

О.С. КОМАРОВ д-р техн. наук,  
Е.В. РОЗЕНБЕРГ (БНТУ),  
В.М. ГАЦУРО (ОАО «МТЗ»)

## **ВЛИЯНИЕ ПРОПИТКИ НА ПРОЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СТЕРЖНЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО COLD-BOX-AMIN ПРОЦЕССУ**

Состояние поверхности стержней и их прочность влияют на образование таких дефектов отливок как просечки. Просечки на поверхности чугунных отливок наблюдались с 40-х годов прошлого столетия. По мере расширения использования синтетических смол для изготовления стержней они все чаще встречаются в практике литейного производства. Особенно часто они наблюдаются при использовании Cold-Box-amin процесса для изготовления стержней. Общеизвестным считается мнение о том, что причиной образования просечек являются трещины на поверхности стержней, связанные с появлением растягивающих напряжений в поверхностных слоях стержней при заливке форм металлом. Чугун, затекая в трещины в стержнях и затвердевая в них, обуславливает образование тонких вытянутых выступов на поверхности отливок, именуемых просечкам.

С целью выяснения механизма образования просечек необходимо рассмотреть комплекс процессов, протекающих в поверхностных слоях стержней при контакте с расплавленным металлом. Подробно эти процессы рассмотрены в работе [1].

Приведем основные положения, которые могут быть полезны для прояснения механизма образования просечек и разработки мер по их устранению:

- прочность стержневых смесей в высушенном состоянии на растяжение в 4 раза меньше чем на сжатие;
- в ХТС расширение достигает максимума при 400 °С и резко снижается при повышении температуры в связи с деструкцией смолы;
- на глубине 2 мм от поверхности стержня температура при заливке чугуна в форму достигает 900 °С через 30 с;

- при одностороннем нагреве стержней из ХТС при температуре 1150–1450 °С трещины на их поверхности возникают через 8–20 с;
- термическое расширение в ХТС уменьшается при введении в нее отработанной смеси;
- пропитка поверхности стержней пирофиллитом, декстрином и углеродом способствует снижению склонности к образованию просечек.

Исходя из приведенных выше положений разработано большое количество мер по устранению просечек, основные из них изложены в обобщающей работе [2]:

- разработка новых и модифицирование существующих связующих для получения более высокой горячей прочности и пластичности стержней;
- введение в стержневую смесь добавок порошкообразных материалов (оксидов, солей, декстрина, угольной пыли и др.);
- применение качественных покрытий для стержней.

В последние годы проведены исследования по возможности устранения просечек за счет пропитки поверхностного слоя стержней из ХТС различными композициями [3, 4]. Наиболее часто пропитывающие среды содержат огнеупорные дисперсные материалы. Наиболее эффективным и оказались пропитывающие составы на базе материалов, размер частиц которых менее 35 мкм и более 53 мкм. Частицы внутри этого диапазона блокируют поры и уменьшают глубину проникновения огнеупора вглубь стержня. Группа авторов [5, 6] предлагает использовать пропитку стержней 40%-й композицией из твердого компонента в соль-гель носителе на базе водного раствора.

Считается, что для устранения просечек необходимо повышать прочность поверхностных слоев стержня, так как трещины в нем образуются тогда, когда растягивающие напряжения в этом слое превысят предел прочности смеси. Тем не менее, результаты исследований показывают, что добавки в состав смеси компонентов, снижающих вероятность образования просечек (тальк, крахмал, угольная пыль, оксиды и др.), приводит к снижению прочности стержня [2] и для ее восстановления необходимо увеличивать количество связующей смолы в смеси. К сожалению, отсутствуют работы по оценке влияния пропитки стержней на прочность поверхностного слоя, в связи с чем остается открытым вопрос о необходи-

мости повышать или снижать прочность этого слоя для борьбы с просечками.

Ранее проведенные исследования авторов [7] позволили выявить характер изменения напряжений в поверхностном слое стержня при его контакте с расплавляемым чугуном и оценить роль покрытия стержней в борьбе с просечками.

В предлагаемой статье сделана попытка оценить возможность влияния пропитки стержней различными композициями на прочность поверхностного слоя.

Возможно большое разнообразие пропитывающих сред. Некоторые из них предположительно упрочняют поверхностный слой (жидкое стекло, алюминат натрия, алюминат натрия + лигносульфонат), другие упрочняют стержень, взаимодействуя с кварцевым песком при температурах заливки металла (соли щелочных металлов, оксид железа), третьи, такие как графит, циркон, пыль очистных устройств, заполняют поры между зернами песка и каким-то образом снижают склонность к просечкам.

В связи с этим в проведенных экспериментах по оценке влияния пропитки на свойства поверхностного слоя стержня выбраны представители различных групп и проведена оценка их влияния на прочность поверхностного слоя стержня. В качестве критерия прочности поверхностного слоя выбрана величина осыпаемости, оцениваемая в граммах осыпанного песка и процентах потери массы. Осыпаемость определяли с помощью стандартной установки. Обкатку стержней проводили в течение 15 мин.

Опыты по пропитке проводили на стержнях цилиндрической формы диаметром 37 мм, изготовленных по производственной технологии (Cold-Vox-amin процесс) в литейном цехе серого чугуна № 1 ОАО «МТЗ». Во всех случаях пропитку осуществляли опусканием в жидкую среду стержня и выдержкой в ней в течение 4 с. Влияние пропитки на прочность оценивали после сушки в течение 2 ч при температуре 180 °С и после выдержки в печи в течение 40 с при температуре 870 °С.

Глубину пропитки удалось оценить с помощью бинокулярного микроскопа только для случая пропитки графит- и оксид железа содержащими средами. Она составила около 2,5 мм. Остальные среды в силу своей прозрачности не позволяли оценить глубину проникновения в стержень.

После сушки при температуре 180 °С (таблица 1) лучшие результаты получены для алюмината натрия с добавкой графита и декстрина в качестве наполнителя. Исключение из состава пропитывающей смеси графита и декстрина отрицательно сказалось на осыпаемости. Аллюмосиликат и 5 % однопроцентного раствора  $\text{NaNO}_3$  оказали худшее влияние на прочность поверхностного слоя. Добавка 5 % однопроцентного раствора сульфанола во все смеси производилась с целью увеличения смачиваемости пропитывающей среды.

Таблица 1 – Потеря массы в образцах, высушенных при 170 °С

№ опыта	Покрытие	Потеря массы, %
1	Без пропитки	9,11
2	8 % аллюмината (50 % р-ра), 87 % воды	7,53
3	6 % жидкое стекло, 89 % воды	7,29
4	5 % аллюмосиликата (жидкое стекло + 15 % аллюмината), 90 % воды	8,45
5	15 % $\text{MgSO}_4$ , 80 % воды	7,61
6	15 % $\text{NaNO}_3$ , 80 % воды	8,01
7	8 % аллюмината (50 % р-ра), 87 % воды + 30 г графита	5,08
8	6 % жидкое стекло, 89 % воды + 30 г графита	7,79
9	5 % аллюмосиликатаината (жидкое стекло + 15 % аллюмината), 90 % воды + 30 г графита	7,21
10	8 % аллюмината (50 % р-ра), 77 % воды + 10 % декстрина	5,39

С целью проверки влияния высоких температур на превращения в поверхностном слое, пропитанном различными средами, проведена отдельная серия экспериментов, в ходе которой стержни пропитывали смесями и растворами в течение 4-х с, после чего сушили в печи при температуре 180 °С и помещали в печь, разогретую до 870 °С на 40 с. После остывания образцы обкатывали в течение 2 мин в установке для определения осыпаемости и определяли потерю массы (таблица 2).

Независимо от типа пропитывающего состава во всех случаях пропитка оказала отрицательное влияние на прочность поверхност-

ного слоя в образцах, прошедших выдержку при 870 °С. Наиболее сильное разупрочняющее влияние оказали оксид железа и графит, добавка которых в состав стержневой смеси наиболее эффективно устраняет просечки, как это следует из литературных источников [2].

Таблица 2 – Потеря массы в образцах после выдержки 870 °С

№ опыта	Покрытие	Потеря массы, %
1	Без пропитки	18,46
2	15 % NaNO <sub>3</sub> , 80 % воды	20,30
3	15 % Mg NO <sub>3</sub> , 80 % воды	20,18
4	15 % CuSO <sub>4</sub> , 80 % воды	23,75
5	15 % FeO (Сурик), 80 % воды	27,20
6	95 % суспензии глины	23,21
7	8 % алюмината (50 % р-ра), 87 % воды	20,60
8	8 % алюмината (50 % р-ра), 77 % воды + 10 % декстрина	22,03
9	8 % алюмината (50 % р-ра), 87 % воды +30 г графита	26,25

Обработка поверхности стержней и последующая выдержка при 870 °С привела не только к разупрочнению, но и к образованию трещин в торцевой части цилиндрических стержней.

Для оценки влияния пропитки стержня на прочность поверхностного слоя после контакта с расплавленным чугуном проведена серия экспериментов. Стержни диаметром 37 мм, изготовленные на ОАО «МТЗ» по Cold-Vox-amin процессу, пропитывали методом погружения в водные растворы или суспензии в течение 5 с, сушили при температуре 180 °С и использовали для изучения влияния высоких температур и контакта с жидким чугуном на состояние поверхностного слоя. Схема проведения эксперимента приведена на рисунке 1.

Стержень, с пропитанной поверхностью (2), с помощью щипцов (1) погружали до упора в дно тигля (4) с расплавленным металлом (3) расположенном на подставке (7), выдерживали в нем в течение 15 с, затем извлекали и после остывания изучали состояние поверхностного слоя и определяли осыпаемость. Плавку металла осуществляли в печи (6) с силитовыми нагревателями (5). В тигле

плавил чугун, содержащий (% по массе): 3,4 С; 2,2 Si; 0,8 Mn; 0,063 S и 0,07 P. Температура расплава выдерживалась в пределах 1300–1320 °С. Состояние поверхности стержней после их остывания показано на рисунке 2, из которого следует, что трещины образуются как в необработанном пропиткой стержне (1), так и в стержне после пропитки жидким стеклом (2), алюминатом натрия (3) и алюминатом натрия с добавкой графита (4). В меньшей степени трещины развиты в стержне, пропитанном алюминатом.

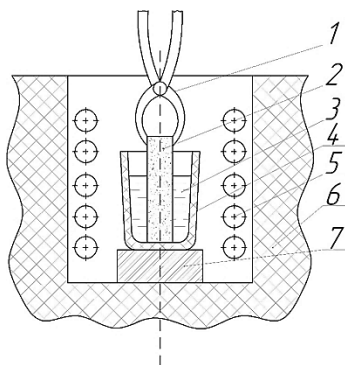


Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента

Тем не менее, как следует из приведенных в таблице 3 результатов по осыпаемости, пропитка привела к разупрочнению поверхностного слоя стержня. Возможны два варианта объяснения наблюдаемого роста осыпаемости: это действительное разупрочнение связей между частицами песка, вследствие внедрения в стержень влаги и инородных веществ при пропитке, или рост осыпаемости связан с увеличением теплопроводности пропитанного слоя стержня, в результате чего растет толщина слоя, прогретого до температур деструкции связующего вещества, что приводит к росту осыпаемости.

Открытым остается и вопрос о времени образования трещин на поверхности стержней. Они могут возникнуть как в момент контакта с расплавленным металлом, так и в процессе остывания стержня. В работе [1] наблюдали образование трещин на поверхности уже в процессе нагревания до высоких температур.

Таблица 3 – Осыпаемость обработанных пропиткой стержней

№ опыта	Вид пропитки	Потеря массы после выдержки в расплаве (15 с) и механического воздействия в течение 2 мин, %
1	–	27,5
2	Жидкое стекло 5%, остальное вода	30
3	Алюминат натрия 7%, остальное вода	35
4	Алюмината натрия 7 % + графит 15 %, остальное вода	35

На рисунке 2 приведены фото стержней после выдержки в расплавленном металле. Номера соответствуют номерам опытов, указанным в таблице 3.

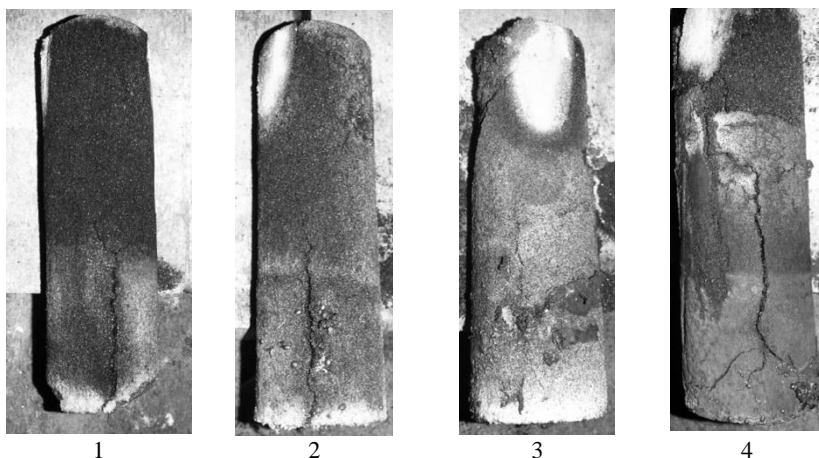


Рисунок 2 – Внешний вид стержней (номера соответствуют таблице 3)

В следующей серии экспериментов исследовали влияние вида и дисперсности наполнителя пропитывающей композиции на склонность к образованию трещин и величину осыпаемости. В качестве основы (носителя) пропитывающей композиции выбрали водный раствор алюмината натрия, в который добавляли циркон, дистенсилимонит и декстрин (таблица 4). В связи с тем, что раствор

алюмината натрия бурно реагирует с FeO, порошок последнего замешивали на воде. Существенного влияния вида наполнителя пропитывающей композиции на трещинообразование и осыпаемость не замечено.

Таблица 4 – Осыпаемость обработанных пропиткой стержней

№ опыта	Вид пропитки	Потеря массы после выдержки в расплаве (15 с) и механического воздействия в течение 2 мин, %
1	8 г алюмината (50 % р-ра), 42 г воды, 70 г ZrSiO <sub>4</sub> мелкий	34,1 %
2	8 г алюмината (50 % р-ра), 42 г воды + 35 г дистен-силлиманит	30 %
3	8 г алюмината (50 % р-ра), 42 г воды + 15 г декстрина	35 %
4	42 г воды + 20 г FeO	33,5 %

В литературном обзоре по влиянию зерновой структуры (размера частиц) наполнителя пропитывающей суспензии уделялось большое внимание этому фактору [3, 4]. В связи с отсутствием возможности регулировать размер частиц какого-то одного наполнителя, в данной работе выбирали различные по природе материалы с различной зерновой структурой, в результате чего созданы предпосылки оценить не только роль размера частиц, но и их природы на прочность поверхностного слоя.

Изготовление стержней, их пропитку, сушку и выдержку в печи при 870 °С осуществляли по описанной выше методике. Результаты исследований для различных наполнителей пропитывающей суспензии, их содержание и зерновая структура приведены в таблице 5.

В качестве жидкой среды для суспензии выбрана вода с добавкой 8 % 50%-го раствора алюмината натрия и 5 % однопроцентного раствора сульфанола (ПАВ). Показатель осыпаемости для случая пропитки этим раствором принят в качестве исходного. В 55 г исходного раствора добавили указанные в таблице количества различных веществ и полученной суспензией пропитывали стержни. Добавка различных количеств наполнителя связана с требованием получать примерно одинаковую вязкость суспензии.



Таблица 5 – Влияние различных веществ на свойства поверхностного слоя стержня

Номер	Пропитывающая суспензия	Размер частиц, мкм	Потеря массы, %
1	8 % аллюмината (50 % р-ра), 87 % воды, 5 % сульфанола (1 % р-ра)	–	22,12
2	+ 70 г $ZrSiO_4$	$\leq 15$	15,08
3	+ 35 г дистен-силлиманит	$\leq 63$	6,68
4	+ 70 г пыль очистных сооружений МТЗ	$\leq 200$	34,93
5	+ 14 г MgO	1–1,5	35,48
6	+ 33 г ПЭГ (полиэтилен гликоль) с 30 % SiC и 10 % Si	10–15	34,68
7	+ 15 г Диатомит	5–20	18,89
8	+ 30 г $Al(OH)_3$	1–5	31,78
9	+ 9 г Белая сажа	10–60	25,66
10	+ 20 г Тальк	$\leq 60$	34,75

Как следует из приведенных в таблице данных, упрочнение поверхностного слоя стержня наблюдали для дистенсиллиманита и циркона в качестве наполнителей, несмотря на то, что у них не самая мелкая зерновая структура. Такие наполнители как MgO и  $Al(OH)_3$ , несмотря на более мелкую структуру, отрицательно повлияли на поверхностную прочность стержня. Твердая фаза отходов полиэтиленгликоля (ПЭГ) представляет собой смесь обломков Si,  $SiO_2$  и SiC.

На рисунке 3 показан внешний вид стержня после выдержки при 870 °С.

Осветленный поверхностный слой в первом приближении позволяет судить о влиянии пропитки на глубину слоя, в котором произошло выгорание связующей смолы стержня. Для дистенсиллиманита, циркона и  $Al(OH)_3$  она минимальна. Полученные результаты свидетельствуют о том, что не столько зерновая структура, сколько природа наполнителя эмульсии оказывает влияние на свойства поверхностного слоя стержня.

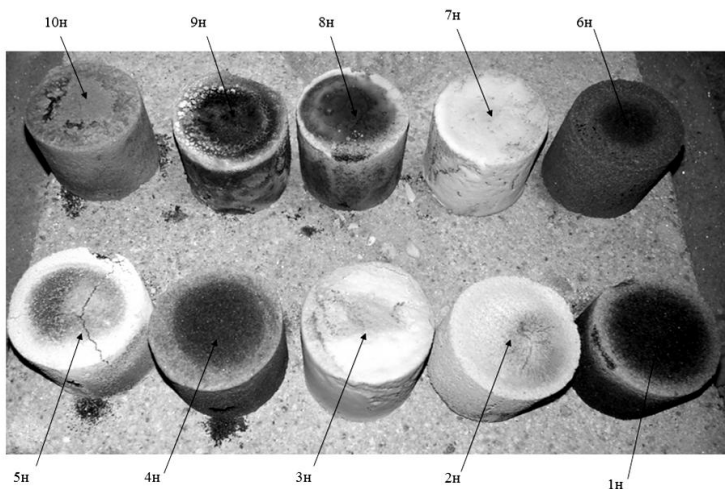


Рисунок 3 – Стержни после выдержки при 870 °С (номера стержней соответствуют таблице 5)

### **Выводы:**

Пропитка любыми композициями на базе жидкого стекла, алюмината и алюмосиликата натрия повышает прочность стержней, полученных по Cold-Vox-amin процессу после сушки при 180 °С. Большинство пропитывающих композиций, проверенных в работе, снизили поверхностную прочность после выдержки в печи при 870 °С. Исключение составила пропитка с дистенсилимонитом и цирконом.

Дисперсность наполнителя пропитывающей композиции не оказала заметного влияния на поверхностную прочность выдержанных в печи при 870 °С стержней. Пропитка жидким стеклом и алюминатом натрия не повлияла на прочность стержня после его контакта с расплавленным чугуном.

### **Список литературы**

1. Жуковский, С.С. Прочность литейных форм / С.С. Жуковский. – М.: Машиностроение, 1980. – 290 с.
2. Бузби, Э.Д. Оценка контроля дефектов типа просечек в чугунных отливках, изготовленных с использованием Ashland Casting Solution. / Э.Д. Бузби – Россия, Санкт-Петербург, 2008. – 128 с.

**3. Берч, Т.** Борьба с просечками при помощи впитывающих покрытий с активными ингредиентами. [Электронный ресурс] / Т Берч, М. Дж. Хаанепен // «Союз литье» информационный ресурс по литейному производству – Режим доступа: <https://lityo.com.ua/borba-s-prosechkami-pri-pomoshchi-vpityvayushchikh-pokrytij-s-aktivnymi-ingredientami> – дата доступа: 20.09.2019.

**4. Foundry coating composition:** pat. EP 2 364 795 A1 / Fosco international limited – Publ. date 14.09.2011, Bulletin 2011/37.

**5. Nwaogu, U.C.** Influence of New Sol-Gel refractory coating on the casting properties of cold box and furan cores for Grey cast iron. / U.C. Nwaogu, T. Poulsen // The Proceeding of 69<sup>th</sup> world Foundry Congress. – Hang Zhou, 2010. – P. 648–653.

**6. Laughlin, I.B.** Using Sol-Gel chemistry to Synthesize a Material with Properties Suited for chemical Sensing. Development and Implementation of a Materials Science Experiment for the Undergraduate Curriculum / I.B. Laughlin [at all] // Journal of chemical education – 2000. – № 1, – P. 77–84.

**7. Просечки** на поверхности чугунных отливок / О.С. Комаров [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – № 2. – С. 37–43.

*УДК 621.74:669.13*

**К.Э. БАРАНОВСКИЙ**, канд. техн. наук,  
**Ю.Н. МАНСУРОВ**, д-р техн. наук,  
**А.А. ЖУМАЕВ**,  
**П.Ю. ДУВАЛОВ**,  
**А.А. ГЕРАСИКОВА**,  
**Е.В. МИКИШКО** (БНТУ)

## **ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ ХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ**

Литые детали из износостойких хромистых чугунов (ИЧХ) широко используются в рабочих органах машин по переработке минерального сырья. Обычно такие детали работают в условиях интенсивного абразивного воздействия с перерабатываемыми материалами и быстро изнашиваются.