

УДК 669.094

## СВОЙСТВА ТОРФОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БАКЧАРСКОЙ РУДЫ И ТОРФА ВАСЮГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.С. Архипов, С.Г. Маслов, А.В. Долгов, А.О. Каревская

Томский политехнический университет  
E-mail: kravtsov@tpu.ru

*Изучено влияние состава, влажности, интенсивности перемешивания на свойства торфорудных материалов, приготовленных в лабораторных условиях из бакчарской железной руды и торфов Васюганского месторождения. Показано, что прочность воздушно-сухих образцов сравнима с прочностью металлизованных окатышей. Для получения прочных металлизованных материалов необходима стадия спекания при температуре выше 1000 °С.*

### **Ключевые слова:**

*Бакчарское железорудное месторождение, торф, руда, торфорудный материал, металлизация, прочность.*

Одним из вариантов переработки Бакчарской железной руды является полная или частичная металлизация обогащенного концентрата в процессах прямого восстановления с последующим металлургическим переделом в доменных или сталеплавильных печах. Работа в этом направлении проводилась в 1960–1970 гг. в Томском политехническом институте под руководством профессора С.И. Смольянинова [1]. В качестве восстановителя использовался торф. При этом решалась также проблема окускования дисперсного рудного концентрата путем его смешивания с торфом – сырьем и последующего формирования в виде цилиндрических формовок размером 3...4 см. Из магнетитового концентрата Абагурской фабрики и низинного торфа месторождения Таган Томской области были получены торфорудные материалы. Изучение их металлургических свойств позволило рекомендовать данные материалы для их металлизации в процессах прямого восстановления (вращающиеся или конвейерные печи).

В настоящее время освоение Бакчарского железорудного месторождения рассматривается [2] как наиболее перспективное направление развития сырьевой базы для металлургии Урала и Сибири. Основной предпосылкой использования торфа для восстановления Бакчарской руды является близость Васюганского торфяного месторождения, расположенного непосредственно на площади залегания Бакчарских железных руд. Площадь этого месторождения в пределах Бакчарского административного района составляет 985 тыс. га [3], а запасы торфа – 3365,7 млн т (при влажности 40 %). При коэффициенте извлечения торфа из залежи 0,5 этих запасов торфа хватит на сотни лет при полной металлизации по 5 млн т. бакчарской руды в год.

Первоочередной сырьевой базой для обеспечения торфом потребностей потенциального металлургического производства может служить торфяной массив, занимающий водораздел р. Бакчар-Икса, протянувшийся на 150 км от истоков этих рек до их впадения в р. Чая (Бакчарское болото). Основная часть торфяной залежи Бакчарского болота изучена на стадии поисковых работ. По дан-

ных разведки 1962 г. на участке Бакчарского болота к северу от дороги Мельниково – Бакчар преобладает верховая залежь (60,7 %) от общей площади. Значительную долю составляет также смешанная залежь (36 %). Прогнозные запасы торфа на этом участке составляют 213 млн т. О структуре запасов можно судить по результатам детальной разведки 1985 г. участка № 5 у с. Кр. Бакчар [3]. Верховой торф, составляющий 24 % от общих запасов участка № 5, представлен фукусом, магелланикум и ангустифолиум видами. Преобладающий на участке переходный торф (52 % запасов) представлен осоково-сфагновым, осоковым, древесно-осоковым и сфагновым видами. Среди низинных торфов (18 % запасов) доминируют осоковый, древесно-осоковый и древесные виды. Средняя степень разложения торфа  $R$  составляет 22 % при зольности 6,0 %. Преобладают на участке торфа средней и низкой степени разложения. Указанные торфа следует рассматривать как реальное сырье для получения торфорудных материалов из Бакчарской руды.

В связи с этим в данной работе изучены условия получения и свойства торфорудных материалов (ТРМ), приготовленных из Бакчарской руды и торфов, распространенных на Бакчарском болоте.

В качестве рудной составляющей использовали руду-сыпучку, отобранную в 2007 г. методом скважинной гидродобычи вблизи с. Полянника Бакчарского района.

Руда представляет собой сыпучую массу бурого цвета, состоящую в основном, из округлых блестящих оолитов и бобовин гетита и гидрогетита. 86 % всей массы руды представлено частицами размером 0,25...1,0 мм. Влажность воздушно-сухой руды составила 8,4 %, потери при прокаливании воздушно-сухого образца – 18 %. Содержание железа общего по предварительным данным 39 %. Из известных 6 типов бакчарских руд [4] настоящий образец может быть отнесен к сыпучей гетито-гидрогетитовой руде.

Для получения ТРМ на участке № 5 Васюганского месторождения отобраны 2 образца верхового сфагнового торфа низкой и средней степени разложения (табл. 1).

Таблица 1. Ботанический состав образцов торфа

Шифр образца торфа	Месторождение, пункт отбора	Ботанический состав		Тип, вид торфа
		Растения-торфообразователи	Содержание, %	
397-M1	Васюганское, уч. 5 у.с., Кр. Бакчар, п. "Тракт"	Сф. магелланикум Сф. ангустифолиум Сф. балтикум Пушица Древесина сосны	75 15 5 5 ед.	Верховой магелланикум, R=15...20 %
397-M2	Васюганское, уч. 5 у.с., Кр. Бакчар, п. "Водоем"	Сф. магелланикум Сф. ангустифолиум Сф. балтикум Пушица Кустарнички	20 25 5 45 5	Верховой пушицево-сфагновый, R=5...10 %
902-7	Жарковское 3, Шегарского р-на, бурт 2, д. Жарковка	Дрепанокладус К. лазиокарпа К. лимоза Вахта Тростник Хвоц Сосна Неопредел. остатки	20 20 15 20 10 5 5 5	Низинный травяно-осоковый, R=25 %
933-1	Темное Томского р-на, бурт на участке добычи	Вахта Пушица К. лазиокарпа Береза Сф. магелланикум Неопредел. остатки	25 20 25 20 5 5	Низинный травяной, R=20 %

С данными образцами выполнен основной объем работы по получению ТРМ и изучению их свойств. Кроме того, изучено несколько составов ТРМ с низинным торфом повышенной степени разложения (до 25 %): образцы 902-7, 933-1 (табл. 1).

В известных процессах прямого восстановления на твердом топливе используются кусковые материалы с размерами куска не более 20...30 мм [5]. В связи с этим изучались условия получения достаточно прочного торфорудного материала из сырой торфомассы и дисперсной руды. При этом предполагается, что торф играет роль связующего в процессе формирования ТРМ. Связующая способность торфа обусловлена его растительным происхождением и условиями превращения в торфяной залежи.

В формировании прочной структуры торфа или торфосодержащих смесей существенную роль играют следующие факторы [6].

1. Содержание в торфе основных компонентов – волокна и гумуса.
2. Ориентировка этих компонентов в исходном торфе.
3. Взаимное расположение фрагментов торфяного волокна, слагающих каркас вещества торфа.
4. Связность частиц торфа друг с другом, в частности, характер связи торфяного волокна с массой гумуса.
5. Размеры тканевых остатков, а также частиц и агрегатов гумуса.
6. Пористость вещества торфа.

## 7. Прочность волокна торфа.

Роль связующего играют гуминовые вещества. В верховых торфах они присутствуют в виде свободных гуминовых веществ желеобразной консистенции, которые формируют связность между грубыми растительными фрагментами при сушке торфа.

Механическая переработка торфа расширяет границы его пластичности, что особенно важно для применения малоразложившихся сфагновых торфов.

В данной работе изучено влияние состава торфорудной смеси, исходной влажности торфа и интенсивности перемешивания компонентов на прочность воздушно-сухих ТРМ.

Исходные образцы торфа смешивали с измельченной рудой (размер частиц менее 0,5 мм) в следующих соотношениях.

1. Стехиометрическое, т. е. обеспечивающее полное восстановление окислов железа руды нелетучим углеродом (70 % руды на 30 % торфа в сухом состоянии).
2. С избытком торфа (64 % руды в сухой смеси).
3. С недостатком торфа (85 % руды в сухой смеси).

Полученную сырую торфорудную массу пропустили через шнековый механизм (бытовая мясорубка) для дополнительного перемешивания и измельчения от 1 до 4 раз. Влажность исходного торфа изменяли по предварительным опытам от 70 до 90 %. Пластическую прочность полученной смеси определяли с помощью конического пластометра. Из торфорудной массы формовали путем выдавливания в специальной матрице цилиндрические образцы диаметром 34...35 мм, которые затем сушили в условиях лабораторного помещения до постоянного веса (воздушно-сухое состояние). Во время сушки периодически определяли размеры и массу формовок для расчета усадки.

Прочность воздушно-сухих образцов определяли двумя методами:

- 1) прочность на раздавливание измеряли на лабораторном гидравлическом прессе ПГЛ-5;
- 2) прочность на истирание определяли во вращающемся барабане со стальными шарами при скорости вращения 150 об/мин в течение 10 мин.

Показателем истираемости является выход мелочи менее 3 мм в процентах от загрузки.

С образцами, содержащими низинный торф (902-7, 933-1), проведены испытания по восстановлению при нагреве со скоростью 5 °С в мин. до температур 500...1100 °С с интервалом 100 °С. В термообработанных образцах определяли содержание золы, выход летучих. Для определения степени восстановления образцы анализировали на содержание железа общего (ГОСТ 23581.18-81), железа двухвалентного (ГОСТ 23581.3-79), железа металлического (ГОСТ 26482-90).

Также с полученными после восстановления образцами проведено определение прочности на раздавливание.

В лабораторных условиях сырые торфорудные формовки высыхают до постоянного веса за 3–6 дней. При этом их вес уменьшается на 50...70 % от исходного, а объемная усадка составляет 32...56 %. На величину усадки влияет как вид торфа, так и состав ТРМ. Наиболее высокие значения усадки отмечаются в ТРМ с торфом 397-М1, т. е. наиболее сильно сокращается объем формовок с торфом повышенной степени разложения. Также высокими значениями усадки отличаются формовки с избытком торфа. Минимальное значение усадки 32...37 % отмечено в формовках с недостатком торфа.

**Таблица 2.** Результаты определения прочности воздушно-сухих формовок на раздавливание

Состав ТРМ (руда/торф, мас. %)	Прочность формовок на торфяной связке, МПа на образец					
	Пушицево-сфагновый торф при исходной влажности, %			Магелланикум – торф при исходной влажности, %		
	90	82	78	87	79	72
Стехиометрический (70/30)	20,0	29,0	18,5	26,0	31,9	25,7
При избытке торфа (64/36)	25,0	27,0	37,0	25,6	30,0	23,0
При недостатке торфа (85/15)	18,5	30,7	20,8	13,6	12,8	10,4

Прочность полученных воздушно – сухих ТРМ существенно зависит как от состава смеси, так и от вида торфа. Прочность на раздавливание изменяется от 9,5 до 37,0 МПа на отдельную формовку. Наиболее прочными оказались ТРМ из верхового торфа средней степени разложения (397-М1). С увеличением содержания руды от 64 до 85 % прочность ТРМ снижается (табл. 2). Наименьшая прочность 9,5...11,7 МПа на формовку отмечена в формовках из низинных торфов при содержании 85 % руды на сухую смесь. Влажность исходного торфа в интервале 70...90 % не оказала заметного влияния на прочность воздушно-сухих ТРМ. Следует отметить, что при влажности ниже 70 % пластичность торфорудной массы недостаточна для формования, а при влажности ниже выше 90 % полученные формовки легко деформируются и теряют форму из-за низкой пластической прочности. Оптимальные значения пластической прочности находятся в интервале 15...100 кПа. Такое состояние торфорудной массы достигается при двукратной переработке в смесителе. Дальнейшее увеличение кратности переработки не отражается на пластических свойствах торфорудной массы.

Испытания на истираемость подтверждают результаты, полученные при испытаниях на раздавливание ТРМ (табл. 3). Более устойчивыми к истирающим нагрузкам оказались ТРМ с верховым торфом средней степени разложения (397-М1), причем с повышением содержания руды прочность

на истирание существенно снижается. Наименее прочными по истираемости оказались ТРМ с низинными торфами. Так, образцы с 15 % низинного травяно-осокового торфа (902-7) при испытании разрушились на 97 %.

**Таблица 3.** Результаты определения прочности воздушно-сухих формовок в барабане

Состав ТРМ (руда/торф, мас. %)	Прочность формовок на торфяной связке, МПа на образец					
	Пушицево-сфагновый торф при исходной влажности, %			Магелланикум – торф при исходной влажности, %		
	90	82	78	87	79	72
Стехиометрический (70/30)	5,0	5,0	5,7	2,0	2,0	0,7
При избытке торфа (64/36)	4,8	3,9	3,9	1,3	1,3	2,0
При недостатке торфа (85/15)	17,9	14,4	35,5	4,0	5,3	7,3

По результатам испытаний воздушно-сухих ТРМ можно заключить, что достаточно прочные ТРМ могут быть получены из распространенных на Бакчарском болоте верховых торфов, как низкой, так и средней степени разложения. Оптимальной влажностью сырого торфа, обеспечивающей формуемость торфорудной массы следует считать 80 %. При данной влажности и содержании руды от 70 до 85 % (на сухую смесь) получены достаточно прочные формовки. По прочности на раздавливание они не уступают окатышам, используемым в металлургических процессах: 20,0...25,0 МПа на окатыш [7,8].

Восстановление ТРМ сопровождается усадочными явлениями, потерей массы и снижением прочности. При этом протекают 3 основных процесса:

1. Термическое разложение торфа.
2. Восстановление окислов железа руды как газами термического разложения торфа, так и нелетучим углеродом торфяного кокса.
3. Спекание минеральных частиц и свежесоставленного металлического железа.

Первые два процесса приводят к снижению прочности ТРМ, а последний способствует образованию прочной структуры при повышенных температурах (выше 900 °С). Изучение прочности ТРМ, подвергнутых нагреву в интервале температур 500...1100 °С показало, что прочность на раздавливание уже при нагреве до 500...600 °С падает до 0,4...0,5 МПа на образец и продолжает снижаться при дальнейшем нагреве вплоть до 1000 °С. Однако при дальнейшем нагреве до 1100 °С образуется довольно прочный брикет (выше 10,0 МПа на образец) из исходного ТРМ с 85 % руды. Степень восстановления составила 70 % при содержании металлического железа 22 %, общего железа – 55 %, двухвалентного – 33 %. Таким образом, для получения прочного металлизированного продукта, пригодного для металлургического передела, необходима стадия спекания при температуре 1000...1100 °С. При этом содержание торфа в исходном ТРМ дол-

жно быть минимально необходимым для достижения требуемой степени восстановления. Избыток торфа препятствует процессу спекания и формирования прочного металлизированного продукта. По

результатам проведенной работы для получения прочного металлизированного продукта можно рекомендовать состав с содержанием торфа не выше 20 % на сухую торфорудную смесь.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смольянинов С.И. Теоретические основы и разработка метода комплексного использования торфа в химико-металлургических процессах: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Томск, 1973. – 45 с.
2. Мазуров А.К., Боярко Г.Ю., Емешев В.Г., Комаров А.В. Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения, Томская область // Руды и металлы. – 2006. – № 2. – С. 64–70.
3. Инишева Л.И., Архипов В.С., Маслов С.Г., Михантьева Л.С. Торфяные ресурсы Томской области и их использование. – Новосибирск: СО РАСХН, 1995. – 85 с.
4. Западно-Сибирский железорудный бассейн / Под ред. Ф.Н. Шахова. – Новосибирск: СО РАН СССР, 1964. – 448 с.
5. Кожевников И.Ю. Besкоксовая металлургия железа. – М.: Металлургия, 1970. – 336 с.
6. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Косов В.И. Физические свойства торфа и торфяных залежей. – Минск: Наука и техника, 1985. – 240 с.
7. Ручкин И.Е. Производство железорудных окатышей. – М.: Металлургия, 1976. – 184 с.
8. Малышева Т.Я., Долицкая О.А. Петрография и минералогия железорудного сырья. – М.: МИСИС, 2004. – 424 с.

*Поступила 01.10.2008 г.*