

УДК 004.413

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КАЧЕСТВО СТЕРЖНЕЙ ПРИ МАССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУННОГО ЛИТЬЯ

© 2022 Р.Д. Фарисов¹, М.А. Иоффе², В.Н. Козловский³

¹ ПАО «КАМАЗ», г. Набережные Челны, Россия

² ООО «Литъе-Сервис», г. Санкт-Петербург, Россия

³ Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 20.06.2022

В настоящей работе приведены результаты исследований взаимосвязи свойств исходных материалов с качеством литейных стержней применительно к массовому производству чугунных отливок деталей грузового автомобилестроения.

Ключевые слова: литейное производство, отливка, стержневые материалы, свойства стержней, дефекты отливок.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-3-76-84

Формирование отливки обусловлено многими физико - химическими явлениями, которые сложным образом зависят от всех операций технологического цикла, в том числе в значительной мере от формовочных процессов. Методы образования стержней и форм являются центральными в литейном производстве, в наибольшей степени ответственными за качество, точность будущей заготовки. По трудовым затратам операции приготовления смесей, изготовления стержней и форм составляет свыше 40% общих трудозатрат по производству отливок. В связи с ужесточением экологических требований, чрезвычайной актуальностью импортозамещающих процедур, тесной взаимосвязью свойств литейных стержней и качества отливок в настоящее время повысилось внимание к выбору отечественных огнеупорных наполнителей и связующих материалов для стержней, оформляющих внутренние полости отливок. Эти вопросы приобретают особую важность вследствие ужесточения требований к качеству отливок, усложнения их конфигурации, неустойчивой конъюнктуры рынка материалов для литейного производства.

ОЦЕНКА ТЕРМОСТОЙКОСТИ СТЕРЖНЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сегодняшняя сложная политico-экономическая ситуация требует расширения объемов

Фарисов Рисун Данилович, кандидат технических наук, главный специалист. E-mail: risun@mail.ru

Иоффе Михаил Александрович, доктор технических наук, профессор, технический директор.

E-mail: risun@mail.ru

Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника». E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

применения технологических материалов на основе отечественной сырьевой базы. В настоящее время предлагается определенная номенклатура стержневых материалов для использования в литейном производстве. Но большое количество применяемых разнообразных связующих добавок и красок, а также разнообразие конструкции отливок не позволяют оперативно определять, как влияет тот или иной связующий материал или противопригарная краска на термостойкость стержней, и соответственно, на качество отливок.

Одним из распространенных и трудноустранимых дефектов на отливке являются просечки - плоские приливы, перпендикулярные к поверхности отливки, образованной стержнем. При контакте с расплавленным металлом на поверхности стержня возникает трещина. Термическое расширение кварцевых песков приводит к разрушению связи связующего, а образовавшаяся вследствие этого трещина заполняется расплавленным металлом. Наиболее опасны эти дефекты при производстве ответственных отливок, поскольку полностью удалить их в закрытых полостях при финишных операциях не представляется возможным. В зависимости от конкретных условий (соотношения толщины стенок отливки и стержня, его конфигурации и термостойкости связующего) дефект может быть различной степени интенсивности - от очень тонких, легко отделяемых заливов до сплошной металлизации. Наиболее часто просечка возникает в разностенных отливках в местах, где более массивные участки образуются тонкими стержнями и вблизи питателей [1]. Доступные на заводах методы лабораторного анализа не позволяют оценить склонность материала к этим дефектам, однако это возможно при реальной заливке технологических проб. Вари-

антов технологических проб для исследования механизма и способов предотвращения просечек предложено много. В большинстве своем они имеют общий недостаток - практическую невозможность количественной оценки склонности используемых стержневых материалов к образованию просечек [2].

Современные условия производства отливок из чугуна требуют разработки эффективных методов прогнозирования свойств материалов. В настоящей работе предлагается методика для оценки склонности используемых стержневых материалов к образованию дефекта «просечка»

В лабораторных условиях были проведены исследования по определению влияния стержневых материалов на образование просечек в отливках по указанной методике.

Для изготовления формы использовали холоднотвердеющую смесь. Состав смеси приведен в табл. 1.

Плавка чугуна СЧ25 производилась в электродуговой печи. Температура заливки – 1370°C.

Экспериментальные работы проводили со стержнями, изготовленными:

- по методу ЭПОКСИ – SO_2 ;
- по горячим ящикам;
- по cold-box-amin-процессу.

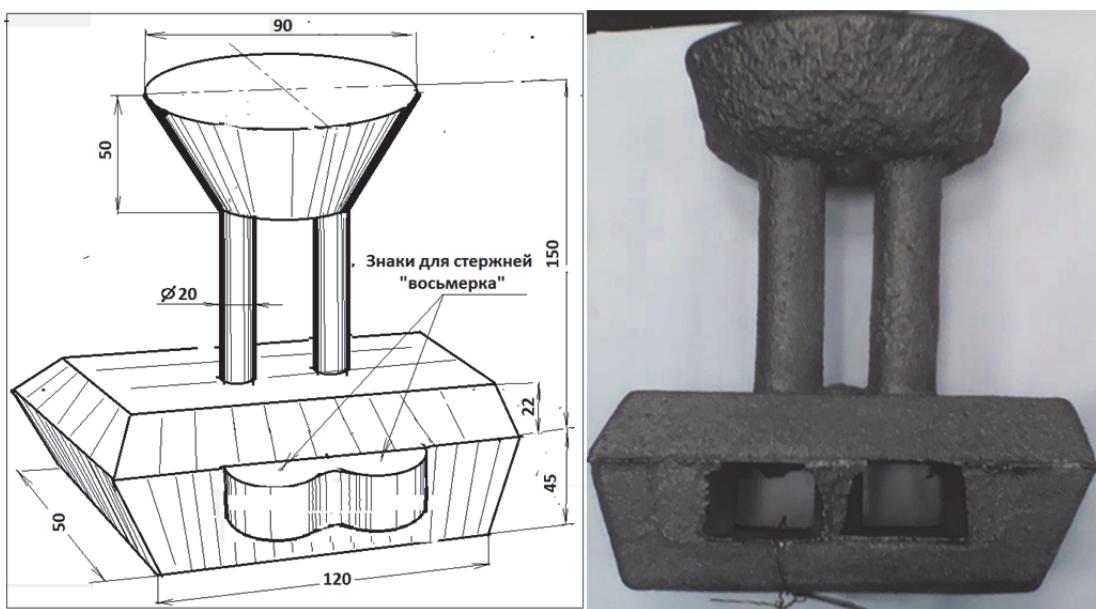


Рис. 1. Технологическая проба для исследования стержневых материалов на термостойкость:
а - эскиз модели технологической пробы; б - залитая отливка технологической пробы

на отливках. Суть методики заключается в определении термостойкости стержней, изготовленных из разных стержневых материалов, путем их сравнения после заливки в одинаковых условиях по качественному показателю – объему образовавшихся просечек.

Для обеспечения одинаковых условий заливки разработали технологическую пробу - модель с двумя стояками, как показано на рисунке 1.

В форму устанавливаются два стержня «восьмерки» (рис. 2), изготовленные из разных используемых стержневых материалов. После заливки в результате эксперимента получается отливка, где внутренние полости выполняются двумя опытными стержнями. Два одинаковых стояка обеспечивают равномерный поток жидкого металла на верхнюю поверхность каждого стержня. Стержни «восьмерки» изготавливаются стандартным пескодувным способом при одинаковых условиях.

После выбивки отливки качество внутренних поверхностей сравнивается, а дефекты оцениваются по 10-ти балльной системе.



Рис. 2. Форма с опытными стержнями «восьмерка» для заливки образца

Таблица 1. Состав холодно-твердеющей смеси

Наименование составляющих	Массовая доля, %
Песок кварцевый обогащенный	100
Ортофосфорная кислота (сверх 100%)	0,5
Смола КФ-90 (сверх 100%)	2,0

Образцы стержней были изготовлены из песка Балашейского месторождения с модулем мелкости 48-52 по ГОСТ 2138-91 без использования добавок. Стержни красили противопригарной краской, высушивали в сушильном шкафу при температуре 150°C в течение 30 мин. Использовали семь различных составов красок. После заливки отливки выбивались и подвергались дробиметной обработке. Для количественного опре-

деления объема просечек использовали оценочную шкалу с цифровым обозначением в баллах от 1 до 10, где 1 – наихудшее качество поверхности, 10 – наилучшее качество поверхности. Результаты экспериментальных работ приведены в табл. 2.

Контрольный образец получил оценку 5 при определении наличия просечек (рис. 3).

Основываясь на экспериментальные данные можно отметить следующее:

Таблица 2. Таблица оценки термостойкости стержневых материалов

Тип стержневой смеси	номер противопригарного покрытия	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	Опыт 6	Опыт 7	Опыт 8	Опыт 9	Опыт 10	Опыт 11	Средний	
		балл	балл	балл										
по ЭПОКСИ – SO ₂ процессу	1	5	5	5	5	5	5							5
	2	1												1
	3		10						10			10	10	
	6						1							1
	4								7					7
	5											10	10	
по горячим ящикам	1			10		10		10						10
	7							7						7
по cold-box-amin-процессу	1				1									1
	3									8	8			8
	4								10					10
	5										10			10



Рис. 3. Контрольный образец отливки с дефектом «просечка»

- наиболее высокую термостойкость по склонности к просечкам имеют стержни, изготовленные в «горячем» ящике (ГТС – процесс);

- на ХТС по SO₂-процессу термостойкость стержней несколько выше по сравнению с cold - box - amin - процессом;

- из противопригарных красок наибольшая термостойкость получена на краске под номером 5.

Вывод:

Таким образом, на основе проведенных исследований можно рекомендовать разработанную методику для оперативного исследования термостойкости стержневых материалов, которая особенно актуальна в процессе реализации программы импортозамещения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ COLD-BOX-AMIN

Высокие технико-экономические характеристики технологии cold-box-amin определяют значительные объемы применения данного процесса в промышленно развитых странах, в которых с его использованием изготавливается 75-80% всех массово выпускаемых отливок [3]. К достоинствам cold-box-amin-процесса относятся: низкая газотворность и высокая прочность стержней, возможность изготовления моноблоков стержней, высокие точность размеров и чистота поверхности литья. Прогрессивные технологии в литейном производстве требует тщательного подбора материалов. Основные свойства стержневой смеси зависят от технологических характеристик исходных материалов. Прочность формовочных и стержневых смесей обеспечивается, в частности, «размазыванием» связующего по поверхности зерен песка в процессе механического перемешивания [4]. Одним из параметров, влияющих на получение стабильных свойств смеси, является зерновой состав и равномерность распределения связующего по зернам песка. Кроме того, для литейных предприятий в условиях рынка снижение расхода дорогостоящих связующих имеет большое значение вследствие их высокой стоимости.

С целью подбора оптимального гранулометрического состава песка для снижения содержания связующих и повышения качества стержней проводили сравнительные лабораторные исследования стержней, изготовленных по технологии cold-box-amin из Балашайского песка разного зернового состава.

Проводили опытно-экспериментальные работы по просеву песка на фракции с размерами зерен: более 0,315 мм; от 0,315 мм до 0,2 мм; менее 0,2 мм. На виброгрохот установили набор сит № 0,2; № 0,315 и подавали исходный Балашайский песок марки 1К₁O₂02. На выходе из виброгрохота пески рассортировали по фракциям. Фракционный состав песка на выходе из виброгрохота приведен в таблице 3.

Проводили сравнительные испытания смесей по cold - box - amin -процессу:

- на исходном Балашайском песке марки 1К₁O₂02;

- на песке средней фракции, извлеченном из исходного песка рассевом на ситах № 0,315 и № 0,2 виброгрохота, т.е. с размером зерен песка в диапазоне 0,2 - 0,315 мм;

- на песке крупной фракции, извлеченном из исходного песка рассевом на ситах № 0,315 виброгрохота, т.е. с размером зерен песка более 0,315 мм.

Стержневая смесь готовилась в лабораторном смесителе. Образцы восьмерки для испытаний на растяжение изготовили на лабораторной установке L1 фирмы «Laempe». Составы смесей приведены в таблице 4.

Гранулометрический состав исходного Балашайского песка марки 1К₁O₂02 приведен в табл. 5.

Физико-механические свойства смесей приведены в табл. 6.

Изготовили опытные отливки головки цилиндров с целью оценки качества стержней, полученных из песка средней фракции, и из песка крупной фракции. Стержни изготавливались на стержневой машине с объемом надувной головки 80 литров по cold-box-amin-процессу. На внутренних поверхностях стержней, изготовленных из песка средней фракции, имеются дефекты «просечка» (рис.4).

Таблица 3. Фракционный состав песка (% по массе)

Песок мелкой фракции (размеры зерна - 0,2мм)	Песок средней фракции (размеры зерна от 0,2 до 0,315мм)	Песок крупной фракции (размеры зерна более 0,315мм)
2%	61%	37%

Таблица 4. Составы смесей

Наименование материалов	Состав смеси, % по массе			
	1	2	3	4
Песок Балашайский исходный	100			
Песок средней фракции		100	100	
Песок крупной фракции				100
Связующее А, (сверх 100)	0,6	0,6	0,5	0,6
Связующее Б, (сверх 100)	0,6	0,6	0,5	0,6

Таблица 5. Гранулометрический состав исходного Балашейского песка марки 1К₁O₂02

№ сита	2,5	1,6	1	063	04	0315	02	016	01	0063	005
Массовая доля остатка на сите, %	0	0	0	0,8	4,8	28	40,2	18,6	6,8	0,4	0,2

Таблица 6. Физико-механические свойства смесей

Состав смеси	Прочность, кгс/см ²			
	В момент изготовления	через 1 час	через 3 часа	через 24 часа
1	4,5	10,4	10,2	8,3
2	5,0	10,2	9,5	10,0
3	4,0	9,5	7,5	8,2
4	6,0	13,0	12,5	14,1

**Рис. 4.** Разрез опытной отливки «Головка цилиндров»**Выводы:**

По результатам испытаний на песке крупной фракции (размеры зерен более 0,315 мм) при одинаковом содержании связующих (1,2 %) прочность смеси значительно выше, чем на песках средней фракции (размер зерен песка менее 0,315 мм, более 0,2 мм.) и исходном (Балашейский песок марки 1К₁O₂02).

Опытные стержни, полученные из песка средней фракции, имеют низкую устойчивость к температурным и механическим деформациям. Качество внутренних полостей отливок, полученных от стержней на песке средней фракции ниже в сравнении с отливками, полученными от стержней на песке крупной фракции.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СРОКИ ХРАНЕНИЯ И КАЧЕСТВО СТЕРЖНЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО COLD-BOX-AMIN-ПРОЦЕССУ

В крупных и многономенклатурных производствах управлять процессом выполнения про-

изводственного задания сложно, так как невозможно прогнозировать все случаи отклонений, а именно поломки оборудования, аварии, изменения производственного задания и т.д. Поэтому нередко приходится хранить готовые для заливки стержни в складах в условиях производства, где не исключена возможность воздействия факторов окружающей среды на свойства стержней. Например, известно, что изменение содержания влаги в стержневых смесях оказывает влияние на изменение свойств смесей [5].

Проводили исследование влияния температуры и относительной влажности воздуха на прочностные характеристики стержней, изготовленных по cold-box-amin-процессу [6]. Для проведения испытаний изготовили стандартные лабораторные образцы-восьмерки. Смесь готовилась в лабораторном смесителе LMB- и фирмы «Multyserv» (Польша). Состав смеси:

- песок обогащенный 1К₂O₂25 – 100 масс.ч.;
- смола (для cold-box-amin-процесса), часть А - 0,6 масс.ч.;
- смола (для cold-box-amin-процесса), часть Б - 0,6 масс.ч.

Образцы – восьмерки изготавливались на установке L1 фирмы «Laempe», испытывались на прочность при растяжении на универсальной разрывной машине № 405 фирмы «Дитерт». Исходные параметры смеси приведены в таблице 7.

На первом этапе исследования оценивали влияние относительной влажности окружающей среды на прочностные характеристики стержней, изготовленных по cold-box-amin-процессу.

Сразу после изготовления образцы поместили в экскаторы для хранения. Гигроскопичность оценивалась по величине потери прочности стандартных образцов при хранении в условиях фиксированной влажности воздуха. Образцы хранились в экскаторах с различной относительной влажностью воздуха: 45,9%;

Таблица 7. Исходные параметры стержневой смеси

Прочность на разрыв, кг/см ²					Относительная влажность, %	Температура, °C
В момент изготовления	Через 1 час	Через 3 часа	Через 12 часов	Через 24 часа		
5,7	10,9	11,6	13	13	36	27

75,5% и ~ 100%. Относительная влажность в эксикаторах подобрана концентрацией залитой серной кислоты [7]. Для создания влажности ~ 100 % эксикатор заправлялся водой.

Испытания на прочность при растяжении проводили через каждые сутки после выдержки в эксикаторах в течении 10 дней. Температура в помещении во время хранения образцов - 23-27°C. Результаты испытаний приведены на рисунке 5.

В результате проведенных испытаний установлено следующее.

1. При хранении в среде с относительной влажностью воздуха 45,9% - прочность максимальная и в течение 10-ти дней хранения практически не изменялась.

2. При хранении в среде с относительной влажностью воздуха 75,5% - на вторые сутки прочность незначительно снизилась (на 5-7%) и в течение всего срока хранения не изменялась.

3. При влажности воздуха ~ 100 % в третьи сутки хранения прочность снизилась на 15%, на 10-е сутки - на 20-24%

4. По результатам видно, что хранение стержней при относительной влажности воздуха до 75-80% и температуре 23-25°C в течение 10 дней допустимо и не приводит к заметному для практики снижению прочности.

На втором этапе исследования определяли зависимость прочности стержневой смеси для cold-box-amin-процесса от относительной влажности в условиях цеха (без использования противопригарного покрытия).

Опытные образцы стержней разместили на стеллажах участка изготовления стержней на поддонах. Образцы хранились на участке в течение месяца. Через каждые 12 часов, начиная с момента определения исходной прочности, по 2 образца доставляли в лабораторию и производили определение прочности на разрыв. Один раз в смену на участке измерялись температура и относительная влажность воздуха окружающей среды. Результаты замеров отражены на графиках (рис. 6).

Таким образом, установлено, что при хранении образцов в цехе в течение одного месяца при температуре от 13 до 35°C и относительной влажности от 25 до 75 % прочностные характеристики стержневой смеси изменяются в пределах допустимых технических требований независимо от колебаний температуры и влажности.

На третьем этапе исследования определяли зависимость прочности стержневой смеси для cold-box-amin-процесса от относительной влажности в условиях цеха (с использованием противопригарного покрытия).

Образцы покрасили противопригарным покрытием (вязкость краски-12,8 сек., толщина слоя краски 0,27 мм). После покраски стержни сушили в проходном сушиле в течение 40 минут при температуре 120°C, после чего разместили на стеллажах участка изготовления стержней на поддонах.

Образцы хранились на участке в течение месяца. Через каждые 12 часов, начиная с момента определения исходной прочности, по 2 образца

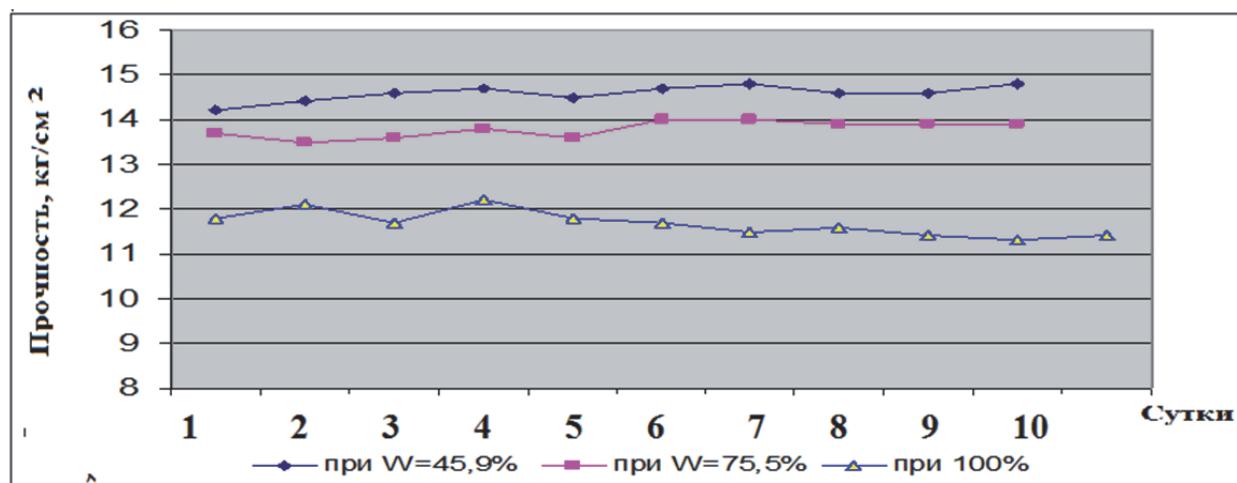


Рис. 5. Зависимость прочности образцов от времени хранения при постоянных условиях относительной влажности окружающей среды

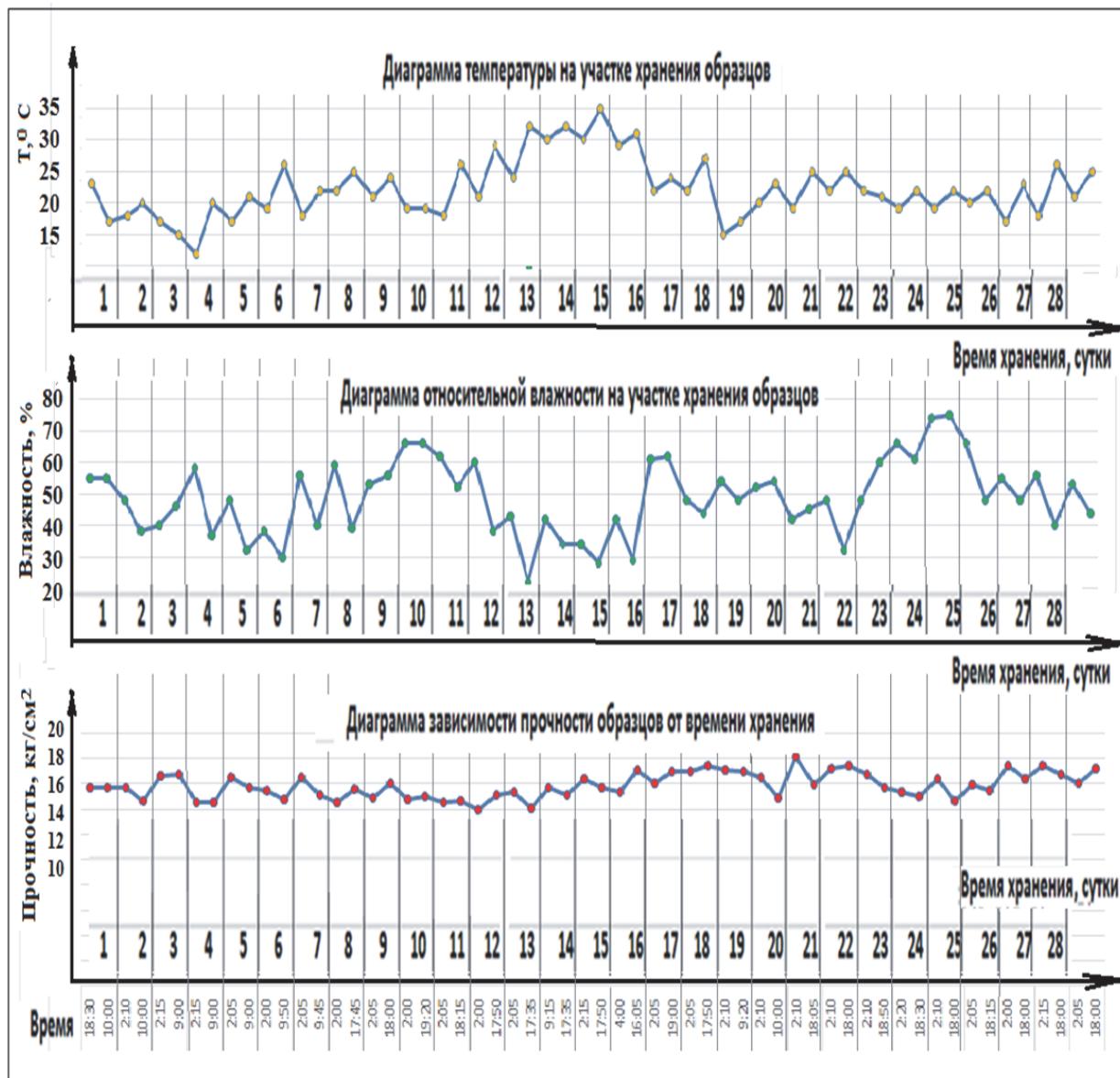


Рис. 6. Зависимость прочности образцов стержневой смеси
(без противопригарного покрытия) от времени хранения в цеховых условиях

доставляли в лабораторию и производили определение прочности на разрыв. Один раз в смену на участке измерялись температура и относительная влажность воздуха окружающей среды. Результаты замеров отражены на графиках (рис. 7).

На основании полученных результатов можно заключить, что при хранении окрашенных образцов в цехе в течение одного месяца при температуре от 19 до 32°С и относительной влажности от 30 до 75 % прочностные характеристики изменяются в пределах допустимых технических требований независимо от колебаний температуры и влажности.

Таким образом, прочностные характеристики стержней, изготовленных по cold-box-amin-процессу, окрашенных и неокрашенных, при хранении в условиях цеха в течение месяца при температуре от 15 до 30°С и относительной

влажности от 30 до 75 % остаются в пределах допустимых технических требований независимо от колебаний температуры и влажности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кваша, Ф.С Дефект отливок «просечки» и способы его предотвращения / Ф.С. Кваша, Л. П. Туманова, Л. Н. Ермакова // Литейное производство. – 2003. – №4. – С.30.
2. Кваша, Ф.С. Современные методы предотвращения просечек в отливках, изготавляемых с применением холоднотвердеющих песчано-смоляных смесей. Часть 1 / Ф.С. Кваша // Литейное производство. – 2003. – № 12. – С.7.
3. Мельников, А.П. Создание специального оборудования для производства крупных стержней по Cold-box-amin-процессу / А.П. Мельников, Д.М.Кукий, А.В. Черапович // Литье и металлургия. – 2008. – 4(49). – С.78.

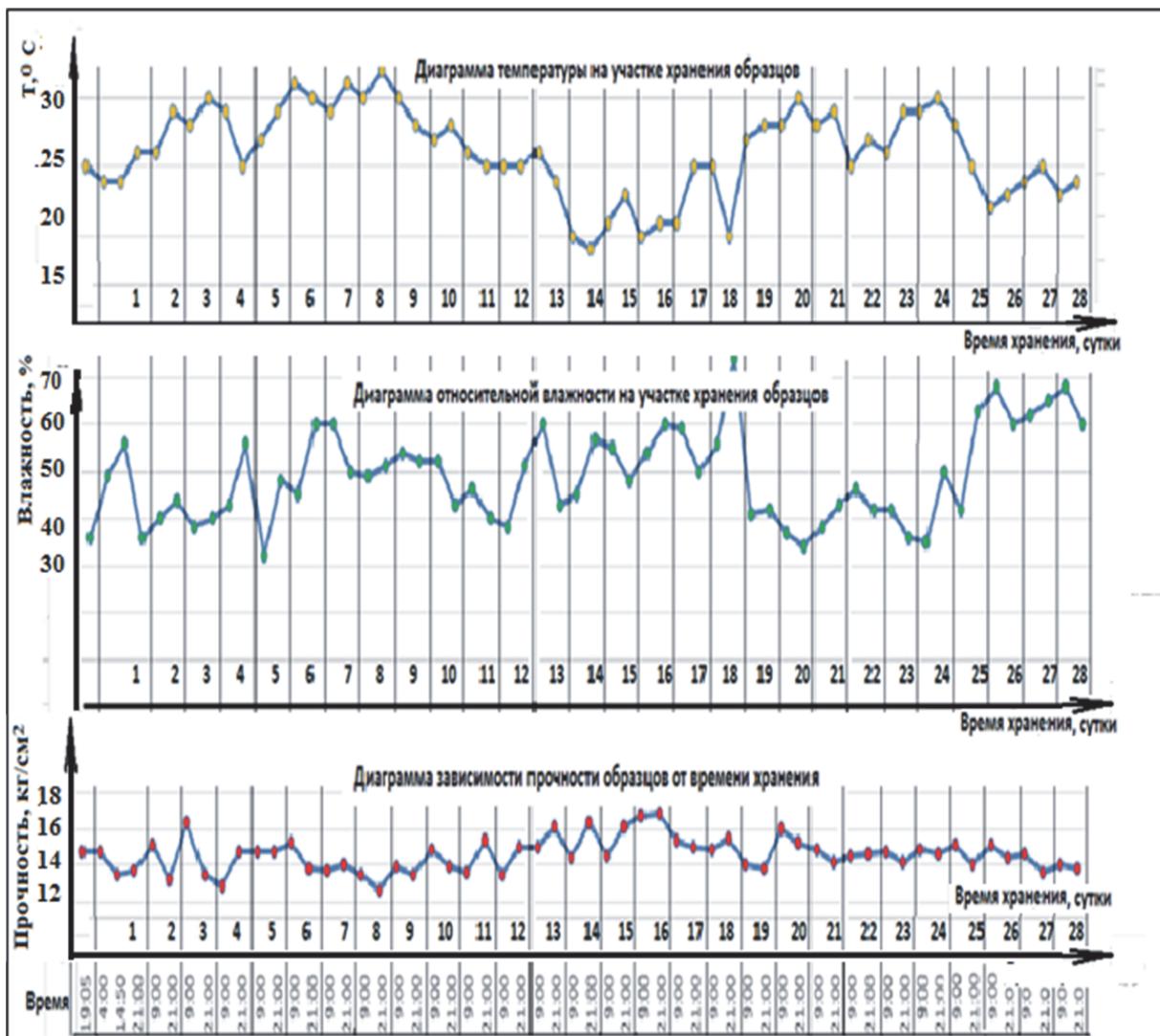


Рис. 7. Зависимость прочности образцов стержневой с противопригарным покрытием от времени хранения в цеховых условиях

4. Грузман, В.М. Исследование тонких пленок связующего / В. М. Грузман, Д.О. Кондаков, С.В. Мартыненко (НТИ, филиал УГТУ-УПИ, г. Н. Тагил) // Литейное производство. – 2003. – №12. – С.16-17.
5. Берг, П.П. Формовочные материалы / П.П. Берг. –М.: МАШГИЗ. 1963. –117 с.
6. Фарисов, Р.Д. Влияние факторов окружающей среды и времени хранения на прочность стержней изготовленных по cold-box-amin-процессу / Р.Д. Фарисов, [и др.] // Литейщик России. – 2018. – №1. – С.27-29.
7. Жуковский, С.С. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей / С.С. Жуковский, А.М. Лясс // М.: Машиностроение. – 1978. – 156 с.

INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF THE INITIAL MATERIALS ON THE QUALITY OF RODS IN THE MASS PRODUCTION OF IRON CASTING

© 2022 R.D. Farisov¹, M.A. Ioffe², V.N. Kozlovskiy³

¹ PJSC KAMAZ, Naberezhnye Chelny, Russia

² Litye-Servis LLC, Saint Petersburg, Russia

³ Samara State Technical University, Samara, Russia

This paper presents the results of studies of the relationship between the properties of raw materials and the quality of casting cores in relation to the mass production of cast iron castings for truck parts.
Keywords: foundry, casting, core materials, core properties, casting defects.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-3-76-84

REFERENCES

1. Kvasha, F.S. Defekt otlivok «prosechki» i sposoby ego predotvratshcheniya / F.S. Kvasha, L. P. Tumanova, L. N. Ermakova // Litejnoe proizvodstvo. – 2003. – №4. - S.30.
2. Kvasha, F.S. Sovremennye metody predotvratshcheniya prosechek v otlivkah, izgotovlyayemyh s primeneniem holodnotverdeyushchih peschano-smolyanyh smesej. Chast' 1 / F.S. Kvasha // Litejnoe proizvodstvo. – 2003. – № 12. – S.7.
3. Mel'nikov, A.P. Sozdanie special'nogo oborudovaniya dlya proizvodstva krupnyh sterzhnej po Sold-box-amin-processu / A.P. Mel'nikov, D.M.Kukuj, A.V. Cherapovich //Lit'e i metallurgiya. – 2008. – 4(49). – S.78.
4. Gruzman, V.M. Issledovanie tonkikh plenok svyazuyushchego / V. M. Gruzman, D.O. Kondakov, S.V. Martynenko (NTI, filial UGTU-UPI, g.N. Tagil) // Litejnoe proizvodstvo. – 2003. – №12. – S.16-17.
5. Berg, P.P. Formovochnye materialy / P.P. Berg. – M.: MASHGIZ. 1963. – 117 s.
6. Farisov, R.D. Vliyanie faktorov okruzhayushchej sredy i vremeni hraneniya na prochnost' sterzhnej izgotovlennyh po sold-box-amin-processu / R.D. Farisov, [i dr.] // Litejshchik Rossii. – 2018. – №1. – S.27-29.
7. Zhukovskij, S.S. Formy i sterzhni iz holodnotverdeyushchih smesej / S.S. Zhukovskij, A.M. Lyass // M.: Mashinostroenie. – 1978. – 156 s.

Risun Farisov, Candidate of Engineering Sciences, Chief Specialist. E-mail: risun@mail.ru

Mikhail Ioffe, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Technical Director. E-mail: risun@mail.ru

Vladimir Kozlovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical and General Electrotechnics. Kozlovskiy-76@mail.ru