

УДК 621.74

## ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*Сивурова Т.И., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Литейные технологии»*

*Научный руководитель: Мандрик А.А., к.т.н.,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия  
[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)*

В данной статье будут исследованы стержневые смеси, применимые для литья магниевых сплавов и используемые для создания стержневых пакетов для литья под низким давлением в стержни.

Изготовление песчаной формы путем песчаного прототипирования имеет ряд существенных недостатков, как то: очень высокая себестоимость формы и расходных материалов, повышенная газотворность самой формы, из-за чего появляются трудноустраняемые дефекты.

На предприятии, выпускающем гидропривод ГПХХ, имеются условия для изготовления нескольких видов стержневых смесей: плакированная, ХТС, ЖСС и др. Некоторые из них применимы для литья магния, например ХТС.

Целью данной части является выявление более предпочтительной стержневой смеси и создание основы для разработки новой технологии изготовления форм для литья под низким давлением.

1. Обзор стержневых смесей, используемых на данном предприятии для литья магния.

1.1. Смесь S-15.

Форма для заливки печатается на 3D принтере фирмы eXOne S-15 (рис 1). Печать производится по принципу струйного принтера: наносится тончайший слой смеси песка со смолой, контур получаемой детали построчно прокапывается катализатором. Химический состав смолы и катализатора является коммерческой тайной. Песок по договору гарантии возможно использовать только немецкий. Попытки замены какого либо расходного материала на альтернативный ведет к автоматическому онулированию

гарантии. Каждый квартал установка также требует замены головки прокапывания катализатора и еще некоторых частей.

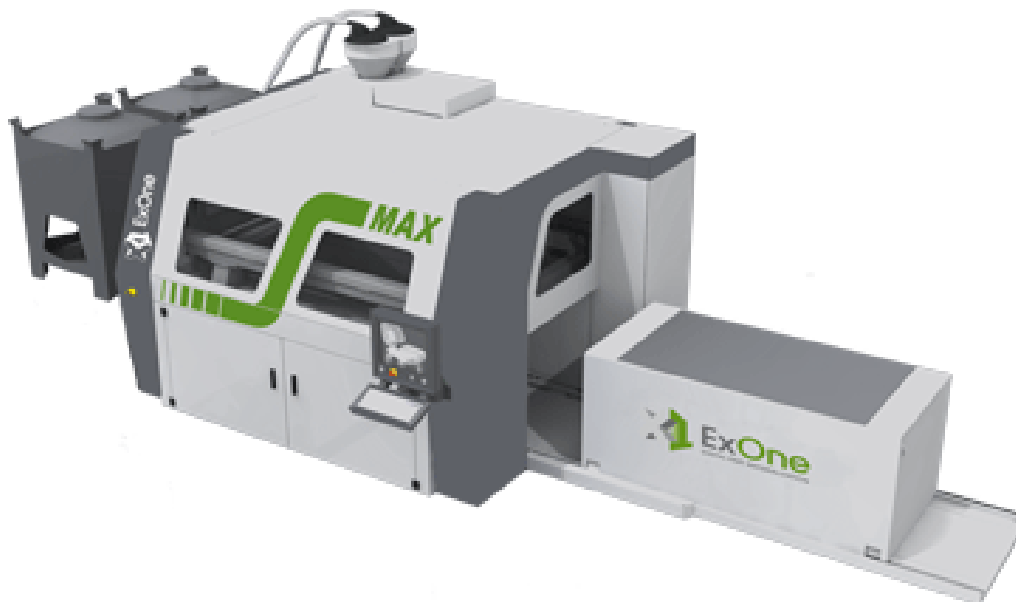


Рис. 1. 3D принтер фирмы eXOne S-15

Соответственно экономический подсчет затрат на обслуживание и работу с данной установкой будет произведен в пятой главе дипломного проекта.

## 1.2. ХТС – холодно-твердеющие смеси.

### 1.2.1. Общая характеристика смеси.

Содержание связующего в ХТС – основной показатель состава, определяющий уровень прочностных характеристик стержней и форм, качество отливок, санитарно-гигиенические характеристики процесса и его технико-экономическую эффективность.

Следует стремиться к минимальному расходу смолы с учетом достижения достаточной общей и поверхностной прочности. Минимально возможный расход связующего определяется в первую очередь качеством применяемого песка. Желательно применение обогащенных (мытых и классифицированных) песков с содержанием глинистой составляющей не более 0,5% и с зернистостью не менее зернистости песка марки 1K02A. это требование особенно актуально для высококачественных силанизированных фурановых смол.

Применение необогащенных песков с глиносодержанием более 0,7-0,8% особенно мелкозернистых, приводит к существенному падению прочности на всех этапах твердения, в первую очередь – на начальном этапе. Для компенсации потерь прочности расход смолы вынужденно повышается в 1,2...1,5 раза, одновременно возрастают затраты на дорогостоящее связующее и ухудшаются санитарно-гигиенические показатели процесса.

ХТС на смолах обладают высокой сыпучестью и соответственно малой прочностью в сыром состоянии и легко уплотняются вибрацией.

Живучесть ХТС изменяется в интервале 1..2 мин (для смесей ускоренного отверждения) до 5..10 мин и зависит от расхода и концентрации кислоты и температуры внешней среды.

Скорость отверждения зависит от живучести, температуры среды и компонентов, а так же заданного уровня манипуляторной прочности.

При отверждении прочность формируется в первую очередь во внешних слоях стержней и форм, контактирующих с воздухом. «отставание» в формировании прочности внутренних слоев стержня или формы является временным и нивелируется в течение 1,5...2 ч.

Газопроницаемость ХТС определяется содержанием связующей композиции и гранулометрией наполнителя: как правило, она бывает не ниже 200 ед.

Образцы из данной смеси были выполнены на том же заводе в лабораторной оснастке на вибростоле. Уже готовая смесь засыпается в бункер, расположенный над вибростолом, оснастка устанавливается на вибростол и при помощи ножного привода рабочий подает необходимую порцию смеси в оснастку, производится уплотнение вибрацией и руками, после раскрытия формы, образец вынимается и сохнет на воздухе.

### 1.2.2. Приготовление ХТС.

Приготовление производится непосредственно в процессе производства стержней с помощью шнекового смесителя.

Основные технические характеристики смесителя модели С1ШЗ представлены в таблице 1:

*Таблица 1*

| Наименование параметра               | Модель смесителя |
|--------------------------------------|------------------|
|                                      | <u>С1ШЗ</u>      |
| Количество рабочих органов (шнеков), | 1                |

|                                                                      |                                                  |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| шт.                                                                  |                                                  |
| Угол поворота, градусов                                              | 180                                              |
| Производительность, т/ч                                              | 3,0                                              |
| Диаметр шнеков, мм                                                   | 190                                              |
| Скорость вращения шнеков, об/мин                                     | 720                                              |
| Количество насосов-дозаторов, шт.                                    | 2<br>(может меняться по<br>требованию Заказчика) |
| Установленная мощность, кВт                                          | 3                                                |
| Давление воздуха, МПа                                                | 0,5...0,7                                        |
| Габаритные размеры, мм<br>(без электрошкафа и насосных<br>установок) | 1000x350x1500                                    |
| Масса смесителя, кг                                                  | 270                                              |

Общий вид смешивающего агрегата приведен на рисунке 2.

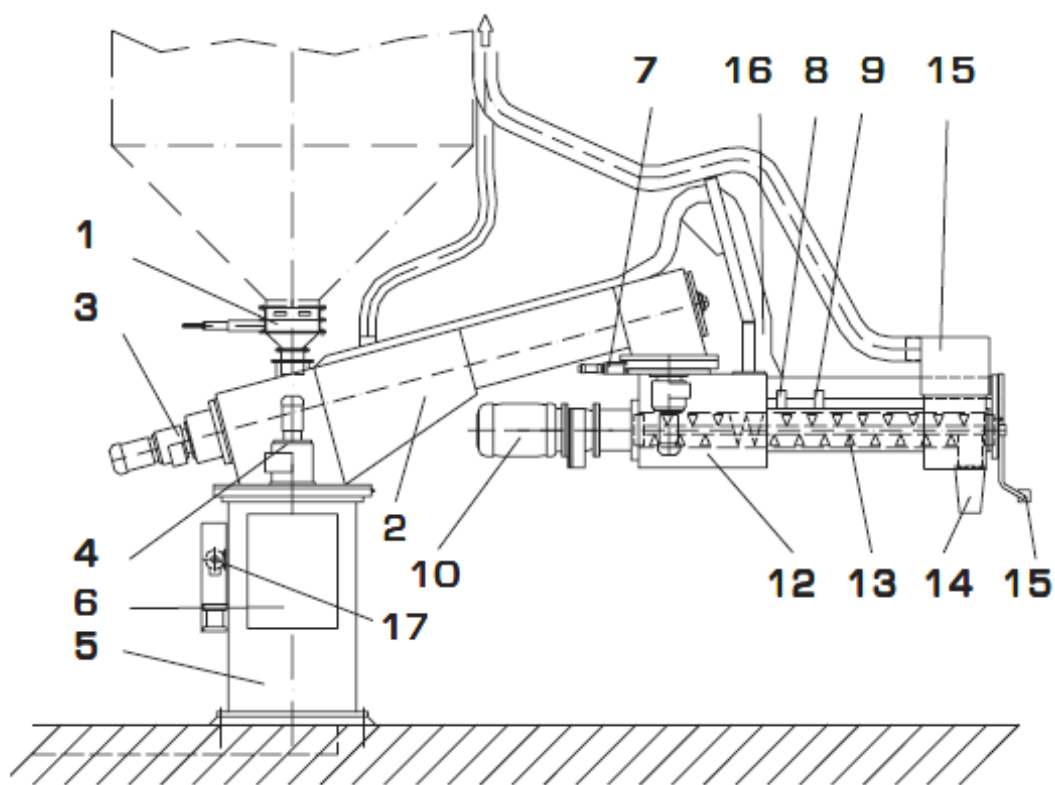


Рис. 2. Смеситель модели С1ШЗ

Устройство смесителя: 1- дозатор для подачи двух наполнителей в требуемой пропорции, 2- транспортный шнек, 3- привод транспортного шнека, 4- привод поворота рукава, 5- основание смесителя, 6- технический шкаф, 7- тормоз, 8- дозатор отвердителя, 9- дозатор смолы, 10- привод смесителя, 11- смеситель, 12- камера финишной очистки песка, 13- табло управления, 14- выпускная воронка смесителя, 15- вытяжка у головки смесителя, 16- вытяжка камеры кипящего слоя, 17- насосные устройства.

**Высокоскоростной одношнековый смеситель мод. С1ШЗ** отличается конструктивной простотой и надежностью. Конструкция смесителя предусматривает наличие одной шнековой камеры с одним быстро вращающимся шнеком. Принцип работы смесителя заключается в быстром перемешивании песка с подаваемыми в шнековую камеру жидкими компонентами и выгрузке готовой смеси в форму из шнековой камеры. Перемешивание компонентов смеси и выгрузка готовой смеси осуществляется закрепленными на валу короткого шнека лопатками. Совокупность относительно небольшой длины шнековой камеры и высокой скорости вращения шнека обеспечивает возможность быстрой и полной выгрузки стержневой смеси из смесителя в конце каждого его рабочего цикла. Данный вид конструкции обеспечивает высокий

уровень качества перемешивания компонентов стержневой смеси по современным технологиям.

Смесители могут быть укомплектованы вибростолом модели 4767. Ниже в таблице 2 приведены его технические характеристики:

Таблица 2

| Наименование параметра                     | Значение                                                                                  |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Тип стола вибрационного                    | вибрационный с вертикально направленными колебаниями, однопозиционный, полуавтоматический |
| Грузоподъемность, кН                       | 7,1                                                                                       |
| Количество вибраторов, шт.                 | 2                                                                                         |
| Тип вибратора                              | электромеханический ИВ-99А                                                                |
| Номинальная мощность электродвигателя, кВт | 0,25                                                                                      |
| Частота колебаний, Гц                      | 50                                                                                        |
| Вынуждающая сила, кН, наиб.                | 0,5                                                                                       |
| Рабочее давление сжатого воздуха, МПа      | 0,5...0,63                                                                                |
| Расход сжатого воздуха, м³/час, наиб.      | 0,1                                                                                       |
| Габаритные размеры, мм                     | 1000x800x650                                                                              |
| Масса, кг                                  | 520                                                                                       |

Подача исходных компонентов стержневой смеси осуществляется: песка – через патрубок в балке 11 из бункера 13; жидких компонентов (смолы и катализатора) – через трубки-форсунки 12, в верхней части которых расположен блок 20 аппаратуры системы подачи жидких компонентов. Патрубок подачи песка из бункера 13 в полость камеры перемешивания перекрывается шибером 14 с приводом от цилиндра 15. В рабочем цикле смесителя шибер 14 открыт, и песок самотеком поступает в камеру перемешивания. Производительность смесителя зависит от скорости подачи песка и регулируется степенью открытияшибера.

Управление включением-выключением смесителя для начала-окончания цикла приготовления смеси осуществляется с пульта управления 10, расположенного на плите передней 9. При нажатии кнопки «СМЕСИТЕЛЬ ПУСК» происходит начало цикла смесеприготовления, при нажатии кнопки «СМЕСИТЕЛЬ СТОП» - его окончание.

## 2. Дефекты отливок связанные с свойствами стержневых смесей.

### 2.1. Поверхностные пузыри и газовые раковины.

Газы, захваченные затвердевающим расплавом на поверхности отливки, приводят к образованию округлых и овальных пустот. Эти дефекты обычно расположены в верхней части формы в плохо «продуваемых» карманах и внутренних выточках.

### 2.2. Пригар.

Эти дефекты являются одними из наиболее распространенных дефектов. Основными причинами возникновения пригара считают проникновение жидкого металла в поры формы и химическое взаимодействие жидкоподвижных окислов металла с компонентами формовочной смеси.

Иногда пригар образуется в результате взаимодействия паров воды, выделяющихся из формы, с поверхностью расплавленного металла, содержащего реликты магния.

Для устранения этого дефекта необходимо снижать влажность формы.

### 2.3. Ужимины.

Дефекты этого типа связаны с возникновением термических напряжений в форме. При критическом температурном интервале 300-575 °С кварцевый песок интенсивно расширяется и при температуре 575 °С достигает критической величины. Препятствия, сдерживающие расширение песка, способствуют возникновению напряжений в поверхностном слое формы, приводящих к нарушению ее сплошности, в результате чего образуются дефекты.

### 2.4. Газовые раковины.

Это дефект отливки в виде полости, образованной выделившимися из металла или внедрившимися в металл газами. Газовая раковина образуется газами, попавшими в отливку при взаимодействии с материалом формы или выделившимися из металла при его затвердевании.

## 3. Описание приборов и методов контроля свойств стержневых смесей.

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/637964.html>

В качестве основных свойств смеси были приняты: газопроницаемость, прочность при сжатии и разрыве, газотворность.

### 3.1. Определение газопроницаемости формовочных и стержневых смесей.

Газопроницаемость формовочных и стержневых смесей совместно с газотворностью и пористостью определяет влияние формы на характер газового потока в форме и стержнях. При неблагоприятных соотношениях между указанными свойствами желательное направление газового потока от поверхности отливки через материал формы и стержней в атмосферу может нарушиться, в результате газы могут внедриться в жидкий металл и образовать в последующем газовые включения в отливке.

Под газопроницаемостью формовочной или стержневой смеси или песка понимают их способность пропускать через себя газы, которые обычно образуются при заливке форм металлом.

Естественно за характеристику такой способности принять количество газа, которое может пропустить через себя образец из уплотненной смеси через единицу сечения в единицу времени при заданном перепаде давления.

#### 3.1.1. Описание процесса

Количественно такую способность тел можно оценить на основе физической формулы, характеризующей фильтрацию газа через пористую среду,

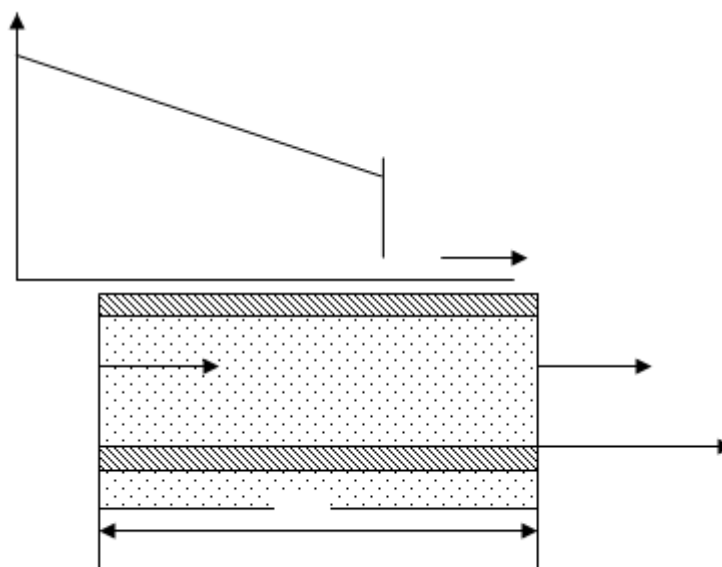


Рис. 3. Фильтрация газа



т.е. на основе опытного закона Дарси, по которому скорость фильтрации  $v$  в данной точке пропорциональна градиенту давления, величина которого для материалов типа уплотненных формовочных и стержневых смесей может быть определена как  $\frac{\rho_2 - \rho_1}{h}$ , т.е.

$$v = -K \text{grad} p ; \quad v = K \frac{\Delta p}{h} \quad (1)$$

Где  $K$ - коэффициент пропорциональности,  $\Delta p = p_1 - p_2$

Для площади  $F$  по закону Дарси имеем

$$vF = KF \frac{\Delta p}{h} \quad (2)$$

Поскольку

$$vF = \frac{Q}{\tau} ; \quad \frac{Q}{\tau} = KF \frac{\Delta p}{h} \quad (3)$$

Где  $Q$  - количество газа, пошедшее через сечение  $F$  за время  $\tau$  и, следовательно,  $\frac{Q}{\tau}$  - секундный расход газа через рассматриваемое сечение.

Из формулы следует, что расход газа в единицу времени пропорционален градиенту давления  $-\frac{\Delta p}{h}$ , площади образца  $F$  и коэффициенту  $K$ , который зависит от свойств материала образца, через который пропускается газ. Именно эта величина  $K$  и характеризует способность пропускать через себя газы, т.е. газопроницаемость смеси. Чтобы определить газопроницаемость  $K$ , нужен прибор, в котором бы моделировалось явление фильтрации газа через образец и при этом имелась возможность замерить все параметры, необходимые для вычисления величины  $K$  по выражению

$$K = \frac{Qh}{F \Delta p \tau} \quad (4)$$

### 3.1.2. Схема прибора

Схема такого прибора показана на рис. 4. Прибор состоит из плиты 1 с установленным на ней заполненным водой бачком 3, в котором имеется трубка 4, колокола 5 с грузом 6 и трубкой 7 с отверстием 8. На внешней поверхности колокола нанесены риски 9, отмечающие Объем в 200 см. На плите 1 расположены также резиновое основание 12 для установки на него гильзы 11 с образцом из уплотненной смеси 10 и манометра 2 для фиксации давления в полости под образцом смеси. Конец трубки 4, а

следовательно, полость колокола с помощью резиновых шлангов 14 через трехходовой кран 13 может соединяться либо с манометром, либо с атмосферой.

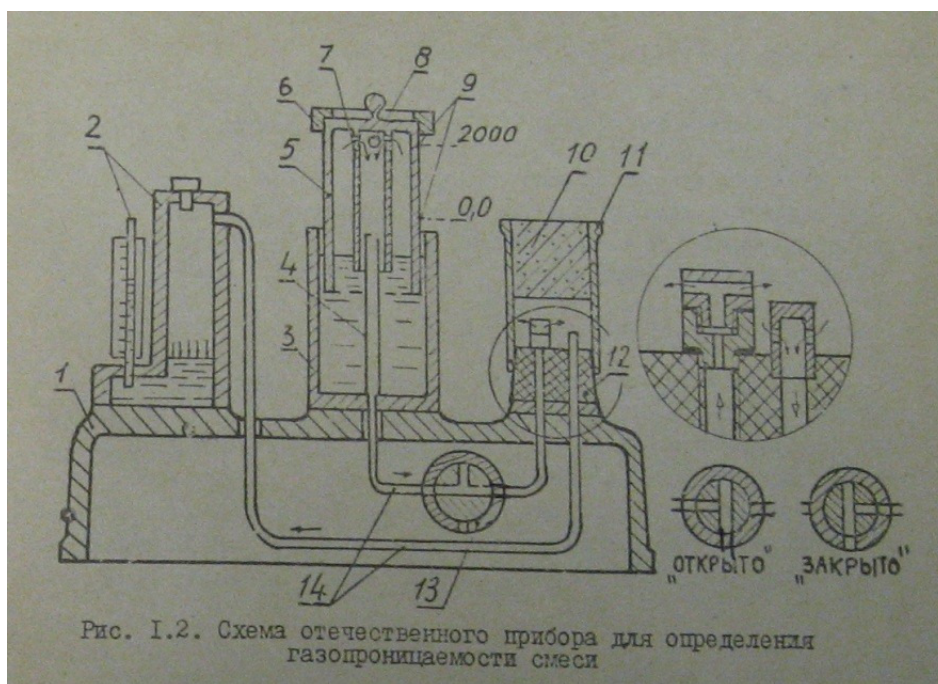


Рис. 4. Схема отечественного прибора для определения газопроницаемости

Прибор позволяет пропускать через образец из смеси определенных размеров заранее заданное количество воздуха – 2000 см и замерять при этом время опускания колокола и с помощью манометра – давление воздуха перед образцом, которое определяет перепад давления, так как на выходе из образца давление – атмосферное.

Такое испытание на газопроницаемость, получившее название нормального, может длиться до нескольких минут. Чтобы ускорить испытание, в трубку ввертывается ниппель-штулка с калиброванным отверстием  $\varnothing 0,5$  мм или  $\varnothing 1,5$  мм. Это позволяет установить приближенно постоянный расход воздуха при истечении его из полости под колоколом в пространство под образцом и далее в атмосферу. Как будет показано ниже, этот расход можно определить, зная диаметр калиброванного отверстия ( $\Omega$ ) и давления под колоколом ( $p$ ) и под образцом ( $p_0$ ).

Действительно, известно, что при перетекании несжимаемого газа из сосуда, в котором поддерживается давление  $p$ , в сосуд, в котором устанавливается давление  $p_0$ , через отверстие сечением  $\Omega$  объемный секундный расход в сечении будет равен

$$\frac{Q}{\tau} = \frac{\Omega}{\sqrt{1 + \xi_{вл}}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{p_0 - p} \quad (5)$$

Где  $Q$  - количество газа, прошедшее через сечение  $\Omega$  за время  $\tau$ .

$\xi_{вл}$  -коэффициент расхода входного отверстия ниппеля.

$\rho$  - плотность газа.

Выражение можно упростить, записав

$$\frac{Q}{\tau} = c \sqrt{p_0 - p} \quad (6)$$

Где

$$c = \frac{\Omega}{\sqrt{1 + \xi_{вх}}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \quad (7)$$

Постоянная величина.

Так как при установившемся движении количество воздуха, проходящего в единицу времени через отверстие в ниппеле и через образец, равно, то следовательно, полученное выражение для  $\frac{Q}{\tau}$  можно подставить в выражение для  $K$  и тогда получим

$$K = c \frac{\sqrt{p_0 - p}}{p} \cdot \frac{h}{F} \quad (8)$$

Для определения постоянной величины  $C$  следует выбрать простейшие условия истечения через ниппель, так как ее величина при использовании одного и того же газа зависит только от параметров ниппеля.

С указанных позиций для определения  $C$  наиболее целесообразно рассмотреть истечение газа через ниппель в отсутствии гильзы с образцом, т.е. когда  $P=0$  и следовательно, учитывая

$$c = \frac{Q}{\tau \sqrt{p_0}} \quad (9)$$

Так как в приборе реализовано  $p_0=10$  гс/см<sup>2</sup> и экспериментально найдено, что ниппель с отверстием 0,5 мм при таком  $p_0$  пропускает через себя воздух в количестве 2000 см<sup>3</sup> за 4,5 мин, а с отверстием в 1,5 мм за 0,5 мин, то можно найти  $C$  для каждого из ниппелей

$$c_{0,5} = \frac{2000}{0,5 \cdot \sqrt{10}} = 1265; \quad c_{1,5} = \frac{2000}{4,5 \cdot \sqrt{10}} = 140,55 \quad (10)$$

Тогда формулы для определения газопроницаемости ускоренным методом будут иметь вид

$$K_{0,5} = 1265 \frac{\sqrt{p_0 - p}}{p} \frac{h}{F} = 322 \frac{\sqrt{10 - p}}{p} \quad (11)$$

$$K_{1,5} = 140,55 \frac{\sqrt{p_0 - p}}{p} \frac{h}{F} = 35,78 \frac{\sqrt{10 - p}}{p}$$

На основе формул составлены таблицы, по которым, зная давление под образцом  $p$ , определяют газопроницаемость  $K$ .

В новейших приборах для замера газопроницаемости смеси вместо водяного манометра используется пружинный с показывающей стрелкой. Отградуированный в миллиметрах водяного столба и одновременно в единицах газопроницаемости. В таких приборах величина газопроницаемости считывается непосредственно со шкалы манометра.

### 3.1.3. Порядок выполнения работ

1. Проверить исправность прибора на газопроницаемость в соответствии с методикой, приложенной к прибору.
2. Провести испытания стержневой смеси на газопроницаемость
3. Провести эксперименты и проанализировать полученные результаты.

Газопроницаемость формовочных и стержневых смесей определяют по ГОСТ 23409.6-78 нормальным или ускоренным методами. Для испытания из смеси изготавливают стандартный образец. Далее поступают в соответствии с методом, по которому определяют газопроницаемость смеси.

При нормальном методе газопроницаемость подсчитывают по формуле

$$K = \frac{2000 \cdot 5}{\pi \left(\frac{5}{2}\right)^2 p \tau} = \frac{509,5}{p \tau} \quad (12)$$

Величины  $p$  и  $\tau$  получают в результате испытаний.

Для этого в положении крана Д (открыто), при котором полость колокола соединена с атмосферой, колокол поднимают и в него засасывается воздух. Удерживая колокол в верхнем положении, переключают кран в положение А (закрыто), которое соответствует перекрытию ходов, ведущих в колокол и в полость под образцом. Это положение готовности прибора к работе. Далее на основание устанавливают гильзу с образцом и, поставив переключатель крана в позицию W (испытание), пропускают через образец 2000 см воздуха, зафиксировав при этом время пропускания этого количества воздуха и давление  $p$  на манометре. Газопроницаемость подсчитывают по формуле.

Для вычисления газопроницаемости по этой формуле  $Q$  берут в см,  $h$  в см,  $F$  в см,  $\Delta p = p$  в гс/см,  $t$  в мин. Полученное значение газопроницаемости в обычно при двух- и трех- значных числах округляют до целых единицы приводят без указания размерности.

При ускоренном методе после установки крана в положение  $W$  можно спустя некоторое время. Достаточное для выхода процесса истечения на установившийся режим, снять показание манометра и по таблицам определить величину газопроницаемости.

На приборе ВНР газопроницаемость считывается непосредственно с манометра, на котором нанесены две шкалы – красная, соответствующая ниппелю  $\varnothing 1,5$  мм, и синяя, соответствующая ниппелю  $\varnothing 0,5$  мм.

Образцы для испытания на газопроницаемость изготавливают в неразъемной металлической гильзе диаметром  $50 \pm 0,2$  мм с помощью лабораторного копра троекратным ударом груза. Образец должен иметь высоту  $50 \pm 0,8$  мм. Высота образца контролируется тремя рисками, нанесенными на станине и штоке копра. Масса такого образца обычно составляет  $155 \pm 15$  г.

Газопроницаемость определяют на стандартных образцах из одной и той же пробы. За показатель газопроницаемости принимают среднее арифметическое трех параллельных испытаний. Если при этом результаты измерения газопроницаемости какого-либо из трех образцов отличаются от среднего арифметического более чем на 10%, определения повторяют на новых образцах.

### 3.2. Прочность формовочной и стержневой смеси.

Прочность – способность материала сопротивляться разрушению, а так же необратимому изменению формы (пластической деформации) при действии внешних нагрузок.

#### 3.2.1. Описание процесса

Уплотненная смесь должна иметь достаточную прочность, во-первых, чтобы во время изготовления, сборки и при транспортировке форм оказывать сопротивление внешним механическим воздействиям, во-вторых, чтобы сопротивляться усилиям, действующим на форму во время заливки и затвердевания металла.

Вместе с этим необходимо помнить, что после затвердевания отливки смесь в форме должна иметь низкую прочность, так как на следующем этапе технологического процесса – этапе выбивки отливки – высокая прочность смеси нежелательна.

Прочность характеризует способность смеси сохранять заданную конфигурацию полости литейной формы в период ее изготовления и транспортирования, а также при

заливке. В соответствии с ГОСТ 29234–91 прочность смесей оценивают предельной величиной нагрузки, при которой разрушается уплотненный образец смеси. Различают прочность смесей во влажном, сухом, нагретом и прокаленном состояниях.

На рис. 5. приведена схема методов оценки прочности смеси во влажном состоянии.

Наиболее часто прочность смеси во влажном состоянии оценивается при сжатии (см. рис. 2.5,*а*), реже при срезе (см. рис. 2.5,*б*), изгибе (см. рис. 2.5,*в*) и растяжении (см. рис. 2.5,*г*).

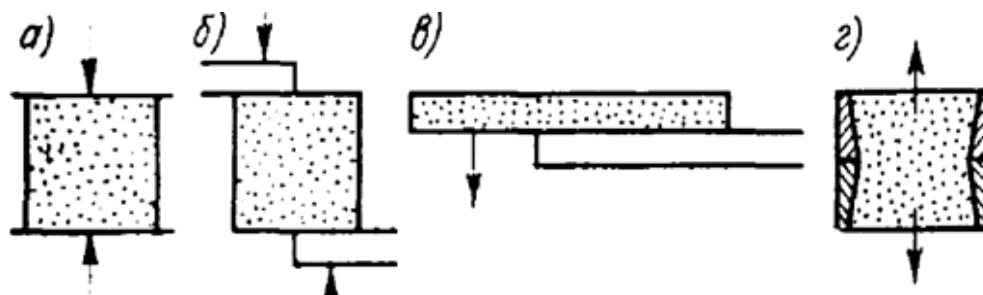


Рис. 5. Схема методов оценки прочности смесей во влажном состоянии:

*а* – при сжатии; *б* – при срезе; *в* – при изгибе; *г* – при растяжении

Прочность зависит не только от материала, но и от вида напряженного состояния (растяжение, сжатие, изгиб и др.), от условий эксплуатации, а также от формы и размеров испытываемых образцов. Основной характеристикой прочности является кратковременная прочность. Ее мерой является предел прочности – максимальное напряжение, при котором материал разрушается под действием «статистической» (медленно нарастающей) нагрузки.

Перед проведением испытаний необходимо убедиться в исправном состоянии прибора и точности его показаний. Для этого прибор комплектуется пружиной известной жесткости, так называемой тарировочной пружиной. Сжимая пружину между неподвижной и подвижной площадками прибора, можно создать между ними эталонное усилие, а измеряя сжатие пружины.

### 3.2.2. Схема прибора

На гидравлическом приборе модели ВНР возможно проведение всех видов прочностных испытаний, предусмотренных ГОСТ 23409.7-78 (рис. 6). Прибор состоит из чугунного основания 1, в котором имеются полости 2 и 4, соединенные между собой каналом 3. Из полости 4 масло посредством ручного пресса 5 перегоняется в полость 2, обеспечивая тем самым перемещение поршня 7 и необходимое усилие для разрушения



образца 9, помещаемого между неподвижной 10 и подвижной 8 площадками прибора. Создаваемое ручным прессом 5 усилие измеряется с помощью манометров L и H, которые фиксируют максимальное давление в полостях 2 и 3 в момент разрушения образца и соответствующее ему напряжение разрушения образца – его прочность. Манометр H служит для замера высоких напряжений и он постоянно соединен с полостью 2. Манометр L – прибор для замера небольших давлений и поэтому его необходимо изолировать от большого давления, которое имеет место при испытании сухих и отвержденных образцов. Для этого полость 2 соединяется с манометром L через трехходовой кран 6, управляемый переключателем.

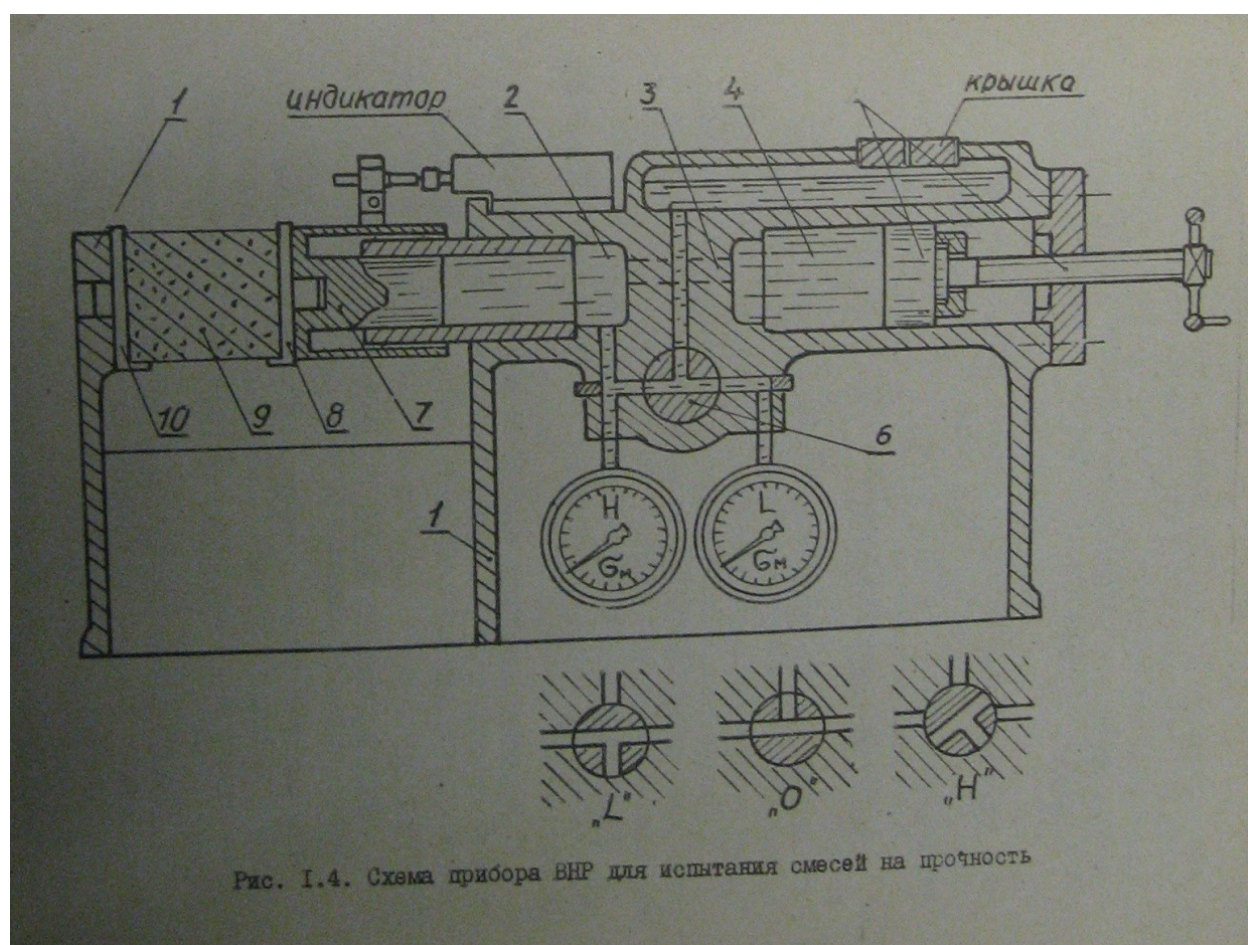


Рис. 6. Схема прибора для испытания смесей на прочность

### 3.3. Определение газотворной способности смеси.

Газотворность - способность формовочной смеси выделять газы при нагреве до высоких температур вследствие испарения влаги, сгорания органических составляющих смеси, удаления связанной воды, входящей в состав минералов, газификации без доступа

кислорода органических материалов, термической диссоциации углеводородов, входящих в состав органических связующих, и т.д.

### 3.3.1. Сведения, необходимые для выполнения работы.

Газовые раковины и пористость в отливках появляются по двум причинам: первая – выделение в процессе охлаждения и затвердевания отливки из металла растворенных в нем газов (эти вопросы рассматриваются в другой лабораторной работе); вторая – выделение газов формовочными и стержневыми смесями в период заливки форм и кристаллизации металла. В первом случае в отливках формируются газовые дефекты эндогенного характера (внешняя причина), во втором – экзогенного.

Устранить или уменьшить вероятность образования газовых раковин экзогенного характера можно правильной разработкой технологического процесса изготовления отливок, начиная от конструкции отливки и литниковой системы, и кончая выбором состава формовочных и стержневых смесей.

В процессе заливки формы жидким металлом и затвердевания отливки происходит прогрев формы и стержней. В результате выделяется большое количество паров и газов, образующихся при сгорании или возгонке связующих материалов и различных органических добавок, входящих в состав формовочных и стержневых смесей. В местах образования паров и газов создается избыточное давление, и они перемещаются по пути наименьшего сопротивления.

В литейной форме возможны два пути перемещения газов: через формовочную или стержневую смесь в направлении от отливки или в жидкий металл. Когда газопроницаемость формы и стержней не обеспечивает отвод образующихся газов, они внедряются в тело отливки, если к этому моменту на ее поверхности не сформировалась прочная затвердевшая корочка металла.

Благоприятная направленность газового потока в форме и стержнях, исключающее возможность проникновения газов в отливку, возникает при неравенстве:

$$p_{ф.ст} < p_m + p_n + p_{п.ф} \quad (13)$$

где  $p_{ф.ст}$  – давление газа в порах формы (стержня) на границе контакта с металлом, Па;  $p_m$  – металлостатическое давление металла в данной точке, Па;  $p_m = \rho_m g H$  ( $H$  – высота столба металла, м;  $\rho_m$  – плотность жидкого металла, кг/м<sup>3</sup>);  $p_n$  – сопротивление, оказываемое поверхностным натяжением металла внедрению газов, Па;  $p_{п.ф}$  – давление



газа в полости формы над поверхностью металла (при литье в песчаную форму  $p_{п.ф}$ , при использовании выпора, равно атмосферному давлению  $p_{атм}$ ), Па.

В случае обратного неравенства газовые пузыри внедряются в металл и могут способствовать образованию газовых раковин в отливке.

Величина  $p_{ф.ст.}$  зависит от многих факторов: газотворной способности формовочной или стержневой смеси, ее газопроницаемости, наличия вентиляционной системы в форме, ее конструкции, конфигурации стержня, его положения в форме, скорости заливки и др.

Определение газотворной способности стержней проводят по ГОСТ 23409.12-78. Метод основан на определении объема газов, выделяющихся при нагревании смеси. По этой методике навеску исследуемой смеси в прокаленной формовой лодочке помещают в печь Марса, предварительно нагретой до заданной температуры, и измеряют объем, выделяемый смесью газа во времени.

При оценке газотворности необходимо отличать газотворность смеси от газотворности формы или стержня. Различие состоит в том, что газотворность навески смеси определяется вне связи с процессом прогрева формы жидким металлом. Газотворная способность смеси (формы) в общем случае:

$$q = Q/W \quad (14)$$

где  $Q$  – общее количество газов, выделившихся из смеси при нагреве ее до температуры испытания,  $м^3$ ;  $W$  – объем смеси,  $м^3$ .

В случае испытаний при заливке жидкого металла  $Q$  – общее количество газов, выделившихся из смеси при заливке и охлаждении металла в форме,  $м^3$ ;  $W = S h_T$  – объем смеси, прогретый до температуры газовыделения  $T_T$ ,  $м^3$ ;

$S$  – поверхность контакта формы с металлом,  $м^2$ ;  $h_T$  – глубина прогрева формы до  $T_T$ , м.

Продвижение фронта прогрева формы происходит по параболе

$$h = m\sqrt{\tau}, \quad (15)$$

где  $m$  – коэффициент прогрева формы,  $м/с^{1/2}$ ;  $\tau$  – продолжительность прогрева формы до  $T_T$ , с.

Коэффициент прогрева формы определяется зависимостью

$$m = \sqrt{2n(n+1)a_{\text{см}}}, \quad (16)$$

где  $n$  – показатель параболы, которая описывает распределение температуры в форме при нестационарном ее прогреве металлом (обычно  $n = 2$ );  $a_{\text{см}}$  – коэффициент температуропроводности смеси,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

$$q = \frac{Q}{\sqrt{2n(n+1)a_{\text{см}}\tau}} = \frac{Q}{3,42S\sqrt{a_{\text{см}}\tau}}. \quad (17)$$

Соответственно:

$$Q = 3,42qS\sqrt{a_{\text{см}}\tau}. \quad (18)$$

Скорость образования газов в форме или стержне можно найти, продифференцировав выражение по  $\tau$

$$\dot{Q} = \frac{1,7qS\sqrt{a_{\text{см}}}}{\sqrt{\tau}}. \quad (19)$$

Для технологических расчетов используют величину  $dq/d\tau$  – удельную мощность процесса газовыделения из формы или стержня в начальный момент времени:

$$J_0 = \frac{dq}{d\tau} = -\frac{Q}{6,85\sqrt{a_{\text{см}}\tau^3}}. \quad (20)$$

### 3.3.2. Оборудование, инструменты и материалы.

Печь сопротивления для плавки алюминиевых сплавов, сплав АЛ2 или АЛ9, 3 образца из стержневой смеси разного состава, установка с газовым счетчиком для проведения эксперимента, термopapa с гальванометром, плавильный инструмент и приспособления для разлива металла.

### 3.3.3. Порядок выполнения работы.

Изучение газотворной способности проводят на установке (рис. 7). В гильзу 1 помещают образец 2, изготовленный из стержневой смеси. Гильзу закрепляют в столике установки 3. На столик установки ставят кокиль 4 так, чтобы образец смеси образовывал

нижнюю поверхность полости формы. Нижнюю часть гильзы через кран 5 соединяют с трубкой 6, с газовым счетчиком 7. Для выполнения работы используют стержневые смеси, составы которых приведены в таблице.

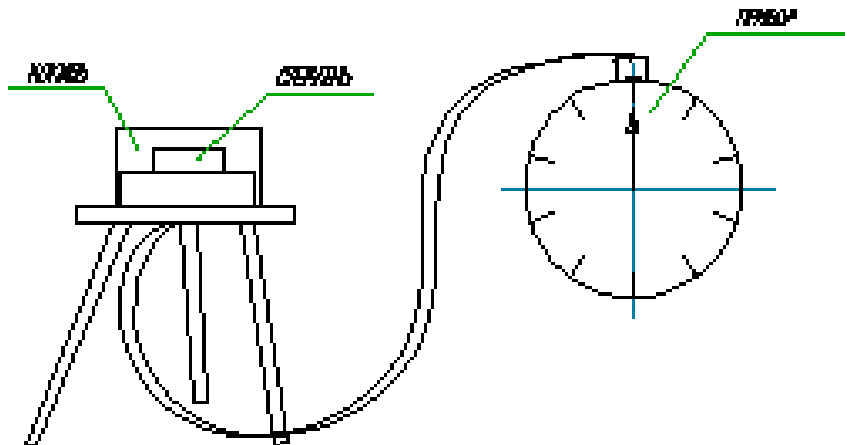


Рис. 7. Схема прибора исследования газотворности

Готовые образцы – стержни устанавливают в гильзу, на нее – кокиль, и установку готовят к заливке.

Перед заливкой кран 5 устанавливают в положение, при котором полость гильзы под образцом соединяется с газовым счетчиком. Стрелку счетчика ставят на ноль путем подачи некоторого объема газа через трубку, присоединенную к крану 8.

Кокиль заливают алюминиевым сплавом; при этом регистрируют температуру металла, которая измеряется ХА (хромель-алюмелиевой) термопарой погружения с гальванометром. С момента заливки периодически (через 20 с) снимают показания с газового счетчика до окончания процесса выделения газа.

После окончания опыта кокиль с отливкой снимают со столика установки, отливку выбивают из кокиля, а из гильзы удаляют стержень – образец. Затем установку подготавливают к работе, и опыт повторяют. При этом необходимо обеспечить во всех опытах идентичность температуры и количество заливаемого в гильзу металла.

#### 4. Планирование экспериментов.

Исследования свойств стержневых смесей проводят на образцах, произведенных на предприятии, в заводских условиях. Образцы выполнены соответственно ГОСТ29234–91.

#### 4.1. Результаты исследований.

##### 4.1.1. Прочность на разрыв.

Таблица 3

| п/п | Немецкая смесь S-15, МПа | ХТС, МПа |
|-----|--------------------------|----------|
| 1   | 1,4                      | 0,9      |
| 2   | 2,0                      | 1,0      |
| 3   | 1,5                      | 0,7      |
| 4   | 1,7                      | 1,1      |
| 5   | 1,3                      | 0,8      |
| 6   | 1,9                      | 0,6      |

Как видно из исследования по прочностным характеристикам ХТС значительно уступает немецкой смеси, но по требованиям технологических режимов заливки ЛНД и массе металла отливки данные показатели вполне удовлетворительны.

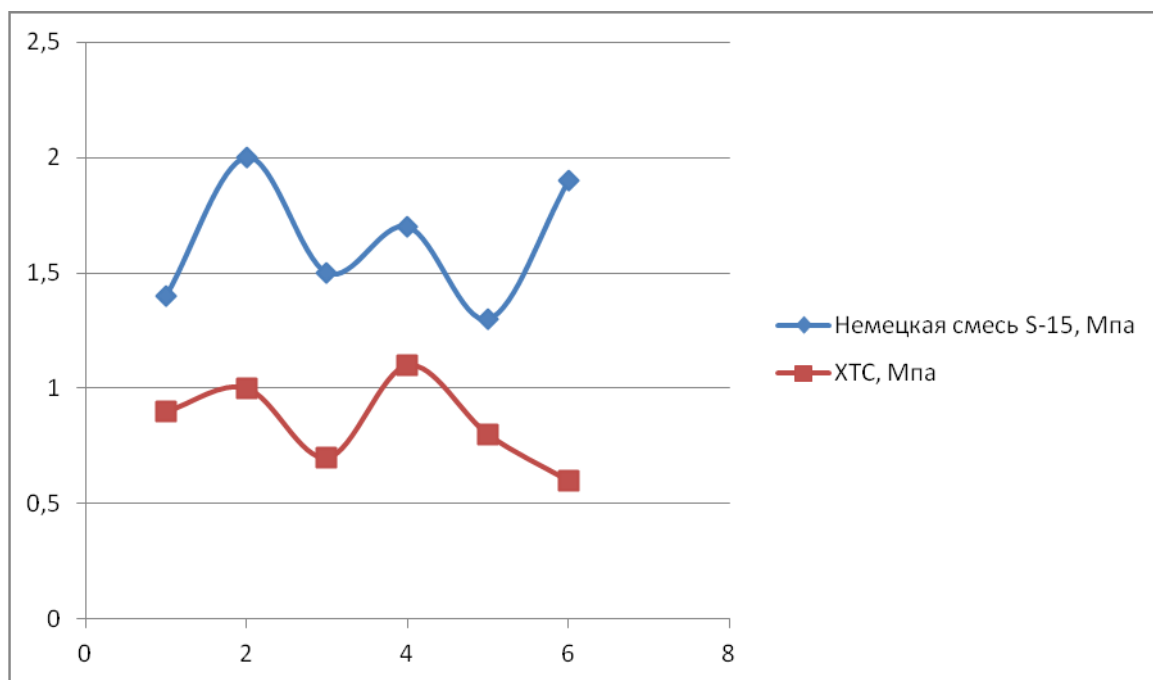


Рис. 8. Результаты показаний прочности на разрыв

#### 4.1.2. Газопроницаемость стержневых смесей.

Результаты исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4

| п/п | Немецкая смесь S-15, ед. | ХТС, ед. |
|-----|--------------------------|----------|
| 1   | 115                      | 185      |
| 2   | 130                      | 200      |
| 3   | 145                      | 195      |
| 4   | 135                      | 210      |
| 5   | 150                      | 250      |
| 6   | 120                      | 220      |

По результатам эксперимента видно, что газопроницательная способность ХТС выше немецкой смеси в среднем на 60 %.

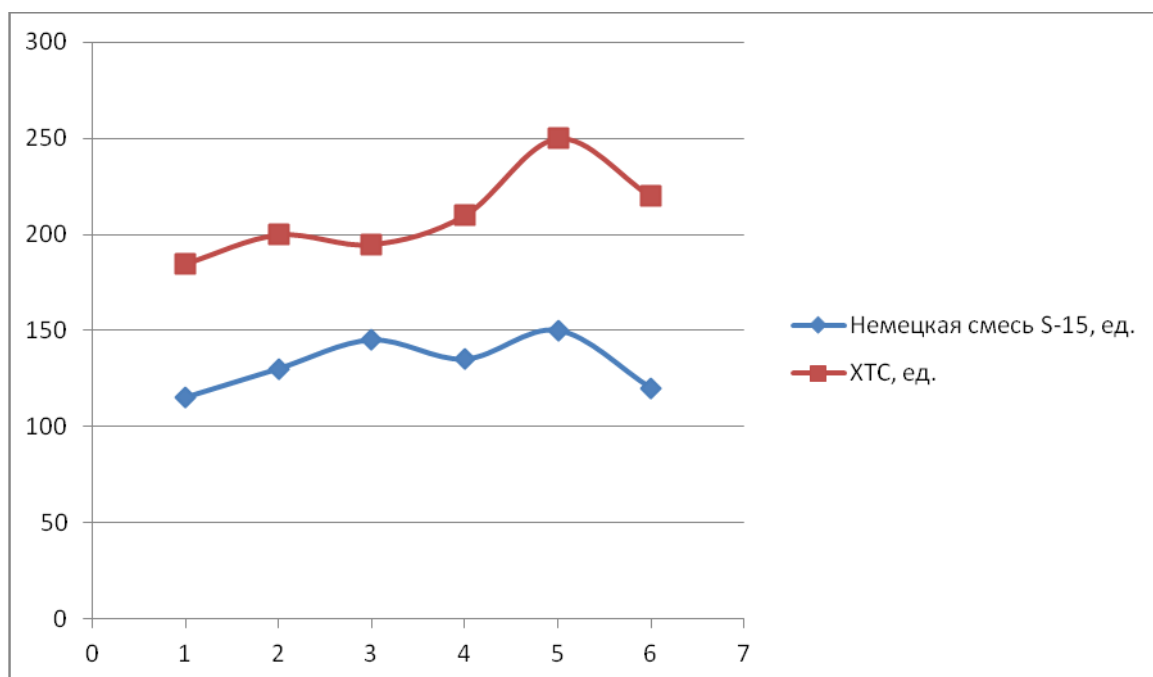


Рис. 9. Результат исследования газопроницаемости

#### 4.1.3. Газотворная способность стержневых смесей.

Результаты исследований представлены в таблице 5.

Таблица 5

| № п/п | Немецкая смесь S-15, % | ХТС, % |
|-------|------------------------|--------|
| 1     | 40                     | 28     |
| 2     | 48                     | 24     |
| 3     | 47                     | 26     |
| 4     | 41                     | 26     |
| 5     | 43                     | 25     |
| 6     | 44                     | 29     |

Как показали исследования, смесь ХТС является менее газотворной, чем немецкая практически в 2 раза.

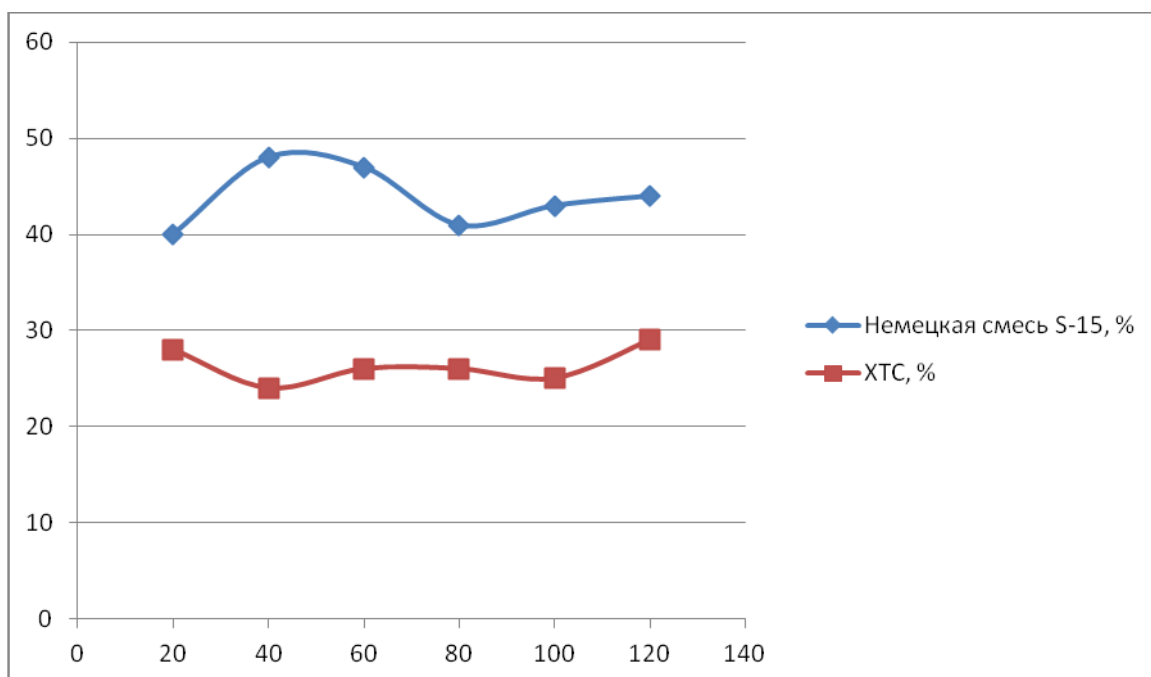


Рис. 10. Результат исследования газотворности в зависимости от времени

#### 5. Вывод.

В результате проведенных исследований мы можем утверждать, что замена немецкой технологии получения форм для литья под низким давлением на технологию



ХТС рациональна и оправдана по нескольким показателям, а именно по газопроницаемости и газотаорности.

### **Список литературы**

1. Галдин Н.М. ,Чернега Д.Ф., Иванчук Д.Ф. Цветное литье: Справочник.-М.: Машиностроение,1989 г.
2. Курдюмов А.В. Лабораторные работы по технологии литейного производства.-М.: Машиностроение,1990 г.
3. Российский сайт литейщиков- [www.npp.ru](http://www.npp.ru)
4. А.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, Литейные формовочные материалы, справочник, М., Машиностроение, 2006г.
5. Ю.А. Степанов, Методические указания к лабораторным работам технология формовочных материалов, МВТУ, 1985г.
6. В.К. Бедель, Г.И. Тимофеев Литье под низким давлением, М.: Машиностроение 1968г.
7. Инструкция установки ЛНД KURZ.