



УДК 621.744.362

Поступила 12.03.2013

В. С. ДОРОШЕНКО, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ УПЛОТНЕНИЕ СУХИХ ФОРМОВОЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Рассмотрены новые способы уплотнения сухого песка при изготовлении литейных форм без применения связующих, а также метод управления вибрационным уплотнением песка в этих формах с помощью уровнемера. Приведены примеры моделей и отливок с каналами сложной формы, полученные по разовым моделям при оптимальном уплотнении песка.

New methods of dry sand packing in the manufacture of molds without binders, and control method of vibration compaction of sand in these forms with the transmitter are considered. The examples of models and castings with channels of complex shape, received with a one-time model with optimum compaction of sand are shown.

Расширение применения сухого песка без связующего в качестве формовочного наполнителя в литейном производстве связано с развитием процессов литья в вакуумируемые формы, при которых упрочнение сухого песка в литейной форме выполняют физическими средствами – прессующим песок перепадом газового давления. Этот перепад, переводящий сыпучий песок в камневидное состояние вокруг полости песчаной формы, создают вакуумированием пористой песчаной среды в толще формы. При этом снаружи на песок (герметично закупоренный стенками опоки и синтетической пленкой) действует атмосферное давление воздуха (вакуумно-пленочная формовка (ВПФ)) или давление газов от газификации пенопластовой модели в сочетании с атмосферным давлением (литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) в вакуумируемые формы).

Отсутствие связующих в песке и удаление газов из литейной формы средствами вакуумирования предотвращают загрязнение атмосферы литейного цеха и улучшают условия труда. Формовочный песок многократно участвует в обороте с потерями за цикл до 5%. Для очистки и охлаждения песка обычно применяют линии пневмотранспорта с их установкой за помещением цеха у внешней его стены (сухой песок зимой не смерзается), чем экономят производственные площади. Между тем, опыт литья в вакуумируемые формы выявляет ряд недоработок, касающихся производства отливок с тонкостенными каналами сложной

конфигурации и мелкосерийного изготовления форм различных по объему или массе.

Литейные участки обычно комплектуются одним вибростолом с рекомендуемыми в технической литературе параметрами вибровоздействия на «усредненную» форму для получения типовых отливок на момент проектирования участка. Со временем с изменением заказов корректируется программа цеха и вибростол, который не рассчитан на изменение режимов вибрации для разных форм по массе и сложности отливок, становится «узким местом», снижающим уровень качества получаемых отливок. Отмечая актуальность совершенствования способов виброуплотнения, один из создателей научной школы по ЛГМ В. С. Шуляк подчеркивал, что уплотнение сухого песка при формовке модельного блока из пенополистирола является важнейшей операцией процесса ЛГМ, но в настоящее время отсутствует единое мнение по выбору режимов вибрации форм для моделей сложной конфигурации [1].

В основу патентуемого в институте ФТИМС НАН Украины газодинамического способа вибропрессования положены результаты гравиметрии формы из сухого песка при ее вакуумировании [2]. Они показали, что виброуплотненный песок при продувке воздухом постепенно течет в сторону вакуум-фильтра, начиная от мелких фракций, которые уходят из каркаса крупных песчинок, вплоть до его ослабления и рассыпания. При поддержании перепада давления в песчаной среде потоки

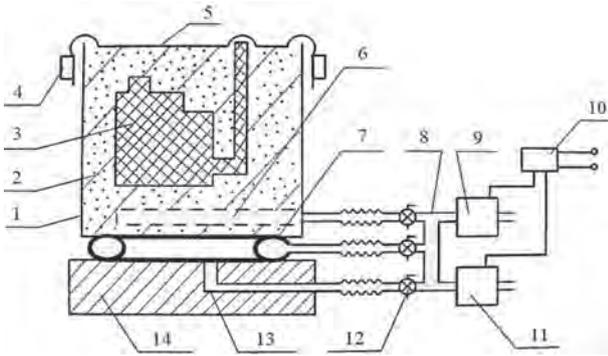


Рис. 1. Схема способа вакуумного вибропрессования: 1 – металлический контейнер; 2 – песок; 3 – разовая модель; 4 – зажимы; 5 – синтетическая пленка; 6 – вентсистема; 7 – амортизатор; 8 – распределитель; 9, 11 – импульсные клапаны; 10 – реле; 12 – кран; 13 – трубопровод; 14 – подложка

воздуха (либо жидкости) находят пути наименьшего сопротивления до тех пор, пока эти пути не закупорятся переносимыми мелкими частицами.

Схема установки для реализации способа показана на рис. 1. Песчаная форма состоит из металлического контейнера 1 с песком 2 и разовой моделью 3. На верхней поверхности песка формы прижатая зажимами 4 к стенкам контейнера может укладываться синтетическая пленка 5. Песок внутри контейнера вакуумируют через вентсистему – пористый трубопровод 6. Контейнер стоит днищем на амортизаторе 7, например, в виде наполненного воздухом замкнутого рукава (оболочки) по периметру днища контейнера, подобного камере автомобильного колеса из резины толщиной 5–15 мм. Полость этого рукава и вентсистема 6 подключены с помощью гибких трубопроводов к трубчатому распределителю 8, к нему же подключены импульсные клапаны 9 и 11, управляемые от реле 10, а также трубопровод 13. По трубопроводу 13 подают газ в герметичную полость, созданную подложкой 14, поверхностью днища контейнера и гибкими стенками амортизатора 7. На трубопроводе 13, как и на других, отходящих влево от распределителя 8, установлены краны 12 или редукторы газового давления. автомобильного колеса из резины толщиной 5–15 мм. Полость этого рукава и вентсистема 6 подключены с помощью гибких трубопроводов к трубчатому распределителю 8, к нему же подключены импульсные клапаны 9 и 11, управляемые от реле 10, а также трубопровод 13. По трубопроводу 13 подают газ в герметичную полость, созданную подложкой 14, поверхностью днища контейнера и гибкими стенками амортизатора 7. На трубопроводе 13, как и на других, отходящих влево от распределителя 8, установлены краны 12 или редукторы газового давления.

Вибрацию сообщали формовочному материалу путем изменения давления газа в пористой песчаной среде с использованием импульсных клапанов типа Mesair VNP216 с проходным диаметром 2" (ЗАО «Камоци-пневматик»). Для крупных форм рекомендуются клапаны диаметром 2,5 или 3" (VNP220 или VNP224). Клапан 9 гибким рукавом подключали к вакуумному насосу типа ВВН, который дает давление 20 кПа (–0,8 кг/см² по вакуумметру). Клапан 11 аналогично подключали к источнику сжатого воздуха. Это давление воздуха (в случае отсутствия пленки 5) ограничивали так, чтобы поверхность песка оставалась неподвижной, или устанавливали сверху на песок мелкоячеистую сетку во избежание пылеобразования в рабочей зоне. Уплотнение песка осуществляли поочередным одновременным открыванием одного и закрыванием другого клапанов 9 и 11 с помощью реле 10, и таким образом подавали знакопеременное давление в трубчатый распределитель 8.

Рассмотрим подробнее явления, протекающие в процессе уплотнения. Циклическое знакопеременное изменение давления газа в песчаной среде формы создает изменяемое поле давления на поверхность песчинок и модели внутри песка, которое вызывает ответные силы сжатия – расширения со стороны упругого материала зерен песка и модели. Колебание давления отражается на поверхностных явлениях в песчаной среде при изменении коэффициента внутреннего трения, сил смачивания влаги (порядка 0,5% в сухом песке) и др. В поровом пространстве песка движение молекул газа в каркасе крупных песчинок вызывает движение мелких частиц, подобно начальной стадии их пневматического транспортирования. Избыточное давление (сверх атмосферного) ограничивают так, чтобы поток газа через открытую песчаную поверхность формы не достигал скорости, при которой возможно витание мелких песчаных частиц и поднимание их в воздух.

На песок действует сила гравитации, а также при наличии герметизирующей пленки на внешней поверхности песка в случае его вакуумирования песок прессует перепад давления, равный разности атмосферного и пониженного внутриформенного давления газа. При частичной разгерметизации песка прессующий перепад действует частично с учетом слоя песка, затрудняющего фильтрацию. Механические колебания всей формы аналогичны традиционному виброуплотнению или динамическому уплотнению песка с участием инерционных сил, снижающих внутреннее трение песка. Вакуумирование контейнера под днищем прижимает его к амортизаторам и он движется как закрепленная

опока, что улучшает режим уплотнения по сравнению с незакрепленной опокой. При увеличении давления под днищем контейнерная форма может отойти по инерции от амортизаторов вверх (подскочить) и временно разгерметизировать полость под днищем, что используется как метод стравливания газа для ограничения роста его давления.

Суммарное действие указанных явлений вызывает эффективное уплотнение песка в форме с затеканием его в поднутрения модели, что повышает качество литейных форм. Способ назван вакуумным вибропрессованием (ВВП). При установке контейнера 1 на амортизатор 7, лежащий на подложке 14 в виде металлической или бетонной плиты, создавали герметичную полость с гибкими стенками в виде амортизаторов. В этой полости выполняли циклическое изменение давления газа путем сообщения полости по трубопроводу 13 с трубчатым распределителем 8. Амортизаторы из упругого материала должны иметь сплошную поверхность для создания указанной полости под днищем контейнера. На рис. 1 показан амортизатор в виде газонаполненного рукава, которым создавали гибкие стенки герметичной полости с возможностью изменения давления газа внутри этого рукава. В каждом из трех трубопроводов, отходящих от трубчатого распределителя 8 влево, режим газового потока может регулироваться кранами 12 или другими регуляторами давления или расхода газа.

Отключение крана на верхнем трубопроводе к вентсистеме 6 приводит к аналогу традиционной для литейных цехов механической электроприводной вибрации без использования прессующего действия вакуума. Для применения этой весьма важной составляющей в процессе уплотнения на песчаную поверхность формы накладывают и закрепляют зажимами 4 по периметру контейнера синтетическую пленку 5. Сплошное полотно пленки используют с невысоким избыточным давлением газа, при котором пленка не надувается сверху пузырем и не рвется от этого давления газа. Если пленка в начальный период операции уплотнения может надуваться, то применяют стравливание избытка газов путем нанесения двух полотен с отверстиями и/или надрезами на них. Обычно нижнее полотно размещают в натянутом виде, а верхнее – свободно. Надрезы на пленках смещают так, что из формы избыток воздуха может выходить, а при вакуумировании песка полотна прижимаются к песку и воздух не пропускают, что позволяет прессовать песок перепадом давления, равного разности атмосферного и пониженного давления газа в порах песка.

Для мелкосерийного производства отливок в контейнерных формах разной величины частоту и другие характеристики многократного изменения давления газа в песчаной среде выбирали по визуальной контроле за движением синтетической пленки 5. Добивались, чтобы она была неподвижной в контакте с песчаной поверхностью формы или имела затухающие колебания, переходящие к концу операции уплотнения формовочного материала до неподвижного состояния лежащей пленки на песке. Это указывало на преобладание прессующих явлений в верхней части формы, газовые потоки к концу операции уплотнения песка (при снижении его газопроницаемости) так быстро достигают поверхности пленки и обращаются вспять, что не могут оторвать пленку от песка. При этом нижние слои песка уплотнились и тормозят газовые потоки, больше газа идет в нижние полости устройства под днище контейнера, интенсифицируя процесс встряхивания.

В технологии некоторых видов песчаных форм применяют газ как реагент или теплоноситель. Способ ВВП позволяет в заданный период уплотнения подать охлажденный или нагретый газ, либо газ, вступающий в химическую реакцию со связующим формовочной смеси. Например, для получения замороженных форм в качестве газа можно применять охлажденный азот, для формовки по ледяным моделям с целью плавления в песчаной форме такой разовой модели можно подавать нагретый воздух, а для CO_2 -процесса использовать газ как реагент. Такого рода газы можно подать внутрь контейнера по окончании операции уплотнения, подключив их источник трубопроводом к трубчатому распределителю 8, предварительно закрыв все трубопроводы кроме идущего к вентиляционной системе 6. Если расход такого газа не вызывает значительных затрат, то его можно подавать на протяжении всей операции вибрации через клапан 11.

Способ ВВП уплотняет формовочный наполнитель без применения вибростолов и вибраторов с подвижными частями, на которых расходуется энергия вибрации и которые часто не рассчитаны или неудобны для регулирования. Также возможны варианты его сочетания с действующими вибростолами. Многофакторность воздействия на формовочный материал, возможность регулирования подаваемых газовых давлений в каждую из трех рассмотренных зон устройства и изменения частоты переключения клапанов, а также удобство автоматизации процесса позволят расширить потенциал традиционных способов уплотнения песчаных форм. Способ предназначен для литья по

разовым пенопластовым или ледяным моделям в контейнерных формах. Устройство для его применения позволит формировать в цехе без вибростолла, а в автоматическом режиме способ пригоден для формовки на конвейере. Реализация ВВП с помощью простого устройства на базе двух клапанов упрощает оборудование для формовки из сухого песка при традиционном наличии вакуумного насоса на участках изготовления вакуумируемых форм.

Для заполнения песком при формовке сложных каналов моделей в Институте ФТИМС НАН Украины также разработан способ уплотнения песка в форме с использованием механизма пневматического транспортирования. Потребность в таком способе вызвана распространением способа ЛГМ на отливки со сложными каналами и поднутрениями, например, отливки блоков и головок двигателей, автоматических коробок передач, гидрораспределителей, жидкостных отопительных или конвекторных радиаторов и т. п., для моделей которых не всегда удается заполнить потолочные части поднутрения уплотненным песком. Это ведет к появлению в этих местах отливок металлических наплывов, наростов, подутий и пригара. В таких поднутрениях песок может не доходить до потолка – стенки модели, где необходимо не только заполнение песком, но и его уплотнение. Длительной вибрацией этого также трудно достичь, она может привести к деформации модели и расслоению песка.

Обычно металлические детали спроектированы конструктором под традиционную технологию литья со стержнями без учета минимизации поднутрений, вызывающих осложнения для сравнительно нового процесса ЛГМ. Сложные каналы отливок вызвали сомнение у литейщиков, «под силу» ли они способу ЛГМ. Для положительного ответа на этот вопрос использовали то, что, кроме высокой текучести песка при вибрировании, в вакуумируемых песчаных формах имеется опыт применения вакуума для удаления (транспортированием в пневмопотоке) части сухого песка из формы с целью ускорения охлаждения отливки [3]. Вместе с этим, учли возможность применения в пенопластовых моделях для вакуумной формовки газопроницаемых вент, которые не пропускают песок, но позволяют воздействовать вакуумом на заливаемый металл [4]. Это натолкнуло на мысль применить венты для подачи песка в сложнофасонные каналы модели при заполнении песком формообразующей полости модели с нижним отверстием или поднутрением модели, когда отверстие, через которое засыпают песок, находится ниже самой полости или ее потолка [5, с. 140–141].

Кроме того, при формировании в сухом песке сосудобразных моделей типа корпусов снарядов формообразующую полость модели засыпают песком, для вакуумирования которого часто применяют вставные вакуумпроводы. Иначе затрудненная фильтрация газа сквозь песок из удаленных от вентиляционной системы опоки узких каналов ослабляет вакуум в песчаном болване газонепроницаемой модели. При газификации модели бурно выделяющиеся газы резко снижают вакуум внутри песчаного болвана и разуплотненный песок осыпается или размывается при контакте с расплавом металла. Однако отливки со сложной полостью, в частности патрубки двигателей, имеют настолько тонкие и криволинейные каналы, что это не позволяет применить указанные вставные вакуумпроводы и другие методы предотвращения брака или такие меры не дают стабильного результата.

Задачу предотвращения ослабления вакуума, проникающего от вентиляционной системы на стенках опоки в заполненные песком формообразующие полости или каналы модели по извилистому длинному пути, решили сокращением этого пути – путем установки в них вент. Стенки модели выполнили с газопроницаемыми участками. По короткому пути через венты вакуум проникает в указанные песчаные объемы, что и создает при ЛГМ достаточный перепад давления газов от газификации модели (с одной стороны) и разрежения внутри этих песчаных объемов (с другой стороны). Стабильное вакуумирование песчаной среды формы снимает причины появления указанных видов брака.

Пример реализации такого способа показан на рис. 2, где схематически в разрезе изображена форма с песком 1. Контур контейнерной опоки условно показан основной линией, на стенке опоки имеется вентиляционная система 2. Разрез формы проходит по одному из каналов разовой модели 3, заполненному песком главным образом через отверстие 4. Такое положение модели в форме обу-

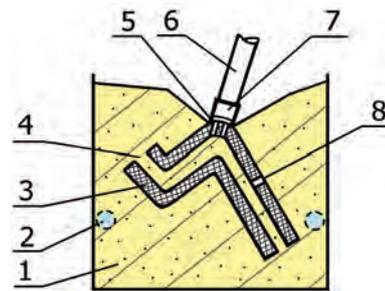


Рис. 2. Контейнерная форма с моделью со сложными каналами: 1 – форма с песком; 2 – вентиляционная система; 3 – одноразовая модель; 4 – отверстие в модели; 5, 8 – вента; 6 – торец трубопровода; 7 – трубчатый наконечник

словлено условиями питания отливки. В верхней части модели выполнена вента 5, к которой во время предварительного виброуплотнения песка и/или засыпки его в формообразующую полость прикладывают трубопровод 6, сообщенный с вакуумным насосом. Торец трубопровода 6 закрывали газопроницаемым материалом, не пропускающим песок, или на трубопровод надевали трубчатый наконечник 7 из мягкой резины, позволяющий прижать трубопровод 6 к венте без щели для прохождения песка. Также модель имеет вторую венту 8, которую вместе с вентой 5 располагали в ряд вдоль движения фронта расплавленного металла.

Процесс изготовления формы (рис. 2) включал следующие операции. Песок 1 засыпали в опоке с одноразовой моделью 3 при попадании песка на вход отверстия 4 канала модели. При этом выполняли кратковременное предварительное виброуплотнение песка на вибростоле с частичным заполнением полости канала. Во время предварительного виброуплотнения песка или засыпки его в полость канала выполняли вакуумирование потолочной зоны в наивысшем месте этой полости через венту 5, выполненную в стенке модели над этим местом, путем прикладывания сверху к этой венте торца трубопровода 6, сообщенного с вакуумным насосом. При этом в направлении к потолочной части формообразующей полости модели создавали воздушный поток как при транспортировании сухого песка в пневмопотоке, который сам или вместе с вибровоздействием на песок (возможно чередование) образует плотно заполненный песком канал. Прохождение воздуха через песок, подпирающий венту 5, уплотняет этот песок, а одновременное вибровоздействие ускоряет этот процесс, снижая внутреннее трение между песчинками.

После заполнения формообразующей полости модели в виде сквозного или тупикового канала и отключения вибрации трубопровод 6 удаляли. Песок досыпали в форму с дополнительным виброуплотнением в течение 10–20 с, покрывали форму синтетической пленкой и устанавливали литниковую воронку. В момент заливки формы при ЛГМ вакуумирование песка формы выполняли через вентиляционную систему 2 со стабильным проникновением вакуума в песок внутри канала через венты 5 и 8.

Венты на толщину стенки модели выполняли с отверстиями диаметром 0,3–1,0 мм сквозным сверлением стенки модели с последующим приклеиванием к зоне тонкой газопроницаемой ткани, не пропускающей песок. Выполнение при ЛГМ ряда вент в модели вдоль движения фронта газификации этой стенки модели дает возможность

поочередно вентилировать заполненную песком полость каждой вентой до газификации металлом последней венты. К этому моменту песок в канале пропускает через себя газы от деструкции модели и будет находиться в стабильном состоянии окруженный металлом. Такое состояние сохраняется до конца заливки и полного затвердевания отливки. Неподвижный металл не может разрушить зажатый им песок в канале, а вакуума от вентиляционной системы формы достаточно для стабильного завершения затвердевания отливки. Выполнение вент из того же материала, что и основное тело модели, не затрудняет ее газификации, при движении снизу вверх их по очереди газифицирует поднимающийся металл.

Достижение стабильного равномерного вакуумирования труднодоступных сложнофасонных и тонкостенных песчаных каналов одноразовой модели при изготовлении формы в сочетании с быстрым их заполнением уплотненным песком при использовании трубопровода 6 обеспечивает высокое качество отливок со сложными полостями, таких, как гидрораспределители, детали двигателя-, насосо- и арматуростроения.

При изготовлении форм из сухого песка, уплотняемого вибрацией как новыми, так и традиционными способами, в частности для действующих в литейных цехах процессов ВПФ и ЛГМ, важным критерием качества форм является максимально возможная степень уплотнения применяемого песка. Однако традиционный способ определения уплотняемости и насыпной плотности формовочных смесей со связующим по ГОСТ 23409.13–78, в котором используют удары копра по образцу смеси, для сыпучего сухого песка не применим. Это вызвало необходимость разработки способа для определения момента достижения наибольшей плотности песка во время его виброуплотнения при получении различных по массе литейных форм.

Известны результаты экспериментальных исследований, согласно которым для разных кварцевых песков в течение порядка 20 с вибрации плотность песка увеличивается прямо пропорционально времени, затем становится максимальной и при дальнейшей вибрации не изменяется [5, с. 139–140]. Однако при разной жесткости контейнерных опок в литейных формах с различными моделями и массой песка, а также с учетом повышенной продолжительности затекания песка в поднутрения моделей и под трубчатые вакуумирующие фильтры внутри опок каждая форма для получения максимальной плотности песка требует разной продолжительности вибрации. Недостаточная продолжи-

тельность вибрации конкретной формы увеличивает уровень брака и затраты на его исправление и очистку отливок, избыточная – увеличивает энергозатраты, может привести к деформированию модели и расслоению песка, также вызывающего ухудшение качества отливки.

Поскольку при вибрации происходит уплотнение песка на величину, составляющую до 20% объема его свободной засыпки [5, с. 77], то несложно при виброуплотнении в форме определить уровнемером наличие процесса снижения верхнего уровня песка в опоке, и как только прекратится это снижение, сразу отключить вибрацию. Кроме того, в [5] указано, что вибровоздействие путем уменьшения сил внутреннего трения превращает песок в псевдожидкость. Следовательно, как подтверждено практикой, при вибрации тяжелые предметы погружаются в песок – «тонут», а легкие «всплывают». Согласно предложенному способу, для мониторинга (отслеживания) движения верхнего уровня уплотненного песка использовали приспособление, аналогичное поплавковому уравнемеру, также можно применять уровнемеры других конструкций.

Способ опробовали с устройством, подобным простейшему датчику измерения уровня топлива в бензобаке автомобиля. Оно состоит из пенопла-

стового поплавка (чувствительный элемент) на одном конце рычага, закрепленного на оси, а конец рычага по другую сторону от оси механически связан с ползунком реостата. Корпус устройства крепили зажимом (магнитным или механическим) к верхней части стенки опоки, установленной на вибростоле, уложив пенопластовый поплавок на поверхность песка, предварительно засыпанного в опоку с моделью, и начинали виброуплотнение. При понижении уровня песка лежащий на нем поплавок с рычагом перемещался вниз, а ползунок по обмотке реостата – в сторону уменьшения сопротивления реостата. При прекращении изменения сопротивления реостата, фиксируемого прибором, вибрацию формы прекращали. Несложно выполнить устройство автоматического отключения вибратора через 1–5 с после остановки движения рычага как вариант использования обратной связи, когда выходной сигнал системы (прекращение изменения электропроводимости или сопротивления) приводит к изменению входного сигнала в виде прекращения электропитания вибратора.

Таким образом, использование обратной связи от такого критерия как прекращение изменения уровня песка легло в основу способа уплотнения песка с оптимальной продолжительностью, в том числе пригодного для операции уплотнения в авто-

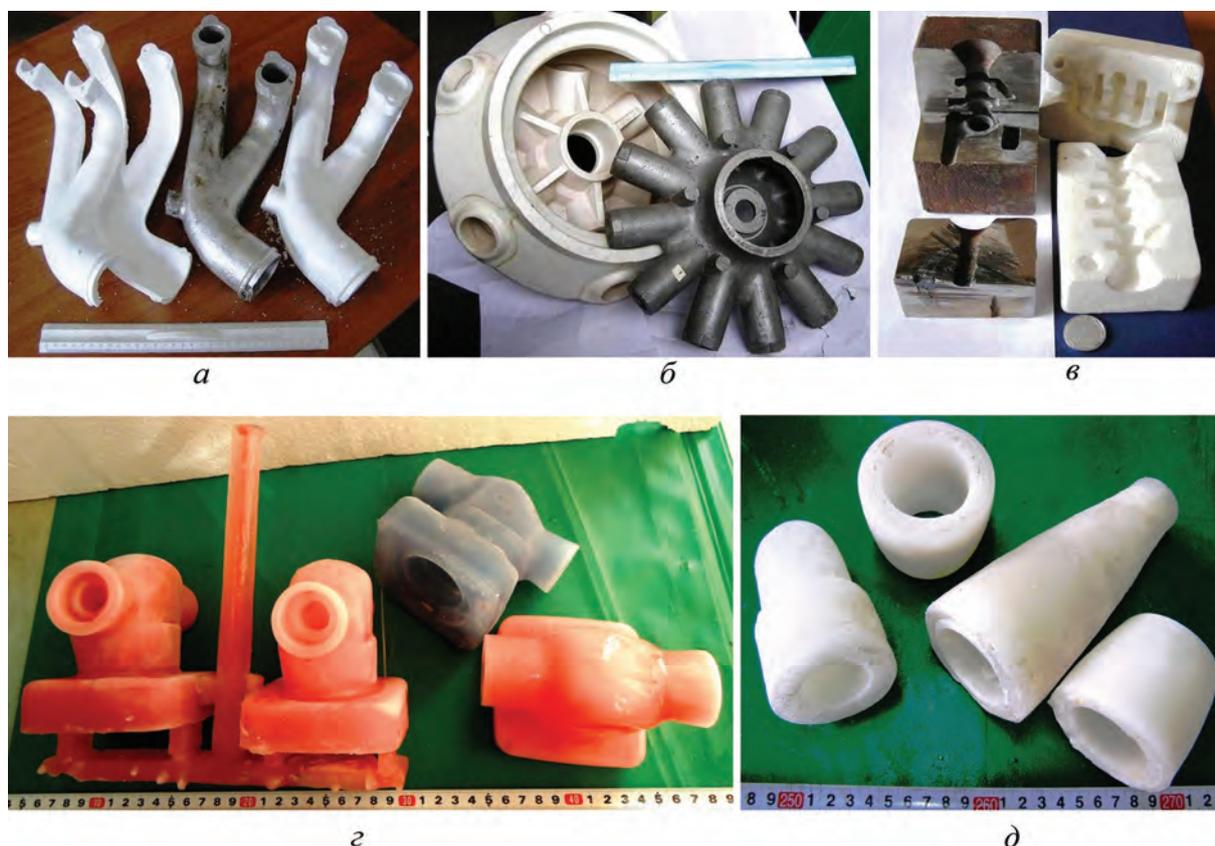


Рис. 3. Примеры разовых моделей и отливок с каналами сложной формы (для выяснения размеров показаны линейки, на рис. в – копейка)

матическом режиме. Мониторинг процесса снижения уровня песка может контролировать оператор при выводе сигнала от уровнемера на табло или экран компьютера. Стабильное виброуплотнение песка формы до максимальной плотности позволит уменьшить уровень брака отливок, а отсутствие излишней работы вибраторов ускорит процесс формовки и уменьшит энергозатраты.

Примеры сложнофасонных и полостных отливок и моделей показаны рис. 3. Их получают с использованием ряда новых способов формовки в цехах ЛГМ опытного производства ФТИМС НАН Украины, где продолжает работать научно-технологическая школа под руководством проф. О. И. Шинского. Пенополистироловые модели и отливки со сложными каналами показаны на рис. 3, а–в, а ледяные модели со сквозными и «глухими» полостями – на рис. 3, г, д.

Выводы

Рассмотрены новые способы газодинамического уплотнения сухого песка при формовке и способ виброуплотнения песка с оптимальной продолжительностью, а также выполнен краткий анализ явлений, сопровождающих такого рода уплотнение песка. Приведены примеры моделей и отливок с каналами сложной формы, полученные по ЛГМ-процессу, а также ледяные модели. Эти способы формовки запатентованы или проходят патентование. По завершению их отработки до промышленного уровня с разработкой конструкторской документации устройств для конкретных видов оснастки и условий производства они будут предложены к внедрению в производство.

Литература

1. Шуляк В. С. О состоянии и развитии производства отливок литьем по газифицируемым моделям в России // Сб. тр. 1-й Междунар. науч.-практ. конф. «Литье по газифицируемым моделям». СПб, 2007.
2. Шинский О. И., Дорoshenko В. С. Литье в оболочковые формы, полученные пропиткой сухого песка связующим // Металл и литье Украины. 2009. № 7–8. С. 16–22.
3. Пат. UA 82963: МПК В22D27/04, В22D27/15. Оpubл. 2008. Бюл. № 10. Способ изготовления отливки в песчаной форме.
4. Пат. UA 80656: МПК В22С 7/00, В22С 9/02. Оpubл. 2007. Бюл. № 16. Модель для вакуумной формовки.
5. Литье по газифицируемым моделям / Под ред. Ю. А. Степанова. М.: Машиностроение, 1976.