



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-4-43-47>  
УДК 621.74

Поступила 24.11.2023  
Received 24.11.2023

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕНТОНИТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОТЛИВОК ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

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

*Проведен анализ характеристик бентонитов, используемых в литейном производстве Республики Беларусь. Сделан вывод, что ГОСТ 28177-89 позволяет эффективно оценивать качество бентонитов в зависимости от условий производства. Показано, что предел прочности в зоне конденсации влаги – это важнейшая характеристика бентонитов.*

**Ключевые слова.** Бентонит, литейная форма, качество.

**Для цитирования.** Куликов, С. А. Критерии оценки эффективности бентонитов при производстве отливок ответственного назначения / С. А. Куликов, Ф. И. Рудницкий, В. А. Шумигай // Литье и металлургия. 2023. № 4. С. 43–47. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-4-43-47>.

## CRITERIA FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF BENTONITES IN THE PRODUCTION OF CUSTOM CASTINGS

S. A. KULIKOV, OJSC “Minsk Tractor Works”, Minsk, Belarus, 29, Dolgobrodskaya str.

E-mail: cyberlis@mail.ru

F. I. RUDNITSKY, BNTU, 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

*The article analyzes the characteristics of bentonites used in the foundry industry of the Republic of Belarus. It is concluded that GOST 28177-89 allows one to effectively assess the quality of bentonites depending on production conditions. It has been shown, that the wet tensile strength is the most important characteristic of bentonites.*

**Keywords.** Bentonite, casting mold, quality.

**For citation.** Kulikov S.A., Rudnitsky F.I., Shumigay V.A. Criteria for evaluating the effectiveness of bentonites in the production of custom castings. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 4, pp. 43–47. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-4-43-47>.

Формовочные глины являются простым и эффективным связующим материалом, которые позволяют получать качественные литейные формы без применения вредных для экологии веществ. С развитием автоматизации формообразующих процессов каолиновые глины все больше замещаются бентонитом. Технические характеристики данного материала на территории Республики Беларусь регламентируются ГОСТ 28177-89. Согласно данному стандарту, для определения марки бентонита необходимо определить следующие физико-механические характеристики: предел прочности при сжатии, предел прочности при разрыве в зоне конденсации влаги, термическую устойчивость. Также регламентированы химико-минералогические показатели: массовая доля монтмориллонита, концентрация обменных катионов, массовая доля карбонатов, массовая доля сульфидной серы, массовая доля железа, коллоидальность и водопоглощение. Как правило, в действующем производстве контролируются несколько характеристик из перечисленных, выбор которых обусловлен технологическим процессом формообразования и возможностями лаборатории предприятия. Необходимо отметить, существует мнение [1], что ГОСТ 28177-89 устарел и не позволяет эффективно оценивать качество бентонитов и соотносить их показатели с условиями производства.

Бентонит – это глина, основным компонентом которой является монтмориллонит. ГОСТ 28177-89 регламентирует содержание указанного минерала в количестве не менее 30%. В литейном производстве бентонит применяется не только как связующее вещество, но и может входить в состав противопригарных красок, замазок, клеев, повышая их прочностные характеристики и огнеупорность. За последнее время на предприятиях Республики Беларусь распространение получили бентониты из Грузии, Армении, Азербайджана, Украины, Польши марок П1Т1 и П2Т1 ГОСТ 28177-89. Указанные бентониты были исследованы специалистами ОАО «МТЗ» как при входном контроле, так и в процессе производственных испытаний. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики бентонитов

Характеристика по ГОСТ 28177-89	Страна-производитель				
	Азербайджан	Польша	Армения	Грузия	Украина
Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup>	1,18	1,12	1,03	1,34	1,08
Предел прочности при разрыве в зоне конденсации влаги, кгс/см <sup>2</sup>	0,026	0,043	0,038	0,04	0,039
Термическая устойчивость, ед.	0,89	0,85	0,73	0,85	0,97
Массовая доля сульфидной серы, %	0,02	0,01	0,09	0,1	0,031
Массовая доля железа (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	9,03	5,04	5,92	9,6	11,68
Массовая доля влаги, %	9,3	10,5	9,2	10	8,6
Водопоглощение, ед.	9	10	6	9,4	6
Коллоидальность, %	93	93	92	83	84
Марка ГОСТ 28177-89	П2Т1	П1Т1	П1Т1	П1Т1	П1Т1

Как видно из таблицы, все бентониты обладают высокими характеристиками. В то же время в действующем литейном производстве нет четкого понимания, какие значения данных параметров являются оптимальными. На первый взгляд, наиболее простым и быстрым решением будет выбор бентонита с наивысшими значениями параметров. Однако без учета специфики условий производства в литейном цехе такой подход может приводить к перерасходу средств при покупке материалов с избыточными характеристиками, а также к увеличению дефектности литья. Поэтому на современных предприятиях входной контроль осуществляется не только для подтверждения соответствия требованиям ГОСТ, но и перечню определенных параметров, составленных квалифицированными специалистами.

Следует понимать, что при условии обеспечения качества исходных формовочных материалов глина в самую последнюю очередь влияет на образование дефектов. Как правило, дефектность возрастает при запуске в производство бентонитов несоответствующего качества. Для исключения таких случаев массовая доля железа и сульфидной серы должна контролироваться в обязательном порядке.

Наиболее распространенными видами дефектов, образование которых может быть обусловлено применением бентонита, являются пригар, ужимина и обрыв полуформы, т.е. дефекты поверхности (рис. 1).



Рис. 1. Дефекты поверхности отливок: а – пригар; б – ужимина; в – обрыв полуформы

Для предупреждения такого вида дефектов необходимо руководствоваться тем, что формовочная смесь состоит как минимум из нескольких компонентов: огнеупорного наполнителя – формовочного песка и связующего материала – бентонита и воды.

В части огнеупорного наполнителя вероятность образования поверхностных дефектов может быть определена по методике компании DISA Foundry Technology (1988, DISA A/S, HERLEV). По данной методике вероятность образования пригара зависит от металлостатического давления и среднего размера зерна формовочной смеси (рис. 2): левее кривой образование пригара маловероятно, правее – весьма вероятно. Например, для форм с высотой подвода металла 400 мм оптимальным является размер зерна 0,25 мм. В этом случае снижается вероятность образования пригара и обеспечивается необходимая газопроницаемость формы. Данный критерий учитывается и ГОСТ 28177-89 соблюдением модуля мелкости формовочного песка 52-62 по ГОСТ 23409.3.

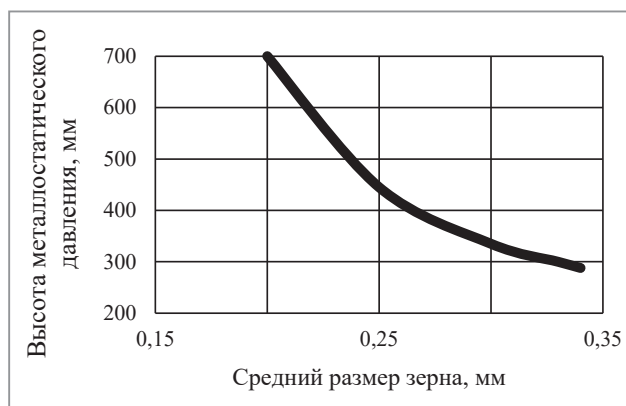


Рис. 2. Кривая вероятности образования пригара

Бентонит сам по себе не имеет вяжущих свойств и приобретает их только в присутствии воды. Пакет монтмориллонита состоит из трех слоев: двух внешних кремнекислородных тетраэдрических и одного внутреннего алюмокислородного с ОН-группами октаэдрической упаковки. Связь между пакетами обусловлена ван-дер-ваальсовым взаимодействием, в то время как внутри слоев действует прочная валентная связь. Поэтому молекулы воды проникают в межслоевое пространство, увеличивая межплоскостное расстояние, приводя к набуханию бентонита и вызывая увеличение его объема до 15 раз [2]. При исследовании бентонитов набухаемость контролируется параметром коллоидальность.

Использование бентонитов с низкой сырой прочностью и высоким водопоглощением может приводить к переизбытку влаги в формовочной смеси. Поэтому влагопоглощение бентонита, т.е. способность впитывать воду, – это фактор, который может влиять на образование пригара. Излишняя влага может приводить к тому, что в момент контакта сырого поверхностного слоя формы с расплавом давление испаряющихся паров воды может увеличивать глубину проникновения расплава между частичками песка (рис. 3).

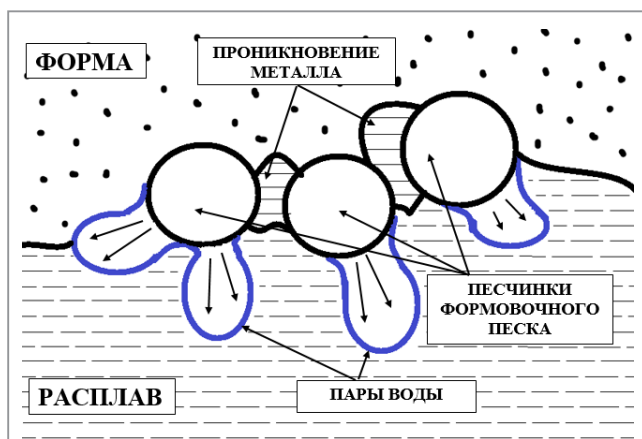


Рис. 3. Схема образования пригара из-за повышенной влажности смеси

Природный бентонит в зависимости от вида преобладающих ионов бывает кальциевый и натриевый, относительные технологические характеристики которых приведены в табл. 2.

Таблица 2. Относительные характеристики бентонитов

Характеристика	Кальциевый бентонит	Натриевый бентонит
Прочность на сжатие (сырая)	Хорошая	Посредственная
Прочность на сжатие при нагреве	Посредственная	Хорошая
Термостабильность	Плохая	Отличная

Как видно из таблицы, для литья с высокой температурой заливки кальциевый бентонит не рекомендуется, как и для тонкостенного литья не подходит натриевый бентонит. Поэтому в мировой практике принято использовать не чистый природный бентонит, а их смеси.

Как уже сказано, ГОСТ 28177-89 регламентирует ряд характеристик бентонита, отражая его технологические свойства. Предел прочности при сжатии в сыром состоянии определяет, какую прочность приобретет технологическая проба при стандартном расходе бентонита. Высокий показатель этой характеристики позволяет говорить о возможности снижения нормы расхода материала.

Наиболее важной, на наш взгляд, характеристикой бентонита является показатель прочности в зоне конденсации влаги. В момент контакта расплава с литейной формой на ее поверхности образуется слой пересохшей смеси (рис. 4, а). В свою очередь, влага устремляется в глубь литейной формы и между пересохшим слоем и остальной частью формовочной смеси образуется зона конденсированной влаги. Прочность этого участка смеси трудно переоценить, так как он принимает на себя всю величину термического воздействия расплава. Так как литейная форма имеет заведомо более низкую температуру на этом участке, наблюдается термический удар и, как следствие, множество эффектов от расширения и сжатия зерен кварца. Если данный слой имеет недостаточную прочность, он разрушается и в образовавшееся пространство устремляется расплав, формируя самый распространенный вид брака литых поверхностей – ужимину (рис. 4, б, в).

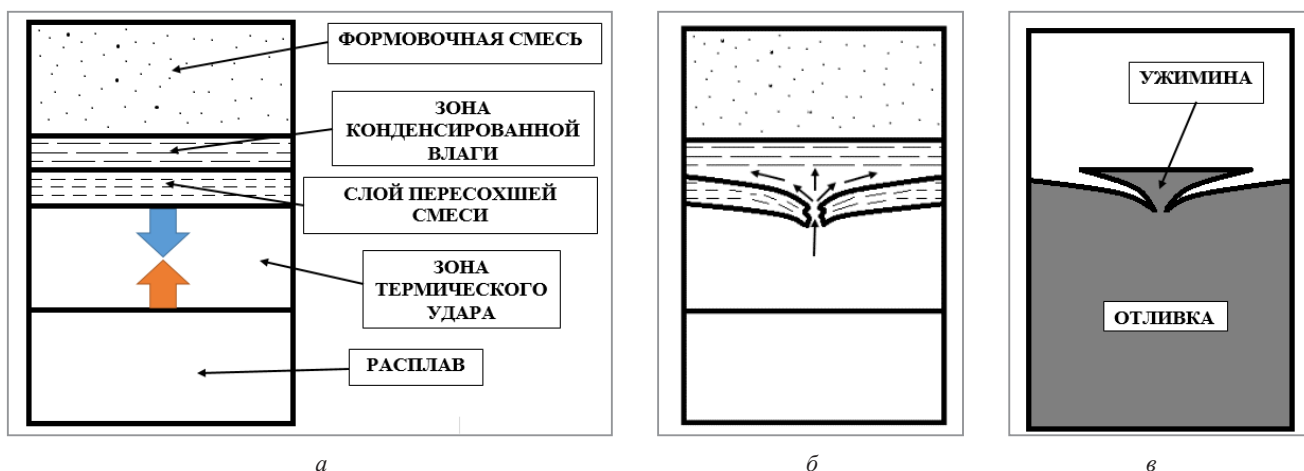


Рис. 4. Схема образования ужимины

Стоит оговориться, что в оборотной смеси общее содержание глины состоит из двух составляющих: глины активной и шамотизированной (балласта). Чем больше активной глины, т.е. способной к проявлению вяжущих свойств, тем более прочным будет слой в зоне конденсации влаги. Как показывает опыт специалистов ОАО «МТЗ», количество активной глины в смеси и предел прочности в зоне конденсации влаги контролируются лишь на крупных предприятиях Республики Беларусь, на средних и малых – не контролируются вовсе. Это говорит о том, что на таких предприятиях не только не контролируется один из ключевых параметров песчано-глинистых смесей, но и не производится входной контроль бентонита. Попадание в смесь компонентов низкого качества приводит к значительному росту дефектности и браку, необоснованному перерасходу средств. Отсутствие контроля прочности в зоне конденсации влаги крайне пагубно влияет на качество литья по ряду причин. В первую очередь потому, что предел прочности в зоне конденсации влаги крайне чувствителен к наличию пылевидной фракции в смеси (неактивная глина, кварцевая и угольная пыль и т.п.). Чем выше количество пылевидной фракции в смеси, тем выше потребность смеси в воде и тем выше вероятность образования дефектов поверхности. Снижение предела прочности в зоне конденсации влаги говорит о снижении количества активного бентонита

и увеличении количества пыли в смеси. При этом показатель прочности при сжатии может быть в норме и ввести в заблуждение производственный персонал.

ГОСТ предусматривает определение такого параметра, как термическая устойчивость, т.е. отношение прочности при сжатии в сыром состоянии с использованием бентонита в исходном и прокаленном состоянии. Напомним, что исходный бентонит сушится при 105–110 °С в течение 3 ч, а прокаливается при 550 °С в течение 1 ч. Выбор данного режима термообработки неслучаен. Термоустойчивость бентонита – это способность сохранять свойства кристаллической решетки при повышении температуры, с повышением которой монтмориллонит теряет воду. Скорость и вид дегидратации зависят от температуры: до 150 °С происходит удаление адсорбированной, межпакетной и сольватационной воды, при температуре выше 500 °С удаляется структурная вода [3]. При повышении температуры и длительности термообработки происходит разрушение слоистого минерала. Таким образом, термическая устойчивость – это способность бентонитов к регидратации, т.е. впитывать воду после термического воздействия. Чем выше этот показатель, тем меньшее количество бентонита потребуется для освежения единой формовочной смеси. С другой стороны, если бентонит применяется для приготовления облицовочных смесей, использование бентонита с высокой термической устойчивостью экономически нецелесообразно. Более того, если остатки облицовочной смеси с бентонитом с высокой термоустойчивостью будут попадать в единую формовочную смесь, то это может привести к пересыщению смеси глинистой составляющей и, как следствие, влагой. Если это сопровождается снижением прочности в зоне конденсации влаги и увеличением пыли в смеси, накопление влаги приводит к тому, что она концентрируется в более холодных частях формы. Последнее приводит к обрыву полуформ, в особенности болванов, и прилипанию формовочной смеси к оснастке.

Таким образом, ГОСТ 28177-89 дает комплексную усредненную оценку качества бентонитов. Формовочная смесь обладает набором взаимосвязанных свойств и переход от одного поставщика бентонита к другому всегда будет сопровождаться коррекцией ее параметров. Параметры прочности при сжатии и термической устойчивости говорят о потенциальном расходе бентонита, предел прочности в зоне конденсации влаги – о качестве бентонита и чистоте литых поверхностей. Другими словами, ГОСТ 28177-89 актуален и если бентонит прошел входной контроль, согласно ГОСТ, соответствует высшей марке П1Т1, то он как минимум качественный и не приведет к росту дефектности литья. Что касается смеси бентонитов, то в этом плане ГОСТ 28177-89 может быть доработан, так как в нем нет упоминаний о смеси бентонитов, в том числе с различными добавками, например, углем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров, Н. Н. Методические аспекты определения свойств бентонитовых формовочных глин / Н. Н. Федоров // *Литье и металлургия*. 2014. – № 4. – С. 19–23
2. Гуляев, Б. Б. Формовочные процессы / Б. Б. Гуляев, О. А. Корнюшкин, А. В. Кузин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 264 с.
3. Горюшкин В. В. Технологические свойства бентонитов палеоцена воронежской анеклизы и возможности их применения / В. В. Горюшкин // *Вестн. Воронеж. ун-та. Геология*. – 2005. – № 1. – С. 166–177.

## REFERENCES

1. Fedorov N.N. Metodicheskie aspekty opredelenija svojstv bentonitovyh formovochnyh glin [Methodological aspects of determining the properties of bentonite molding clays]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2014. No.4, pp. 19–23.
2. Guljaev B. B., Kornjushkin O. A., Kuzin A. V. *Formovochnye process* [Molding processes]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1987, 264 p.
3. Gorjushkin V.V. Tehnologicheskie svojstva bentonitov paleocena voronezhskoj aneklizy i vozmozhnosti ih primeneniya [Technological properties of Paleocene bentonites from the Voronezh aneclise and the possibilities of their use]. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologija = Bulletin of Voronezh University. Geology*, 2005, no. 1, pp. 166–177.