

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт политехнический
Факультет материаловедения и металлургических технологий
Кафедра пирометаллургических процессов

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

(должность)
_____/_____
(подпись) (И.О.Ф.)
« ____ » _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. заведующего кафедрой,
к.т.н.

_____/П.А. Гамов/
« ____ » _____ 2018 г.

АНАЛИЗ РАСХОДА ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
ГРУППЫ ПАО «МЕЧЕЛ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–22.04.02.2018 ПЗ ВКР

Руководитель работы

д.т.н., профессор
(должность)
_____/ В.Е. Роцин /
(подпись) (И.О.Ф.)
« ____ » _____ 2018 г.

Автор работы

студент группы П-241
_____/ М.И. Орлов /
(подпись) (И.О.Ф.)
« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтролер

к.т.н., доцент
(должность)
_____/ С.П. Салихов /
(подпись) (И.О.Ф.)
« ____ » _____ 2018 г.

Аннотация

Орлов М.И. Анализ расхода графитированных электродов на предприятиях группы «Мечел». Челябинск: ЮУрГУ, кафедра МиЛП; 2018.

В квалификационной работе рассматривается анализ расхода графитированных электродов для АКП и ДСП в цехах ККЦ и ЭСПЦ на предприятиях группы «Мечел», а именно на ПАО «Ижсталь» и ПАО «ЧМК». В работе представлены: описание производства электродов, описание агрегатов, на которых они работают, анализ расхода электродов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОПИСАНИЕ АГРЕГАТОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ	6
1.1 Агрегат ковш-печь	6
1.2 Дуговая сталеплавильная печь (ДСП)	8
2. СХЕМА И ОПИСАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ	10
3. РАЗНОВИДНОСТИ МАРОК И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ	14
4. АНАЛИЗ И ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ РАСХОДА ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ	16
4.1 Сортамент выплавляемой стали и технология выплавки	16
4.2 Влияние горячих простоев и температуры окружающей среды	17
4.3 Качество электродов	17
4.4 Техническое состояние электропечного оборудования	19
4.5 Другие факторы, влияющие на удельный расход электродов	20
5. АНАЛИЗ РАСХОДА ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ПО ФАКТИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	25

ВВЕДЕНИЕ

Графитированные электроды являются важным элементом электродуговых печей при производстве стали и сплавов. Они являются расходуемыми токопроводами линии высокого напряжения, позволяющими разжечь и поддерживать горение дуги между торцами электродов и металлом, и в определенной степени лимитируют производительность электропечных агрегатов.

Производство электродов относится к числу энергоемких, продолжительных и экологически не безопасных технологий. В качестве сырья для них используют нефтяные и игольчатые коксы, в том числе, изготавливаемые из высококачественной малосернистой нефти и каменноугольных смол. В связи с этим проблема снижения расхода электродов, работающих в условиях повышенных температур, окисляющей среды и значительных динамических нагрузок, приобретает все большую актуальность.

Современная модернизация электросталеплавильного производства путем интенсификации плавления лома в электрических печах с использованием мощных трансформаторов и внедрение внепечной обработки стали существенно изменили условия эксплуатации электродов, и соответственно резко повысились требования к их качеству и соответствующему инженерному обеспечению их эксплуатации.

При увеличении токовой нагрузки (подводимой мощности) для интенсификации ввода электрической энергии в печь и снижения продолжительности плавки, в отдельных случаях наблюдается трещинообразование торцов электродов, что приводит к сколам и поломкам и, соответственно, к простоям, неорганизованному повышению содержания углерода в металле и повышенному расходу электродов, в том числе и электродов премиум-класса.

Для достижения надежной работы электродов используют методы работы, обеспечивающие оптимизацию эксплуатации электродов, и требующие большого объема инженерных знаний, относящихся к специфическим технологиям инжиниринга, таких как технический аудит, мониторинг состояния оборудования, в том числе техническая диагностика, техническое обслуживание, испытания, определение функциональных характеристик и показателей надежности.

Рынок графитированных электродов включает в себя достаточно большое количество участвующих в нем предприятий, относящихся, главным образом, к черной и цветной металлургии. Масштаб производства электродов определяется, прежде всего, выпуском электростали. Доля этого вида продукции в общем объеме производства стали в СНГ находится на невысоком уровне, поэтому имеется достаточно большой потенциал развития.

1. ОПИСАНИЕ АГРЕГАТОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ГРАФИТИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ

1.1 Агрегат ковш-печь

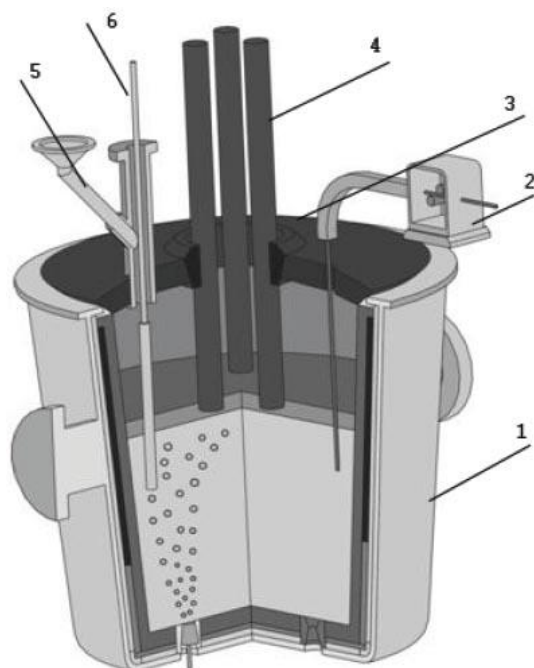


Рисунок 1 – Общая схема установки ковш-печь: 1 – Сталеразливочный ковш; 2 – Трайб-аппарат; 3 – Свод агрегата ковш-печь; 4 – Графитированные электроды; 5 – Тракт подачи сыпучих материалов; 6 – Аварийная фурма

После выпуска металла из плавильного агрегата все дальнейшие шаги по доводке стали по химическому составу и температуре выполняются исключительно в ковше. Такая схема, как показывает практика, делает процесс выплавки и разливки стали более экономичным, а также обеспечивает наиболее полное совмещение процесса выплавки и разливки стали.

В целом, в ходе обработки стали в ковше могут выполняться следующие операции: гомогенизация металла по температуре и химическому составу, корректировка химического состава стали путем присадки соответствующих ферросплавов и лигатур, удаление вредных примесей (сера, фосфор,

кислород, а иногда углерод и пр.), доведение температуры металла до регламентируемого технологией значения, рафинирование стали по неметаллическим включениям, получение стали с постоянными свойствами от плавки к плавке, управление составом шлака и т.д.

Общепризнанным путем реализации вышеперечисленных операций является комплексная обработка расплава в сталеразливочном ковше с применением мощного высокотемпературного источника локального нагрева с помощью графитированных электродов, который обеспечивает непрерывную компенсацию тепловых потерь. При этом тепловая энергия концентрируется в зоне шлака для поддержания необходимых, рафинирующих свойств и плавления высокотемпературных компонентов шлаковой смеси. С другой стороны, сочетание высокотемпературного локального нагрева с принудительным перемешиванием расплава приводит к усреднению температуры во всем объеме. Принудительное циркуляционное перемешивание расплава в ковше является обязательной технологической операцией, обеспечивающей высокую эффективность внепечной обработки в целом. В сочетании с перемешиванием становится возможным реализация эффективного дугового нагрева расплава, существенно возрастает скорость его усреднения, рафинирования различными технологическими средствами, в том числе, вакуумной обработкой.

1.2 Дуговая сталеплавильная печь (ДСП).

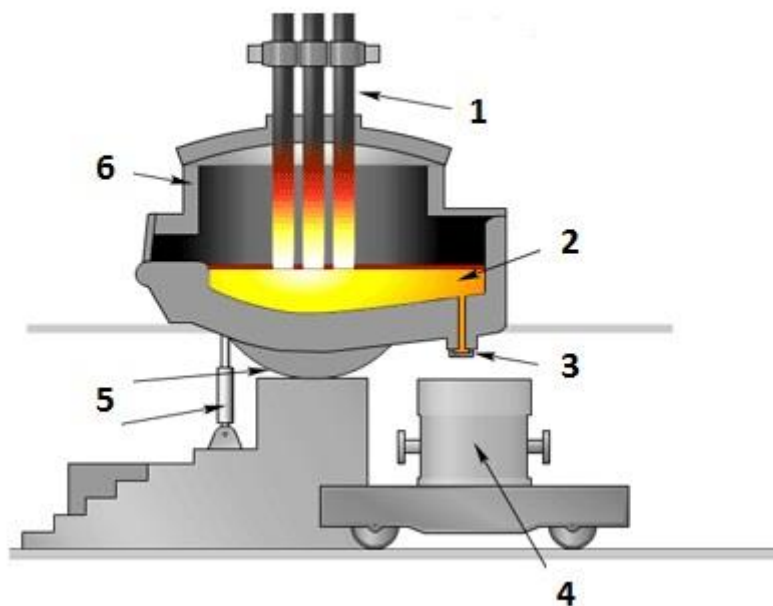


Рисунок 2 – Общая схема установки дуговой сталеплавильной печи: 1 – графитированные электроды; 2 – расплавленная сталь; 3 – эркерное отверстие для выпуска расплавленной стали; 4 – Стелеразливочный ковш; 5 – Механизм поворота и привод наклона; 6 – Корпус печи.

В обозначении дуговой сталеплавильной печи, как правило, присутствует её ёмкость в тоннах (например, ДСП-12). Диапазон печей варьируется от 1 до 400 тонн. Температура в ДСП может достигать 1800 °С.

Дуговая сталеплавильная печь (ДСП) состоит из плавильной ванны (рабочего пространства), регулятора мощности дуги и вспомогательных технологических механизмов, позволяющих открыть (закрыть) свод печи, собрать шлак и выпустить расплавленный металл.

Регулирование мощности электрической дуги производится программно-адаптивным регулятором, который с помощью привода перемещает электроды в вертикальной плоскости. Известны регуляторы электрической дуги с электромеханическим приводом, которые вследствие своей инерционности не получили большого распространения и сейчас

практически полностью вытеснены регуляторами с электрогидравлическим приводом.

Как правило, ДСП имеет индивидуальное электроснабжение через так называемый «печной» трансформатор, подключённый к высоковольтной линии электропередач. Мощность трансформатора может достигать 300 МВА. Его вторичное напряжение находится в пределах от 50 до 300 В (в современных печах до 1200 В), а первичное от 6 до 35 кВ (для высокомошных печей до 110 кВ). Вторичное напряжение регулируется при помощи ступенчатого переключателя, который сохраняет свою работоспособность также и в режиме плавки.

Плавка стали производится в рабочем пространстве печи, которое ограничено сверху куполообразным сводом, снизу и с боков, соответственно, сферическим подом и стенками, кожух которых изнутри выложен огнеупорным материалом. Съёмный свод может быть набран из огнеупорных кирпичей, опирающихся на опорное кольцо, или, как и стенки печи, может быть сделан из водоохлаждаемых панелей. Через три симметрично расположенных в своде отверстия в рабочее пространство введены токопроводящие графитовые электроды, которые с помощью специальных механизмов могут перемещаться вверх и вниз. Печь обычно питается трёхфазным электрическим током, также существуют печи постоянного тока. Современная мощная дуговая печь используется преимущественно как агрегат для плавки шихты и получения жидкого полупродукта, который дальнейшей обработкой доводят до требуемого химического состава.

2. СХЕМА И ОПИСАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

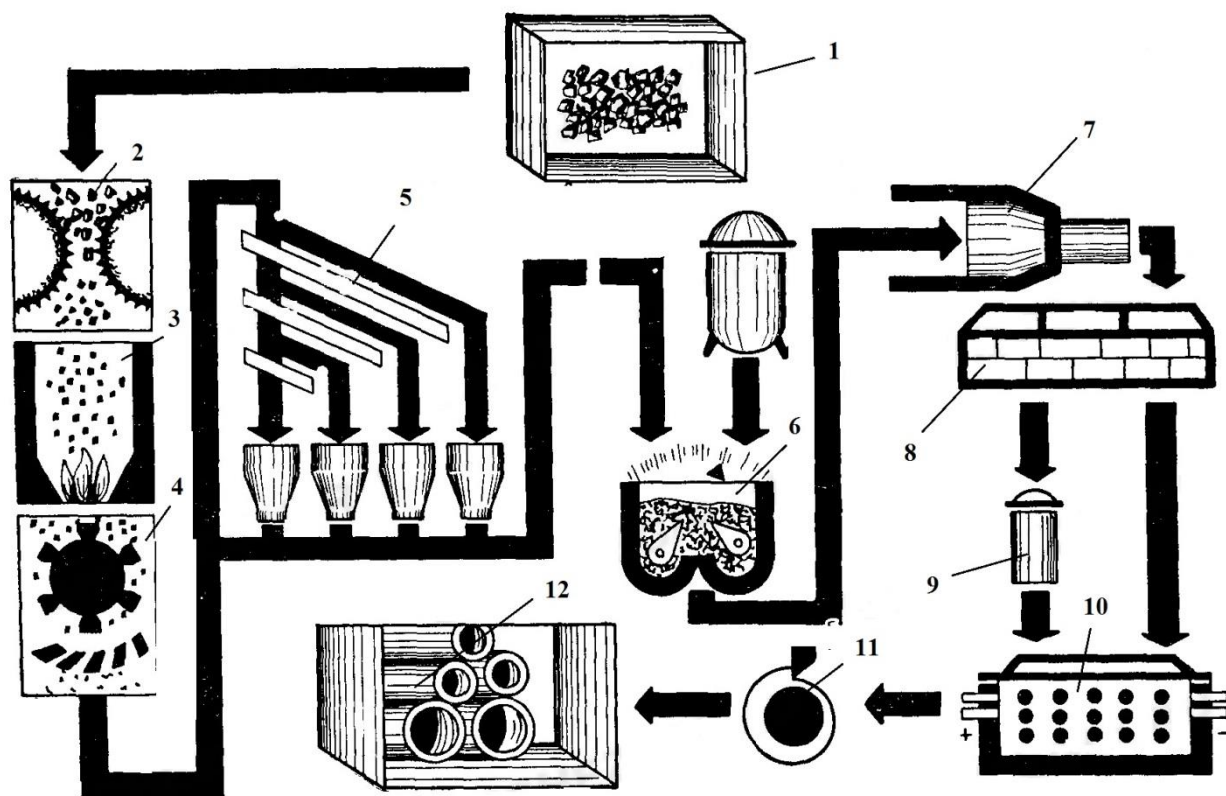


Рисунок 3 – Схема производства графитированных электродов: 1 – Склад сырья; 2 – Предварительное дробление; 3 – Прокаливание; 4 – Измельчение; 5 – Рассев; 6 – Смешивание, дозировка; 7 – Прессование; 8 – Обжиг; 9 – Пропитка; 10 – Графитация; 11 – Механическая обработка; 12 – Готовая продукция.

На всех дуговых электропечах применяют электроды круглого сечения, диаметр которых определяется емкостью плавильного агрегата, а следовательно, подводимой электрической мощностью. От качества электродов и способа подвода к ним электрического тока значительно зависят потери электроэнергии, составляющие до 10% и более всей подводимой к печи мощности. Учитывая исключительно тяжелые условия, в которых находятся электроды в процессе плавки, к ним предъявляют особые требования. Материал электродов должен выдерживать высокие

температуры, быть достаточно механически прочным, обладать высокой электропроводностью и необходимой стойкостью против окисления, обеспечивать в местах сочленения плотность контакта. Удовлетворять этим требованиям могут только изделия из углерода. Сырьем для изготовления электродов служат графит, лучшие сорта антрацита и термоантрацита, каменноугольный, пековый и нефтяной коксы, естественный графит, бой электродных огарков. Для дуговых электропечей применяют угольные, графитированные и самоспекающиеся электроды. Угольные и самоспекающиеся электроды применяют главным образом при осуществлении рудовосстановительных процессов в ферросплавных печах. Для сталеплавильных процессов применяют преимущественно графитированные электроды, обладающие более высокими физико-механическими и электротехническими свойствами по сравнению с угольными электродами.

Графитированные электроды характеризуются низким удельным сопротивлением (8—13 Ом-мм²/м), высокой термостойкостью, содержат мало золы. Допустимая плотность тока в этих электродах составляет 28, 16 и 14 А/см² при диаметрах 150, 400 и 550 мм соответственно. В специальных графитированных электродах она достигает 50 А/см². Сырьем для производства электродов служат природные и искусственные углеродистые материалы, содержащие около 90% углерода: графит, антрацит, термоантрацит, каменноугольный, пековый и нефтяной коксы, а также возвраты электродного производства. Для электродной продукции всех видов в качестве связующего вещества применяют каменноугольный электродный пек.

Все твердые кусковые материалы предварительно измельчают в дробилках щековых или валковых до кусков размером 40 – 70 мм, после чего поступают на прокаливание – термическую обработку без доступа воздуха.

Прокаливанию с целью уменьшения содержания влаги и летучих веществ подвергают все виды углеродистого сырья, кроме натуральных

графитов. Прокаливание при 1150—1350 °С обеспечивает высокую механическую прочность, плотность, термостойкость и высокую электропроводность электродов.

Из прокалочного отделения твердые углеродистые материалы поступают на измельчение в молотковых или валковых дробилках и шаровых мельницах, а затем на рассев. Размолотый материал разделяется на фракции при помощи вибрационных сит или барабанных грохотов и поступает на хранение в сортовые бункера.

Порошковый материал отвешивается в соответствии с дозировочным рецептом из сортовых бункеров, и подготовленная шихта подается в смесительные машины с паровым обогревом для тщательного перемешивания с расплавленным каменноугольным пеком до получения однородной массы.

Приготовленную углеродистую массу после охлаждения до определенной температуры направляют в прессовое отделение. Заготовки прессуют в специальных горизонтальных прессах выдавливанием через мундштук круглого сечения. После выпрессовки заготовки охлаждают в воде и подвергают контролю по форме и длине.

Обжиг отпрессованных заготовок осуществляют в течение 15— 30 суток по графику, который подбирают в зависимости от вида и размеров изделий. При обжиге происходит коксование связующего, и обжигаемые заготовки переводятся в новое качественное состояние, характеризующееся определенными теплофизическими и электротехническими свойствами.

После обжига электроды подвергают графитизации в электрических печах сопротивления при температуре 2600—2800° С. Сопротивлением служат сами изделия и материал засыпки. В процессе графитизации изделия приобретают высокую электрическую проводимость, увеличивается их теплопроводность, повышается термостойкость, снижается окисляемость, улучшаются механические свойства и обрабатываемость.

После графитизации и охлаждения электроды поступают в механическое отделение для придания им на токарных станках необходимой формы и чистоты поверхности и для нарезки резьбы под ниппель. У электродов с двух сторон имеются ниппельные гнезда с цилиндрической или конической резьбой (предпочитается коническая резьба).

Для фиксации биконического ниппельного соединения применяют контактную прессованную пасту, вставляемую в виде пластин между ниппелем и дном ниппельного гнезда в процессе наращивания электродов.

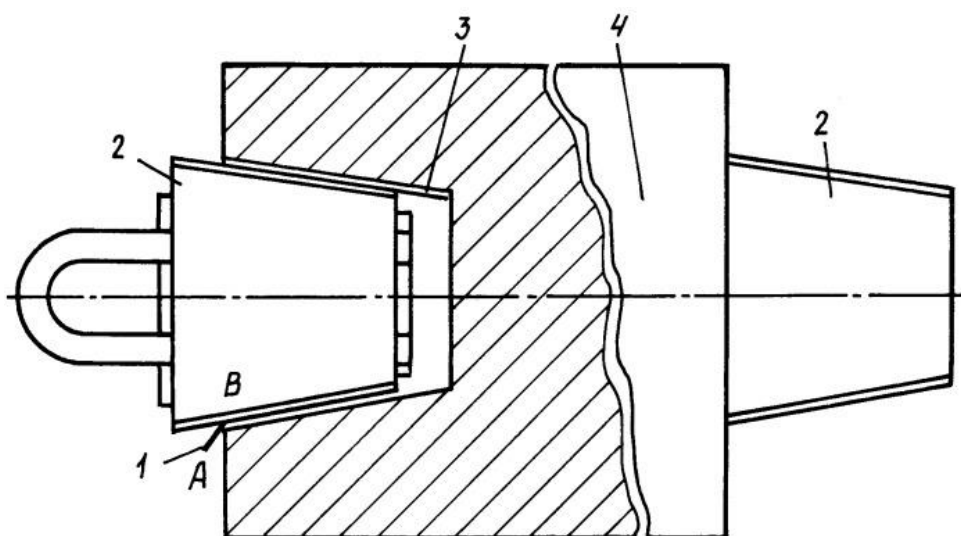


Рисунок 4 – Схема наращивания электрода по ниппелю: 1 – склиз (желоб-продолжение наружной резьбы); 2 – ниппель; 3 – резьба; 4 – электрод.

Расход электродов зависит от правильного выбора поперечного сечения, качества, условий транспортировки и хранения их, строгого соблюдения условий эксплуатации, главным образом, электрического режима. При выборе поперечного сечения электродов следует учитывать в первую очередь предельно допустимую удельную плотность тока.

Электроды необходимо хранить в чистом сухом закрытом помещении в штабелях высотой не более 1,5 м с деревянными прокладками между рядами, обращая особое внимание на сохранение в исправном состоянии торцов и ниппельных гнезд.

Электроды поглощают влагу из воздуха, поэтому перед установкой на электропечь их необходимо просушивать в специальных камерных печах. При свинчивании (наращивании) электродов необходимо принимать меры по предупреждению излишнего перенапряжения в местах ниппельного соединения. Свинчивать электроды нужно либо на специальных стендах, либо на печи. Перед свинчиванием ниппельные гнезда необходимо тщательно обдуть сжатым воздухом.

Нарращивать свечи на печи с помощью мостового крана надо плавно, без рывков, вращая верхний электрод вокруг своей оси с помощью специального ключа.

3. РАЗНОВИДНОСТИ МАРОК И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ.

В мире отсутствует единая классификация (деление) графитированных электродов на марки. Тем не менее, существует единая международная условная классификация электродов на виды в зависимости от мощности дуговых печей, для которых электроды предназначены:

Сверхмощные электроды (Ultra High Power - UHP), предназначенные для электродуговых сталеплавильных печей, емкостью до 160 тонн и мощность трансформатора до 140 МВА. Токовая нагрузка на электродах - до 85 кА. Данные электроды имеют российский аналог марки ЭГСП (электроды графитированные специальные пропитанные). Электроды данной марки изготавливаются из игольчатого кокса и имеют дополнительную пропитку пеком, что придает им более плотную структуру и минимизирует сопротивление электрического тока. Такие электроды являются самой дорогой и высокотехнологичной маркой.

Таблица 1 – Основные характеристики электродов марки UHP.

Показатель	Диаметр, мм	UHP
Удельное электросопротивление, мкОм*м, не более	≤ 400	5,5
	> 400	5,5
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	≤ 400	11,0
	> 400	11,0
Плотность, г/см ³ , не менее	≤ 400	1,66
	> 400	1,67
Модуль Юнга, ГПа, не более	≤ 400	14,0
	> 400	14,0

Мощные (High Power - HP), предназначенные для электродуговых сталеплавильных печей, емкостью до 30 тонн и мощность трансформатора до 45МВА. Токовая нагрузка на электродах до 50-60 кА. Данные электроды имеют российский аналог марки ЭГП (электроды графитированные

пропитанные). Электроды данной марки изготавливаются из нефтяного кокса и каменноугольного пека и имеют дополнительную пропитку пеком, что дает им менее плотную структуру, по сравнению с электродами марки УНР.

Таблица 2 – Основные характеристики электродов марки НР.

Показатель	Диаметр, мм	НР
Удельное электросопротивление, мкОм*м, не более	≤ 400	6,5
	> 400	6,5
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	≤ 400	10,5
	> 400	9,8
Плотность, г/см ³ , не менее	≤ 400	1,62
	> 400	1,60
Модуль Юнга, ГПа, не более	≤ 400	12,0
	> 400	12,0

Маломощные (Regular Power - RP), предназначенные для электродуговых сталеплавильных печей, емкостью до 20 тонн и мощность трансформатора до 15МВА. Токовая нагрузка на электродах до 45 кА. Данные электроды имеют российский аналог марки ЭГ (электроды графитированные). Электроды данной марки изготавливаются из нефтяного кокса и каменноугольного пека без дополнительной пропитки пеком.

Таблица 3 – Основные характеристики электродов марки RP

Показатель	Диаметр, мм	RP
Удельное электросопротивление, мкОм*м, не более	≤ 300	8,5
	> 300	8,5
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	≤ 300	8,5
	> 300	7,0
Плотность, г/см ³ , не менее	≤ 300	1,53
	> 300	1,52
Модуль Юнга, ГПа, не более	≤ 300	9,3
	> 300	9,3

4. АНАЛИЗ И ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ РАСХОДА ЭЛЕКТРОДОВ

В ходе проведения исследовательской работы по литературным источникам были определены следующие факторы, влияющие на удельный расход графитированных электродов:

4.1 Сортамент выплавляемой стали и технология выплавки.

В зависимости от марки выплавляемой стали, технология выплавки на ПАО «ЧМК» подразделяется на технологию для рельсовой и нерельсовой стали.

Основными различиями в технологии выплавки стали рельсового и нерельсового сортов являются:

- Различие в температурах выпуска стали (полупродукта) из кислородного конвертора;
- Технологическая цепочка производства рельсовой стали подразумевает вакуумирование. Выпуск металла под вакуумирование предполагает наличие «свободного борта», что означает меньшую массу плавки и перегрев металла на 50-60 градусов. Данные факторы негативно отражают удельный расход электродов на тонну стали.

4.2 Влияние горячих простоев и температуры окружающей среды.

Влияние температуры окружающей среды на расход графитированных электродов для условий Юного Урала играет важную роль ввиду больших температурных перепадов в зимнее время. Опыт эксплуатации графитированных электродов на предприятиях группы «Мечел» показывает увеличение расхода электродов в зимнее время, особенно с увеличением горячих простоев и цикличности работы, связанной с правильной работой всего оборудования в цехе.

Полученные зависимости (рис. 2) указывают на увеличение удельного расхода электродов при увеличении горячих простоев печи и снижении температуры окружающей среды.

Во избежание повышенного расхода графитированных электродов в данном случае, необходимо максимально минимизировать горячие простои и сделать выплавку непрерывной.

4.3 Качество электродов.

На свечах электродов отдельных производителей отмечено образование продольных трещин длиной от 30 см до 100 см, начинающихся от стыка электродных секций. При этом были отмечены случаи сколов электродов после возникновения данных трещин. Скол происходит по ниппельному соединению.

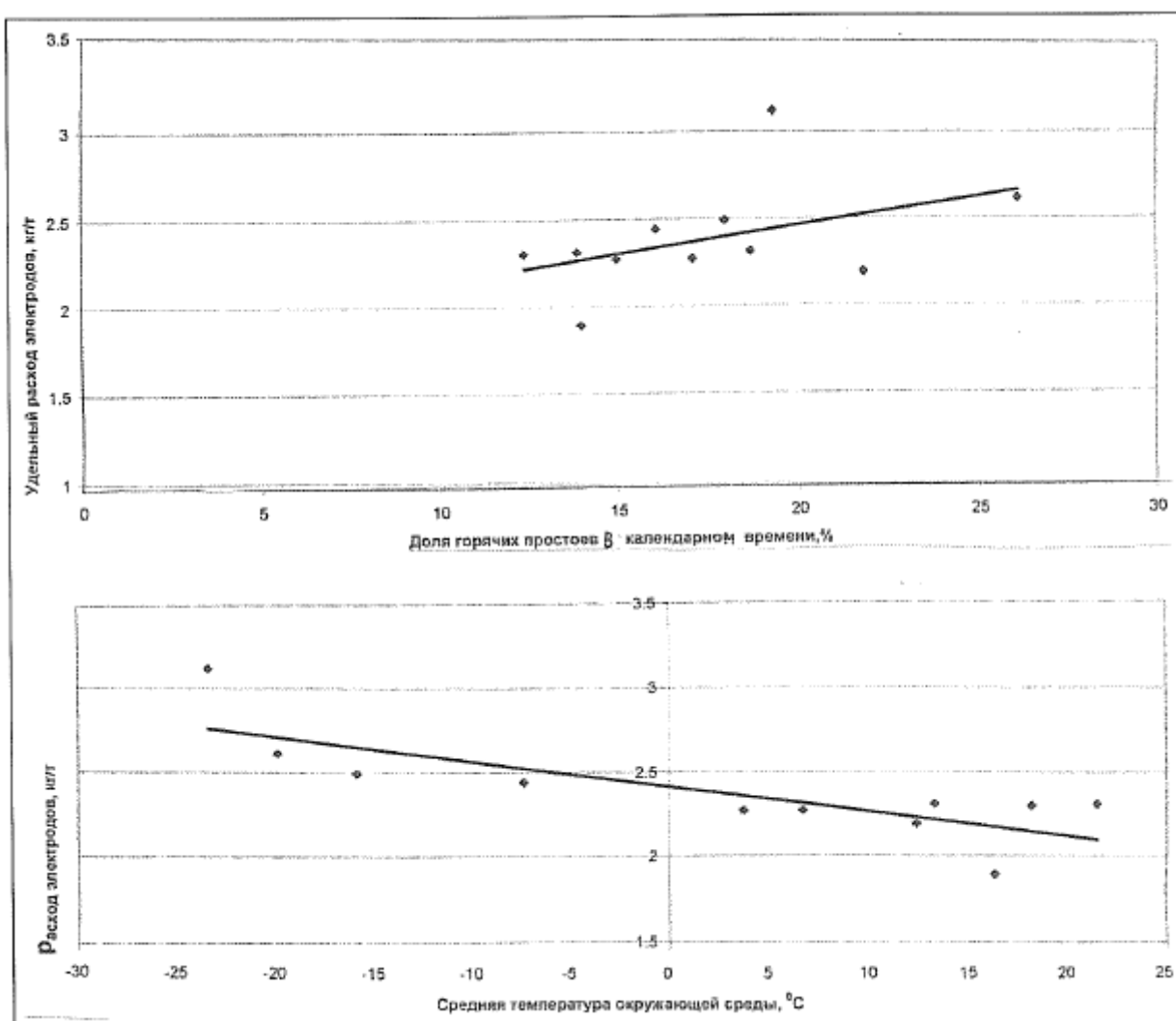


Рисунок 3 – Зависимости удельного расхода электродов от доли горячих простоев в календарном времени и средней температуры окружающей среды.

По-видимому, причиной возникновения данных трещин может являться наличие неоднородностей в теле электрода, связанных с нарушением технологического процесса при производстве электродов. Разница в коэффициентах теплового расширения участков электрода с неоднородностями приводит к образованию механических напряжений и микротрещин. Данную ситуацию значительно усугубляют циклы нагрева/охлаждения, при замене/хранении, особенно в период отрицательной температуры окружающей среды. Наличие неоднородностей можно определить измерением удельного электрического сопротивления (УЭС) электрода по его длине. Разница в удельном электросопротивлении укажет на наличие неоднородности в теле электрода.

4.4 Техническое состояние электропечного оборудования.

Часто при анализе работы печей не учитывается техническое состояние оборудования, так как предполагается, что оборудование исправно и работает в соответствии с заданными режимами.

Однако на удельный расход электродов значительное влияние оказывают:

- Нарушение диаметра распада и триангуляции электродов в рабочем пространстве печи. Так, наличие незначительного небаланса реактивных сопротивлений цепи вторичного токопровода приводит к дисбалансу вводимой активной мощности по фазам. Отсутствие правильного распада электродов, связанное с неправильной установкой центра диаметра распада электродов относительно центра подины печи, а также с деформацией зажимных хомутов электрододержателей приводит к повышенному износу футеровки в отдельных местах печи, прогарам водоохлаждаемых панелей

печи и повышенному расходу графитированных электродов. Так, при значении небаланса выше 5% было отмечено увеличение удельного расхода электродов на 4,7%;

- Работа газокислородных фурм-горелок: износ сопел не позволяет формировать необходимую форму пламени горелки и кислородной струи при продувке, что снижает эффективность нагрева металлошихты и увеличивает длительность окислительных процессов в печи из-за недостаточного проникновения кислородной струи вглубь расплава. Следствием является увеличение продолжительности плавки, расхода энергии и электродов;

- Работа системы вдувания коксовой пыли в печь – наличие хорошо вспененного шлака по всему объему ванны печи является необходимым условием ведения плавки на длинных дугах, выход из строя одной или нескольких фурм для вдувания снижает эффективность формирования вспененного шлака.

4.5 Другие факторы, влияющие на удельный расход электродов. Следует отметить, прежде всего, усилие свинчивания секций электродов, длину секций, орошение электродов и плотность ниппеля.

Каждый производитель электродов регламентирует оптимальный момент затяжки при их свинчивании для обеспечения наилучшего электрического контакта. Недостаточный момент затяжки проявляется в разгаре электрода в районе ниппельных соединений. Поэтому для нормального режима работы электродов необходимо при соединении секций обеспечить значение момента затяжки, рекомендованного производителем электродов. Данное требование выполняется при наличии установки для механизированного свинчивания электродов.

Применение коротких электродных секций, длиной менее 2250 мм, увеличивает число операций по замене электродов. Общее приводит к росту потерь электродной массы при разрушении ниппельного соединения в зоне

горения дуги. В целом, при использовании коротких электродных секций расход электродов возрастает в среднем на 3,2%.

Наличие водяного орошения электродов позволяет значительно снизить зону окисления боковой поверхности электрода, что уменьшает расход электродов на 8-10%. В зимнее время рекомендованы мероприятия, обеспечивающие подачу горячей воды для орошения электродов с целью исключить замерзание подвода воды.

Объемная плотность электродного ниппеля заметно влияет на расход электродов. Более плотная масса ниппеля обеспечивает более низкое значение УЭС и лучшие механические свойства. Данный фактор снижает вероятность поломки электрода по ниппелю.

6. АНАЛИЗ РАСХОДА ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ПО ФАКТИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

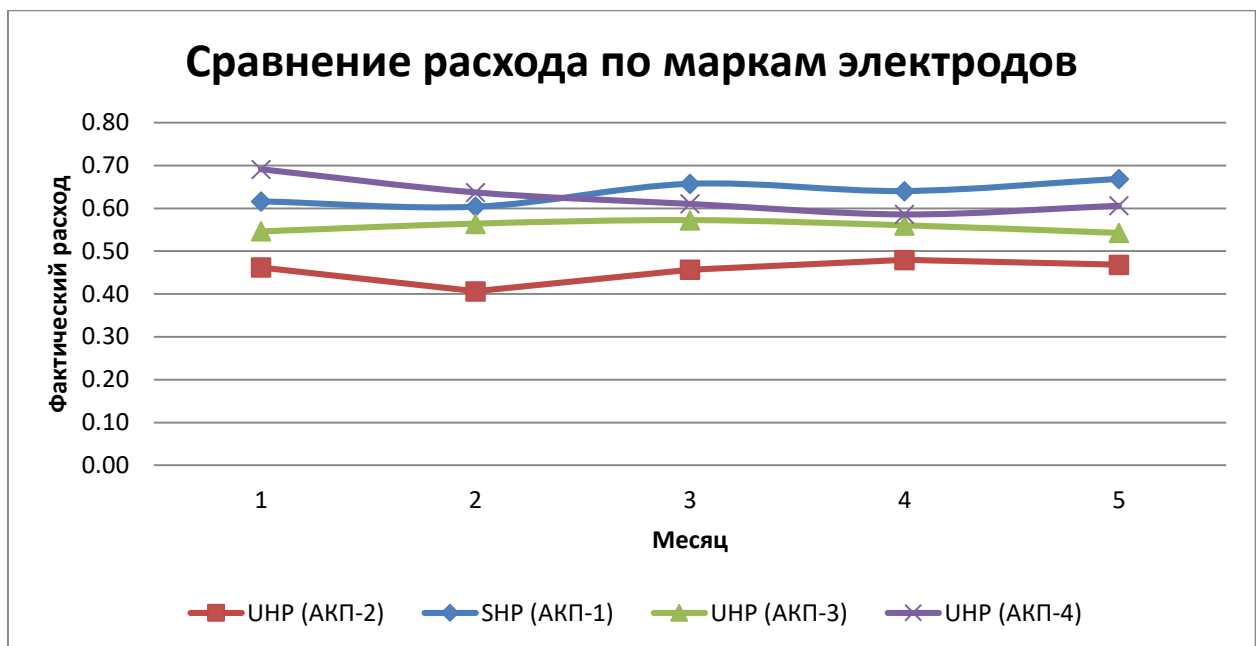


Рисунок 4 – Сравнение фактического расхода электродов по маркам

Таблица 4 – Расход электродов д.400 марки SHP на АКП-1

	КНР CJS			НЭЗ			Нег			ИТОГО (без учета поломок)
	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	
Январь	14,63	23 208,00	0,63	24,93	41 383,00	0,60				0,62
Февраль	13,28	21 500,00	0,62	14,50	25 000,00	0,58	5,20	8 461,00	0,61	0,60
март	15,48	22 000,00	0,70	23,54	38 567,00	0,61				0,66
апрель	14,05	21 964,00	0,64	25,00	39 000,00	0,64				0,64
май	15,24	22 128,00	0,69	19,80	30 541,00	0,65				0,67
ИТОГО	27,91	44 708,00	0,62	39,43	66 383,00	0,59	5,20	8 461,00	0,61	

Таблица 5 – Расход электродов д.400 марки UHP на АКП-2

	КНР CJS			НЭЗ			Нег			ИТОГО (без учета поломок)
	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	
Январь	15,76	34 112,00	0,46	21,65	46 851,00	0,46				0,46
Февраль	11,30	26 353,00	0,43	14,95	37 375,00	0,40	4,29	10 987,00	0,39	0,41
март	20,10	42 560,00	0,47	15,23	34 512,00	0,44	10,10	22 100,00	0,46	0,46
апрель	29,04	55 251,00	0,53	20,06	46 231,00	0,43				0,48
май	15,63	33 784,00	0,46	25,00	52 750,00	0,47				0,47
ИТОГО	27,06	60 465,00	0,45	36,60	84 226,00	0,43	4,29	10 987,00	0,39	

Таблица 6 – Расход электродов д.400 марки UHP на АКП-3

	КНР CJS			НЭЗ			Нег			ИТОГО (без учета поломок)
	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	
Январь	8,13	14 890,00	0,55	21,67	39 645,00	0,55				0,55
Февраль	10,00	17 730,00	0,56	12,50	22 144,00	0,56	4,20	7 446,00	0,56	0,56
Март	20,45	34 586,00	0,59	20,15	33 480,00	0,60	5,45	10 412,00	0,52	0,57
Апрель	20,14	33 240,00	0,61	19,95	35 150,00	0,57	6,41	12 632,00	0,51	0,56
Май	19,95	33 520,00	0,60	18,85	32 654,00	0,58	4,95	10 857,00	0,46	0,54
ИТОГО	18,13	32 620,00	0,56	34,17	61 789,00	0,56	4,20	7 446,00	0,56	

Таблица 7 – Расход электродов д.400 марки UHP на АКП-4

	КНР CJS			НЭЗ			Нег			ИТОГО (без учета поломок)
	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	Кол-во, т	Объем применения, т	кг/тн, без учета поломок	
Январь	9,16	13 271,00	0,69	31,97	46 185,00	0,69				0,69
Февраль	11,00	17 268,00	0,64	15,92	24 979,00	0,64	4,08	6 400,00	0,64	0,64
Март	23,10	35 535,00	0,65	20,45	33 210,00	0,62	10,55	18 642,00	0,57	0,61
Апрель	15,65	26 458,00	0,59	20,00	32 735,00	0,61	15,15	27 245,00	0,56	0,59
Май	15,35	24 250,00	0,63	19,90	31 240,00	0,64	10,00	18 210,00	0,55	0,61
ИТОГО	20,16	30 539,00	0,66	47,89	71 164,00	0,66	4,08	6 400,00	0,64	

В таблице 4 наглядно видна разница удельного расхода электродов марки SHP между расходом электродов марки UHP, представленные в таблицах 5 и 6, ввиду качественных характеристик. Особенности строения и состава представленных электродов из игольчатого кокса с пропиткой (UHP) и нефтяного кокса с каменноугольным пеком с пропиткой (SHP) показывают значительную разность между их расходами, порядка 15-30 при правильно работающем печном оборудовании, минимальными простоями и соблюдении технологии выплавки.

В таблице 7 представлены показатели расхода электродов марки UHP на АКП-4. Данный агрегат является частью комплекса агрегатов по выплавке рельсовой стали марки K76Ф на ПАО «ЧМК», что подразумевает дальнейшее вакуумирование стали.

Как и обозначалось выше, вакуумирование стали требует ее перегрев, во избежание преждевременного остывания до температуры ликвидус, что приведет к невозможности разливки и съезду машины непрерывного литья заготовки (МНЛЗ). Ввиду перегрева металла на 50-60 градусов, увеличивается время нагрева металла и нахождения электродов в ковше под током для нагрева, вследствие чего увеличивается расход электродов

Также не мало важным фактором в данном случае является наличие свободного борта ковша порядка 500-700 мм, во избежание аварийных ситуаций при разбрызгивания металла при интенсивном перемешивании под вакуумом. Данный фактор также как перегрев негативно влияет на удельный расход электродов, ввиду использования электродов для нагрева меньшего по объему металла, к тому же еще дольше по времени, чем рядовые марки стали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённой квалификационной работы были выявлены основные причины расхода графитированных электродов и рассмотрены способы снижения данного показателя

В квалификационной работе приведены агрегаты, использующие графитированные электроды, схема и описание производства графитированных электродов, анализ и основные причины расхода электродов, а так же анализ графитированных электродов по фактическим показателям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ООО «Наука и Технологии» – М.: Научно-технический, производственный и учебно-методический журнал «Электromеталлургия» № 12, 2010 – 23 с.
2. Грудницкий О.М., Коробов В.М., Исхаков Р.А. – М.: Пути снижения расхода графитированных электродов на электродуговых сталеплавильных печах, 2011 – 59 с.
3. Поволоцкий Д.Я., Рощин В.Е., Рысс М.А. и др. Электromеталлургия стали и ферросплавов. - М.: Металлургия, 1974 – 551 с.
4. Алиферов А.И., Бикеев Р.А., Горева Л.П. и др. Дуговые электropечи. – М.: Электроэнергетика и электротехника, 2016 – 56 с.