

УДК 621.743(744)

Леушин И.О., Грачев А.Н., Леушина Л.И., Марков А.И.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЛИТЕЙНОГО СТЕРЖНЯ ИЗ СМЕСЕЙ СО СВЯЗУЮЩИМ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ

Аннотация. Одной из важнейших задач производства литых заготовок является изготовление стержней, формирующих их внешнюю и внутреннюю геометрию. В последнее время в связи с постоянно повышающимися технологическими требованиями вырос спрос на альтернативные методы изготовления литейных стержней, к которым относятся стержни из смесей на основе неорганических солей (солевые смеси). Литейные стержни из солевых смесей обладают такими характеристиками, как легкая выбиваемость после затвердевания отливки, возможность многократной регенерации, низкая себестоимость. Однако им присущи и недостатки, такие как недостаточная прочность, высокая осыпаемость и ограниченное время хранения. В данной статье в центре внимания авторов находится проблема формирования прочности литейного стержня из солевой смеси как важнейшая для обеспечения гарантированно высокого уровня эксплуатационных свойств стержня, правильного выбора материала, метода внешнего воздействия на смесь еще на стадии технологической подготовки производства, управления технологическим процессом и, как следствие, стабилизации высокого качества литья. В статье рассмотрены механизмы упрочнения литейного стержня из солевой смеси, а также основные виды внешних воздействий на формирование прочности стержня. Как показывает опыт, на практике сделать выбор в пользу какого-либо определенного механизма формирования прочности литейного стержня из солевой смеси и метода внешнего воздействия на него для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств стержня не очень просто, поскольку они еще недостаточно изучены. Однако для снижения некоторых описанных недостатков и рисков производства литейных стержней из солевых смесей, по мнению авторов данной статьи, необходимо обращать более пристальное внимание на стержневые смеси, имеющие в составе несколько неорганических солей, поддающиеся в рамках технологического процесса воздействию не одного, а комбинации внешних факторов.

Ключевые слова: литейный стержень, неорганическая соль, связующее, эксплуатационные свойства, прочность, механизм формирования.

Введение

В литейном производстве для оформления внутренней и внешней геометрии отливок применяют разнообразные стержни, которые различаются друг от друга размерами, массой, методами получения и другими особенностями. В качестве материалов для их изготовления используют стержневые смеси, в состав которых традиционно входят наполнитель, связующее и технологические добавки. С начала 2000-х годов высокого технологического уровня за рубежом достигло производство отливок с применением стержней из смесей, имеющих в своем составе неорганические соли (солевые смеси), получаемых с использованием внешнего воздействия на смесь для придания стержням необходимых геометрии и требуемых эксплуатационных характеристик [1-3]. В последнее десятилетие этим технологиям активно начали уделять внимание и отечественные ученые и производственники [4]. Среди наиболее часто применяемых неорганических солей в составе материалов таких стержней традиционно используют хлорид натрия, сульфат магния, композиции силикатов, боратов и фосфатов. При этом технологии производства таких стержней предусматривают различные методы воздействия на материал формируемого стержня (тепловая сушка, продувка CO₂, вакуумирование, СВЧ-нагрев), а в некоторых случаях их комбинации.

Повышенный интерес к таким литейным стержням обусловлен прежде всего тем, что они имеют ряд

преимуществ, к которым относят возможность многократной регенерации, низкую себестоимость, отсутствие вредных выбросов.

Тем не менее литейные стержни, полученные из солевых смесей, не свободны от недостатков. Среди них выделяются высокая осыпаемость, ограниченное время хранения стержней.

В этой связи особое значение приобретает понимание механизмов формирования комплекса эксплуатационных свойств и характеристик (и в первую очередь прочностных) литейного стержня, которое позволило бы еще на стадии технологической подготовки производства сделать правильный выбор, принять меры для обеспечения их требуемого уровня, управления технологическим процессом и, как следствие, стабилизации высокого качества литья. Именно это и находилось в центре внимания авторов данной статьи.

Проведенный авторами информационно-аналитический обзор ряда источников [5, 6] позволил условно классифицировать известные версии механизмов упрочнения литейного стержня, разделив их по признакам природы формирования камня (физическая, химическая, смешанная) и внешнего воздействия на материал (однофакторное, многофакторное).

Механизмы упрочнения литейного стержня из солевой смеси

В работах [6, 7] исследователи уделяют повышенное внимание физической стороне упрочнения, рассматривая материал стержня – стержневую смесь – как коллоидную систему, состоящую из зерен напол-

нителя и связующего. В основе такого подхода лежат три многократно подтвержденных практикой тезиса:

- прочность зависит от числа контактов между зернами в единице объема N_V и от прочности контактов;
- прочность контактов зависит от размера и конфигурации связующего «мостика» с учетом характера разрушения и внутренних напряжений;
- на прочность оказывает влияние концентрация контактов, отнесенная к единице площади разрушения N_S .

Формально прочность смеси должна быть пропорциональна N_S при растяжении и N_V – при изгибе и сжатии и более сложных видах нагружения.

Некоторые авторы основываются на упрощенной модели процесса, в которой материал стержня рассматривают как систему сферических частиц одинакового диаметра, связанных «мостиками» связующего (рис. 1). При этом протяженность «мостиков» может быть намного больше их толщины, а сами «мостики» при этом могут иметь сложную разветвленную структуру [7].

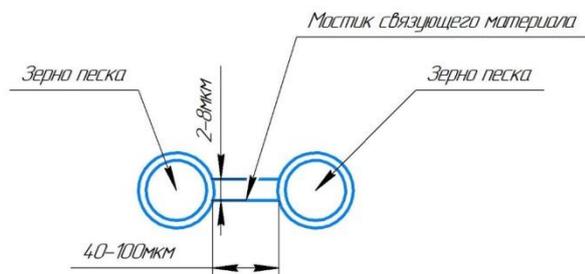


Рис. 1. Физическая модель связывания частиц в стержневой смеси

Прочностные характеристики литейного стержня зависят от когезии и адгезии. Когезией называется сила сцепления наименьших частиц, молекул, атомов веществ, под воздействием сил притяжения. Адгезия – это сцепление разнородных твердых или жидких тел в результате соприкосновения их поверхностей.

В стержневых смесях адгезия между наполнителем и связующим зависит от многих причин. Основными из них являются молекулярные силы, действующие между твердым телом и связующим (силы Ван-дер-Ваальса); адсорбция связующего на поверхности твердого тела; электрическое взаимодействие компонентов смеси.

Адгезионно-когезионное взаимодействие обуславливается тем, что в стержневых смесях на основе неорганических солей, основу которых, как правило, составляет кварцевый песок, происходят действия неуравновешенных электрических сил. Воздействие этих сил создает способность удерживать большое количество молекул воды, проникающих в пространство между зернами; связь между зернами остается достаточно прочной, если в пространство между ними попадает не более трех слоев молекул воды. Зерна смеси подвергаются воздействию межмолекулярных

сил, к которым относят силы Ван-дер-Ваальса (рис. 2), которые складываются из сил притяжения (ориентационных, индукционных и дисперсионных) и обеспечивают до 75–80% от общей прочности. Таким образом, два типа сил, молекулярные и электрические, воздействующие на смесь, обеспечивают связь между связующим и поверхностью зерен песка.

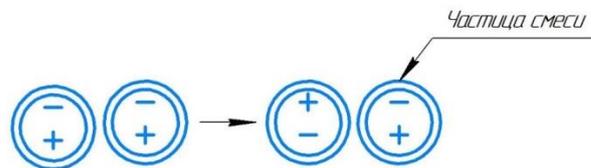


Рис. 2. Физическая модель связывания частиц в стержневой смеси под действием сил Ван-дер-Ваальса

В работах [8, 9] акцент делается на химическом аспекте упрочнения литейного стержня. Авторами этих публикаций формулируются такие механизмы формирования прочности литейного стержня, как отверждение в результате окислительно-восстановительных реакций с образованием кислых соединений и гидратация.

В результате окислительно-восстановительных реакций при взаимодействии оксидов металлов и фосфорной кислоты образуются кристаллогидраты – однозамещенные соли ортофосфорной кислоты, обладающие связующими свойствами. Данный тип отверждения получил свое распространение при использовании металлофосфатных связующих.

Упрочнение стержней гидратацией основано на взаимодействии воды и минералов с образованием кристаллогидратов (рис. 3), которые, срастаясь, создают связи (каркас) между песчинками формовочной смеси.

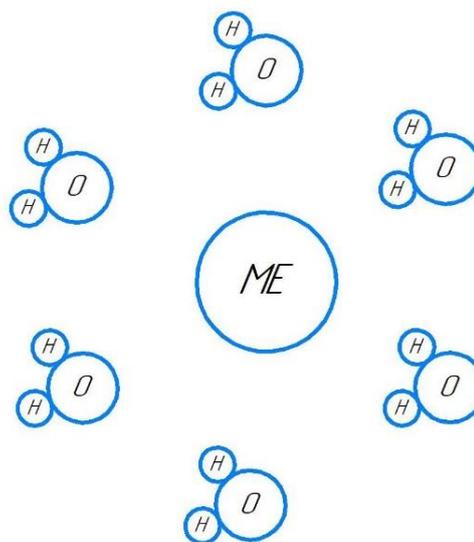


Рис. 3. Физическая модель связывания частиц в результате образования кристаллогидрата

Виды внешних воздействий на формирование прочности стержня

На формирование прочности литейного стержня, полученного из солевых смесей, могут оказывать влияние такие внешние воздействия, как, например, механические уплотнение и вибрация, тепловая обработка, вакуумирование, продувка газом, наложение электрических и магнитных полей и др. [10, 11].

В процессе тепловой обработки кристаллогидраты достаточно быстро теряют кристаллизационную воду, соответственно, быстро минуют фазу плавления, за период которой не успевают сплавиться между собой и образовать устойчивые контакты с зернами наполнителя. Кристаллогидрат в процессе сушки приобретает прочность за счет испарения воды и плавления с последующей кристаллизацией, тем самым образуя моногидрат, который придает прочность смеси.

Механическое уплотнение, вибрация и вакуумирование создают изменение давления газа в песчаной среде стержня, которое создает изменяемое поле давления на поверхности песчинок, вызывающее ответные силы сжатия – расширения со стороны упругого материала зерен наполнителя. Колебание давления отражается на поверхностных явлениях в песчаной среде. Изменение коэффициента внутреннего трения крупных песчинок вызывает движение мелких частиц, что, в свою очередь, предполагает увеличение адсорбции компонентов смеси, которое влечет увеличение прочности стержня (рис. 4).

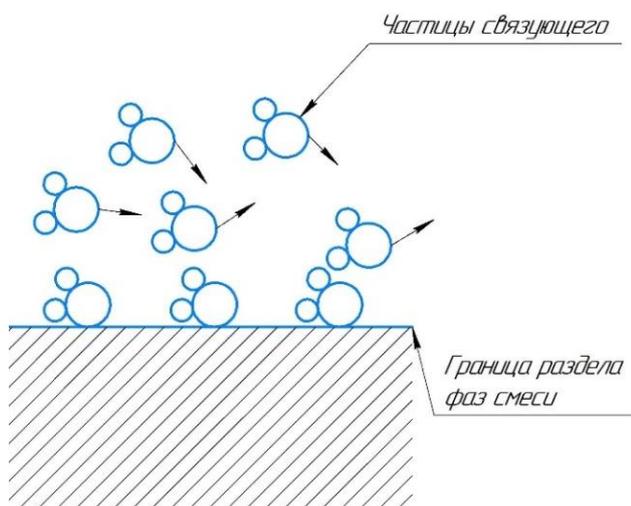


Рис. 4. Физическая модель связывания частиц в результате адсорбции

Заключение

Как показывает опыт, на практике сделать выбор в пользу какого-либо определенного механизма формирования прочности литейного стержня из солевой смеси и метода внешнего воздействия на него для

обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств стержня не очень просто, поскольку они еще недостаточно изучены.

Однако для снижения некоторых описанных недостатков и рисков производства литейных стержней из солевых смесей, по мнению авторов данной статьи, необходимо обращать более пристальное внимание на стержневые смеси, имеющие в составе несколько неорганических солей, поддающиеся в рамках технологического процесса воздействию не одного, а комбинации внешних факторов.

В настоящее время рабочей группой кафедры «Металлургические технологии и оборудование» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева проводится комплекс работ по созданию и внедрению в условиях действующего производства инновационного способа изготовления разовых литейных стержней требуемого уровня прочности из солевых смесей наложением на них комбинированного внешнего воздействия.

Список литературы

1. DE 102006031191 A1, IPC: B22C 1/18. Anm.: Dracowo Forschungs- und Entwicklungs GmbH, 06766 Wolfen, DE. Anorganische Kernsanbinder und Schichten für den Aluminiumguss und ihre weitere Verwendung als Düngemittel. Pub.: 10.01.2008.
2. DE 19632293 A1, IPC: B22C 9/12. Anm.: T. Steinhäuser, 47574 Goch, DE. Verfahren zur Herstellung von Kernformlingen für die Gießereitechnik. Pub.: 19.02.1998.
3. WO2010007180. Anm.: Ceramtec AG, 73207 Plochingen, DE. Kerne auf der Basis von Salz und Verfahren zu ihrer Herstellung. Pub.: 21.01.2010.
4. Исследование свойств смесей со связующими на основе сульфата магния / А.И. Евстигнеев, В.В. Петров, Э.А. Дмитриев, А.А. Тарасова // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. 2010. №2. С. 232-237.
5. Свойства смесей с соевыми связующими / А.И. Евстигнеев, В.В. Петров, Э.А. Дмитриев, А.А. Тарасова, Ё. Масаси // Литейное производство. 2011. №5. С. 11–13.
6. Жуковский С.С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: справочник. М.: Машиностроение, 2010. 256 с.
7. Изучение механизма образования прочности в самотвердеющих смесях с фенольным связующим (обзор) / Т.Д. Клюквина, К.А. Власова, А.А. Леонов, С.А. Яшина // Труды ВИАМ. 2018. №3. С. 18-27.
8. Шаповалова Е.В. Основы химии неорганических вяжущих материалов. Омск: СибАДИ, 2008. 76 с.
9. Экологически чистая технология изготовления холоднотвердеющих фосфатных смесей / Е.Н. Евстифеев, В.Н. Смирнов, В.С. Бессарабов, Л.А.

- Котова, А.В. Журавлев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. №6. С. 41-43.
10. Илларионов И.Е. Применение технологии получения металлофосфатных связующих стержневых и формовочных смесей на их основе // Черные металлы. 2018. №4. С. 13-19.
11. Дорошенко В.С. Газодинамическое уплотнение сухих формовочных наполнителей // Литье и металлургия. 2013. №2. С. 15-21.

Сведения об авторах

Леушин Игорь Олегович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (федеральный опорный университет), Нижний Новгород, Россия. E-mail: igoleu@yandex.ru.

Грачев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (федеральный опорный университет), Нижний Новгород, Россия. E-mail: alexgra76@mail.ru.

Леушина Любовь Игоревна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (федеральный опорный университет), Нижний Новгород, Россия. E-mail: kafmto@mail.ru.

Марков Алексей Игоревич – аспирант кафедры «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (федеральный опорный университет), Нижний Новгород, Россия. E-mail: skixmai@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FORMATION OF A FOUNDRY CORE FROM MIXTURES WITH A BINDER BASED ON INORGANIC SALTS

Leushin I.O. – Dr. Sci. (Tech), Prof., Head of the Department of metallurgical technologies and equipment, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia. E-mail: igoleu@yandex.ru.

Grachev A.N. – Cand. Eng., Associate Prof., Associate Prof. of Department of metallurgical technologies and equipment, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia. E-mail: alexgra76@mail.ru.

Leushina L.I. – Cand. Eng., Associate Prof., Associate Prof. of Department of metallurgical technologies and equipment, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia. E-mail: kafmto@mail.ru.

Markov A.I., postgraduate student of the Department of metallurgical technologies and equipment, Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia. E-mail: skixmai@yandex.ru.

Annotation. One of the most important tasks in the production of cast blanks is the manufacture of rods that form their external and internal geometry. Recently, due to the constantly increasing technological requirements, there has been a growing demand for alternative methods of manufacturing casting cores, which include cores from mixtures based on inorganic salts (salt mixtures). Casting rods made of salt mixtures have such characteristics as easy knockout after solidification of the casting, the possibility of multiple regeneration, and low cost. However, they also have disadvantages, such as insufficient strength, high crumbling and limited storage time. In this article, the authors focus on the problem of forming the strength of a casting core from a salt mixture as the most important one to ensure a guaranteed high level of operational properties of the core, the correct choice of material, the method of external influence on the mixture even at the stage of technological preparation of production, process control and, as a consequence, stabilizing high quality casting. The formation of the strength properties of casting cores is directly related to the processes occurring during the interaction of the filler with binders. The article discusses the mechanisms of hardening a casting core from a salt mixture, as well as the main types of external influences on the formation of the strength of the core. Experience shows that in practice it is not very easy to make a choice in favor of any specific mechanism for forming the strength of a casting core from a salt mixture and the method of external action on it to ensure the required level of operational properties of the core, since they

have not yet been sufficiently studied. However, in order to reduce some of the described disadvantages and risks of the production of casting cores from salt mixtures, according to the authors of this article, it is necessary to pay more attention to core mixtures containing several inorganic salts, which are amenable to not one but a combination of external factors within the technological process.

Keywords: casting core, inorganic salt, binder, performance properties, strength, formation mechanism.

Ссылка на статью:

Формирование прочности литейного стержня из смесей со связующим на основе неорганических солей / Леушин И.О., Грачев А.Н., Леушина Л.И., Марков А.И.// Теория и технология металлургического производства. 2021. №1(36). С. 36-40.
Leushin I.O., Grachev A.N., Leushina L.I., Markov A.I. Formation of a foundry core from mixtures with a binder based on inorganic salts. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 36, no. 1, pp. 36-40.