

К. Х. Бердиєв, В. С. Дорошенко

**Прохідний тунельний автоклав для виробництва пінопластових ливарних моделей**

Виконано аналіз основних сучасних методів виробництва моделей для лиття за моделями, що газифікуються. Вибір їх залежить від серійності та розмірів виливків, які отримують. Розроблена конструкція автоклава прохідного типу з трьома камерами. Вона легко вбудовується в конвеєрні лінії виготовлення моделей, економить енергію шляхом зменшення викидів пари в атмосферу цеху, а також знижує витрати ручної праці автоматизацією процесу охолодження прес-форм та їх переміщення.

**РАСЦЕНКИ НА РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ***(цены приведены в гривнах с учетом налога на рекламу)*

<b>3, 4-я страницы обложки</b>		<b>страница внутри журнала</b>	
цветная	1400 грн.	цветная	1050 грн.
черно-белая	700 грн.	черно-белая	500 грн.
<b>1/2 страницы формата</b>		<b>1/2 страницы формата А4</b>	
цветная	900 грн.	цветная	800 грн.
черно-белая	500 грн.	черно-белая	450 грн.
<b>1/4 страницы формата</b>		<b>1/4 страницы формата А4</b>	
цветная	550 грн.	цветная	300 грн.
черно-белая	300 грн.	черно-белая	200 грн.

При повторном размещении рекламы – скидка 15 %

*Редакция журнала может подготовить  
заказной номер журнала**Ориентировочная стоимость заказного номера – 6750 грн.**(объем до 5 уч.- изд. л.)**Ориентировочная стоимость заказного спаренного номера – 13000 грн.**(объем до 10 уч.- изд. л.)*

УДК 621.744.072.2: 678.746.22-404.8

**В. С. Дорошенко\*** (ФТИМС НАНУ)**Пространственные литые конструкции, получаемые в объеме песчаной формы**

**П**роектирование конструкции отливки при получении ее в песчаной литейной форме для большинства видов форм (назовем их традиционными) предполагает размещение отливки в плоскости (поверхности) разъема формы. Наличие разъема формы в технологии литья создало стойкий стереотип, формирующий пред-

Предложено каркасные и ячеистые металлические конструкции отливать по газифицируемым моделям. Описан ряд примеров таких отливок, выполненных по аналогам из живой и неживой природы. Эти изделия относят к материалам будущего, они расширят существующий спектр свойств металлопродукции. Кроме того, они имеют потенциал применения в конструкциях, взаимодействующих с объемом или потоком вещества или энергии, а также как костяк для армированных, композиционных материалов и внутренних холодильников для слитков и фасонных отливок

\* Работа выполнена под научным руководством проф. О. И. Шинского

ставление о том, как должна выглядеть отливка. Эта тема, находящаяся на стыке сфер деятельности

литейщика-технолога и конструктора-механика, в традиционной ее трактовке, постоянно присутствует практически на всех занятиях в вузах по технологии формы, включая курсовые проекты, а также в технологических отделах литейных цехов и КБ, где проектируют литые детали. В результате, в общем случае, руководствуются мнением, что отливка – это то, что войдет в разъем формы, часто со стержнями, которые предполагают разъем стержневого ящика. Технология литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), переступая через этот стереотип, позволяет разместить отливку или блок отливок в пространстве песка неразъемной (контейнерной, однопочной) формы, предполагая или выдвигая проблему оптимизации объемного размещения и конструирования отливок, что практически «не по плечу» другим формовочным технологиям и представляется новой серьезной темой теории литейных процессов. Вместо старой задачи «как разместить отливку в плоскости?» для ЛГМ актуально «как разместить в объеме?» сыпучего песка, по своим свойствам во время виброуплотнения напоминающего «псевдожидкость». При решении этой задачи следует учитывать особую легкость обработки пенопластов резанием и высокую производительность получения изделий из них на полуавтоматах.

Указанные возможности ЛГМ для проектирования отливок в объеме песчаной формы значительно расширяют спектр их вероятных конфигураций, и, в частности, открывают новое направление литья сотовых, объемно-ячеистых, скелетно-решетчатых конструкций, материалов и блоков отливок [1], расширяя известные свойства традиционно применяемых не только литых, но и композиционных изделий. Они имеют потенциал для применения как облегченные несущие, армирующие, изолирующие, ограждающие, демпфирующие удары конструкции, способные находиться в среде, пропуская (полностью или частично) через себя поток вещества или энергии, применимы для отделения отходов при очистке газов, жидкостей, а также для глушителей шума, взрыво- и пламяпреградителей, теплообменных, адсорбционных, акустических устройств, элементов источников тока, катализаторов, кристаллизаторов, электродов и как костяк для композиционных материалов.

Разработка таких литых конструкций и поиск путей оптимизации их конфигураций, с точки зрения ресурсосбережения, неизбежно приводят к одному из направлений выполнения их путем копирования по аналогам из живой и неживой природы (включая структуры микромира), поскольку природой «уже решены вопросы» покорения пространства конструкциями с чрезвычайно высо-

кой стабильностью их пространственно-временных характеристик. Для этого, как описано в работе [1], использовали принципы строения: кристаллических решеток – как их изображают в кристаллографии; спиралевидного расположения листьев (филлотаксис) – из ботаники; пены со сквозными порами и ячейками – преимущественно в виде пентагонального додекаэдра, описанной в области физикохимии. В институте ФТИМС НАНУ, где создание разновидностей ЛГМ-процесса является профильной темой, на эти литые конструкции получен ряд патентов и опубликованы заявки на изобретения по этой теме, а в ее развитие ниже описаны еще три типа каркасных отливок, для которых довольно несложно изготовить сборные одноразовые пенопластовые модели.

При создании объемных структур, по аналогии с биологическими распространяющимися в пространстве, естественно обратить внимание на конструкции веток деревьев, которые развиваются от толстых к тонким разветвлениям. Очевидно, такое изменение сечения предпочтительнее для течения металла, чем равностенные конструкции. На рис. 1 показан пример предлагаемой литой древовидной конструкции, состоящей из ствола 1 и веток 2. При использовании ее в качестве внутреннего холодильника для литья слитков ветви 2 целесообразно расположить перпендикулярно поверхностям 3 стенок изложницы (показаны ее контуры), то есть навстречу наиболее вероятному направлению роста кристаллов слитка, которые также растут перпендикулярно стенке изложницы после заливки в нее металлического расплава.

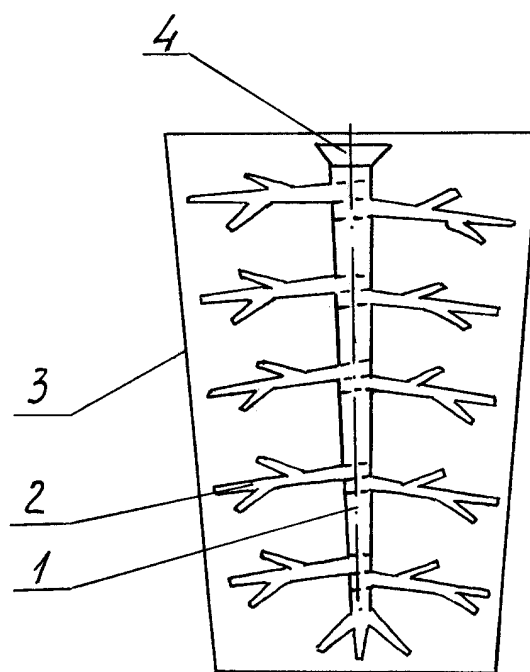


Рис. 1. Литая металлическая древовидная конструкция: 1 – ствол; 2 – ветви; 3 – контуры стенок изложницы; 4 – остаток воронки

Предварительно изготовить древовидную конструкцию можно способом ЛГМ при заливке расплава через воронку, остаток 4 которой сохранился на стволе. Если при этом модель выполняют из пенопласта, то изготовление ее сборных элементов состоит в засыпании гранул этого материала и их спекании в пресс-форме, или вырезании элементов из блочного пенополистирола. Элементы модели ветки и трубчатые участки ствола можно собирать (склеивать) на направляющем штыре (пунктиром показаны линии стыка).

В древовидных литых конструкциях могут быть учтены некоторые общие закономерности строения деревьев, прослеживаемые в живой природе. Важнейшее требование ко всему такому строению – прочность, в этом плане конструкция дерева безупречна, так как отшлифована эволюционным отбором. Как указано в монографии Бенуа Мандельброта [2], Леонардо да Винчи эмпирическим путем пришел к выводу о таком соотношении толщин ствола и всех ветвей дерева на любой высоте, что диаметры ствола и ветвей  $d$  до ветвления и диаметры  $d_1, d_2$  после разветвления удовлетворяют соотношение:  $d^\Delta = d_1^\Delta + d_2^\Delta$ , где диаметрический показатель  $\Delta = 2$ . Это подтверждено на практике. В этой же книге указано, что показатель «дерева» кровеносных артерий млекопитающих близок к  $\Delta = 2,7$ , а для «дерева» бронхов  $\Delta = 3$ . С точки зрения гидродинамики, система каналов при  $\Delta = 3$  имеет минимальное сопротивление. Это значение наилучшее достигаемое как целенаправленным конструированием, так и селективной эволюцией. Отсюда, если важны прочностные свойства конструкции, то показатель  $\Delta$  принимают близким к 2, если важно условие заполнения металлом литейной формы – то близким к 3, что также полезно учесть в литейной гидравлике при конструировании разветвленных литниковых систем.

Согласно той же монографии, опытным путем установлено, что масса ветви пропорциональна ее диаметру, возведенному в степень  $M = 2,5$ , а также, по мнению автора, может зависеть от значения  $\Delta$  в виде  $M = 2 + \Delta/3$ . Значения величин  $M = 2,5$  и  $M$ , полученного по последнему выражению при подстановке  $\Delta = 2$ , будут отличаться меньше, чем на 6,7 %, что приемлемо для технических расчетов. Можно пользоваться обоими значениями для оценки массы ветви из модельного материала или литого металла (с поправками на их плотность относительно плотности дерева), а при  $2 < \Delta \leq 3$  – подставлять конкретное значение  $\Delta$  в выражение для  $M$ .

Изготовление литой конструкции (когда ветви отходят от ствола перпендикулярно его оси) удобно при литье по разовой модели тем, что для выполнения пенопластовой модели можно применить простую пресс-форму с отверстием в

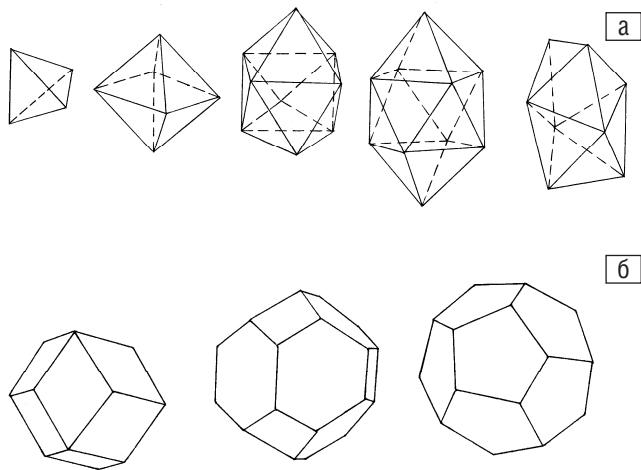
модели, ось которого перпендикулярна ветви. Такую модель нетрудно получать на пластавтоматах, а затем собирать, подобно нанизыванию бумажных снежинок на нитку. Литая дендроидная конструкция внутреннего холодильника при литье массивных отливок или слитков может быть из одинакового или разного металлов с заливаемым в форму. При затвердевании металла таких слитков растущие кристаллы от стенки изложницы конкурируют с дендритами, растущими навстречу им от ветвей холодильника, что дает измельчение зерна слитка равномерно по всему объему.

Литая древовидная конструкция, применяемая как армирующая для сопротивления направленной нагрузке перпендикулярно оси ствола, рекомендуется со стволом в форме эллипса при отношении диаметров эллипса по направлению нагрузки и поперек нее как 1,26 к 1,0. Это соответствует измерениям стволов деревьев, на которые преобладающий ветер дул перпендикулярно в однородной лесной полосе [3].

Описанные пространственные литые конструкции, аналоги которых взяты из ботаники, не сложны для конструирования и технологичны для литья, а их литье методом ЛГМ, в частности, по сборным модельным элементам, получаемым на пластавтоматах, упростит их производство. Пространственные древовидные отливки приближаются по виду к ячеистым или сотовым (например, к литым пенам), которые все чаще называют «материалами будущего».

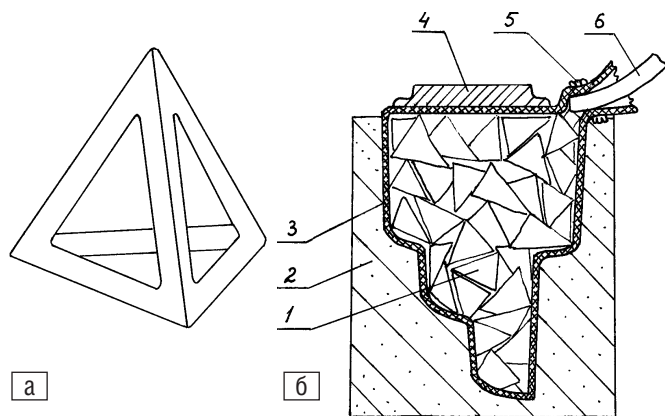
Если в работе [1] использовано строение кристаллов, то в описанных ниже конструкциях моделей использована аналогия с микроструктурой таких конденсированных сред, для которых характерно неупорядоченное расположение атомов в пространстве, в частности, аморфных металлических сплавов (АМС) [4]. Они имеют более или менее четко определяемый на расстоянии двух-трех соседних атомов, так называемый, «ближний» порядок. В кристаллах структура решетки образуется в результате многократного повторения в трех направлениях единичной элементарной ячейки с расположением атомов в «бесконечных» рядах, называемым «дальним» порядком. Аморфные структуры сохраняют элементарные ячейки, но при стыковке ячеек в пространстве порядок их нарушается, и стройность рядов, присущая «дальному» порядку, отсутствует.

Несмотря на то, что плотность АМС на 1-2 % ниже плотности кристаллических аналогов, прочность их выше в 5-10 раз с характерной изотропией многих свойств, что связано, в основном, с отсутствием в структуре АМС дислокаций и границ зерен, свойственных кристаллическому состоянию. Трехмерные связи в структуре АМС пред-



**Рис. 2.** Пять типов правильных полиэдров Бернала (слева направо): тетраэдр, октаэдр, тригональная призма, архимедова антипризма, тетрагональный додекаэдр (а); полиэдров Вороного (слева направо): икосаэдр, полиэдр о. ц. к. структуры, полиэдр г. ц. к. структуры (б)

ставляют в виде многогранников [5], в частности, пяти типов правильных полиэдров Бернала: тетраэдра, октаэдра, тригональной призмы, архимедовой антипризмы, тетрагонального додекаэдра, (показаны слева направо в верхнем ряду на рис. 2, а). Кроме того, атомные конфигурации описывают в виде полиэдров Вороного (иногда называют «Дирихле-Вороного»), часто с пятиугольными гранями в виде икосаэдров. Три примера таких полиэдров представлены в нижнем ряду слева направо на рис. 2, б: икосаэдр, полиэдр о. ц. к. (объемно-центрированной кристаллической) структуры, полиэдр г. ц. к. (гранецентрированной кристаллической) структуры. По данным кристаллографии многогранники Бернала и Вороного заполняют оптимально пространство структуры без пропусков. В общем случае аморфная структура представляет собой непрерывный ряд, мозаичный узор, составленный из чередующихся многогранников, характерных для кристаллических и некристаллических структур, что и взято за основу принципа построения нижеприведенной одноразовой литейной модели.



**Рис. 3.** Элемент модели в виде тетраэдра (а); схема получения фасонной модели (б): 1 – модель из повторяющихся элементов; 2 – формообразующая емкость; 3 – синтетическая пленка в виде мешка; 4 – груз; 5 – зажим; 6 – патрубок

На рис. 3, а показан пример простейшего повторяющегося элемента пенопластовой модели в виде тетраэдра, который можно получать на пластавтоматах, а на рис. 3, б – пример использования этих элементов. Все или отдельные грани этого многогранника выполняют с отверстиями, которые образуют открытую сквозную полость.

Схема изготовления фасонной модели 1 из многогранников представляет собой операцию их помещения в формообразующую емкость 2, в частности, в виде песчаной формы, полость которой покрывают синтетической пленкой 3 в виде мешка. Модель 1 из повторяющихся элементов нагружена грузом 4, а полость мешка зажимом 5 герметично сообщена через патрубок 6 с вакуумным насосом.

Один из вариантов получения модели из элементов в многогранной форме состоит в следующем. Предварительно изготовленные многогранники, подобные показанным на рис. 2 и 3, размерами от нескольких до десятков миллиметров и более с открытыми сквозными полостями (как на рис. 3, а) засыпают или укладывают вручную в формообразующую емкость 2 (рис. 3, б). Предварительно туда помещают не пропускающий воздух мешок из синтетической пленки 3, после засыпки этих элементов вакуумируют полость мешка с герметизацией ее зажимом 5, тем самым фиксируя многогранники в единой модели путем прижимания их друг к другу перепадом давления воздуха снаружи и внутри мешка. В таком виде собранную модель, облицованную пленкой мешка, можно извлечь из формы, по ней изготовить форму из самотвердеющей наливной или насыпной смеси путем подачи и отверждения смеси сначала снаружи мешка, а затем – внутри мешка. Из такой формы пенопластовую модель следует выжечь при температуре выше 400-500 °С по методу литья по выжигаемым моделям, так как пленка мешка ухудшит газопроницаемость формы для ЛГМ.

Существуют варианты без вакуумирования мешка, когда после загрузки многогранников внутрь мешка в форме 2 (рис. 3, б) туда же подают самотвердеющую формовочную смесь, которая удерживает их в сборе, а пленка мешка служит разделительным покрытием. После извлечения из многогранников формы 2 собранную модель в коме затвердевшей песчаной смеси извлекают из мешка и формируют обычными способами методом ЛГМ, что приемлемо для многогранников с толщиной перегородок свыше 6-10 мм.

Еще проще выполнить сборную модель в одноразовой песчаной форме 2 без извлечения и без применения мешка 3. Эту форму выполняют из смеси со связующим по деревянной модели, в полученную полость засыпают модельные многогранники, их уплотнение во всех случаях воз-

можно путем применения съемного груза 4 и/или вибрации, что способствует их оптимальному размещению, плотному прижиму ребер граней с частичным врезанием кромок ребер и вершин в рядом расположенные многогранники. После уплотнения модели в сквозные отверстия многогранников подают формовочную смесь и завершают изготовление формы известными способами формовки, сочетая модель с литниковой системой и выполняя форму со слоем формовочной смеси выше модели.

Как вариант, каркас из модельных многогранников можно сочетать со сплошной газифицируемой моделью либо с отдельными многогранниками, покрытыми синтетической пленкой без доступа в их поры песчаной смеси (такая упаковка пленкой части каркаса возможна и для других видов каркасных отливок), и получать каркасную отливку с монолитными частями или вставками в заданном месте. Аналогия каркасных конструкций с микроструктурой аморфных металлов, атомная конфигурация которых по данным кристаллографии выглядит в виде указанных многогранников как наиболее плотной упаковки, дает возможность перенести некоторые свойства, например, изотопию, на литые металлические ячеистые конструкции.

Рассмотрим еще один вариант каркасного литья. В последнее время ряд перспективных направлений в материаловедении и нанотехнологии связывают с фуллеренами и обнаруженными в 1991 г. длинными, цилиндрическими углеродными образованиями, получившими название нанотрубок. Эти и другие похожие структуры называют термином «углеродные каркасные структуры» [6]. Несмотря на кажущуюся хрупкость и даже ажурность, нанотрубки оказались на редкость прочным материалом каркасной ячеистой конструкции, получать аналоги которых можно и в макром мире, в частности, способом ЛГМ, изготавливая модели методом сворачивания из плоских элементов.

Для получения трубчатых и криволинейных моделей использовали ту особенность многих пенопластов, спеченных (склеенных) из гранул, в частности, пенополистирола, что изделия из них в тонких сечениях толщиной 0,1-4,0 мм могут при изгибании не ломаться, а иметь при этом ограниченную способность к деформации без разрушения. В более толстых сечениях при изгибе возникает трещина по стыку гранул. Указанная предельная толщина зависит от величины спеченных гранул, качества спекания и материала гранул. Если плоский элемент получать в пресс-форме с клинообразными выборками, то толщина 0,1 мм заполнится мелкими гранулами пенополистирола, а толщина до 4 мм быстро пропекается и прочно

склеивается, позволяя изгибать элемент, смещая от плоскости на небольшой острый угол. Превышение этого размера ведет к появлению трещин, которые могут появиться при складировании, транспортировке или монтаже свернутого элемента с другими деталями модели. Прочность на изгиб элемента возрастает в 2-3 раза при оклеивании пленкой или сеткой, например, при помощи клея ПВА со стороны, которая становится выпуклой при сворачивании элемента, что позволяет увеличить указанную толщину примерно до 5 мм. Повышенные возможности к изгибанию имеют изделия из пенополиуретана.

На рис. 4 показан вариант изгибания плоского элемента с правой стороны (вид сбоку). Этот элемент в виде пластины с сегментами 1 и надрезами 2 при сворачивании закрепляют замком 3, например, по системе «шип-паз». Если сумма углов клинообразных выборок равна  $360^\circ$ , то при сворачивании в замкнутую систему стороны всех клиновидных выборок смыкаются так, что в сборе образуют сплошное тело на толщину сегмента 1, и уменьшение толщины плоского элемента за счет выборок не уменьшает толщину стенки элемента в свернутом виде.

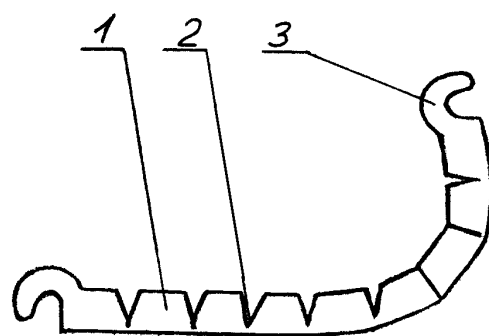
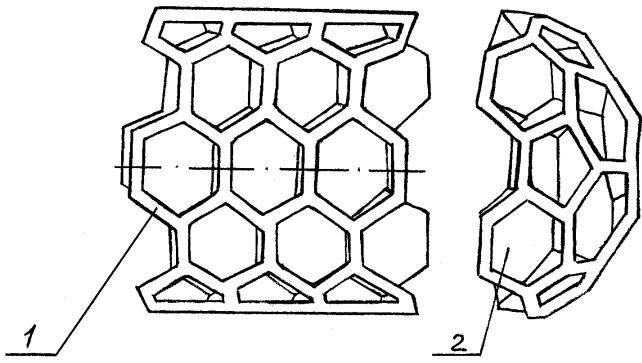


Рис. 4. Плоский элемент при изгибании с правой стороны (вид сбоку): 1 – сегмент пластины; 2 – клиновидные выборки (надрезы); 3 – замок

Плоский элемент газифицируемой модели могут изготавливать непрерывно, например, по версии способа [7] путем составления из частей и наращивания его в процессе формовки в облицовочный слой движущегося кристаллизатора в виде песчаной вакуумируемой формы. Перед формовкой следует лишь сворачивать его в непрерывную трубчатую конструкцию, которую также можно скреплять вышеуказанным замком вдоль оси, вокруг которой выполняют сворачивание.

Копируя структуру углеродных нанотрубок, на рис. 5 показан элемент конструкции модели, изготовленный по аналогии с ними (ближняя изогнутая стенка сетчатой трубки показана двойными линиями, а дальняя – одной линией). Нанотрубка при увеличении выглядит как свернутый в



**Рис. 5.** Часть конструкции модели, изготовленная по аналогии со структурой углеродных нанотрубок: 1 – перегородка ячеек – правильных шестиугольников; 2 – сетчатая перегородка (окончание) трубки

трубку плоский слой атомов графита, называемый графеном, который является слоем атомов углерода, соединенных посредством  $sp^2$ -связей в гексагональную двумерную кристаллическую решетку. Модель сетчатой пенопластовой трубки состоит из повторяющихся перегородок 1 (взамен отрезков прямой линии, изображающих связи между атомами) в виде свернутой решетки с ячейками из правильных шестиугольников. Толщина этих перегородок определяется возможностью их замещения расплавленным металлом и способом питания (обычно она составляет 5 мм и выше). На рис. 5, справа, показана сетчатая перегородка 2 изогнутой формы, напоминающая по виду окончание нанотрубки, а сама сетчатая трубка выполнена в близкой к цилиндру форме.

Если сворачивание подобных графену плоских элементов производят так, что две перегородки каждой шестиугольной ячейки гексагональных двумерных решеток располагают перпендикулярно оси, вокруг которой производят сворачивание, как показано на рис. 5 (эта ось проходит вдоль трубки горизонтально), то такая конструкция сетчатой трубки будет в 1,5 раза прочнее на разрыв вдоль



**Рис. 6.** Пенополистироловая модель отливки корпуса насоса (для перекачивания горнорудной пульпы) из износостойкой стали

этой оси, чем в случае, если две перегородки каждой ячейки расположат параллельно этой оси [6].

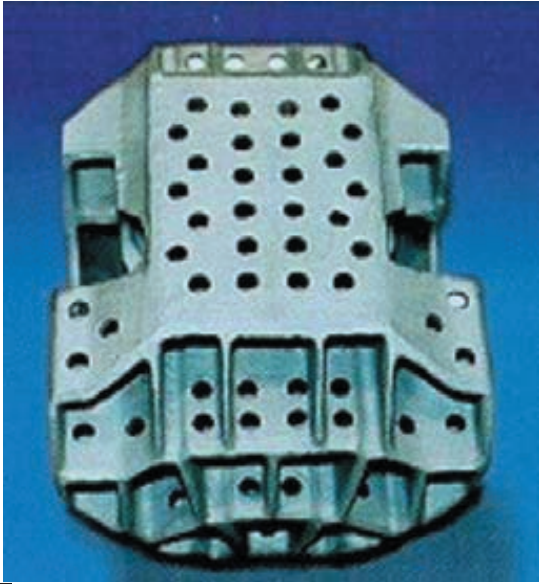
Помещением внутрь трубчатой конструкции перегородки могут расpirать или стягивать перегородкой изнутри трубчатую конструкцию, изменяя ее внешний размер. При этом деформируют и изгибают части стенок, выполняя на них в месте изгиба клинообразные выборки со стороны образования вогнутой поверхности. Так можно изменить форму и размер поперечного сечения трубчатой конструкции. В отличие от нанотрубок из микромира плоские модельные элементы можно сворачивать в более сложные формы, в частности, так, что в поперечном разрезе при S-образном изгибе можно получить конструкцию из двух стыкующихся труб в поперечном разрезе в виде цифры 8.

Пространственные решетчатые конструкции (в том числе из сеток с различной формой ячеек) в зависимости от вариантов сворачивания плоских элементов с использованием облегчающих сворачивание клиновидных выборок могут выполняться не только трубчатыми, близкими к форме цилиндра, но и других геометрических форм, например, в форме многогранника или подобной к конфигурации фуллеренов, близкой к эллипсоидо- или шарообразной.

Утолщение на модели, выполненное в виде замка 3 (рис. 5) в сборе и размещенное вдоль всей модели, можно использовать в пенопластовой газифицируемой модели в качестве стояка или коллектора литниковой системы и с этой целью выполнять его по расчетному диаметру литниковой системы. Это утолщение при формовке трубчатой модели в вертикальном положении ее оси следует продлить участком стояка, который сверху завершить заливочной чашей или воронкой.

Рассматриваемый способ сворачивания плоских элементов в трубки уместно использовать для выполнения моделей стояков, применяемых для большинства видов отливок. Для этого стенки трубчатой конструкции из свернутых элементов выполняют непроницаемыми для формовочной смеси, а торцы трубчатой конструкции закрывают крышками, или стенки и торцы обматывают синтетической пленкой, не допускающей попадания формовочной смеси внутрь трубчатой конструкции. Так формируют близкую по форме к цилиндру модель стояка или коллектора литниковой системы, к которой могут крепить мелкие модели отливок при сборке их в блоки или кусты.

Способ сворачивания плоских модельных элементов при предварительном получении их в пресс-формах с плоским разъемом или из плоских блоков пенопласта позволит получать трубчатые и другие фасонные, каркасные и пространственные ячеистые модели, что упрощает кон-



**Рис. 7.** 50-фунтовая отливка детали внутреннего привода клапана из нержавеющей стали

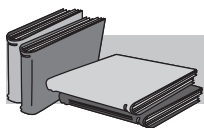
структуры модельной оснастки для их получения по сравнению с оснасткой, в которой формировались бы эти модели без сворачивания. Этот способ расширяет возможности изготовления литьем ячеистых конструкций, в частности, по аналогам в виде углеродных каркасных структур из физики наномира. Для монолитных модельных конструкций он применяется во ФТИМС, примером чего может служить выполненная с использованием этого способа и показанная на рис. 6 модель для получения методом ЛГМ отливки корпуса насоса (для перекачивания горнорудной пульпы) из износостойкой стали\*\*.

\*\* В работе принимал участие гл. технолог Б. С. Виштак

В мировой практике для каркасного литья типично использование ЛГМ-процесса, что подтверждает показанная на рис. 7 50-фунтовая отливка детали внутреннего привода клапана из нержавеющей стали (фото с сайта American Foundrymen's Society, Division 11: Lost Foam Casting), которую также можно отнести к ячеистым изделиям [8]. Проектирование компьютерными программами (включая 3D- и объектно-ориентированный подход) литых ячеистых материалов в зависимости от прогнозируемых их свойств, а также армируемых ими изделий, облегчит расширение разновидностей их строения и спектр функционального применения. В частности, подобные решения предлагаются для литья двухслойных армированных и биметаллических контейнеров, деталей конструкций для захоронения радиоактивных отходов, включая выполнение их стенок из композитов с оксидами различных металлов, тяжелых бетонов из шлаков как наполнителей.

### Выводы

Описанное проектирование отливок в объеме песка стало возможно на основе практического воплощения инновационных возможностей ЛГМ-процесса, который, хотя и достиг своего 50-летнего «возраста» с даты публикации первого изобретения (1958 г., Г. Шроер), остается весьма наукоемким процессом по эффективности производства. По нераскрытому потенциалу он относится к высоким технологиям литейного производства, сохраняя значительные возможности своего развития и расширения сложившихся представлений о возможностях литья.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Дорошенко В. С. Способы получения каркасных и ячеистых литых материалов и деталей по газифицируемым моделям // Литейн. пр-во. – 2008. – № 9. – С. 28-32.
2. Mandelbrot B. B. The fractal geometry of nature. – New York: Freeman and Co., 1983. – 540 p.
3. Ковалев Ю. Архитектура деревьев // Наука и жизнь. – 1988. – № 12. – С. 147-150.
4. Заявка на винахід 200710690, Україна, В22С 7/00. Ливарна одноразова модель і спосіб її збирання / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко. – Оупбл. 2009, Бюл. № 7.
5. Судзуки К. и др. Аморфные металлы. – М.: Металлургия, 1989. – С. 81.
6. Иванов И. П. Современная физика в задачах. <http://rc.nsu.ru/text/metodics/ivanov5.html>.
7. Пат. 2029653 России, В22С 9/02. Способ непрерывного литья / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко. – Оупбл. 1995, Бюл. № 6.
8. Сайт American Foundrymen's Society: <http://web.mst.edu/~foundry/>.

### Summary

V. Doroshenko

**Spatial light alloy structure obtained in volumes of sand form**

Frame and mesh metal structures proposed cast for the gasified patterns. We describe several examples of castings made by analogues of animate and inanimate nature. These products include the materials of the future, they will expand the existing range of properties of metal and have a potential use in structures, interacting with the volume or flow of matter or energy, as well as the backbone for a reinforced, composite materials and inner chillers to ingots and shaped castings.

В. С. Дорошенко

**Просторові литі конструкції, що отримують в об'ємі піщаної форми**

Запропоновано каркасні та комірчасті металеві конструкції вилити за моделями, що газифікуються. Описано ряд прикладів таких виливків, виконаних за аналогами з живої та неживої природи. Ці вироби відносять до матеріалів майбутнього, вони розширяють існуючий спектр властивостей металопродукції. Крім того, вони мають потенціал застосування в конструкціях, що взаємодіють з об'ємом або потоком речовини чи енергії, а також як кістяк для армованих, композиційних матеріалів та внутрішніх холодильників для зливків і фасонних виливків.

Литье по газифицируемым моделям, ячеистые конструкции, материалы будущего, отливки из металла, каркасные структуры

УДК 621.74.046:62-419

В. В. Ширяев, О. А. Пеликан, И. О. Шинский, Д. В. Глушков, Ю. Н. Романенко (ФТИМС НАНУ)

## **Технологические особенности производства биметаллических (многослойных) отливок повышенной износостойкости**

**И**з многообразия существующих методов получения износостойких биметаллических и многослойных отливок можно выделить четыре основные группы процессов, характеризующихся общностью технологических приемов:

- заливка жидкого металла на твердую заготовку, расположенную в литейной форме;
- последовательная заливка расплавов в форму через автономные литниковые системы;
- последовательная заливка расплавов в изложницу центробежной машины;
- одновременная заливка расплавов в форму с разделительными перегородками.

Указанные группы методов отличаются температурно-временными режимами процесса, характером подготовки соединяемых сплавов, составом защитных и рафинирующих покрытий, воздействием на процесс внешних факторов и др.

Для получения качественной диффузионной связи между твердой стальной заготовкой и заливаемым износостойким чугуном рабочая поверхность заготовки должна быть зачищена до металлического блеска. Основными операциями технологического процесса являются (рис. 1):

- нанесение равномерного слоя защитного покрытия на подготовленную рабочую поверхность заготовки;

Проанализированы особенности технологических процессов изготовления биметаллических и многослойных отливок. Показано, что применение биметаллических отливок позволяет получить высокие технические и экономические результаты, наиболее важным из которых является увеличение ресурса деталей в 2,5-6,0 раз

- предварительный индукционный нагрев заготовки под слоем защитного покрытия;
- заливка износостойкого чугуна на рабочую поверхность заготовки;
- извлечение биметаллической отливки из формы.

Реализация такой технологической схемы в условиях массового производства отливок, в том числе на базе изношенных деталей, предусматривает создание специализированных литейных комплексов с высокой степенью механизации и автоматизации основных операций.

Главной отличительной особенностью изготовления биметаллических отливок способом последовательной заливки расплавов (рис. 2) является наличие затвердевающего первого слоя, температурные параметры которого отличаются от параметров индукционного нагрева твердой заготовки. Для обеспечения необходимых условий формирования надежной переходной диффузионной зоны на затвердевшую свободную поверхность слоя наносят рафинирующее покрытие (флюс), функция которого заключается в удалении образовавшихся оксидных плен и предотвращении