

A row of modern bar equipment for production of big bars under Cold-box-amin-process is developed as a result of carried out investigations in UP "Institute BelNIIlit".

А. П. МЕЛЬНИКОВ, УП «Институт БелНИИлит», Д. М. КУКУЙ, БНТУ,
А. В. ЧЕРАПОВИЧ, УП «Институт БелНИИлит»

УДК 621.74

СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПО COLD-BOX-AMIN-ПРОЦЕССУ

На сегодняшний день не существует какой-либо одной технологии производства, которая подходила бы всем предприятиям для всех возможных видов литых заготовок. Каждый из существующих процессов изготовления стержней имеет свои достоинства и недостатки. При решении задач модернизации производства, как правило, представляется возможным организация изготовления стержней по нескольким различным технологиям. При изготовлении литейных песчаных стержней крупносерийных и массовых отливок, определяющих состояние всех отраслей машиностроения с серийной продукцией, приоритетными являются высокопроизводительные машинные способы стержневого производства. На стержневых пескоструйных и пескоструйных автоматах изготавливают более 90% всех стержней, задействованных в производстве серийных отливок. В настоящее время для производства стержней машинными методами в литейной промышленности используется порядка десяти основных технологических процессов, каждый из которых имеет многочисленные разновидности, подвиды и модификации. Как свидетельствует практический опыт, накопленный промышленностью за десятилетия применения машинных способов изготовления стержней, по совокупности технико-экономических показателей более прогрессивными являются холодные методы, среди которых можно выделить технологию Cold-box-amin. Предпочтительность метода Cold-box-amin заключается в следующем.

1. Технология проверена многолетней практикой и хорошо изучена теоретически.

2. По всему комплексу технологических параметров процесс не уступает другим стержневым

технологиям и может быть использован при производстве отливок из стали, чугуна и цветных сплавов. К достоинствам Cold-box-amin-процесса относятся низкая газотворность и высокая прочность стержней, возможность изготовления моноблоков стержней, точность размеров и чистота поверхности литья. Высокое качество получаемых отливок соответствует всем требованиям международной сертификации продукции и производства.

3. Высокие объемы применения метода Cold-box-amin за рубежом сопутствуют постоянному поиску новых, более качественных связующих материалов и добавок. Промышленностью разработаны десятки модификаций связующего, позволяющие решать любые технологические задачи. Последние разработки химиков позволили, например, за счет сочетания растительных и кремнийорганических растворителей и малотоксичной основы смолы наряду со значительным улучшением технологических параметров (низкая прилипаемость смеси к оснастке, уменьшение дефектов отливок из-за эрозии или просечек, более высокая термостойкость) добиться существенного снижения газовыделений на «горячей» стадии процесса.

4. Метод Cold-box-amin наиболее экономичен в применении. Ему свойственны высокая производительность, отсутствие коробления оснастки, низкий уровень брака стержней и литья, низкая энергоемкость технологии.

5. При соблюдении правил эксплуатации и вентиляции производственных помещений процесс по экологическим показателям соответствует всем экологическим нормам и правилам.

6. В отличие от других Cold-box-процессов метод Cold-box-amin на сегодняшний день не имеет

ни одного фактора, препятствующего его дальнейшему развитию (Эпокси-SO₂ – самая плохая экологичность и технологическая сложность применения вызывающего коррозию SO₂; Betaset – низкая прочность стержней и плохая регенерируемость песка; Carbophen – очень низкая прочность и ограниченная производительность процесса).

Очень высокие технико-экономические характеристики технологии Cold-box-amin определяют значительные объемы применения данного процесса в промышленно развитых странах, где на его долю приходится 75–80% всех массово-выпускаемых отливок (в автомобиле- и моторостроении – до 90%). По ряду причин в странах СНГ технология Cold-box-amin используется сравнительно недавно и по объемам применения все еще в десятки раз уступает процессам горячего отверждения. Но за последние годы отношение наших специалистов-литейщиков к холодным процессам изменилось – опыт успешной эксплуатации технологии Cold-box-amin и широкий выбор на рынке литейного оборудования специальных стержневых машин и вспомогательного оборудования сформировал устойчивую тенденцию по стремительному расширению применения данного процесса. В настоящее время практически все существующие проекты модернизации стержневого производства основываются на применении технологии Cold-box-amin.

Механизм предложенного еще в 1968 г. фирмой Ashland (США) метода Cold-box-amin заключается в продувке отформованного в ненагреваемой оснастке стержня газообразным катализатором из группы третичных аминов. Стержневая смесь для этого процесса приготавливается из сухого песка и связующего, состоящего из двух компонентов (растворов синтетической фенольной смолы и полиизоцианата). В процессе продувки стержня газообразным катализатором гидроксильные группы фенольной смолы очень быстро и прочно сое-

диняются с группами полиизоцианата, в результате чего образуется полиуретан, прочно связывающий зерна песка и обеспечивающий высокие эксплуатационные свойства изготавливаемых стержней (рис. 1).

Для определения оптимальных параметров стержневого оборудования для приготовления смеси и изготовления стержней по Cold-box-amin процессу были проведены исследования [1]:

- зависимость свойств стержней от параметров стержневой смеси и вида применяемого катализатора;
- влияние на прочность стержней технологических факторов процесса их изготовления и последующей обработки.

Для определения прочностных и прочих технологических свойств стержней в качестве базовой применялась стержневая смесь следующего состава, мас. ч.:

- песок обогащенный кварцевый 2K₁O₃O₂ (ГОСТ 2138-91) – 100;
- компонент А («Полифам-1А», ТУ 2257-005-29108557-96) – 1;
- компонент Б («Полифам-1Б», ТУ 2257-005-29108557-96) – 1.

Зависимость свойств стержней от параметров стержневой смеси и вида применяемого катализатора

Для определения влияния состава связующего (соотношения компонентов А и Б) была проведена серия экспериментов, результаты которых приведены на рис. 2.

По комплексу своих прочностных характеристик оптимальным соотношением компонентов А и Б для данного связующего может считаться отношение 1/1, рекомендуемое ТУ 2257-005-29108557-90. Для стержневой смеси, изготовленной на основе кварцевого песка, имеющего влажность 0,1%, увеличение содержания фенольной смолы (компонента А) в составе связующего приводит к некоторому падению (около 10%) текущей (в том числе и начальной) прочности. Излишки смолы, не имея в достаточном количестве ответных реакционных групп изоцианата, не способны быстро самостоятельно полимеризоваться, ослабляя при этом структурные связи образуемого полиуретана. В отличие от смолы полиизоцианат (компонент Б) при контакте с воздухом способен достаточно быстро полимеризоваться. Упрочнением структуры отвержденного связующего за счет самополимеризации полиизоцианата может быть объяснен некоторый рост прочности стержней при их выдержке. Однако имеющие избыток полиизоцианата стержни ха-

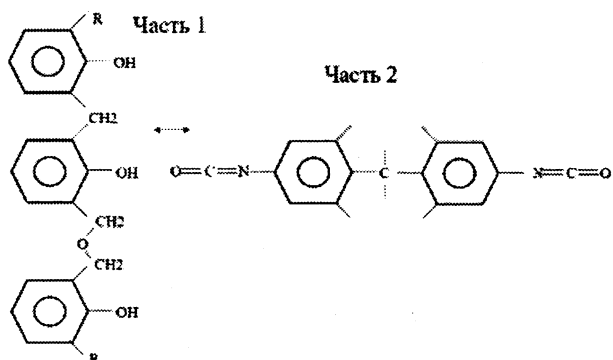


Рис. 1. Схема отверждения связующего в Cold-box-amin-процессе

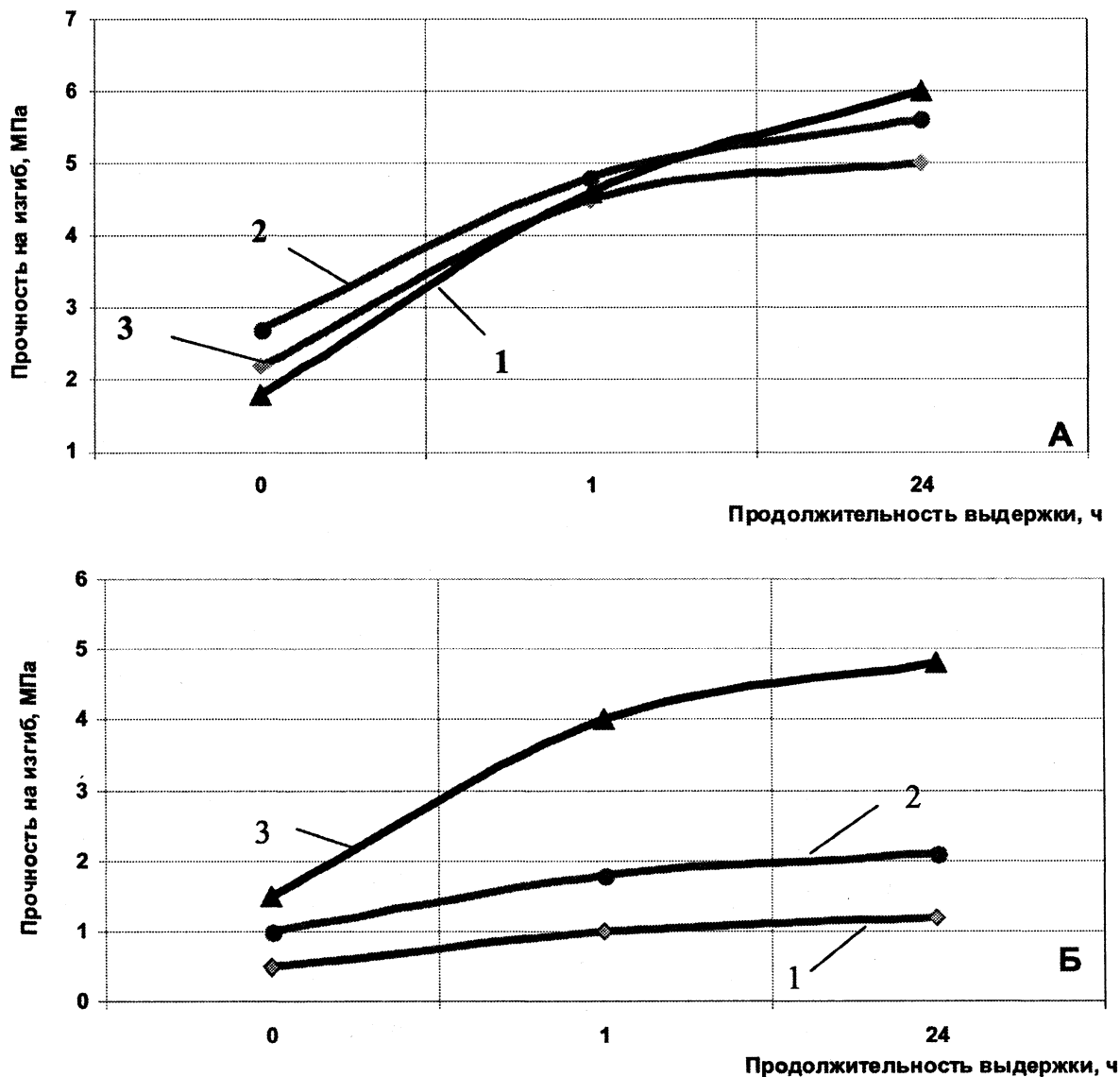


Рис. 2. Влияние качественного состава стержневой смеси на прочность стержней, изготовленных на основе кварцевого песка влажностью 0,1% (А) и 0,3% (Б). Соотношение компонентов А и Б в составе связующей композиции: 1 – 1,2/1,0; 2 – 1,0/1,0; 3 – 1,0/1,2

рактируются заметно пониженной начальной прочностью, объяснимой, как и в случае с избытком компонента А, наличием в структуре связующего части полиизоцианата, не вступившей в реакцию образования полиуретана.

Таким образом, при изготовлении стержней системы Cold-box-amin увеличение содержания в связующем доли компонента А сверх нормативов, установленных производителями связующего, нежелательно. Увеличение пропорционального содержания компонента Б может быть оправдано в случае неизбежности применения песка с повышенным содержанием влаги. В этом случае избыточная часть изоцианата связывается водой, что неизбежно приводит к некоторому падению прочности, но оставшаяся часть связующего имеет относительно равное количество реакционных групп

обоих компонентов, способных вступать в реакцию между собой. Очевидно, добавка избыточного изоцианата будет довольно эффективным способом борьбы с потерей прочности и в случае применения влажного сжатого воздуха для надува стержней и их продувки.

Как видно из рис. 3, прочность смеси увеличивается при схеме ввода компонентов Б+А.

Это может быть объяснено тем, что изоцианат является менее вязкой жидкостью, чем смола, и обладает лучшей смачиваемостью (кроющей способностью) по отношению к поверхности песка и поэтому образует более равномерную пленку на песчинках. Помимо этого, будучи введенным первым, полиизоцианат вступает в реакцию с остаточной влагой, расположенной на поверхности песчинок и удаляет тем самым крайне вредный

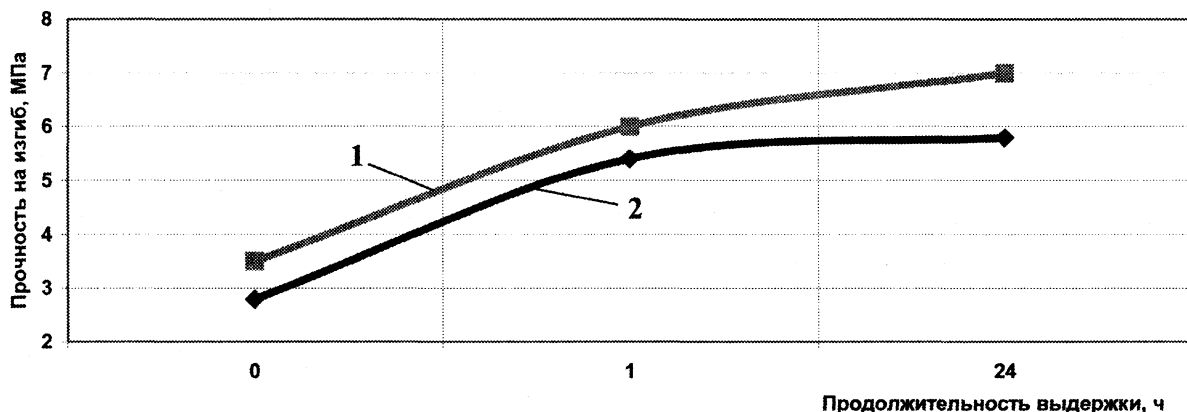


Рис. 3. Влияние последовательности ввода компонентов связующего *A* и *B* на прочность стержней: 1 – последовательность ввода компонентов *B+A*; 2 – последовательность ввода компонентов *A+B*

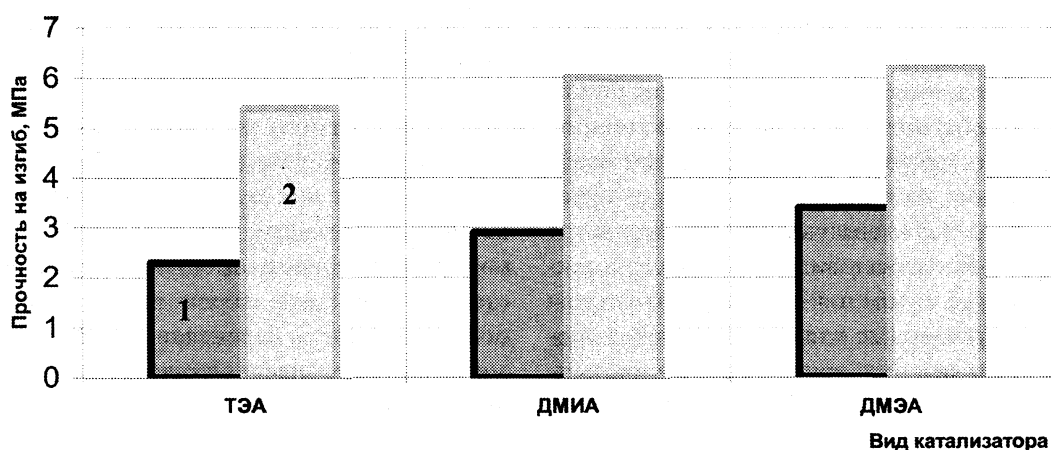


Рис. 4. Влияние вида катализатора на прочность стержней: 1 – начальную; 2 – суточную

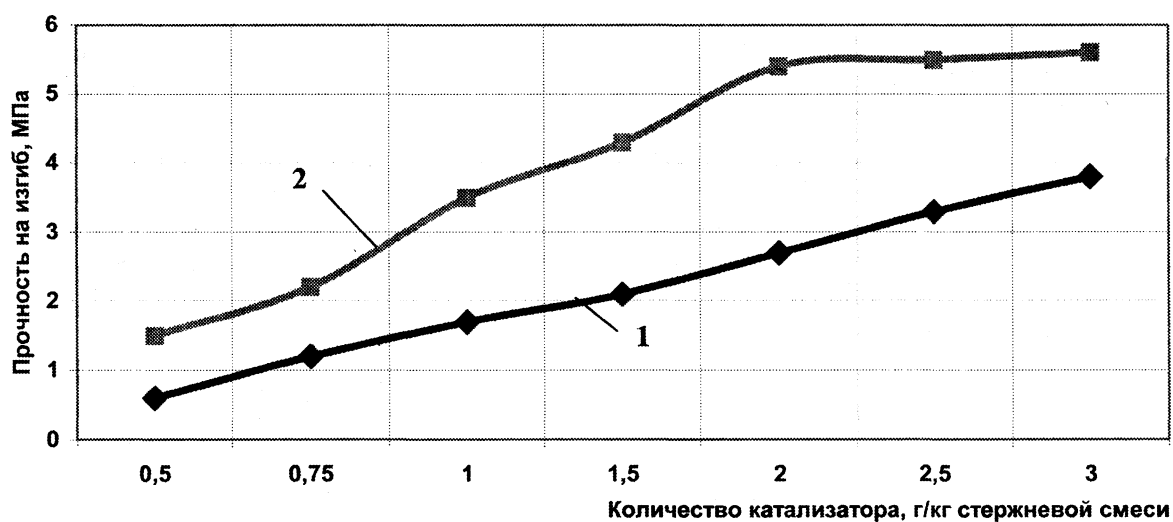


Рис. 5. Влияние количества катализатора на прочность стержней: 1 – начальную; 2 – суточную

монослой воды на поверхности раздела «связующее - наполнитель». Образующееся вещество, конечно, также снижает прочность, но все же с меньшей силой препятствует формированию адгезии связующей системы к наполнителю.

Катализатор является важным компонентом реакции полимеризации связующего. Было рас-

смотрено влияние на прочность стержней вида катализатора (рис. 4) и его количества (рис. 5).

Вид катализатора не оказывает существенного влияния на прочностные характеристики стержней (при условии достаточного количества катализатора для полного отверждения стержня). Прочность стержней несколько увеличивается с ростом реак-

ционной способности катализатора в ряду ТЭА→ДМИА→ДМЭА. Основную роль играет влияние реакционности катализатора на степень первичной сшивки молекул связующего.

Установлено, что с увеличением количества катализатора суточная прочность стержней повышается до значения 2 г ТЭА на 1 кг смеси. Это связано с тем, что большее количество катализатора полнее проникает по всему объему стержня, вызывая реакцию образования полиуретана во всей связующей системе. Дальнейшее увеличение количества ТЭА нецелесообразно как с технической, так и экономической точки зрения.

Исследования влияния вида и количества катализатора на прочностные характеристики стержней системы Cold-box-amin показывают, что основное влияние данные параметры оказывают на микроструктуру связующего, а именно на степень сшивки молекул. Недостаточное количество катализатора не позволяет получить технологически необходимую прочность стержня. Содержание остаточного растворителя связующего не меняется с изменением количества и вида катализатора, также не изменяется и состояние макроструктуры связующего. Характерные для системы связующего Cold-box-amin явления, обусловленные наличием остаточного растворителя в подкорковой зоне связующего и последующими усадочными процессами, присущи стержням вне зависимости от количества и вида используемого катализатора.

Влияние на прочность стержней технологических факторов процесса их изготовления и последующей обработки

С целью разработки практических рекомендаций по применению процесса Cold-box-amin была проведена серия экспериментов по изучению влияния на прочность стержней технологических фак-

торов их изготовления. Были рассмотрены следующие параметры: давление и продолжительность надува стержня; продолжительность продувки; давление и температура каталитической смеси и сжатого воздуха под вторичную продувку.

Результаты эксперимента по изучению влияния давления надува (в диапазоне 0,2–0,6 МПа) свидетельствуют о незначительном влиянии данного параметра на прочностные характеристики стержня. При неизменном содержании остаточного растворителя связующего увеличение давления надува (от минимального к максимальному) характеризовалось незначительным (до 10% максимум) ростом плотности стержня и соответствующим ростом его прочности. Очевидно, причина такого явления состоит в особенностях геометрии стержня (а именно его малой высоты), способа надува стержня (пескодувный), конструкции используемого пескодувного резервуара и принятой схемы входной и выпускной вентиляции оснастки. Следует отметить рост прилипаемости стержней к оснастке при увеличении давления надува. Причиной увеличения прилипаемости является перенос части связующего с зерен песка на поверхность оснастки. Объем перенесенного на оснастку связующего определяется зависящей от давления надува скоростью удара смеси о поверхность стержневого ящика.

Изучение влияния продолжительности надува стержней проводили путем контроля показателей их прочности (рис. 6), плотности и содержания остаточного растворителя связующего (рис. 7). Данные контроля прочности показывают, что стержневая смесь системы Cold-box-amin благодаря высокой текучести, обусловленной низким содержанием связующего, характеризуется способностью хорошо уплотняться даже при минимальном времени надува. Путем увеличения продолжительно-

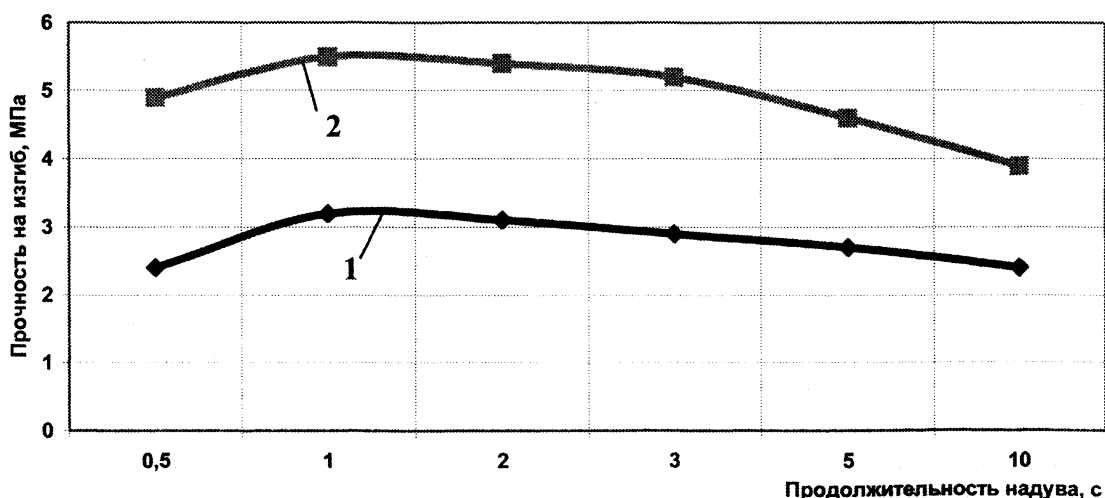


Рис. 6. Влияние продолжительности надува стержня на его прочность: 1 — начальную; 2 — суточную

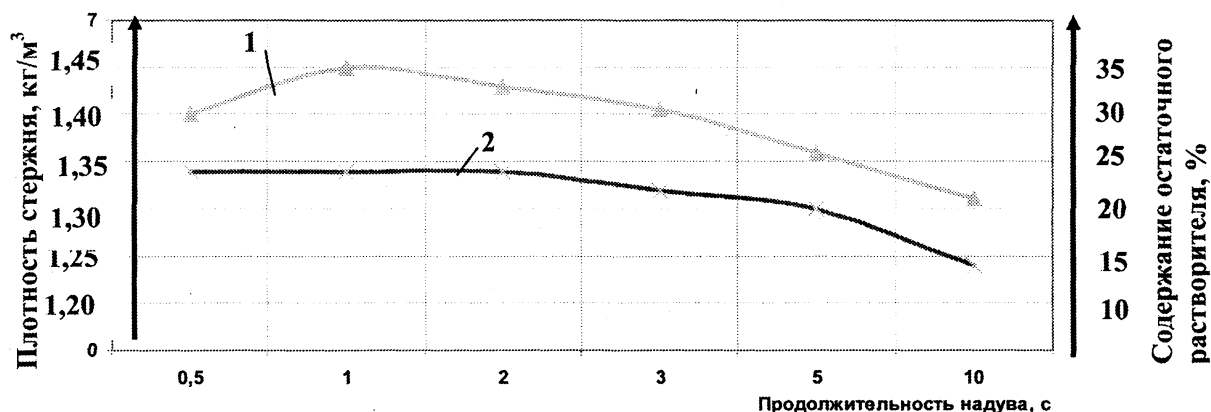


Рис. 7. Влияние продолжительности надува стержня на его плотность (1) и содержание остаточного растворителя связующего (2)

сти надува пескодунным способом добиться повышения плотности и прочности невысокого стержня невозможно.

Кроме того, многократное прохождение больших объемов воздуха через слой стержневой смеси вызывает наряду с интенсивным удалением исходного растворителя негативные явления, заключающиеся в насыщении связующего материала влагой, неизбежно присутствующей в сжатом воздухе. В результате уменьшения содержания исходного растворителя связующего, согласно полученным ранее данным, повышается вязкость стержневой смеси, уменьшается ее текучесть. Это является причиной снижения плотности стержней. С увеличением продолжительности надува, за счет уменьшения текучести смеси и отрицательного влияния влаги, многократно проходящего сквозь слой стержневой смеси воздуха, отмечается снижение прочностных показателей стержней. При увеличении продолжительности надува, помимо

снижения прочности, также наблюдается повышение прилипаемости стержней к оснастке.

При исследовании влияния температуры каталитической смеси и сжатого воздуха установлено, что с увеличением температуры прочность стержней повышается (рис. 8). Как следует из рисунка, наименее эффективно применение каталитической смеси, имеющей температуру 50 °С. Это связано с тем, что при такой температуре не происходит полный переход жидкого амина в парообразное состояние, результатом чего является образование конденсата амина при отверждении стержня. Образующийся в таком случае дефицит амина приводит к пониженным прочностям стержней. И напротив, высокие температуры аминовоздушной каталитической смеси и сжатого воздуха, используемого для вторичной продувки, увеличивают прочность стержней. С ростом температуры повышается диспергированность амина в потоке газаносителя. За счет увеличения температуры про-

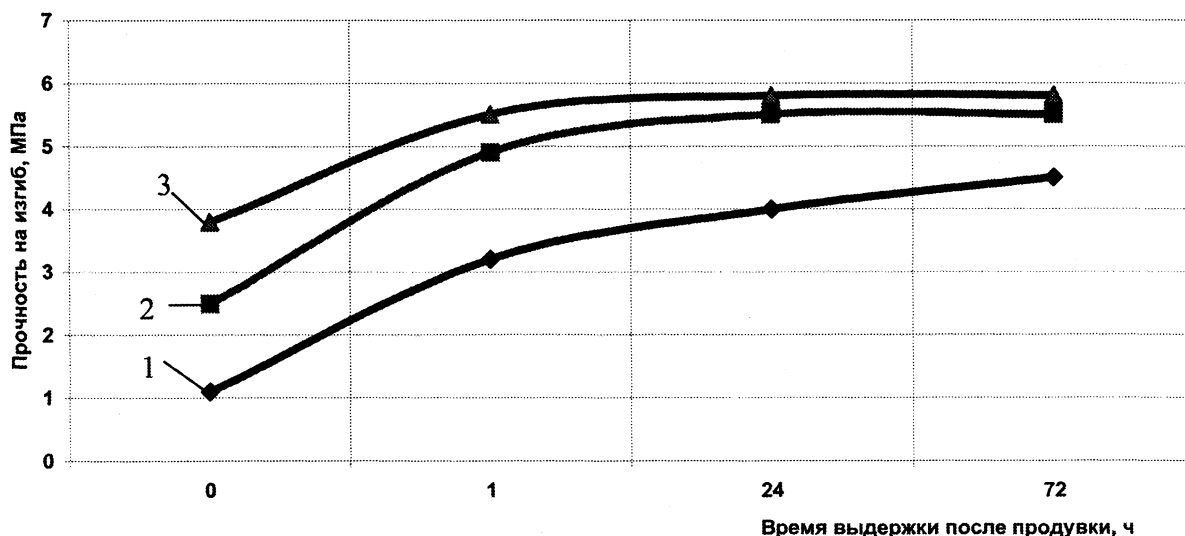


Рис. 8. Зависимость прочности стержней от температуры нагрева аминовоздушной каталитической смеси и сжатого воздуха: 1 — 50 °С; 2 — 100; 3 — 150

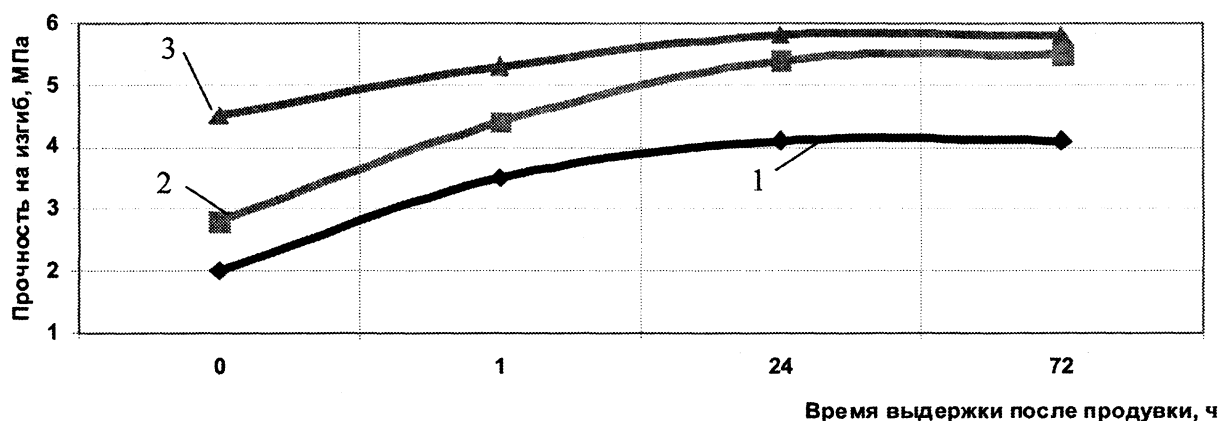


Рис. 9. Влияние продолжительности продувки на прочность стержней. Продолжительность продувки: 1 – низкая (2 с); 2 – нормальная (5 с); 3 – длительная (30 с)

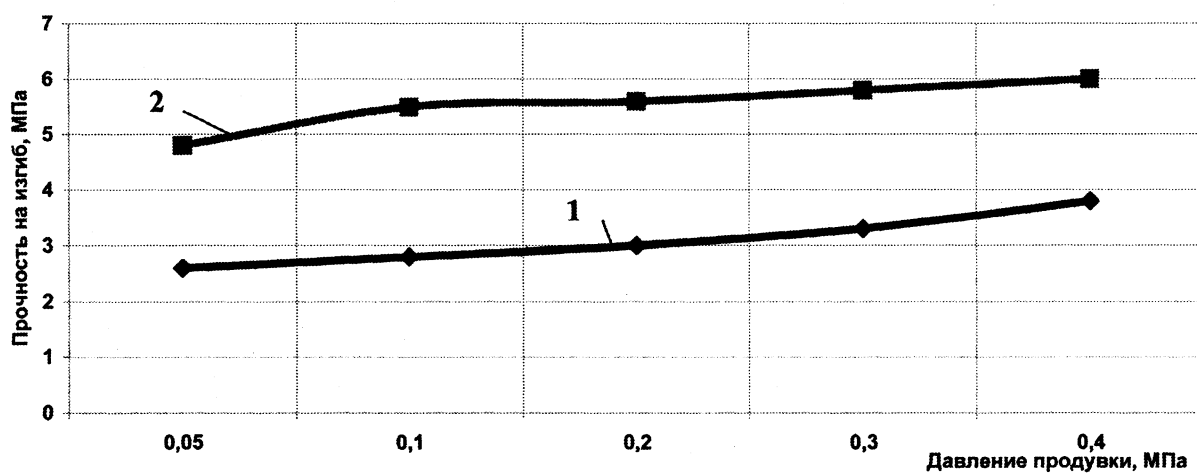


Рис. 10. Влияние давления продувки на прочность стержней: 1 – начальная; 2 – суточная

дувки несколько возрастает и температура стержневой смеси, благодаря этому происходит упрочнение микроструктуры связующего. Кроме того, увеличение температуры объектов реакции неизбежно ведет к росту скорости ее протекания, т. е. к более быстрому отверждению стержня. При дальнейшей выдержке стержней, изготовленных в различных температурных режимах продувки, прочности их в заметной степени выравниваются. Причина такого явления заключается в приоритетном влиянии температуры продувки на содержание остаточного растворителя связующего (определяя объем зон его локальной подкорковой концентрации).

Результаты экспериментов по определению степени влияния на прочность стержней продолжительности (рис. 9) и давления продувки (рис. 10) хорошо коррелируют с результатами экспериментов по определению влияния указанных параметров на прочностные характеристики модельного полиуретанового покрытия. При увеличении значений давления и продолжительности продувки наблюдается падение содержания начального

уровня остаточного растворителя связующего (на 10–20%). Причем большее снижение содержания растворителя сопутствует случаям изготовления стержней с более продолжительной продувкой. Увеличение значения давления и продолжительности продувки приводит к существенному росту начальной прочности стержней и к менее заметному увеличению максимальной прочности. Данное явление объясняется тем, что в результате более активного испарения растворителя связующего в момент отверждения стержня уменьшается ослабленная область подкорковой локализации остаточного растворителя. Это приводит к росту начальной прочности стержней. В результате большего прогрева связующего и наполнителя происходит формирование более эффективной микроструктуры связующего, объясняющее увеличение максимальной прочности стержней.

Необходимо отметить, что, исходя из оригинальных условий распределения аминовоздушной каталитической смеси по объему конкретного стержня, нельзя однозначно перенести данные по режимам давления продувки, полученные при из-

готовлении стандартных лабораторных образцов, на все реальные стержни. Как правило, давление продувки ограничивают (или применяют много-стадийное увеличение давления) по причине недопущения эрозии стержня, при этом продолжительность продувки реальных стержней стремятся сделать минимальной с целью повышения производительности оборудования.

Результатом проведенных исследований стала разработка целой гаммы современного стержневого оборудования:

- смесителей периодического действия;
- смесителей шнековых непрерывного действия [2];
- стержневых машин [3].

Результаты работ подтверждаются успешным переоснащением литейных цехов не только Беларуси, но и стран СНГ.

Так, на РУП «МТЗ» в чугунолитейном цехе № 2 создан специальный комплекс технологического оборудования для производства крупных пустотелых стержней по Cold-box-amin-процессу для производства корпусных отливок для серийных тракторов базовых мод. МТЗ-80 и МТЗ-100: корпусов муфты сцепления, заднего моста, коробки передач, гидроагрегатов, блоков цилиндров (4- и 6-цилиндровых). Модернизация проведена путем замены семи специализированных линий, оснащенных пескодувными машинами мод. 28Б9 и 28Б7, кантователями, механизированными рольганговыми системами и вертикальными конвейерными сушилами с газовым обогревом. Работы были начаты в конце 1997 г. В настоящий момент в цехе находится шесть стержневых машин (мод. 4747У2Б2К1, 4760Б2К1).

Другие цехи также ведут модернизацию производства. В литейном цехе № 1 РУП «МТЗ» установлены две машины мод. 4747У2Б2К1 и одна модернизированная 8-позиционная машина мод. 4509СМ, на которых выпускаются стержни «картера руля», рубашки «головки блока» и др.

Завершение работ по техническому переоснащению производства РУП «МТЗ» планируется в 2009–2010 гг. поставкой и освоением еще нескольких машин мод. 4747У2Б2К1, 4760Б2К1, установки смесеприготовления П1881 и модернизацией машины мод. 4509С в 4509СМ в ЧЛЦ № 1, 3 и сталелитейном цехе. В результате общее число стержневых машин производства УП «Институт БелНИИлит» составляет 15 ед.

В 2007 г. на РУП «МАЗ» началось техническое перевооружение с установки стержневых машин мод. 4747У3Б2К1, 4751Б1К2 в цехе ковкого чугуна и сталелитейном цехе. В 2008 г. были поставлены еще две машины мод. 4551Б1К2 и шнековые смесители С1Ш-6.

Поставляется оборудование и за рубежом. ОАО «АВТОДИЗЕЛЬ» (бывший «ЯМЗ») начало ускоренный переход с технологии горячих ящиков на Cold-box-amin-процесс сразу после получения первой партии стержней. В настоящее время на заводе работают шесть машин мод. 4747У2Б2К1 и 4747У3Б2К1. Кроме того, планируется переоснащение действующих машин 4753А1Г3 под Cold-box-amin-процесс.

В настоящее время существуют десятки базовых конструкций стержневых машин, способных удовлетворить любые требования потребителей. В СНГ стержневые машины, предназначенные для эксплуатации по способу Cold-box-amin, проектирует и производит единственное предприятие – УП «Институт БелНИИлит». В странах ЕС, США, Канаде, Японии, напротив, в сфере производства стержневых машин задействованы десятки крупных фирм. В литейном производстве СНГ представлены конструкции стержневых машин различных производителей, однако основной объем оборудования, эксплуатируемого по технологии Cold-box-amin, приходится на стержневые машины производства УП «Институт БелНИИлит» и немецкой фирмы «Laetpre». Отрадно, что в условиях открытой рыночной борьбы отечественное оборудование доказало свою техническую состоятельность и на равных конкурирует с мировыми лидерами.

Литература

1. Мельников А. П. Производство отливок «головка блока цилиндров» и «блок цилиндров» // Литье и металлургия. 2008. №3(48). С 21–29.
2. Пат. №1376.
3. Пат. №1586.