

14. Селезнев А.Н., Шерр юбле Вал.Г. Химия тверд. топлива, 1997, № 6, с. 71—78.
15. Селезнев А.Н., Шерр юбле Вик.Г., Шерр юбле Вал.Г. Цветные металлы, 1998, № 10—11, с. 75—80.
16. Шерр юбле Вал.Г., Селезнев А.Н. Цветная металлургия, 1999, № 8—9, с. 45—47.
17. Свири дов А.А., Селезнев А.Н., По дкопаев С.А. и др. Патент РФ на изобретение № 2256610.
18. Свири дов А.А., Селезнев А.Н., По дкопаев С.А. и др. Патент РФ № 2258032.
19. Селезнев А.Н., Шерр юбле Вик.Г. Цветная металлургия, 2001, № 8—9, с. 27—29.
20. Виргильев Ю.С., Лебе дев И.Г. Неорган. мат., 2002, т. 38, № 10, с. 1192—1198.
21. Виргильев Ю.С. Химия тверд. топлива, 2003, № 4, с. 52.
22. Виргильев Ю.С., Лебе дев И.Г. Материаловедение, 1999, № 1, с. 45—53.
23. Виргильев Ю.С. Ресурс графита в кладках реакторов. Неорган. мат., 1994, т. 30, № 10, с. 1—7.
24. Виргильев Ю.С. Там же, 2001, т. 37, № 8, с. 925—930.
25. Виргильев Ю.С. Реакторный графит и его свойства. М.: ЦНИИЭкономинформ цветмет, 1990, 52 с.
26. Виргильев Ю.С. Физика и химия обработки материалов, 1992, № 4, с. 10—17.

УДК 552.573:621.3.036.5/.6

Применение антрацита как наполнителя углеродной продукции

В. И. Пирогов, А. Н. Селезнев

ВИКТОР ИВАНОВИЧ ПИРОГОВ — кандидат технических наук, генеральный директор ЗАО «Новосибирский электродный завод». Область научных интересов: комплексное использование антрацитов в производстве углеродной продукции.

633216 Новосибирская обл., Искитимский р-н, р.п. Линево, ЗАО «НовЭЗ», тел. (38343)50-122,
E-mail chifnovez@ngs.ru

АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ СЕЛЕЗНЕВ — доктор технических наук, генеральный директор ОАО «Углеродпром». Область научных интересов: технологии производства углеродных материалов и сырье для них.

111141 Москва, ул. Электродная, д. 2, ОАО «Углеродпром», тел. (495)176-08-37, факс (495)176-17-46,
E-mail Uglerodprom@mail.ru

Антрацит продолжает оставаться основным технологическим сырьем (наполнителем) при производстве таких важнейших видов углеродной продукции, как подовые и боковые блоки для алюминиевых электролизеров, блоки различной конфигурации для футеровки доменных печей, угольные электроды для электротермических процессов получения кремния, ферросплавов, фосфора и других материалов, электродные массы для рудотермических печей с самообжигающимися электродами и др.

На Новосибирском электродном заводе (ЗАО «НовЭЗ») для производства углеродной продукции применяется антрацит Горловского, Кольванского и Ургунского месторождений Горловского бассейна [1, 2].

Горловский бассейн расположен в Новосибирской области и представляет собой вытянутую примерно на 120 км с юго-запада на северо-восток узкую полосу площадью около 400 км². Из 11 известных месторождений бассейна разведаны четыре — Горловское, Ургунское, Кольванское и Листвянское, эксплуатируются в настоящее время первые три. Балансовые запасы бассейна составляют около 800 млн т, прогнозные ресурсы до глубины 900 м — 6,5—7,0 млрд т.

Ресурсы технологического сырья в Горловском бассейне в настоящее время характеризуются следующим образом.

Листвянское месторождение — шахта «Листвянская», в настоящее время не эксплуатируется. Постоянная добыча угля велась с 1931 г. Остаток балансовых запасов антрацитов до глубины 320 м — 70 млн т.

Горловское месторождение — разрез «Горловский». Остаток балансовых запасов в границах разреза около 5 млн т.

Кольванское месторождение — площадь месторождения около 30 км². Суммарная мощность угленосной толщи более 1900 м, балансовые запасы до глубины 306 м — 600 млн т.

Ургунское месторождение — разрез (участок) «Ургунский». Остаток запасов до глубины 215 м около 30 млн т, вне границ участка дополнительно разведано около 17 млн т антрацита.

В целях снижения влияния минеральных примесей антрацита на качество углеродной продукции антрацит после добычи проходит технологическую операцию обогащения. Обогащение антрацитов Горловского бассейна производится на обогатительной фабрике ЗАО «Сибантрацит» в магнетитовой суспензии с удельным весом 1,8 г/см³. Продукт разделяется по классам (фракционному составу): до 6 мм, 6—13 мм, 13—25 мм и 25—120 мм.

Современные требования к углеродной продукции предусматривают термическую обработку антрацита перед его применением в качестве углеродного наполнителя. Традиционными процессами термообработки антрацитов являются: газокальцинирование во вращающейся печи при температуре до 1350 °С и электрокальцинирование в электрокальцинаторе при температуре около 1800 °С. ЗАО «Новосибирский электродный завод» в настоящее время оснащен оборудова-

нием для газовой кальцинации (вращающиеся прокатные печи УВК — 60×3,5) и оборудованием для производства электрокальцинированного термоантрацита (электрокальцинатор ИЭТ-10).

Перспективной задачей для электродных заводов, выпускающих продукцию на основе антрацита, является создание крупнотоннажных промышленных мощностей по производству электрокальцинированного антрацита.

Современная мировая практика идет по пути увеличения степени термообработки применяемых наполнителей для катодных блоков как для существующих электролизеров с токовой нагрузкой до 200 кА, так и в случае их модернизации [3]. При этом четко прослеживаются этапы этой эволюции: ГКА + графит; ЭКА + графит; графит. Получаемые блоки подвергаются заключительной механической обработке после их обжига, не проходя графитацию. Содержание термоантрацита (ГКА или ЭКА) в шихте меняется от 60 до 20%.

Важным при этом является то обстоятельство, что чем выше содержание в шихте графита, тем большую термопрочность имеет блок, выше его стойкость к электролиту, лучшие показатели электролиза можно достичь. Однако эти положительные эффекты, с другой стороны, сопровождаются повышенным абразивным износом подины, что может сократить срок службы электролизера в целом. Поэтому при переходе от ГКА + графит к ЭКА + графит и затем к 100% графиту необходимо учитывать не только достигаемые технические эффекты, но и экономическую целесообразность в целом.

Необходимость совершенствования производства алюминия требует применения мощных электролизеров с токовой нагрузкой 300 кА и выше. В этом случае (например для 300 кА) применяются блоки с содержанием графита до 80% и можно ожидать снижение их срока службы по сравнению с электролизерами на 130–200 кА, срок службы которых может достигать 65–80 месяцев. Однако уже отечественная практика показывает, что производительность электролизера в этом случае повышается в 1,4–1,8 раза, что делает эту модернизацию экономически эффективной.

За рубежом активно ведутся работы по расширению применения в качестве подовых блоков изделий из нефтяного кокса с циклом производства, аналогичным производству графитированных электродов, т.е. с графитацией этих блоков. В этом случае срок службы существенно сокращается и, следовательно, производительность этих электролизеров должна быть еще выше. Однако в отечественной практике подобные блоки пока не применяются, и эту ситуацию в данной работе мы не рассматриваем.

Начиная работу, мы поставили задачу разработать способ и технологию производства термоантрацита с более высокой температурой

его конечной обработки, чем в случае получения термоантрацитов марок ГКА и ЭКА. Затем, заменяя в различной доле другие наполнители вновь полученным, мы получили возможность совершенствовать технические характеристики таких видов углеродной продукции, как электродная масса, угольные электроды и подовые блоки. Мы учитывали, что выпуск нового наполнителя должен реализовываться в промышленных масштабах, а стоимость его производства не приводить к необходимости увеличения сложившихся цен.

Таким образом, с целью обеспечения производства углеродной продукции на основе антрацита проведены исследования в промышленных условиях и предложены способ и технология получения термоантрацита (марки АПГ) с высокими характеристиками кристаллической структуры.

Термоантрацит АПГ получают в графитировочных печах, используя тепло, выделяющееся в процессе графитации углеродной продукции. Термоантрацит АПГ имеет пониженное удельное электросопротивление, повышенные действительную плотность и адсорбционную способность по сравнению с термоантрацитами марок ГКА и ЭКА. Свойства термоантрацитов, полученных в ЗАО «НовЭЗ» в различных промышленных агрегатах, представлены в табл. 1.

Изменяя количество термоантрацита в составе сырья можно управлять физико-механическими свойствами углеродной продукции. В табл. 2 представлены физико-механические показатели катодных блоков для алюминиевых электролизеров в зависимости от количества термоантрацита ГКА в материале блоков. Из таблицы видно, что с увеличением в материале содержания термоантрацита снижаются истинная и кажущаяся плотность, предел прочности при сжатии и изгибе, теплопроводность и повышаются значения удельного электросопротивления, модуля упругости, относительного удлинения. Установленные зависимости физико-механических показателей материалов от количества и качества термоантрацита в них используются в промышленных условиях для корректирования свойств блоков в соответствии с требованиями потребителей.

В 2004 г. разработаны и освоены технологии изготовления подовых блоков, электродной массы, уголь-

Таблица 1

Физико-химические характеристики термоантрацитов различных марок

Характеристики	ГКА	ЭКА	АПГ	Графит*
УЭС порода, мкОм	980	640	510	84
Действительная плотность/см ³	1,74	1,83	1,87	2,20
Зольность, %	2,9	2,7	3,0	0,2
Адсорбционная способность	40	50	60	65
Параметры кристаллической решетки:				
межслоевое расстояние, нм	0,346	0,342	0,339	0,334
размер кристаллитов по оси L_c , нм	2,3	8,5	18,0	21,0
размер кристаллитов по оси L_a , нм	4,0	16,0	51,0	54,7

* На основе прокатного кокса. ГКА получен во вращающейся трубчатой печи при температуре 1250–1350 °С; ЭКА — получен в электрокальцинаторе ИЭТ при температуре 1600–1800 °С; АПГ — получен в печах графитации при температуре в центре керна не около 2750 °С.

Физико-механические показатели катодных блоков

Характеристика	ГКА — 60%, остальное — технический графит	ГКА — 70%, остальное — технический графит
Истинная плотность, г/см ³	1,92	1,88
Кажущаяся плотность, г/см ³	1,58	1,52
УЭС на блоках, мКОм	36	44
Общая пористость, %	20,0	19,0
Прочность на сжатие, МПа	40	42
Прочность на изгиб, МПа	11	8
Модуль упругости, ГПа	9,0	12,0
ТКЛР (20-520 °С), 10 ⁻³ К ⁻¹	3,3	3,3
Теплопроводность (20 °С), Вт/(мК)	11,0	8,0
Относительное удлинение, %	0,5	0,6
Содержание золы, %	2,0	2,1

ных электродов на основе термоантрацита АПГ взамен термоантрацитов марок ГКА, ЭКА. Новосибирский электродный завод для получения термоантрацита АПГ использует П-образные графитировочные печи с длиной зерна 35 м, что позволяет организовать крупнотоннажное производство. Указанные печи были ранее построены и предназначены для выпуска графитированных электродов.

В целях стабилизации свойств термоантрацита АПГ проводятся исследования по усовершенствованию конструкции и материалов графитировочных печей. Выбор более эффективных теплоизоляционных материалов и конструкции печи позволит провести в ближайшем будущем модернизацию графитировочных печей с целью снижения градиента температурного поля зерна и печи в целом.

Применение термоантрацита АПГ позволяет повысить термочувствительность материала, улучшить другие эксплуатационные характеристики углеродной продукции (катодных блоков, угольных электродов, электродной массы) и повысить экономическую эффективность их производства.

Подовые блоки

В табл. 3, 4 представлены технические характеристики подовых блоков типа Н-1 и Н-2. Из приведенных данных следует, что подовые блоки на основе газокальцинированного антрацита (ГКА) соответствуют требованиям, предъявляемым к подовым блокам типа Н-1. Подовые блоки на основе электрокальцинированного антрацита (ЭКА) и термоантрацита АПГ соответствуют требованиям, предъявляемым к подовым блокам типа Н-2. Исключение из рецептуры подовых блоков термоантрацита ЭКА и замена его на термоантрацит АПГ позволяет получать материал подовых блоков с более однородной структурой, которая характеризуется меньшими значениями времени прохождения ультразвука и параметра неоднородности блоков (табл. 4).

Электродная масса

Использование термоантрацита АПГ взамен термоантрацита ГКА экономически целесообразно, поскольку из состава исключается технический графит (табл. 5), для производства которого требуется низко-

Требования потребителей к подовым блокам типа Н-1 и технические характеристики подовых блоков на основе термоантрацита марки ГКА

Технические характеристики	Требования к подовым блокам типа Н-1	Подовые блоки на основе ГКА — 60%, ГНТ — 40%
Истинная плотность, г/см ³	не менее 1,85	1,92
Кажущаяся плотность, г/см ³	не менее 1,54	1,58
УЭС, мКОм	не более 40	36
Общая пористость, %	не более 20,0	20,0
Прочность на сжатие, МПа	26–55	42
Прочность на изгиб, МПа	не менее 7	11
Модуль упругости, ГПа	не более 13,0	9,0
ТКЛР (20-520 °С), 10 ⁻³ К ⁻¹	не более 4,0	3,3
Теплопроводность (20 °С), Вт/(мК)	не менее 8,0	11,0
Относительное удлинение, %	не более 0,7	0,5
Содержание золы, %	не более 4,5	2,1

Примечание ГНТ– технический графит

Таблица 4

Требования потребителей к подовым блокам типа Н-2 и технические характеристики подовых блоков на основе термоантрацита марок ЭКА и АПГ

Технические характеристики	Требования к подовым блокам типа Н-2	Подовые блоки состава	
		ЭКА — 60% ГНТ — 40%	АПГ — 70% ГНТ — 30%
Истинная плотность, г/см ³	не менее 1,85	1,94	1,95
Кажущаяся плотность, г/см ³	не менее 1,54	1,58	1,56
УЭС на блоках, мкОм	не более 40	34	34
Общая пористость, %	не более 20,0	19,0	20,0
Прочность на сжатие, МПа	30—45	37	40
Прочность на изгиб, МПа	не менее 10	10	10
Модуль упругости, ГПа	не более 13,0	8,0	8,0
ТКЛР (20 °С), 10 ⁻⁶ К ⁻¹	не более 3,0	3,1	3,4
Теплопроводность (20 °С), Вт/(мК)	не менее 10,0	14,0	11,0
Относительное удлинение, %	не более 0,6	0,4	0,5
Содержание золы, %	не более 3,0	1,7	1,8
Время прохождения УЗК, мкс	260—320	260—320	261—286
Параметр пористости, %	10,0	10,0	7,6

сернистый нефтяной кокс, а технологический цикл его получения исчисляется двумя месяцами.

Исключение из рецептуры технического графита позволяет также снизить расход сырьевых и энергетических ресурсов. Выпуск технического графита на

Таблица 5

Принципиальная рабочая рецептура электродной массы и угольных электродов

Компонент	Содержание, %
Электродная масса до 2004 г.	
ГКА	60
Технический графит (ГНТ)	15
Обоженные возвраты	20
Аспирационная пыль	5
Электродная масса с 2004 г.	
АПГ	80
Обоженные возвраты	15
Аспирационная пыль	5
Угольные электроды до 2004 г.	
ГКА	50
Технический графит	50
Угольные электроды с 2004 г.	
АПГ	50
Технический графит	50

основе нефтяного кокса в электродном производстве сопровождается необходимостью эксплуатации смешанно-прессового оборудования, печей обжига и графитации. Экономическая эффективность применения термоантрацита АПГ вместо термоантрацита ГКА при изготовлении электродной массы составляет около 10 млн рублей за год. Из табл. 6 видно, что электродная масса на основе АПГ существенно превосходит требования потребителей, что гарантирует высокую эффективность ее применения.

Угольные электроды

Результаты изготовления угольных электродов диаметром 1205 мм на основе АПГ также дали хорошие результаты при их эксплуатации. В 2004 г. разработана и освоена технология изготовления угольных электродов по рецептуре на основе АПГ (табл. 5).

Использование АПГ в рецептуре угольных электродов позволило повысить теплопроводность электродов до 18 Вт/м×К (табл. 7). Увеличение показателя теплопроводности угольных электродов при эксплуатации у потребителя приводит к повышению термостойкости электродов и снижению удельного расхода электродов на тонну выплавленного кремния.

В ЗАО «Кремний» (г. Щелехов) в 2005 г. проведены промышленные испытания угольных электродов диаметром 1205 мм на основе термоантрацита АПГ. На основании результатов испытаний специалистами ЗАО «Кремний» сделан вывод — угольные электроды диаметром 1205 мм на основе термоантрацита АПГ соответствуют зарубежным угольным электродам.

Таблица 6

Технические характеристики электродной массы на основе термоантрацита марок АПГ и ГКА

Вид наполнителя	Прочность на разрыв, МПа	Зола, %	Содержание летучих веществ, %	Кт	УЭС, мкОм · м
Требования потребителя	не менее 1,76	не более 6,0	13—16	1,8—2,3	не более 80
АПГ	2,8	2,5	14,3	2,2	61
ГКА	2,3	2,0	15,2	1,9	73

Технические характеристики угольных электродов на основе термоантрацита марок АПГ и ГКА

Вид наполнителя	Прочность, МПа		$d_{\text{каж}}$, г/см ³	$d_{\text{ист}}$, г/см ³	Пористость, %	λ , Вт/(м·К)	ТКЛР, 10 ⁻⁶ К ⁻¹ (20–520 °С)	Содержание золы, %
	на изгиб	на разрыв						
Требования потребителей	не менее 5,0	не менее 3,0	—	—	Не более 21	—	—	Не более 3,0
АПГ	8,1	3,6	1,61	2,0	20	18	3,8	2,2
ГКА	8,9	4,4	1,60	1,95	18	11	3,5	1,7
Электроды S-23 (Германия)	5,0	—	1,56	1,98	21	22	2,7 (20–200 °С)	1,0

В ЗАО «НовЭЗ», наряду с традиционными направлениями применения термоантрацита для изготовления подовых и боковых блоков, электродной массы, угольных электродов, изучается возможность применения термоантрацита в качестве наполнителя для изготовления других видов углеродной продукции.

Выпуск промышленных партий электродной массы, угольных электродов, подовых блоков и результаты исследовательских работ показали, что, обрабатывая антрацит при различных температурах, мы можем получить качественное сырье для производства многих видов углеродной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнев А.Н. Углеродистое сырье для электродной промышленности. М.: Профиздат, 2000, 256 с.
2. Угольная база России. Т. II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и республики Алтай). М.: ООО «Геоинформцентр», 2003, 604 с.
3. Сорлье М., Ойя Х.А. Катоды в алюминиевом электролизере. Пер с англ. П.В. Полякова. Красноярск, изд-во Красноярского гос. ун-та, 1997, 460 с.