устанавливаемым у таких узлов отливки. Кластер (рис. 4) представлен на сайте компании – поставщика материала для моделей [8].

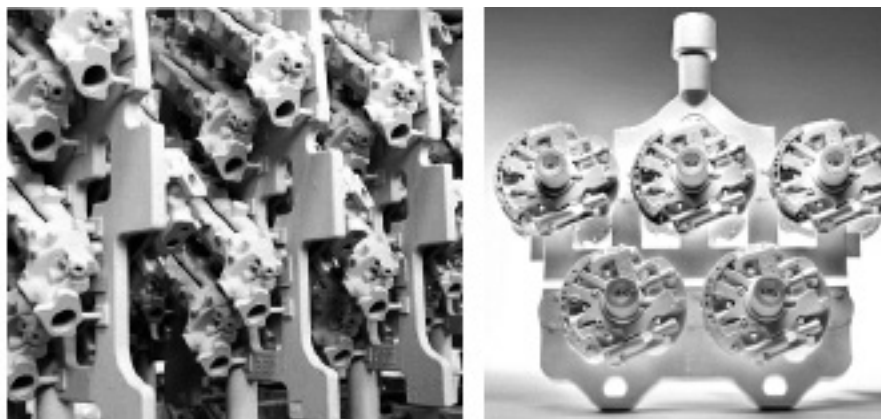


Рис. 4. Кластеры (блоки) моделей для литья с изостатическим прессованием [7, 8]

Рассмотренные процессы литья обладают функциональной гибкостью, возможностью регулирования их технологических режимов и физических характеристик отливок, сочетают преимущества точного литья с кристаллизацией металла под давлением, что показано примерами их полной автоматизации и высококачественной литейной продукции для транспортного машиностроения.



### Список литературы

1. Шинский О. И. Снижение металлоёмкости литейной продукции – основа развития отрасли / О. И. Шинский // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2011. – № 1. – С. 78-79.
2. Патент № 93723 Украины, МПК В22D 18/06, 18/04, 18/08, 27/13, 27/15, В22С 9/04. Способ литья металла по одноразовым моделям в песчаную форму под действием перепада давления / В. С. Дорошенко, О. И. Шинский. – Оpubл. 2011, Бюл. № 5.
3. Дорошенко В. С. Постепенное обновление парадигмы в теории литейных процессов по теме взаимодействия металла с песчаной формой / В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко // Металл и литьё Украины. – 2009. – № 10. – С. 28-33.
4. А. с. № 1766588 СССР: МКИ В22С 9/02. Способ получения отливок / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко. – Оpubл. 1992, Бюл. № 37.
5. Дорошенко В. С. О расширении технологических возможностей вакуумноплёночной формовки / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко // Литейн. про-во. – 1992. – № 5. – С. 22-23.
6. Дорошенко В. С. Литьё под низким давлением крупногабаритных гидроплотных деталей / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко // Там же. – 1990. – № 6. – С. 13-14.
7. Сайт компании Albert Handtmann. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.handtmann.de/light-metal-casting/production/lost-foam.html> (дата обращения 25.11.15).
8. Сайт концерна Storopack Hans Reichenecker GmbH. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.storopack.com/uploads/tx\\_templavoila/10er\\_Giesstraube\\_7410\\_01.jpg](http://www.storopack.com/uploads/tx_templavoila/10er_Giesstraube_7410_01.jpg) (дата обращения 25.11.15).



### References

1. Shinskiy O. I. Decrease of metal casting production – the basis of development of the industry. Equipment and tools for professionals. 2011, № 1, pp. 78-79 [in Russian].
2. Patent № 93723 Ukraine, B22D 18/06, 18/04, 18/08, 27/13, 27/15, B22C 9/04. A method of casting metal on a one-off pattern in the sand mold under the influence of differential pressure. Doroshenko V. S., O. I. Shinskiy O. I. Publ. 2011, Bull. № 5 [in Ukrainian].
3. Doroshenko V. S., Kravchenko V. P. Gradual upgrade paradigm in the theory of casting processes relating to the interaction of the metal with sand mold. Metal and casting of Ukraine. 2009. № 10, pp. 28-33 [in Russian].
4. A. p. № 1766588 USSR, MKI V22S 9/02. A method for producing castings. Doroshenko V. S., Sheiko N. I. Publ. 1992, Bull. № 37.
5. Doroshenko V. S., Sheiko N. I. On the extension of the technological capabilities of vacuum-film molding. Foundry. 1992, № 5, pp. 22-23.
6. Doroshenko V. S., Sheiko N. I. Low pressure die casting of large hydro dense parts. Foundry. 1990, № 6, pp. 13-14 [in Russian].
7. Company Website Albert Handtmann. Access: <http://www.handtmann.de/light-metal-casting/production/lost-foam.html> (date treatment 25.11.15).
8. Group Site Storopack Hans Reichenecker GmbH. Access: [http://www.storopack.com/uploads/tx\\_templavoila/10er\\_Giesstraube\\_7410\\_01.jpg](http://www.storopack.com/uploads/tx_templavoila/10er_Giesstraube_7410_01.jpg) (date treatment 25.11.15).

Поступила 26.11.2015