



УДК 621.74

Поступила 13.10.2017

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ЗАПОРНОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

*П. Б. КАЛЮЖНЫЙ, С. О. КРОТЮК, М. Т. ЛЕВЧУК, Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина, пр. Вернадского, 34/1.
E-mail: kpb.cmw@ukr.net*

Описаны особенности технологического процесса получения отливок запорной арматуры из стали литьем по газифицируемым моделям. Показано, что размерная точность отливки «Корпус вентилля ДУ80» превосходит 7-й класс точности, а качество поверхности, механические свойства и химический состав стали полностью соответствуют требованиям заказчика. Приведена методика испытаний на герметичность отливок запорной арматуры.

Ключевые слова. Литье по газифицируемым моделям, запорная арматура, герметичность, пенополистироловая модель, противопожарное покрытие, размерная точность.

THE PRODUCTION TECHNOLOGICAL PROCESSES OF STEEL CAST PRODUCTS FOR SHUT-OFF VALVES BY CASTING ON LOST FOAM CASTING

*P. B. KALYUZHNYI, S. O. KROTYUK, M. T. LEVCHUK, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, 34/1, Vernadskogo ave.
E-mail: kpb.cmw@ukr.net*

The peculiarities of technological processes of obtaining steel castings of shut-off valves by lost foam casting are described. It is shown that the dimensional accuracy of the casting «Valve Body DN80» exceeds 7-th accuracy class; the surface quality, mechanical properties and chemical composition of the steel completely meet the customer requirements. The test procedure for leakproofness of shut-off valves castings is given.

Keywords. Lost foam casting, shut-off valves, leakproofness, foam polystyrene pattern, non stick coating, dimensional accuracy.

Наблюдаемое в последнее время в Украине и мире распространение способа литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) обусловлено не только его простотой, но и стремлением производителей получить отливки более высокой точности, с меньшими припусками, более высоким качеством поверхности и уменьшить потери от брака. В то же время многие производители отливок отдают предпочтение простому, но более затратному способу литья в холоднотвердеющие смеси (ХТС). Тенденции отечественного производителя направлены на модернизацию оборудования и повышение производительности труда, что позволит частично заменить китайскую продукцию на европейском рынке литейных изделий [1]. Именно ЛГМ за счет своих преимуществ дает возможность выпускать высококачественное конкурентоспособное литье.

ЛГМ позволяет получать особо точные геометрические размеры отливок (6–7-го класса точности ГОСТ 26645-85) с высокой чистотой поверхности (шероховатость поверхности 12,5–25 мкм). Также отпадает необходимость в литейных припусках, обеспечиваются только минимальные припуски на механическую обработку литых деталей. Процесс ЛГМ позволяет получать отливки сложной формы без применения стержней, что положительно сказывается на точности отливки, а также исключает из производственного процесса стержневое оборудование.

Вследствие использования в качестве огнеупорного наполнителя сухого кварцевого песка формовочная смесь значительно удешевляется. Отсутствие связующих компонентов положительно влияет на огнеупорность смеси. Также отпадает необходимость в смесеприготовительном оборудовании. В процессе

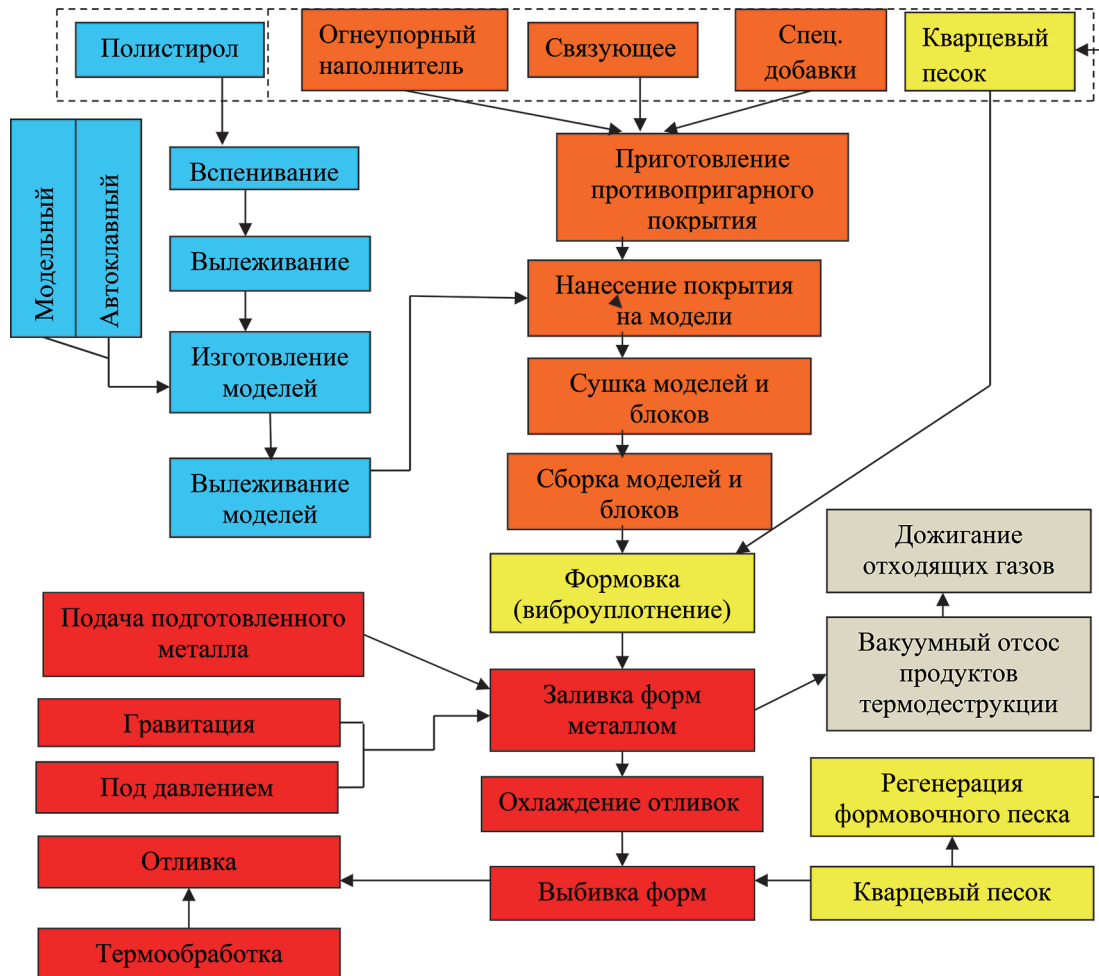


Рис. 1. Блок-схема технологических процессов получения отливок по газифицируемым моделям

получения отливок ЛГМ потери песка незначительны, а операция его подготовки заключается только в охлаждении, просеивании и обеспыливании. Использование сухого песка, кроме того, упрощает выбивания форм и улучшает условия труда, поскольку отсутствуют связующие компоненты (как в формах из ХТС), которые обычно выделяют вредные вещества.

ЛГМ позволяет быстро перенастраивать производство на выпуск новых изделий, соответствует тенденциям к гибкости и маневренности производства. Простота способа и оборудования дает возможность комплексной автоматизации и компьютеризации всего технологического процесса.

Технологический процесс изготовления отливок по газифицируемым моделям состоит из основных этапов: подготовка пенополистирола, изготовление пенополистироловых моделей, приготовление противпригарного покрытия и нанесение его на модель, сборка моделей в блоки, формование моделей или блоков в песке и заливка их необходимым сплавом. Общая блок-схема процесса производства отливок по газифицируемым моделям показана на рис. 1.

Перспективным для изготовления литых изделий трубопроводной арматуры, по мнению автора работы [2], является технология вакуумно-пленочной формовки (ВПФ). Но ВПФ, так же как и литье в ХТС, требует недешевого стержневого производства. Мы же считаем, что для производства арматурных отливок наиболее подходящим является способ ЛГМ. Данная технология позволяет получать отливки не только без стержней, но и дает возможность выбрать любое положение отливки в форме (поскольку форма образуется путем засыпки разовой модели сухим песком), что особенно важно для получения бездефектных ответственных отливок арматуры. Некоторые производители литья уже освоили изготовление запорной арматуры из чугуна методом ЛГМ, о чем свидетельствуют сайты литейных предприятий, в частности китайских. Это обусловлено тем, что в технологическом плане производство запорной арматуры из чугуна проще, и требования к ней ниже, ввиду того что рабочее давление чугунной арматуры, как правило, составляет 1,6 и 2,5 МПа. Однако стальные отливки запорной арматуры, работающие при давлении 4 МПа, по сложившемуся мнению, получить методом ЛГМ сложнее из-за низких техноло-

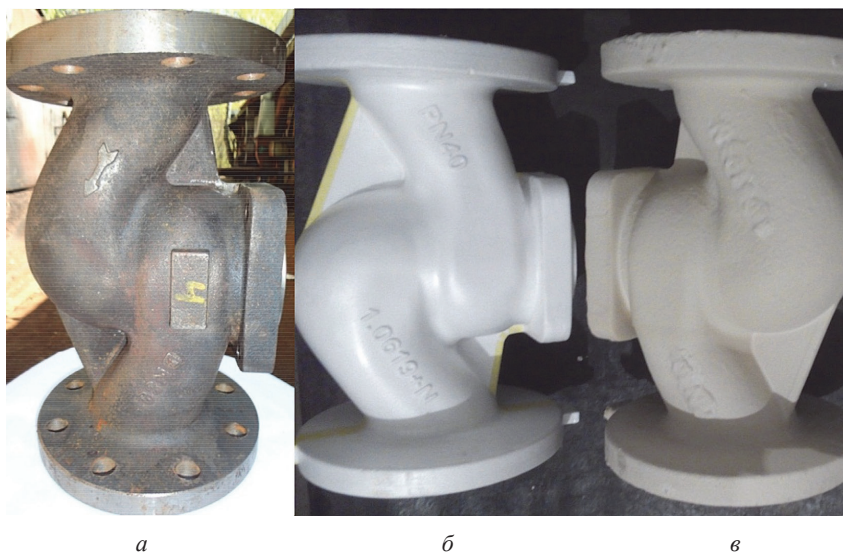


Рис. 2. Отливка «Корпус вентиля ДУ80» (а), пенополистироловая модель (б), модель с противопопригарным покрытием (в)

гических свойств стали и незнания всех особенностей метода. Мы же на реальном примере докажем, что изготовить стальную отливку запорной арматуры методом ЛГМ вполне реально и не так уж и сложно.

Рассмотрим технологический процесс получения отливок арматуры из стали по газифицируемым моделям на примере отливки «Корпус вентиля ДУ80» (рис. 2, а). Масса отливки составляет 19,7 кг, марка сплава – сталь 20Л ГОСТ 977-88. Корпус запорной арматуры относится к особо ответственным отливкам, поскольку к нему предъявляются требования по герметичности (рабочее давление изделия составляет 4 МПа). Поэтому при производстве таких отливок важно учитывать не только все особенности метода ЛГМ, но и производить анализ и контроль на всех его этапах.

В начальной стадии разработки технологии получения отливок «Корпус вентиля ДУ80» была спроектирована литниково-питающая система. Для данной отливки был выбран нижний подвод металла, поскольку это обеспечивает равномерную газификацию модели в форме и исключает охват жидким металлом пенополистирола при заливке. С помощью компьютерного моделирования были определены места образования усадочных дефектов и проведена оптимизация литниково-питающей системы. Так как при нижнем подводе металла расплав поступает в прибыли охлажденным и не создаются условия направленного затвердевания, поэтому для эффективной работы прибылей использовали экзотермические оболочки.

Для изготовления моделей исходный пенополистирол подвспенивали в паровом вспенивателе, после чего гранулы полистирола вылеживались 5–10 ч. Пресс-формы задували гранулами вспененного полистирола и помещали в автоклав, где происходило спекание пенополистирола и формообразование, таким образом, моделей. Плотность моделей выдерживали в пределах 25–27 кг/м³, поскольку при меньшей плотности невозможно было обеспечить прочность пенополистироловой модели, а при более высокой возрастало науглероживание стали при заливке. В данном процессе ввиду сложной конфигурации отливки очень важна конструкция пресс-формы. Правильно сконструированная пресс-форма должна обеспечивать хорошее заполнение ее гранулами полистирола, а также его равномерное спекание модели в автоклаве. Модели литниковой системы изготавливали полыми, это позволяло минимизировать науглероживание стали при ее заливке в форму.

После вылеживания моделей на протяжении 10–12 ч (для удаления влаги из пенополистирола) собирали модели (рис. 2, б) и модели литниковой системы путем склейки полимерным клеем и малярной лентой. Сборка элементов литниковой системы также обеспечивалась соединением «шип-паз» с целью повышения точности сборки, минимизации использования клея и повышения производительности труда.

На готовые модели методом окунания наносили противопопригарное покрытие, при этом контролировали его плотность, вязкость и газопроницаемость. Толщина покрытия на моделях находилась в пределах 0,4–0,8 мм. Модели с нанесенным покрытием (рис. 2, в) сушили при температуре 40 °С на протяжении 10–15 ч. Для данной отливки мы применяли и исследовали две разные краски: на основе дистенсилиманина и на основе циркониевого концентрата. В ходе промышленных опытов было установлено, что и первое, и второе противопопригарные покрытия обеспечивают защиту отливки от пригара и дают чистую поверхность (рис. 3).



Рис. 3. Качество поверхности отливки «Корпус вентилей ДУ80» после дробеструйки

Высушенные модели с покрытием собирали с литниковой системой в модельный блок, который затем устанавливали на песчаную «подушку» в литейный контейнер. Далее модельный блок засыпали до половины своей высоты песком и уплотняли за счет вибрации. После чего на выступающие части прибывшей одевали экзотермические оболочки и наполняли контейнер песком доверху.

Поскольку заливку проводили с поворотного ковша, то для очистки металла в канале литниковой системы размещали пенокерамические фильтры на основе диоксида циркона. Данные пенокерамические фильтры способствуют не только задерживанию шлака, но и при прохождении сквозь фильтр жидкого металла адсорбируют газовые включения. Отливки, полученные без фильтров, имели неметаллические включения в отличие от отливок, изготовленных с применением фильтров.

Выплавку стали 20Л проводили в индукционной тигельной печи ИСТ-0,5. В качестве шихтовых материалов использовали стальной прокат из Ст3 и ферросплавы.

При выплавке стали важно было получить расплав с низким содержанием углерода (до 0,17%), чтобы обеспечить после науглероживания при заливке заданный химический состав в отливке.

Заливку стали проводили при температуре 1620 °С при величине вакуума в форме 0,04 МПа. Наличие вакуума в форме очень важно, поскольку он не только удаляет продукты деструкции пенополистирола, но и обеспечивает прочность формы за счет перепада давления. Охлаждение отливок в контейнере продолжалось 7–8 ч, после чего отливки выбивали, а после охлаждения на воздухе передавали на участок обрубки и термообработки.

Немаловажным параметром для получения арматурных отливок является их размерная точность. Для ЛГМ получение качественной модели означает наполовину получение годной отливки. Собственно размерная точность отливки обеспечивается размерной точностью модели, которая обеспечивается пресс-формой и точностью сборки модели. Из табл. 1 видно, что реальные размеры модели «Корпус вентилей ДУ80» отличаются от расчетных не более чем на 1,3%. На рис. 4 приведены основные размеры отливки «Корпус вентилей ДУ80», которые подлежат контролю при ее изготовлении. Результаты замеров данных отливок (табл. 1) показали, что все размеры попадают в поле допусков, установленное заказчиком. Более того, большинство размеров превышают указанные допуски в несколько раз, а их точность превышает 7т класс по ГОСТ 26645-85.

Таблица 1. Размерная точность стальных отливок «Корпус вентилей ДУ80»

Номинальный размер отливки, мм	Размер модели по чертежу, мм	Реальный средний размер модели, мм	Отклонение размера модели, мм	Реальный средний размер отливки, мм	Отклонение размера отливки, мм	Допуск размера по чертежу, мм	Класс точности размера по ГОСТ 26645-85
1	2	3	4	5	6	7	8
116,0	118,32	118,36	+0,04	116,9	+0,9	+/-1,8	7т
93,0	94,86	94,98	+0,12	92,73	-0,27	-4,0	3
9,5	9,69	9,68	-0,01	9,52	+0,02	+2,0	1
9,5	9,69	9,65	-0,04	9,59	+0,09	+2,0	2
89,0	90,78	91,05	+0,27	89,04	+0,04	+/-1,5	1
9,5	9,69	9,69	0,0	9,60	+0,1	+2,0	2
9,5	9,69	9,67	-0,02	9,55	+0,05	+2,0	1
318,0	324,36	322,10	-2,26	317,05	-0,95	+/-2,2	6
310,0	316,2	313,25	-2,95	309,0	-1,0	-4,0	6
22,0	22,44	22,77	+0,33	22,28	+0,28	+2,0	5т
22,0	22,44	22,73	+0,29	22,17	+0,17	+2,0	3
200,0	204,0	203,29	-0,71	198,98	-1,02	+/-2,0	7т
200,0	204,0	203,25	-0,75	198,94	-1,06	+/-2,0	7т

1	2	3	4	5	6	7	8
141,0	143,82	143,57	-0,25	140,81	-0,19	+/-1,8	2
141,0	143,82	143,57	-0,25	140,83	-0,17	+/-1,8	2
80,0	81,6	81,17	-0,43	79,1	-0,9	+/-1,6	7Т
80,0	81,6	81,25	-0,35	79,22	-0,78	+/-1,6	7Т
8,0	8,16	8,50	+0,34	8,2	+0,2	+2,0	4
76,0	77,52	77,33	-0,19	75,86	-0,14	-2,0	1
22,0	22,44	22,75	+0,31	22,46	+0,46	+2,5	6

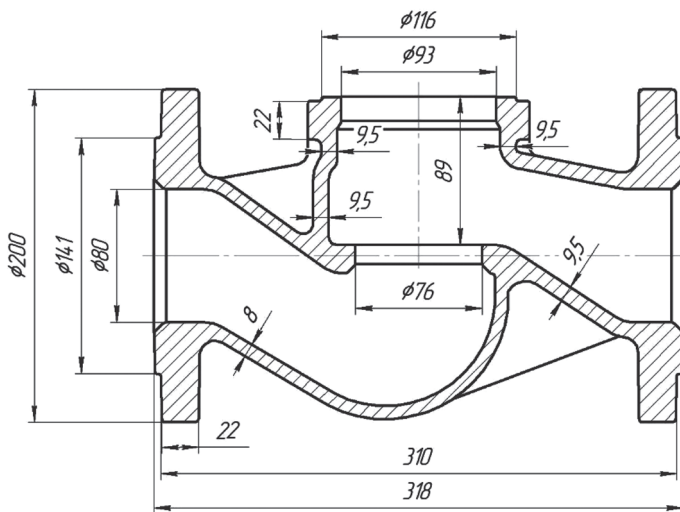


Рис. 4. Чертеж отливки «Корпус вентиля ДУ80»

Получая отливки с точностью выше 7-го класса, отпадает необходимость закладывать в литую конструкцию неоправданно большие толщины стенок. При этом появляется возможность снижения массы детали и следует экономическая эффективность – уменьшение затрат на производство тонны литья за счет снижения себестоимости и сохранения цены на продукцию. Кроме того, объем вредных выбросов будет сокращен пропорционально уменьшению общей металлоемкости [3].

Измерение толщины стенок отливки и контроль их разностенности проводили с помощью ультразвукового толщиномера мод. ТМ-8812, который предназначен для измерения толщины металлических и неметаллических изделий при доступе к ним с одной стороны в диапазоне от 1,0

до 200 мм с точностью 0,1 мм. Принцип работы ультразвукового толщиномера основывается на измерении времени распространения звуковой волны в изделии. В приборе используется контактный способ обеспечения акустического контакта прижимом преобразователя к поверхности контролируемого изделия, на который нанесен глицерин.

Как известно, чтобы получить необходимые свойства в стальной отливке, следует обеспечить заданный химический состав сплава. Ошибочным является мнение, что невозможно получить стальную отливку методом ЛГМ с содержанием углерода ниже 0,25%. Именно комплексный подход к решению данной задачи позволил нам изготовить арматурную отливку из стали 20Л ГОСТ 977-88. Результаты анализа и испытаний показывают, что химический состав стали (табл. 2) в отливке «Корпус вентиля ДУ80» и механические свойства стали (после нормализации) (табл. 3) полностью соответствуют ГОСТ и техническим требованиям заказчика, а предел прочности значительно превосходит лимитируемые значения.

Таблица 2. Химический состав стали в отливках «Корпус вентиля ДУ80»

Номер плавки	Содержание элементов в стали, мас.%								
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	V
1	0,23	0,48	0,86	0,03	0,03	0,03	0,17	0,09	0,001
2	0,22	0,3	0,67	0,03	0,03	0,03	0,17	0,09	0,001
3	0,22	0,31	0,50	0,03	0,03	0,08	0,20	0,09	0,003
4	0,24	0,35	0,76	0,02	0,02	0,03	0,16	0,10	0,002
ТУ заказчика	0,18–0,23	0,3–0,6	0,5–1,2	<0,03	<0,03	Cr+Mo+Ni+V+Cu < 1,0			

Таблица 3. Механические свойства стали в отливках «Корпус вентиля ДУ80»

Номер плавки	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %
1	580	375	22	32
2	540	325	22	32
3	520	315	22	32
4	560	390	22	32
ТУ заказчика	>420	>240	>22	>30

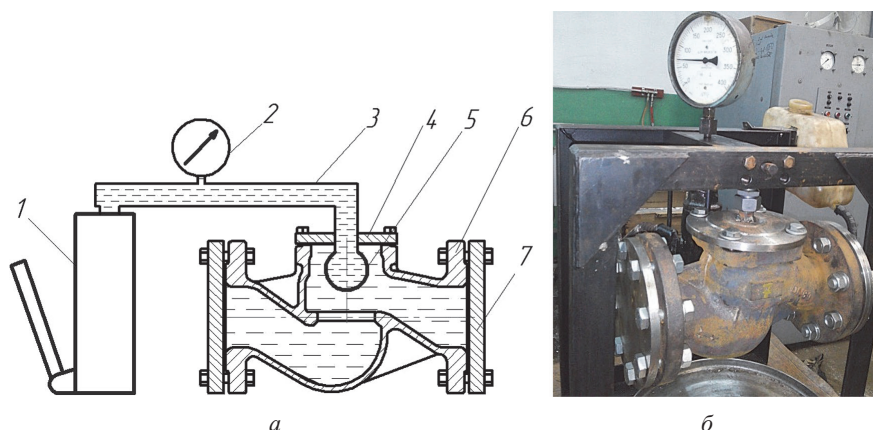


Рис. 5. Схема (а) и фото (б) стенда для испытаний на герметичность отливок запорной арматуры

Размерная точность и результаты механических испытаний подтверждают, что произведенные методом ЛГМ стальные отливки запорной трубопроводной арматуры полностью соответствуют предъявляемым к ним требованиям.

Поскольку запорная арматура работает под давлением, то литые заготовки корпусов арматуры должны испытываться на герметичность при давлении, превышающем в 1,5 раза рабочее номинальное давление. Для испытаний на герметичность специалистами ФТИМС НАН Украины был сконструирован испытательный стенд. Конструктивно он представляет собой станину, на которой установлен ручной гидравлический насос 1 (рис. 5, а), а также соединительный канал 3 и фланец 4, с его помощью испытуемое изделие 6 крепится на стенд.

Для проведения испытаний на герметичность отливки «Корпус вентиля ДУ80» к ее боковым фланцам прикручивали глухие фланцы 7 (рис. 5, а, б), при этом плотность прилегания обеспечивалась резиновыми прокладками. После этого отливку наполняли доверху водой и устанавливали на стенд, прикручивая верхний фланец отливки к фланцу 4 стенда. Испытания проводили следующим образом: под действием давления, создаваемого насосом 1, машинное масло через канал 3 поступало в эластичную мембрану 5, которая размещена в отливке с водой. Поскольку создаваемое давление масла в насосе, величину которого определяли по манометру 2, передавалось через стенки мембраны на воду, то в отливке получали такое же давление воды.

Поскольку рабочее давление изделия «Корпус вентиля ДУ80» составляет 4 МПа, то испытания на герметичность проводили при давлении 6 МПа. Данные испытания позволили выявить в отливках места образования пор и несплошностей, которые приводили к течи. Отливка считалась прошедшей гидравлические испытания, если на протяжении 10 мин при давлении 6 МПа на ее поверхности не появилась течь.

В общем комплексный подход к проектированию технологического процесса с использованием современных технологий позволил получить качественные отливки «Корпус вентиля ДУ80». Спроектированный технологический процесс позволит заказчику перевести производство литых деталей запорной арматуры из традиционного литья в песок на более экономичный метод ЛГМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Перспективы** литья в ЕС // Металл Украины. 2015. № 12(595). С. 22.
2. **Буданов Е. Н.** Производство отливок арматуры (вентили, задвижки, фитинги, клапаны) // Литейщик России. 2005. № 10. С. 11–18.
3. **Шинский О. И.** Экология, технология и экономика литейного производства Украины // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2011. № 4. С. 90–94.

REFERENCES

1. **Perspektivy** lit'ja v ES [Prospects of casting in the EU]. *Metall Ukrainy = Ukraine metal*, 2015, no. 12(595), p. 22.
2. **Budanov E. N.** Proizvodstvo otlivok armatury (ventili, zadvizhki, fitingi, klapani) [Production of valves castings (valves, faucets, fittings, flaps)]. *Litejshhik Rossii = Russian Foudryman*, 2005, no. 10, pp. 11–18.
3. **Shinskiy O. I.** Jekologija, tehnologija i jekonomika litejnogo proizvodstva Ukrainy [Ecology, technology and economy of Ukraine foundry production]. *Oborudovanie i instrument dlja professionalov = Equipment and tools for professionals*, 2011, no. 4, pp. 90–94.