



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-51-56>
УДК 621.774

Поступила 25.07.2024
Received 25.07.2024

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО COLD-BOX-AMINE-ПРОЦЕССУ

С. А. КУЛИКОВ, ОАО «Минский тракторный завод»,
г. Минск, Беларусь, ул. Долгобродская, 29. E-mail: cyberlis@mail.ru
Ф. И. РУДНИЦКИЙ, БНТУ, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: stl_minsk@tut.by
В. А. ШУМИГАЙ, ОАО «Минский тракторный завод»,
г. Минск, Беларусь, ул. Долгобродская, 29. E-mail: starosta1711@yandex.ru
Ю. А. КУЛИКОВ, ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод»,
г. Минск, Беларусь, ул. Ваупшасова, 4. E-mail: castira@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы прочности литейных стержней, изготовленных по Cold-box-amine-процессу. Показано, что управление свойствами стержневой смеси ведется корректировкой ее рецептуры. Приведены примеры влияния расхода связующих материалов на свойства смесей: снижение смолы и полиизоцианата вызывает падение прочности и снижение живучести. Причем для разных производителей минимальный расход связующих материалов отличается. Даны рецептуры смесей со специальными добавками, которые позволяют, снизив прочность смеси, обеспечить полноту протекания реакции полимеризации.

Ключевые слова. Песок, стержневая смесь, свойства, управление.

Для цитирования. Куликов, С. А. Управление свойствами стержневых смесей, изготовленных по Cold-box-amine-процессу / С. А. Куликов, Ф. И. Рудницкий, В. А. Шумигой, Ю. А. Куликов // Литье и металлургия. 2024. № 3. С. 51–56. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-51-56>.

CONTROL OF PROPERTIES OF CORE MIXES MANUFACTURED BY COLD-BOX-AMINE-PROCESS

S. A. KULIKOV, OJSC “Minsk Tractor Works”,
Minsk, Belarus, 29, Dolgobrodskaya str. E-mail: cyberlis@mail.ru
F. I. RUDNITSKY, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: stl_minsk@tut.by
V. A. SHUMIGAY, OJSC “Minsk Tractor Works”,
Minsk, Belarus, 29, Dolgobrodskaya str. E-mail: starosta1711@yandex.ru
Yu. A. KULIKOV, OJSC “Minsk Motor Plant” Holding Managing Company”,
Minsk, Belarus, 4, Vaupshasova str. E-mail: castira@mail.ru

The article considers the strength issues of foundry cores manufactured by the Cold-box-amine process. It is shown that the properties of the core mix can be controlled by adjusting the formulation. Examples of the influence of binders' consumption on the properties of the mixes are given: a decrease in resin and polyisocyanate leads to a decrease in strength and a decrease in life. In addition, the minimum consumption of binders varies from manufacturer to manufacturer. Recipes of mixes with special additives are given, which allow, by reducing the strength of the mix, to ensure the completeness of the polymerization reaction.

Keywords. Sand, core mix, properties, control.

For citation. Kulikov S. A., Rudnitsky F. I., Shumigay V. A., Kulikov Yu. A. Control of properties of core mixes manufactured by Cold-box-amine- process. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 3, pp. 51–56. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-51-56>.

Формовочные и стержневые смеси наравне с расплавом и модельной оснасткой определяют качество выпускаемых отливок. В сравнении с формовочными стержневые смеси все же занимают более важную позицию, так как отвечают за качество наиболее ответственных поверхностей отливок. Наличие каких-либо дефектов (пригара, «просечек» или ужимин) внутри масляной полости деталей для машиностроения не допускается в принципе. В то же время в литейных цехах предприятий стран СНГ нет

четкого понимания, как должны разрабатываться рецептуры стержневых смесей и какие свойства смеси являются определяющими. Особенно это касается смесей, изготовленных по Cold-box-amine-процессу.

Анализ теории прочности смесей [1, 2] показывает, что параметры любых формовочных смесей имеют оптимальные показатели, позволяющие получать качественные отливки с учетом особенностей технологического процесса в каждом конкретном литейном цехе. Таким образом, стержневые смеси являются специальными, т. е. позволяют получать необходимые результаты только при определенных условиях их применения.

Стержневую смесь следует рассматривать как систему, состоящую из нескольких компонентов: огнеупорного наполнителя, связующих материалов и специальных добавок. Особенностью формовочных и стержневых смесей является высокий показатель коэффициента заполнения и малое значение площади контакта зерен наполнителя по отношению к площади всей поверхности раздела (не более 0,01 %). Поэтому прочность и реологические свойства смесей зависят от качества (геометрии и прочности) контакта между зернами наполнителя, а не от прочности самого наполнителя [1]. Прочность зерен кварца важна в первую очередь для обеспечения возможности регенерации смеси и ее последующего использования [2].

На свойства смесей оказывают влияние целый спектр факторов: природа связующих материалов (адгезия связующего к наполнителю, когезия связующего, размеры и форма манжеты контакта, модуль упругости, скорость упрочнения связующего и его усадка), свойства наполнителя (форма зерен, гранулометрический состав, степень уплотнения), параметры среды (температура, влажность).

Cold-box-amine-процесс был разработан фирмой «Ashland» и включает в себя следующие компоненты смеси: наполнитель, фенолформальдегидную смолу, полиизоцианат и катализатор амин [3]. Сущность процесса состоит в проведении многоступенчатой полимеризации связующих материалов с образованием полиуретана, чем и обеспечивается высокая прочность получаемых стержней. Связующие материалы вводят в смесь отдельно: сначала фенольная смола, затем полиизоцианат. Происходит связывание гидроксильных групп смолы с изоцианатными группами полиизоцианата. Отверждение смеси происходит после продувки газовой смесью, состоящей из третичного амина и воздуха. Другими словами, смола является основным связующим компонентом, полиизоцианат обеспечивает полную протекания реакции полимеризации, третичный амин катализирует (ускоряет) реакцию образования полиуретана. Поэтому управление свойствами стержневой смеси по Cold-box-amine-процессу ведется регулированием ее рецептуры. Производителями связующих материалов рекомендуемое содержание компонентов смеси по Cold-box-amine-процессу составляет [3]: сухой кварцевый формовочный песок – 98–99 %, компонент А – 0,5–1,0 %, компонент Б – 0,5–1,0 %. При этом в зависимости от особенностей технологического процесса рекомендуется для увеличения пластических свойств смеси повышать содержание компонента А, для увеличения прочности и термостойкости смеси – долю компонента Б. Очевидно, что поставщики материалов заинтересованы в максимальном потреблении поставляемой продукции и данные рекомендации должны подтверждаться лабораторными и производственными испытаниями. В настоящей работе приводятся результаты исследования корректировок рецептур стержневой смеси с целью определения влияния доли компонентов на ее свойства.

Исследования проводили на лабораторном оборудовании фирмы MULTISERW-Morek, Польша. Стержневую смесь приготавливали в лабораторном смесителе модели LMB-s в следующей последовательности: в чашу смесителя загружали сухой формовочный песок Гомельского месторождения, гранулометрический состав которого приведен в табл. 1. Затем в песок добавляли компонент А (смола) и смесь перемешивали 1 мин. Далее вводили компонент Б (полиизоцианат) и смесь перемешивали еще 1 мин. Готовую смесь загружали в стержневой автомат модели LUT-c, в котором пескодувным методом изготавливали стандартные образцы на разрыв («восьмерка»), расход катализатора (диметилэтиламина – ДМЭА) составил 1 мл³ на 1 кг стержневой смеси. По каждой рецептуре изготавливали 12 образцов, прочность отвержденной смеси определяли на приборе модели LRu-2e через 1 мин после продувки амином, а также через 1, 3 и 24 ч. На разрыв испытывали три образца, за результат испытания принимали среднее арифметическое от трех образцов. В качестве исследуемых связующих материалов были отобраны образцы связующих материалов по стране-изготовителю: образец 1 (Россия) и образец 2 (Китай).

Влияние гранулометрического состава на прочность стержневой смеси было рассмотрено в работе [4].

Для формирования первичной оценки свойств связующих материалов с учетом производственного опыта специалистов ОАО «МТЗ» была изготовлена стержневая смесь по рецептуре № 1 (табл. 2).

Таблица 1. Гранулометрический состав песка

Номер сита	2,5	1,6	1	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05	Таз
Остаток, %	0	0	0,26	2,28	8,92	13,96	54,32	6,08	12,64	1,48	0	0
Глин. сост.	0,06											
Марка	1К ₁ О ₃ 025											

Таблица 2. Рецептúra смеси № 1

Наименование материала	Мас. доля, %
Песок формовочный	98,4
Смола	0,8
Полиизоцианат	0,8

Результаты испытаний отвержденной смеси на прочность приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытания отвержденной смеси по рецептуре № 1

Время, ч	Прочность смеси, МПа	
	образец 1	образец 2
0,1	0,95	0,6
1	1,65	1,4
3	1,9	1,6
24	1,93	1,75

Как видно из таблицы, российский связующий комплекс при одинаковых дозировках позволил получить большее значение как мгновенной прочности, так и прочности по истечении 24 ч. Аналогичным образом определяли живучесть данных смесей. Отметим, что на производстве нет четкого понимания, каким образом измерять живучесть смесей по Cold-box-amine-процессу. В работе [2] указано, что за живучесть смеси принимается время, за которое прочность смеси снизится на 30% от первоначального значения. Как показывает практика, на производственных участках живучесть не измеряют, и пока стержневая смесь может беспрепятственно заполнять полость стержневого ящика, она подлежит использованию. Кроме того, на некоторых предприятиях стержневую смесь при измерении живучести упаковывают в герметичную тару, на других – укладывают на поддон в открытом виде. Опыт специалистов ОАО «МТЗ» показывает, что в первом случае показатель живучести значительно завышается и не отражает условий производственной среды, где стержневая смесь засыпается из кубеля в приемник стержневой машины и контактирует с атмосферой рабочей зоны. С другой стороны, если на участке стержневые машины оборудованы закрытыми приемниками для смеси, то первый вариант будет более объективен. В нашем случае стержневая смесь при измерении живучести хранилась в открытом виде на поддоне. Результаты замеров живучести смесей приведены в табл. 4. Как видно из таблицы, живучесть смеси с образцом 1 достигла 4 ч, образца 2 – не превышала 2 ч.

Таблица 4. Живучесть смесей

Время, ч	Прочность смеси на разрыв, МПа	
	образец 1	образец 2
0,1	0,94	0,62
1	1,6	1,3
2	0,98	0,62
3	0,71	0
4	0,51	0

Для продолжения исследования были изготовлены стержневые смеси по рецептурам № 2 и 3 (табл. 5). Результаты испытаний отвержденных смесей по данным рецептурам приведены в табл. 6.

Из таблицы видно, что снижение количества как смолы, так и полиизоцианата пагубно влияет на свойства смеси в отвержденном состоянии. Фенольная смола – это связующий компонент и уменьшение ее содержания в смеси приведет к снижению прочности. Полиизоцианат является источником

Т а б л и ц а 5. Рецептуры смесей № 2 и 3

Наименование материала	Мас. доля, %	
	рецептура 2	рецептура 3
Песок формовочный	98,6	98,6
Смола	0,8	0,6
Полиизоцианат	0,6	0,8

Т а б л и ц а 6. Результаты испытания отвержденной смеси по рецептурам № 2 и 3

Время, ч	Прочность смеси, МПа			
	рецептура 2		рецептура 3	
	образец 1	образец 2	образец 1	образец 2
0,1	1,2	0,55	0,56	0
1	1,5	0,7	1,33	0
3	1,57	0,7	1,6	0
24	1,7	0,7	1,6	0

дополнительных изоцианатных групп и повышает реакционную способность смеси, обеспечивая полноту протекания реакции полимеризации. Поэтому уменьшение количества полиизоцианата в смеси также приводит к снижению прочности стержней и даже делает завершение реакции полимеризации невозможным, как в случае с образцом 2. Значение мгновенной прочности стержней (через 1 мин после изготовления смеси) может выступать показателем количества действующего вещества в основном компоненте связующего комплекса – фенольной смоле. Живучесть смеси по рецептуре № 2 у образца 1 составила не более 3 ч, у образца 2 – не более 1 ч. Для рецептуры № 3 живучесть смеси, изготовленной со связующими образца 1, составила не более 2 ч.

Значительная разница в прочностных показателях смесей для образцов 1 и 2 связана с различным содержанием действующего вещества: компонента А – фенолформальдегидной смолы. Смоляной компонент с целью снижения вязкости разбавляется производителем летучими органическими растворителями. Некоторые производители, стремясь обеспечить оптимальное ценовое предложение, уменьшают количество действующего вещества до минимума, и корректировка рецептур смесей в сторону снижения расхода компонентов становится невозможной. Иногда разбавитель представляет собой, например, рапсовое масло и этот момент подается производителем как элемент повышения экологичности Cold-box-amine-процесса. К сожалению, это скорее маркетинговый ход, чем действительное снижение уровня выбросов при данном технологическом процессе, так как наибольший вред несет катализатор – третичный амин.

Для уточнения предположения о снижении доли смоляного связующего с применением связующего комплекса образца 2 была изготовлена стержневая смесь по рецептуре № 4 (табл. 7). Результаты испытания смеси на разрыв в отвержденном состоянии приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а 7. Рецептура смеси № 4

Наименование материала	Мас. доля, %
Песок формовочный	98
Смола	1
Полиизоцианат	1

Т а б л и ц а 8. Результаты испытания отвержденной смеси по рецептуре № 4

Время, ч	Прочность смеси, МПа
	образец 2
0,1	1,6
1	1,7
3	1,8
24	2,35

Живучесть смеси составила не менее 4 ч.

Из таблицы видно, что для образца 2 увеличение расхода смолы и полиизоцианата позволило достичь прочности и живучести смеси, превосходящей образец 1, т. е. пониженные результаты испытаний смесей с образцом 2 были действительно обусловлены сниженным количеством действующего вещества в компоненте А.

На данных примерах показано, каким образом можно управлять свойствами стержневых смесей по Cold-box-amine-процессу (прочностью и живучестью) путем корректировки расхода связующих материалов. В то же время для каждого конкретного связующего комплекса необходимо проведение лабораторных исследований для определения минимально возможного расхода компонентов. К сожалению, на малых предприятиях в отсутствие литейной лаборатории такие моменты выявляются только в процессе производственных испытаний, что ведет к неоправданным потерям на брак.

Как показывает опыт производственных специалистов ОАО «МТЗ», оптимальный расход связующих материалов, определенный в лабораторных условиях, не всегда можно осуществить в условиях действующего стержневого участка. Как правило, это связано с несовершенством дозирующих устройств, погрешность которых превышает определенную в лаборатории минимальную дозировку компонентов. В других случаях отсутствие возможности снижения расхода связующих материалов связано с номенклатурой изготавливаемых стержней. Поэтому в стержневые смеси по Cold-box-amine-процессу в определенных случаях вводят специальные добавки.

Для определения степени влияния добавок на свойства стержневых смесей были отобраны следующие материалы: сурик железный (Беларусь), минеральная добавка (Чехия) и органическая добавка (дубовые дисперсные опилки). Рецептура смесей приведена в табл. 9.

Т а б л и ц а 9. Рецептуры смесей со специальными добавками

Наименование материала	Мас. доля, %		
	рецептура 5	рецептура 6	рецептура 7
Песок формовочный	96,4	96,4	96,4
Смола	0,8	0,8	0,8
Полиизоцианат	0,8	0,8	0,8
Сурик железный	2	0	0
Минеральная добавка	0	2	0
Дубовые опилки	0	0	2

Результаты испытания отвержденной смеси приведены в табл. 10.

Т а б л и ц а 10. Результаты испытания на разрыв отвержденной смеси с добавками

Время, ч	Прочность отвержденной смеси, МПа			
	рецептура 1	рецептура 5	рецептура 6	рецептура 7
0,1	0,92	0,71	0,69	0,75
1	1,57	0,89	0,85	0,88
3	1,84	1,1	1,13	1,3
24	1,9	1,16	1,2	1,3

Из таблицы видно, что введение в смесь добавок понижает прочность отвержденной смеси по сравнению со смесью без добавок (рецептура № 1). Чем выше дисперсность добавки, тем сильнее она влияет на прочность. Особенностью добавок является то, что, снижая прочность смеси, они не снижают количество связующих материалов в ее составе. Последнее позволяет обеспечить полноту протекания реакции полимеризации. Также добавки обеспечивают наличие у смеси специальных свойств: повышение теплопроводности (неорганические добавки), податливость при высоких температурах (органические добавки). Введение многокомпонентных добавок в смесь позволяет решать эти задачи комплексно.

Таким образом, при разработке рецептов стержневых смесей для Cold-box-amine-процесса должен учитываться весь спектр технологических особенностей производственного процесса: свойства формовочного песка, связующих материалов, конструкция оборудования, номенклатура цеха и т.д. С учетом этих аспектов Cold-box-amine-процесс позволяет обеспечить как высокую производительность, так и высокое качество стержней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуковский, С. С. Прочность литейной формы / С. С. Жуковский. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
2. Васильев, В. А. Физико-химические основы литейного производства: учеб. / В. А. Васильев. – М.: Изд-во МГТУ, 1994. – 320 с.
3. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства. Формовочные материалы и смеси: учеб. пособие / Д. М. Кукуй, Н. В. Андрианов. – Минск: БНТУ, 2005. – 391 с.
4. Куликов, С. А. Влияние гранулометрического состава формовочных песков на прочность стержней, изготовленных по Cold-box-amine-процессу / С. А. Куликов, Ф. И. Рудницкий, В. А. Шумигай // Литейное производство. – 2024. – № 3. – С. 14–16.

REFERENCES

1. Zhukovsky S.S. *Prochnost' litejnoj formy* [Strength of the casting mold]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989, 288 p.
2. Vasiliev V.A. *Fiziko-himicheskie osnovy litejnogo proizvodstva: uchebnik* [Physico-chemical foundations of foundry production: textbook]. Moscow, MGTU Publ., 1994, 320 p.
3. Kukuy D.M., Andrianov N.V. *Teoriya i tekhnologiya litejnogo proizvodstva. Formovochnye materialy i smesi: ucheb. posobie* [Theory and technology of foundry production. Molding materials and mixtures: textbook. manual]. Minsk, BNTU Publ., 2005, 391 p.
4. Kulikov S.A., Rudnitsky F.I., Shumigay V.A. Vliyanie granulometricheskogo sostava formovochnyh peskov na prochnost' stержnej, izgotovlennyh po Cold box amin-processu [Influence of the granulometric composition of molding sands on the strength of rods manufactured using the Cold-box-amine-process]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2024, no. 3, pp. 14–16.