

## НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

**О НОВОМ ПОДХОДЕ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЖИДКОСТЕКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЬЯ В ПЕРИОД ВСЕОБЩЕГО КРИЗИСА****Часть 1. ФОРМЫ, ОТВЕРЖДАЕМЫЕ ПРОВЯЛИВАНИЕМ НА ВОЗДУХЕ  
И ПРИ ПОМОЩИ ПЕРЕНОСНЫХ КОЛПАКОВЫХ СУШИЛ**

*к.т.н. Белобров Е.А., Белобров К.Е., Белобров Л.Е., Карпенкова О.А.  
(КНПП «Формовочные материалы Украины», г. Краматорск)*

Технологию производства литья условно можно разделить на три части: первая формообразование, которое начинается с исходных формовочных материалов и заканчивается сборкой литейной формы под заливку ее металлом; вторая - выплавка и разливка металла; третья - финишные операции, осуществляемые после выбивки отливки.

Качество отливки формируется в основном на первых двух стадиях.

При постоянстве качества выплавляемого металла решающую роль в формировании качества отливки играет литейная форма, включающая в себя также стержни, как ее составные элементы.

Не принимая во внимание специальных способов литья, до 50-х годов прошлого века абсолютное преобладание в литейном производстве имела песчано-глинистая технология формообразования (далее ПЕТ). Она была самой простой и дешевой при невысоком качестве литья.

Последующее внедрение недорогих жидкостекловых технологий позволило совершить скачок в качестве отливок, однако это коснулось главным образом заводов с мелкосерийным и индивидуальным производством. В массовом же производстве главенствующую роль играла и продолжает играть по сегодняшний день ПЕТ. Жидкостекловые технологии по ряду причин для массового производства оказались неприемлемыми.

В европейских странах быстрыми темпами внедряются современные высокоэффективные технологии на основе синтетических смол как связующих: фуран-процесс,  $\alpha$ -set- процесс,  $\beta$ -set- процесс в виде его разновидностей - амин-процесса, метилформидат-процесса, Вер - set-процесса.

Однако переход на эти технологии связан с большими капиталовложениями. Достаточно заметить, что для внедрения любой из этих технологий в цехах с объемом производства 5-10 тыс. т литья в год требуются затраты порядка 5-8 млн. Евро.

В Украине есть лишь несколько заводов, которые уже внедрились или внедряют эти технологии. Для абсолютного же большинства производителей литья новые европейские технологии неподъемны. Поэтому литейщикам Украины надо по-новому, критически подойти к жидкостекловым технологиям прошлого века. Это, кроме прочего, будет оправдано еще и тем, что в последние годы в России появились новые разработки по жидкостекловым смесям (далее ЖС), коренным образом улучшающие их преимущества и устраняющие существенные недостатки, одним из которых является плохая выбиваемость. Кроме того, большая часть жидкостекловых технологий может быть реализована в энергетически экономных вариантах, что ныне очень актуально для Украины.

Принимая во внимание вышеизложенное, а также то, что фундаментальные публикации по жидкостекловым технологиям были сделаны в бывшем СССР в 50-70-е годы прошлого века и многим, особенно нынешним молодым специалистам малоизвестны и недоступны, мы настоящей публикацией делаем попытку помочь литейщикам Украины правильно сориентироваться и оценить положительные возможности жидкостекловых технологий.

Кроме настоящей публикации, предполагаются еще три наши статьи, одна из которых будет посвящена отверждению жидкостекловых стержней и форм в камерных сушилах, вторая -  $\text{CO}_2$ -процессу и третья - технологиям на основе пластичных самотвердеющих смесей, отверждаемых порошковыми и жидкими отвердителями.

Основная разновидность самой широко распространенной ЖС состоит из кварцевого песка, 3-4% порошковой глины или бентонита и 5-6% жидкого стекла с силикатным модулем 2,25-2,35.

Эта смесь характеризуется сырой  $a_{\text{сж}}$  0,16 -0,20 кгс/см<sup>2</sup>,  $a_p$  после тепловой сушки до 25 кгс/см<sup>2</sup>, влажностью 2,7-3,2% и газопроницаемостью не менее 100 ед.

В сыром (неотвержденном) виде ни стержни, ни формы из ЖС не применяются по причине их высокой предрасположенности к образованию дефектов типа ужимин.

К первой разновидности тепловой сушки форм из ЖС можно отнести естественную сушку в цеховом помещении (провяливание).

На отдельных заводах Украины, например на Зуевском энергомеханическом, этот способ

сушки форм используется и в настоящее время. Изготовленные полуформы штабелями, с просветами по высоте 150-200 мм, выставляются на плац и выдерживаются в течение суток. При средней относительной влажности воздуха (далее WOTH) 70% и его температуре (далее Т) 20°C влажность поверхностного слоя формы за сутки снижается до 1,45%. Как при этой, так и при более высокой влажности (до 2%) поверхность формы кажется очень прочной и твердой. Однако это иллюзия. Через 3 ч после сборки формы (при открытых ее прибыльных частях) WOTH в ее полости достигла 94%, а влажность поверхностного слоя возросла до 1,68%. В этом случае имела место миграция влаги в поверхностный слой из глубины формы, а также поступление ее из увлажненного воздуха полости формы. Отливка лопатки направляющего аппарата гидротурбины массой около 2 т, изготовленная в такой форме, была сплошь поражена ужиминами.

Особенность отвержденной на воздухе ЖС (модуль 2,25-2,35) состоит в том, что при увеличении ее влажности до 2,1-2,2%, она уже при комнатной температуре приобретает нулевую прочность. Чем выше модуль жидкого стекла тем, выше порог этой влажности и наоборот. При заливке форм металлом небольшой по меркам ППТ остаточной влажности 1,45% достаточно для мгновенного образования зоны конденсации в приповерхностном слое формы, что приводит к массовому браку по ужиминам.

Степень высыхания поверхности формы при ее проявлении при постоянстве Т всецело зависит от WOTH воздуха.

Влияние WOTH воздуха на количество дефектных стальных отливок в летний и осенний периоды показано на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Влияние W отн. воздуха на количество дефектных отливок

На основании вышеописанных исследований и экспериментов констатируем полную непригодность технологии проявливании форм из ЖС в атмосфере цеха. Эту технологию можно ограниченно использовать для упрочнения форм при изготовлении мелких отливок массой до 500 кг лишь в отдельные периоды года при WOTH воздуха не более 60%.

Абсолютно надежным техническим решением, гарантирующим полное отсутствие ужимин на отливках, является тепловая сушка форм из ЖС, которую условного разделим на две части - поверхностную тепловую сушку (далее ПТС) и нормальную тепловую сушку в камерных сушилках (далее НТС). ПТС можно рекомендовать для производства отливок массой до 3 т. Для производства более крупных отливок надо использовать НТС, которая возможна в камерных сушилках, а также в отдельных случаях или при помощи переносных колпаковых газовых (далее ПКГС) или электрических сушилок (далее ПКЭС или ПКЭС соответственно).

В этом случае главным фактором предупреждения ужимин является отсутствие влаги в



поверхностных слоев формы и связанного с ней образования зоны конденсации влаги (далее ЗКВ).

Выбор ПТС или НТС зависит от единичной массы отливки и продолжительности хранения подсушенных форм до сборки и в собранном состоянии, что подробно будет изложено ниже.

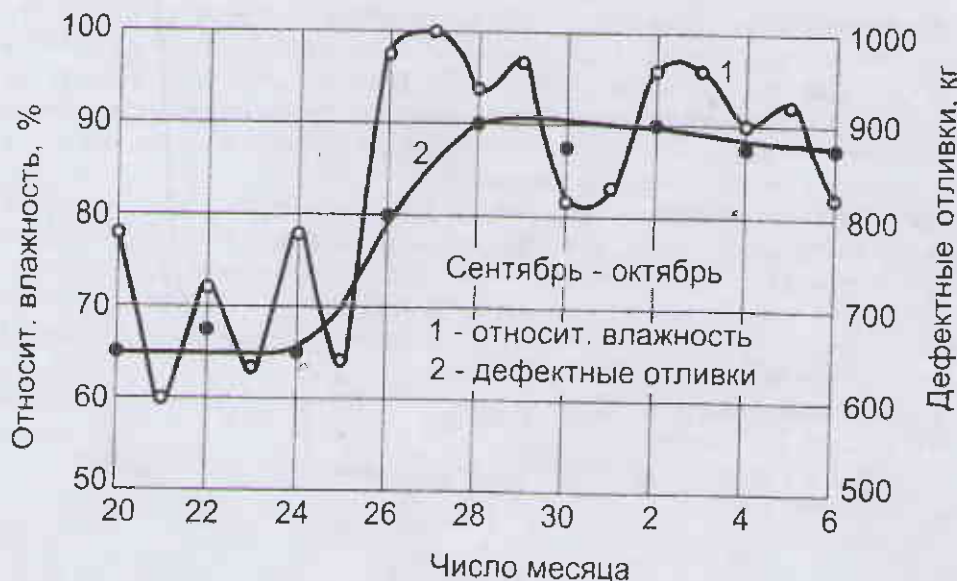


Рис. 2: Взаимосвязь между  $W$  отн. воздуха и количеством дефектных отливок

Технологической основой как ПТС, так и НТС при помощи ПКГС является схема методики, показанной на рис.3.

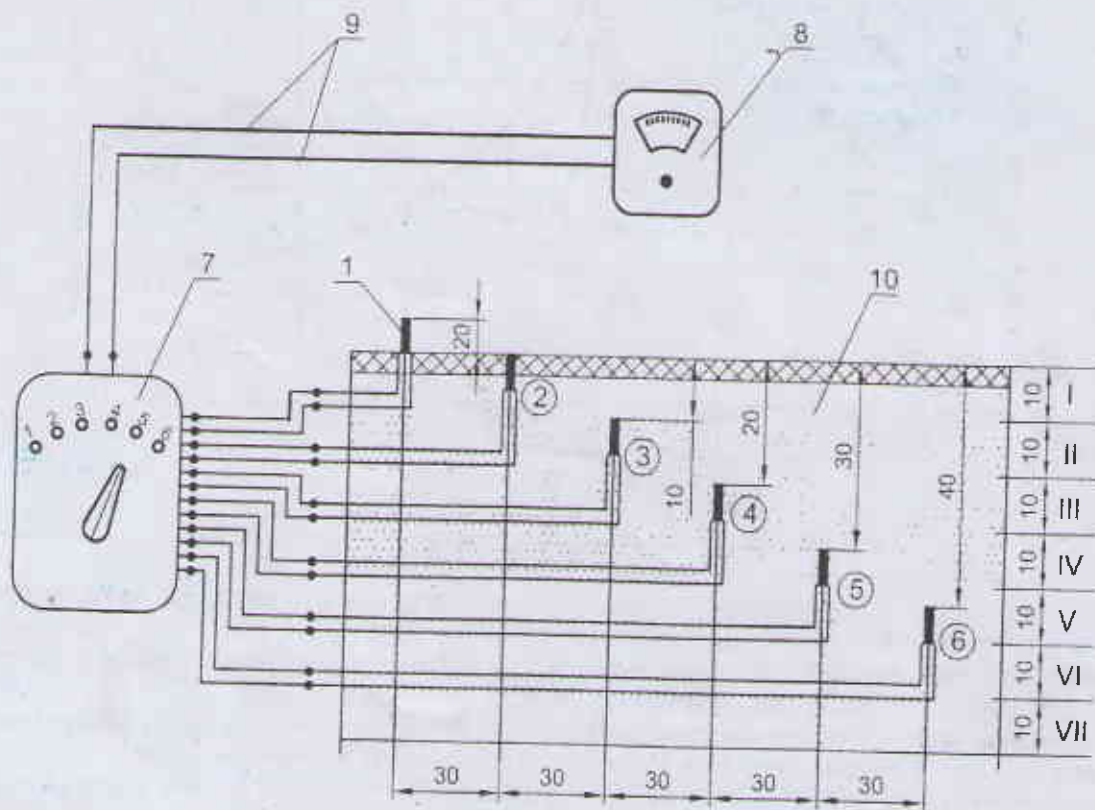


Рис. 3: Схема методики эксперимента по тепловой сушке форм

При ПТС форм важную роль играет  $T$  газов, являющихся сушильными агентами, а также взаимосвязь между толщиной высушиваемого слоя и продолжительностью сушки формы при заданной  $T$  газов. Определение оптимальной  $T$  газов и продолжительности сушки форм производилось

по методике, рис.3. В основу эксперимента положено известное положение, согласно которому температура высушиваемого тела при нормальном давлении может подняться выше 100°С лишь в случае завершения процессов испарения влаги в зоне сушки [1,2]. Для контроля температур различных слоев формы в последнюю было заформовано 6 хромель-алюмелевых термопар на разную глубину: 0, 10, 20, 30 и 40 мм (термопары 1,2,3, 4,5 и 6 соответственно). Спай термопары 1 для контроля Т газов выступал над поверхностью формы на 20 мм. После завершения формовки вставки извлекались, а образованные ими полости заполнялись жидкостекольной смесью заподлицо с поверхностью формы. Термопары при помощи компенсационных проводов соединялись с переключателем 7, а выходные клеммы последнего были подключены к гальванометру. Каждый раз показания термопар снималась в одном и том же порядке через 2,5 мин. Продолжительность одноразовой регистрации показаний не превышала 15 с. Форма сушилась газами, Т которых составляла 300°С. Указанная Т сушильного агента выбрана из соображений получения оптимальной скорости сушки, с одной стороны, и предупреждения растрескивания поверхности формы, имеющей место при сушке форм пламенем газовых горелок при 800-1200°С, с другой. В нашем эксперименте растрескивание не наблюдалось.

Влажность различных слоев формы через 3 и 24 ч после поверхностной сушки в течение 105 мин приведена в таблице (при исходной влажности облицовочной смеси 3%), из которой видно, что зона максимальной влажности располагается примерно на расстоянии 50 мм от поверхности сушки.

Таблица 1. Влажность слоев формы

Выдержка формы после сушки, ч	Влажность слоев формы (см. рис. 3)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
3	0	0	0,36	0,44	1,56	4,0	3,4
24	0,20	0,30	0,70	1,12	1,86	2,56	3,60

В процессе последующей выдержки формы в течение 24 ч влага из зоны конденсации переместилась как вглубь, так и в направлении поверхности сушки. Определение послойной влажности через 24 ч показало, что форма на всю глубину сушки была сухой и прочной. При влажности слоя IV 1,12% смесь обладала прочностью на разрыв примерно 8-10 кгс/см<sup>2</sup>. Таким образом, выдержка формы в ожидании сборки и в собранном виде в течение 24 ч не опасна в отношении разупрочнения и образования ужимин и других дефектов поверхности отливки. Зависимость толщины высушенного слоя от продолжительности сушки показана на рис. 4. Сравнительно небольшие формы (развес литья до 500 кг) в течение 25-30 мин высушивались на глубину 15 мм. Более крупные формы (развес литья от 500 до 1000 кг) высушивались в течение 40-50 мин. Крупные формы (развес литья от 1000 до 3000 кг) в течение 90 мин высушивались на глубину 28-32 мм.

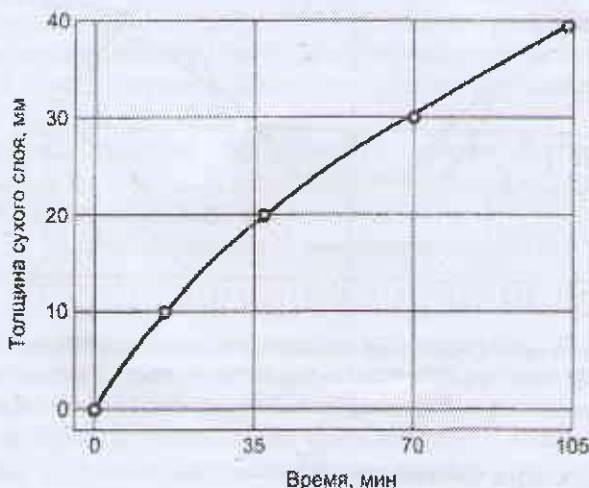


Рис. 4: Изменение толщины высушенного слоя формы в зависимости от продолжительности её сушки

Как известно [3], ужимины чаще всего образуются в момент заполнения формы металлом. Причем толщина отслаивающейся корки незначительна и в редких случаях достигает 10 мм.



Пример типичной ужимины, образовавшейся при заливке стали в форму размерами 600x800x100 мм после ее провяливания в течение 24 ч при  $W$  отн воздуха 83%, показан на рис.5. Эксперименты с этой же отливкой показали, что предупреждение образования ужимин достигается в результате поверхностной подсушки рабочего слоя формы.



Рис. 5: Отливка «плита» изготовленная в провяленной в течение 24 ч форме при  $W$  отн. воздуха 83%

Главным средством осуществления технологии ПТС является ПКГС или аналогичное ПКЭС.

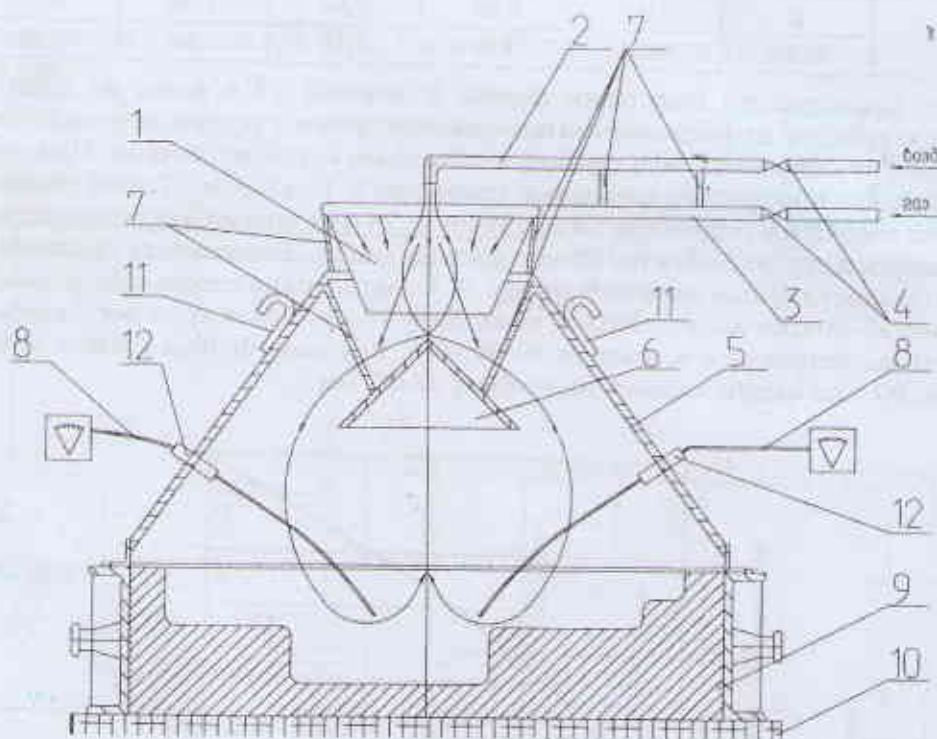


Рис. 6: Схема сушки литейной формы под колпаком газобым сушилом  
1-газовая горелка, 2-воздушная труба, 3-газовая труба, 4-вентили, 5-корпус сушила, 6-рассекатель,  
7-стяжки, 8-термопары, 9-форма, 10-литейный пол, 11-крюки, 12-фиксаторы

ПКГС состоит из следующих частей (рис.6):

- газовой горелки 1 с воздушной 2 и газовой 3 трубами. Подача газа и воздуха в горелку регулируется вентилями 4. Газовая горелка и трубы соединены стяжками 7;
- корпуса (колпака) 5, с которым газовая горелка жестко соединена стяжками 7. Нижняя (опорная) часть колпака обрамлена уголком. На внутренних поверхностях колпака имеются крючки для фиксации термопар в нерабочем состоянии. На колпаке предусмотрены крючки

11 для подъема и транспортирования ПКГС.

- рассекателя 6, жестко соединенного с корпусом 5 четырьмя стяжками 7 и предназначенного для равномерного распределения горячих продуктов сгорания природного газа;
- термопары 8 с измерительным прибором (милливольтметром).

В месте входа термопар в колпак предусмотрен фиксатор для удержания термопары в заданном положении, которое определяется конфигурацией и глубиной полостей высушиваемых литейных полуформ. Термопары связаны с милливольтметром специальными гибкими проводами. Все термопары подключаются к одному милливольтметру с переключателем для снятия показаний термопар.

Источником тепла при сушке форм при помощи ПКГС являются продукты горения природного газа, разбавленные холодным воздухом с целью обеспечения заданной температуры сушки. Разбавление горячих газов осуществляется вводом в полость высушиваемой формы сжатого воздуха от цеховой воздушной сети.

Существенной особенностью тепловой сушки форм из ЖС является ограничение температуры сушки - не более 300°C, так как при более высоких температурах снижается прочность.

Располагая несколькими ПКГС, например для полуформ в опоках с размерами в свету 900x1200; 1200x1600; 1600x2000 мм, можно сушить также полуформы больших размеров, например 2000x3000 мм. Для этого нет необходимости конструировать и изготавливать специальное ПКГС. Для сушки полуформ больших типоразмеров, а также любых других полуформ с типоразмерами, отличными от вышеперечисленных, можно использовать ПКГС одного из вышеупомянутых типоразмеров. Для этого достаточно изготовить переходную рамку, нижняя плоскость которой должна стыковаться с полуформой другого (нестандартного) типоразмера, а верхняя - с нижней плоскостью ПКГС одного из имеющихся типоразмеров. Высоты таких рамок надо выдерживать в пределах 150-200 мм.

Переходные рамки следует оснащать гладкообработанными опочными фланцами и цапфами для их плотной стыковки с ПКГС и транспортирования.

Для реальной сушки форм при помощи ПКГС нами отработаны 3 режима с общей продолжительностью сушки 30, 60 и 90 мин соответственно. Исполнение этих режимов обеспечивает толщину сушки 15-18, 23-25 и 28-32 мм, соответственно.

Важной особенностью тепловой сушки форм из ЖС является увязка ее с окрашиванием.

Обычно при изготовлении стальных отливок с толщинами тел 30-80 мм формы можно не окрашивать. При изготовлении тонкостенных (толщин стенок 15-25 мм), толстостенных стальных отливок (толщины стенок более 80 мм) и чугуновых отливок независимо от толщин стенок формы следует окрашивать.

Полу формы в сыром состоянии (до сушки) окрашиванию не подвергаются в связи с высоковероятными негативными технологическими последствиями.

При необходимости окрашивания полуформ водными противопопригарными красками эту операцию надо производить после сушки и остывания формы до 70-80°C. Если имеется необходимость двукратного окрашивания, то второе окрашивание производить после высыхания первого красочного слоя. В обоих случаях красочный слой высыхает за счет остаточного тепла полуформы.

Высушенные полуформы можно окрашивать также быстросохнущими (спиртовыми) красками после их охлаждения до + 30... + 40°C. Проявленные формы следует окрашивать только спиртовыми или другими быстросохнущими красками.

Как водные, так и быстросохнущие противопопригарные краски можно наносить на полуформы кистью или пульверизатором.

Технологически вполне приемлемым является вариант тепловой сушки полуформ из ЖС, подвергшихся предварительному отверждению углекислым газом под зонтами. Однако с экономической точки зрения делать это не следует, так как тепловая сушка форм при помощи ПКГС обеспечивает сушку полуформ на такую же и даже на большую глубину, чем и при использовании CO<sub>2</sub> - процесса. Однако в реальном производстве могут быть какие-то исключительные случаи, например необходимость производства высококачественных отливок из кислотостойких и нержавеющих сталей, когда присутствие влаги в отвержденной CO<sub>2</sub> форме недопустимо. В этом случае можно использовать отверждение CO<sub>2</sub> в сочетании с тепловой сушкой. Подробнее об этом будет сказано в наших последующих публикациях.

Сборка полуформ должна производиться при T их рабочих поверхностей не более 40°C.



Таким образом, на основании вышеописанных исследований можно констатировать следующее :

1. Проявлявание форм из ЖС в качестве долговременного и универсального способа их отверждения непригодно по причине обильного образования ужимин. Его можно использовать лишь в отдельные весенне-летние месяцы при  $W$  отн. воздуха не более 60%.

2. Радикальным средством упрочнения форм из ЖС и предупреждения дефектов является их поверхностная сушка (подсушка) при помощи переносных копкаковых газовых или электрических сушил.

3. На основании настоящих исследований разработано несколько типоразмеров переносных копкаковых газовых сушил, которые можно использовать для сушки форм из жидкостекольных смесей. Разработана также подробная технологическая инструкция, учитывающая весь положительный опыт поверхностной подсушки жидкостекольных форм на заводах тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения.

**Литература:**

1. О. Кришер. Научные основы техники сушки. Изд. иностр. литературы. М., 1961.
2. А.В. Лыков. Теория сушки. Госэнергиздат, 1950.
3. О.С. Кваша, П.И. Таланов. Условия образования ужимин. Литейное производство, 1965, № 10.

**ПОРИСТОЕ ЛИТЬЁ? РЕШЕНИЕ ЕСТЬ!**

Гюнтер Малданер («Ing. Hubert Maldaner»)

Заварзин С.Н. (МТЦ «Политег-Мет»)

Несмотря на развитие технологий производства, в деталях, отлитых из различных сплавов, возникает пористость. В зависимости от области применения данных деталей, например, в корпусах коробок передач, картерах, головках цилиндров, клапанах или различных видах гидравлических и пневматических узлов, указанные изделия могут придти в негодность. Во всех сферах производства, где к деталям предъявляются требования герметичности для жидкостей и газов, пористость может стать серьёзной проблемой.

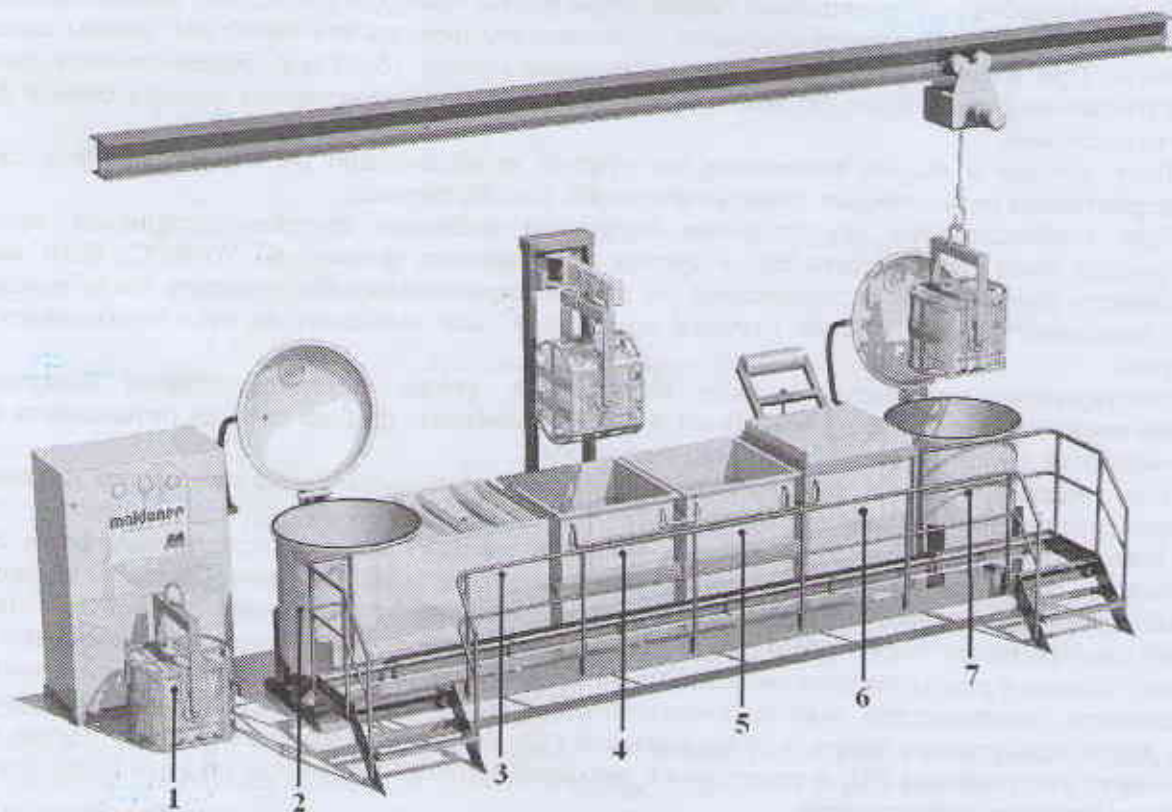


Рис. 1. Оборудование для вакуумной пропитки металлических изделий