

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

4252602
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

МИХЕЕВ Александр Юрьевич

На правах рукописи

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА
ПОРОШКОВО-КОПЬЕВОЙ РЕЗКИ И ПРОЖИГАНИЯ
МЕТАЛЛОВ, ШЛАКОВ, ОГНЕУПОРОВ
В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

(05.04.05 — Технология и машины сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель — доц., к. т. н. ЕВСЕЕВ Г. Б.

Официальные оппоненты:
проф., д. т. н. ВЛАДИМИРСКИЙ Т. А., ЦНИИ МПС,
доц., к. т. н. КЛЕБАНОВ Г. Н., МВМИ.

Ведущее предприятие — электрометаллургический завод
«ЭЛЕКТРОСТАЛЬ», г. Электросталь

Автореферат разослан « » 1974 г.

Защита диссертации состоится « » 1974 г.

на заседании совета МВТУ им. Н. Э. Баумана по адресу:
Москва, 107005, 2-ая Бауманская ул., дом 5.

С диссертацией можно озн
им. Н. Э. Баумана.

Ваши отзывы на авторе
ные печатью, просим нап

Ученый секретарь Со

4232602

Анализ металлургического производства показал, что процесс производства чугуна и стали сопровождается образованием большого количества крупногабаритного тяжелого лома, массивов со значительным содержанием металла весом до 60-80 тонн. Этот металл может быть использован в качестве вторичного сырья. Для этого негабаритные массивы должны быть разделены на куски определенного размера, обусловленного ГОСТом 2787-63. Это осуществляется в копровых цехах металлургических заводов, оснащенных специальным оборудованием. Однако разделительная резка и прожигание отверстий (шпурение) в сильно зашлакованных массивах оказываются затруднительными, а в некоторых случаях невозможными. Из-за больших размеров вывоз массивов с территории завода исключен. В связи с этим копровый цех и прилегающая территория загромождаются большим количеством массивов; кроме того заводы теряют миллионы тонн металла.

С другой стороны, металлургические агрегаты (доменные, мартеновские печи, конвертеры) нуждаются в профилактическом и капитальном ремонте, связанных с разделением на части больших массивов - "козлов", огнеупорных кладок, застывшего шлака, резкой многослойных сочетаний сталь-чугун-шамот значительной толщины.

Таким образом, для нормальной работы металлургического производства требуется выполнение следующих наиболее трудоемких работ: разделение массивов в холодном или горячем состоянии, образованных застывшим металлом и содержащих значительное количество неметаллических материалов; резка корпусов доменных печей при выполнении ремонтных работ; резка и прожигание отверстий при разборке шлаковиков мартеновских печей; отрезка конвертерных настилов и другие операции.

1. Способы обработки металлургических материалов.

Применяемые в настоящее время способы обработки металлургических материалов можно разделить на 3 группы: механические, взрывные и термические.

Из механических способов широкое распространение получили разбивка копрами, образование отверстий перфораторами, сверлиль-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1232602

Михеев А. Ю. Исследование

ными установками, а также разборка неметаллических материалов отбойными молотками.

Разделение массивов с помощью копров имеет ряд недостатков, а именно: невозможность обработки тяжелых массивов весом 60-80 тонн; высокая стоимость оборудования; необходимость перевозки и проведения крайне трудоемких погрузочно-разгрузочных работ.

Взрывные способы, благодаря исключительно высокой производительности, обладают большим преимуществом перед другими способами. Однако, несмотря на то, что время взрыва составляет доли секунды, требуется значительное время на шпурение отверстий под заряды.

Сверлильные установки и перфораторы, применяемые для этой цели, имеют малую производительность, что снижает эффективность взрывных способов. С другой стороны, взрывные способы создают повышенную опасность для обслуживающего персонала, для окружающего оборудования и сооружений, а также требуют соблюдения очень жестких правил техники безопасности.

Для разделительной резки или прожигания отверстий из термических способов применение находят реактивные и плазменные горелки, дуга косвенного действия, кислородно-флюсовый резак, кислородное, стержневое и порошковое копье.

С помощью некоторых термических способов, в частности порошкового копья, можно выполнять резку и прожигание отверстий в материалах толщиной более 2-х метров в любом пространственном положении.

Следует отметить, что термические способы могут применяться в совокупности с существующими механическими или взрывными способами, например, для шпурения отверстий под заряды, подрезки крупногабаритных сильно зашлакованных массивов перед разбивкой копром и т.д.

Целью настоящей работы явилось исследование и разработка процесса порошково-копьевой резки и прожигания зашлакованной стали, чугуна, шлака, огнеупоров и их сочетаний, а также создание оборудования для промышленной реализации процесса.

Основные исследования по разделительной резке и прожиганию отверстий выполнялись в производственных условиях на промышленных объектах.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

М В Т У
им. Н. С. Савина
БИБЛИОТЕКА

Учитывая специфику и требования металлургических предприятий, базами для проведения экспериментов и объектами последующего внедрения процесса являлись: Московский завод "Серп и Молот", Магнитогорский металлургический комбинат, Ново-Липецкий металлургический завод, Днепродзержинский металлургический завод им.Петровского.

2. Сущность процесса порошково-копьевой обработки металлургических материалов.

Порошковое копье представляет собой газопроводную трубку диаметром $3/8"$ или $1/2"$ длиной 2-7 метров, в которую подается флюс и кислород. После нагрева конца копья и подачи кислорода и флюса начинается процесс горения стальной трубки. Одновременно происходит нагрев и горение флюса, поступающего в копье. В результате совместного горения трубки и флюса на конце копья образуется высокотемпературный факел длиной 100-150 мм. Процесс резки или прожигания заключается в расплавлении того участка обрабатываемого материала, на который направлен факел копья, и последующем удалении образовавшегося шлака.

Вопрос удаления шлака весьма важен. Скапливаясь в зоне разреза или отверстия, шлак подвергается многократной переплавке, образуются "карманы", а застывая шлак прилипает к копью, затрудняя его перемещение. В результате резко снижается производительность при резке даже средних толщин (400-700 мм), а обработка больших толщин оказывается невозможной.

Очевидно, что интенсивность удаления шлака существенно зависит от его жидкотекучести. Применяя флюсы различного состава, можно добиться получения шлака, обладающего минимальной вязкостью. Это одно из важных преимуществ порошкового копья перед другими термическими способами, обладающими высокой тепловой мощностью, но в результате действия которых на обрабатываемый материал образуются шлаки, состоящие только из компонентов этого материала. Некоторые же материалы, например, огнеупоры, в расплавленном состоянии обладают значительной вязкостью, в связи с чем флюсование в данном случае необходимо.

Таким образом, процесс порошково-копьевой обработки представляет собой тесную взаимосвязь трех факторов: теплового, ме-

таллургического и механического. Теплота, выделяемая порошковым копьем, расплавляет обрабатываемый материал и создает условия для проявления металлургического фактора. Металлургический фактор, заключающийся во флюсовании расплавленного шлака, снижает его температуру плавления и увеличивает жидкотекучесть. Непрерывное удаление образующегося шлака обеспечивается действием механического фактора.

Теплоты, выделяющейся при сгорании только копья, недостаточно для расплавления обрабатываемого материала. Увеличение тепловой мощности источника осуществляется применением специальных флюсов, состоящих из смеси порошков, обладающих высоким тепловым эффектом окисления. Другие требования, предъявляемые к порошкам флюса, — их недефицитность, относительно невысокая стоимость, требуемый гранулометрический состав. Рассмотрение различных металлических порошков: Fe , Mg , Ti , Al и других показало перспективность применения в качестве флюса смеси железного и алюминиевого порошков, обладающих высоким тепловым эффектом образования окислов (FeO — $64,5 \frac{\text{ккал}}{\text{г.моль}}$; Fe_2O_3 — $195,2 \frac{\text{ккал}}{\text{г.моль}}$; Fe_3O_4 — $266,8 \frac{\text{ккал}}{\text{г.моль}}$; Al_2O_3 — $400 \frac{\text{ккал}}{\text{г.моль}}$). Расчеты тепловой мощности факела копья при использовании железо-алюминиевого флюса показали характер зависимости прихода теплоты от расхода кислорода и флюса. Имея тенденцию к увеличению, приход теплоты нарастает значительно интенсивнее с увеличением расхода флюса, нежели при увеличении расхода кислорода.

Построение теплового баланса позволило установить, какую часть общего теплосодержания факела составляет теплота, выделяющаяся при сгорании компонентов флюса и металла копья, а с другой стороны — куда расходуется эта теплота. Наибольшей составляющей приходной части баланса (50–60%) является теплота окисления железа флюса. Основная часть теплоты факела расходуется на образование расплавленного шлака и его нагрев. Потери теплоты составляют значительную величину, однако с увеличением толщины обрабатываемого материала происходит перераспределение расходуемой теплоты; увеличивается доля, идущая на нагрев шлака, а потери существенно уменьшаются. Это говорит о более рациональном использовании теплоты при обработке материалов больших толщин.

Кроме того, что при сгорании флюса выделяется дополнительное количество теплоты, образующиеся окислы, смешиваясь с рас-

плавленным материалом, могут оказывать влияние на свойства расплава, изменяя температуру его плавления и вязкость. Известно, что некоторые окислы, будучи введенными в силикатный расплав, снижают его температуру плавления. Для этой цели могут быть использованы K_2O , Na_2O , FeO и другие. Степень влияния различных окислов можно установить по диаграммам плавкости. Как видно, на диаграммах плавкости систем $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$, $FeO - SiO_2 - Al_2O_3$ имеются участки с низкой температурой плавления порядка 1100–1300°C. Следовательно, изменяя состав флюса, можно получить шлак, обладающий относительно низкой температурой плавления. Наиболее существенное снижение температуры плавления наблюдается при введении FeO , особенно при содержании его более 60%.

Для выявления возможности снижения вязкости расплава были рассмотрены окислы как уменьшающие вязкость (FeO , MgO , Na_2O , K_2O), так и увеличивающие ее (Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2). Так, увеличение содержания Al_2O_3 в шлаке, состоящем из окислов SiO_2 , FeO , CaO и Al_2O_3 , с 5 до 11% увеличивает вязкость в 6–8 раз в зависимости от температуры нагрева. Увеличение содержания SiO_2 сказывается на увеличении вязкости, однако в меньшей степени, чем Al_2O_3 ; лишь при содержании SiO_2 более 30% вязкость расплава становится значительной.

Эффективно снижает вязкость расплава увеличение содержания в нем FeO . Так, шлак, состоящий в основном из окислов кремния, кальция, алюминия и железа, при содержании FeO около 50%, имеет вязкость порядка 5–6 пуаз, т.е. является очень жидкотекучим.

В связи с тем, что железо имеет высокий тепловой эффект окисления, а окислы железа способствуют значительному снижению вязкости расплава, в качестве основного компонента флюса выбран железный порошок. Небольшая добавка алюминиевого порошка, имеющего высокий тепловой эффект окисления, должна увеличить общую мощность факела копы. Ориентировочное содержание железа и алюминия во флюсе определено расчетным путем. Для этого использована методика расчета флюса для резки нержавеющей стали, в которую внесены коррективы, позволяющие установить, какие окислы и в каком количестве попадают в шлаковую систему из флюса, а какие – из разрезаемого материала. Расчет флюса ведется по оптимальному составу шлака. Оптимальным составом шлака является химический состав

наиболее низкотемпературной зоны на диаграмме плавкости $FeO - Al_2O_3 - SiO_2$ с учетом получения наименьшей вязкости: Al_2O_3 - менее 20%, SiO_2 - менее 30%, CaO - менее 5%, окислов железа - более 60%.

Расчеты показали, что содержание во флюсе алюминия при резке огнеупоров составляет 15-17%. Следовательно, состав флюса для резки огнеупоров: 15% Al и 85% Fe по объему. Расчетным путем определен также состав флюса для обработки зашлакованного чугуна.

Учитывая эффективность кислорода, расход которого при порошково-копьевой обработке довольно значителен, расчетным путем определено количество кислорода, идущего непосредственно на окисление флюса и копия. Установлено, что расход химически активного кислорода менее 25% от общего расхода кислорода. Увеличение расхода кислорода ведет к возрастанию количества химически активного кислорода, что связано с увеличением чистоты кислорода.

Процесс разделительной резки или прожигания различных материалов, особенно металлургического шлака, огнеупоров, сопровождается образованием большого количества шлака, объем которого во много раз превышает объем образованного разреза или отверстия. Таким образом, нормальное ведение процесса возможно при своевременном удалении шлака. Удаление шлака происходит под действием его собственного веса и за счет кинетической энергии кислородно-флюсовой струи, а также благодаря механическому удалению концом копия, особенно при образовании вязкого шлака. Для увеличения механического воздействия флюсовой струи на расплавленный шлак с целью лучшего его удаления во флюс добавляется песок, состоящий в основном из SiO_2 . Песок добавляется ограниченно, в таком количестве, чтобы содержание SiO_2 в шлаке не выходило за норму, обусловленную оптимальным составом последнего.

3. Исследование некоторых свойств шлаков.

Так как порошково-копьевой процесс существенно зависит от своевременного удаления образующихся шлаков, были исследованы их структуры и вязкость. Структура исследовалась на образцах шлака, полученного при резке шихты флюсом разного состава. Выполненный на основе химического анализа шлаков ориентировочный расчет на минеральный состав предположил наличие в шлаке магнетита, фаялита

и стекла, что было подтверждено микрорентгеноспектральным анализом.

Просмотр полированных шлифов показал наличие 3-х фаз, однако размеры и форма кристаллов были различны в зависимости от состава флюса. Так, использование в качестве флюса смеси из 90% Fe и 10% Al приводит к росту довольно крупных кристаллов магнетита размером 0,08–0,12 мм. Рост кристаллов обусловлен значительным временем нагрева и расплавления огнеупора из-за меньшей тепловой мощности источника. Существенно отличается структура шлака, полученного при резке флюсом, состоящим из 75% Fe и 25% Al, хотя фазовый состав остался тем же. В данном случае магнетит представляет собой "скелетные" образования, между которыми кристаллизуется фаялит в тонком прорастании со стеклом. Несовершенная "скелетная" кристаллизация, причиной которой является перегрев расплава, разрушение центров кристаллизации, говорит об относительно большой вязкости расплава. Структура шлака, образующегося при резке флюсом, состоящим из 85% Fe и 15% Al, аналогична полученной при 10% Al во флюсе, но кристаллы магнетита значительно мельче, имея в поперечнике 0,01–0,07 мм, со сглаженными краями. Таким образом, в данном случае можно ожидать получения шлака, обладающего наименьшей вязкостью.

Для измерения вязкости расплавленных шлаков был использован вискозиметр, состоящий из двух коаксиальных цилиндров, причем наружный вращается с постоянной скоростью. Предварительные эксперименты по определению температуры плавления шлаков показали, что источник нагрева вискозиметра должен обеспечить нагрев до 1550–1600°C. Замеры вязкости подтвердили предположение о влиянии компонентов флюса на вязкость расплава. Содержание окислов железа в пределах 70–85% при 1500°C снижает вязкость до 1–10 пуаз; присутствие в шлаке глинозема до 20% и кремнезема в пределах 8–15% увеличивает вязкость расплава, однако, как и ожидалось, вязкость остается достаточно низкой и не превышает 10–12 пуаз при 1500°C.

4. Оборудование.

Реализация процессов порошково-копьевой резки и прожигания потребовала, помимо использования существующего оборудования (кислородной десятибаллонной рампы), разработки новой конструкции

флюсопитателя. Используемые в настоящее время для резки нержавеющей стали флюсопитатели установок УФР-2,4; УРХС-3,4, 5,6 не могут быть применены при порошково-копьевом процессе, так как не обеспечивают подачу требуемого количества флюса, а также не рассчитаны на подачу порошка марки "ОМ" (очень мелкий). Установка УФР-5 для резки железобетона, обеспечивающая подачу мелкодисперсного флюса в зону резки, может быть использована для обработки металлургических материалов, однако специфика работы предъявила новые требования к установке: возможность дистанционного управления порошковым клапаном; увеличение емкости бункера флюсопитателя и удельного расхода флюса; дистанционное зажигание копия; сокращение расхода трубок, используемых в качестве копий; возможность применения копий длиной до 7 метров. Все эти требования в той или иной степени были реализованы при проектировании и изготовлении установки УФР-6.

Флюсопитатель установки УФР-6 рассчитан на загрузку 100 кг флюса, что обеспечивает непрерывную работу в течение 2-3 часов. Так как в некоторых случаях, например, при резке неравномерно зашлакованной стали более эффективно применение кислородно-копьевого процесса взамен порошково-копьевого, то наличие дистанционного управления подачей флюса в совокупности с дистанционным зажиганием копия позволяет резчику осуществлять этот процесс без посторонней помощи. Копьедержатель обеспечивает подачу в зону резки до 200 м³/час кислорода при использовании копий длиной до 7 метров.

Применение жаростойкого покрытия копий, представляющего собой слой Al_2O_3 , толщиной до 1,0 мм сокращает расход трубок в 3-4 раза по сравнению с непокрытыми.

5. Техника и технология резки и прожигания.

Техника разделительной резки и прожигания отверстий отрабатывалась в лабораторных условиях на образцах толщиной 65-325 мм и в производственных условиях на зашлакованных массивах толщиной до 1,5-2,0 метров. Так как обработке подлежат многотонные массивы, разработаны способы обеспечивающие выполнение резки и прожигания в любом пространственном положении, что позволяет сократить трудоемкие операции по транспортировке и кантованию тяжелых

10

объектов. Наиболее часто приходится выполнять резку в нижнем или вертикальном положении, для чего можно применить "послойный" либо "ступенчатый" способы. При резке средних толщин, когда длина реза не превышает 800–1000 мм, рекомендуется применять "послойный" способ сверху вниз. В этом случае копье перемещается возвратно-поступательно вдоль всей кромки реза. При большой протяженности линии резка шлаковая ванна успевает охладиться и требуется дополнительное тепло для поддержания требуемой температуры шлака, в связи с чем более рациональной является "послойная" резка снизу вверх, обеспечивающая хорошее удаление шлака. Для резки больших толщин рекомендуется применять "ступенчатый" способ, при котором копье направляется почти перпендикулярно к обрабатываемой поверхности. Процесс заключается в поочередном расплавлении небольших участков длиной 150–200 мм.

Прожигание отверстий более эффективно выполнять в горизонтальном положении. Необходимость прожигания отверстий в вертикальной плоскости сверху вниз связана с увеличением давления кислорода до 15–20 атм из-за трудности удаления шлака.

Критерием оценки различных параметров процесса разделительной резки являлась производительность (площадь разреза, образованная в единицу времени), а процесса прожигания – скорость образования отверстия.

Так как расчет состава флюса являлся ориентировочным, были проведены эксперименты по резке и прожиганию флюсом, отличным от расчетного содержанием Fe , Al , SiO_2 в ту или иную сторону. Подтверждено, что расчетные составы флюсов являются оптимальными. Экспериментально подтверждено существенное влияние на производительность процессов расхода флюса и кислорода. Увеличение расхода флюса, сопровождающееся увеличением теплоты, выделяющейся при его сгорании, ведет к росту производительности резки и скорости прожигания. Однако чрезмерно большие расходы флюса порядка 1300–1500 г/мин снижают эффективность процесса, так как образуется большое количество шлака, который не успевает удалиться из зоны разреза или отверстия и многократно переплавляется. Увеличение расхода кислорода, в связи с увеличением степени окисления компонентов флюса и железа разрезаемого материала, а также кинетической энергии струи, существенно увеличивает производительность

резки и скорость прожигания. При резке зашлакованных металлов оптимальный расход кислорода составляет 120–150 м³/час, при резке неметаллов – 80–90 м³/час. Давление кислорода при резке 1,5–2,5 ати, при прожигании отверстий 6–9 ати в зависимости от толщины обрабатываемого материала.

При выборе оптимальных режимов наблюдается противоречие между получением максимальной производительности процессов и стоимостью затраченных материалов. Поэтому резку и прожигание на оптимальных режимах следует вести при выполнении ежедневных обычных работ, например, по резке "козлов" или их шпурению. Работы же, связанные с простым дорогостоящего оборудования, сопровождающимся потерей сотен и тысяч тонн металла, следует вести на форсированных режимах, при повышенных расходах флюса и кислорода.

Важным параметром порошково-копьевого процесса является ширина разреза и диаметр образуемого отверстия. Даже в тех случаях, когда не требуется получения разреза определенной ширины, например, при разделительной резке зашлакованных массивов, увеличение ширины разреза связано с расплавлением дополнительного количества обрабатываемого материала, что, в свою очередь, ведет к непроизводительным затратам теплоты, выделяемой факелом, повышенным расходом флюса, трубки и т.д. Если ширина разреза обычно не лимитируется, а лишь в некоторых случаях требуется получение разреза минимальной ширины, то при образовании шпуров (отверстий под взрывчатые заряды) допускается увеличение отверстия на 3–4 мм по сравнению с диаметром пиропатрона. Установлено, что увеличение расхода флюса при постоянном диаметре копья 3/8" приводит к значительному увеличению ширины разреза и диаметра отверстия. Так, изменение расхода флюса с 300 до 850 г/мин ведет к увеличению ширины разреза с 23–26 до 34–48 мм и диаметра отверстия с 28–38 до 40–70 мм в зависимости от обрабатываемого материала. Увеличение расхода кислорода в значительно меньшей степени сказывается на увеличении этих параметров.

Порошково-копьевая резка и, особенно, прожигание отверстий связано с большим расходом газопроводных труб, используемых в качестве копий. Так, при прожигании отверстий расход трубки составляет 10–25 м на I погонный м образуемого отверстия. Для уменьшения расхода дефицитных труб были проведены эксперименты по прожиганию отверстий трубами, покрытыми защитным покрытием из Ag_2O_3

различной толщины. Установлено, что покрытие толщиной 0,5 мм снижает скорость горения копы в 2,5 раза. Увеличение толщины покрытия до 1,0 мм снижает скорость сгорания в 3,5-4 раза по сравнению с непокрытыми трубками, однако при толщине покрытия более 0,5 мм наблюдается отслаивание его при транспортировке на значительных участках копы.

6. Применение порошкового копы в черной металлургии.

После проведения теоретических исследований и лабораторных поисковых экспериментов дальнейшие работы по отработке техники и технологии порошково-копьевой разделительной резки и пролигания отверстий с последующим внедрением процессов осуществлялись на ряде крупнейших металлургических комбинатов и заводов страны.

На Днепродзержинском металлургическом заводе порошковое копы было применено для разделительной резки зашлакованных стальных массивов взамен кислородного копы. Кислородное копы, обеспечивая высокую производительность при резке чистых "козлов", при наличии неметаллических примесей снижает эффективность либо вообще неприменимо.

В результате выполнения порошковым копьем большого количества разрезов на зашлакованных "козлах" выявлена его высокая эффективность. Резка производилась флюсом, состоящим из 80% железного и 20% алюминиевого порошков (по объему) при его расходе 850 г/мин. Расход кислорода составлял около 120 м³/час при давлении на копьедержателе 2-2,5 ати. Производительность резки составила 250-260 см²/мин, что соответствует производительности кислородного копы при обработке чистых стальных массивов.

Образование большого количества шпуров в зашлакованных чугуновых массивах на металлургическом заводе в г.Липецке представляло значительные трудности при использовании сверлильных установок, кислородных или стержневых копий, отличающихся низкой производительностью. Применение порошкового копы позволило сократить расход труб, облегчить условия труда и повысить производительность процесса. Так, использование в качестве флюса смеси порошков железа (70%), алюминия (15%) и окиси кремния (15%) при расходе флюса 900 г/мин и кислорода около 95 м³/час обеспечивает

прожигание отверстий со скоростью 230–250 мм/мин, что в 5 раз превышает скорость образования отверстий другими способами.

Еще одним примером может служить вырезка порошковым копьем технологического проема в фурменной зоне доменной печи при ее капитальном ремонте. Доменная печь в этом месте представляет многослойное сочетание различных материалов, а именно: стальной кожух толщиной 36–40 мм, шамотная масса толщиной 30–40 мм, чугунный холодильник толщиной 180–200 мм, шамотная кладка толщиной 600–650 мм. Сквозное прорезание осуществлялось трубками диаметром 3/8" длиной 7 м. Расход флюса, состоявшего из смеси 85% Fe и 15% Al, составлял 800 г/мин при расходе кислорода около 100 м³/час. Проем размером 2х3 метра был вырезан за 3 часа. Ранее подобные проемы образовывали за 12–15 часов. За счет сокращения срока простоя доменной печи и экономии материалов получен значительный экономический эффект. В настоящее время трестами "Уралдомнаремонт" и "Укрдомнаремонт" процесс порошково-копьевой резки распространен на многих предприятиях Урала и Украины.

Широкое применение порошкового копы на предприятиях черной металлургии показало высокую эффективность и экономичность разработанного процесса и оборудования.

Выводы

На основании выполненной работы могут быть сделаны следующие выводы:

1. Применение порошкового копы для разделительной резки и прожигания различных материалов весьма перспективно, особенно в связи с возможностью использования его в совокупности с существующими способами резки и разделки металлургических материалов.

2. Нормальное ведение процессов резки и прожигания возможно при условии существенного снижения температуры плавления и вязкости расплавленного шлака, что может быть обеспечено компонентами флюса, используемого также для повышения тепловой мощности факела копы.

3. Расчет состава флюса по оптимальному составу шлака обеспечивает получение низкоплавкого жидкотекучего шлака. Оптимальный состав шлака, подобранный на основании анализа диаграмм

состояния и изучения влияния различных компонентов на вязкость расплава, представляет собой область с минимальной температурой плавления и вязкостью системы $FeO - SiO_2 - Al_2O_3$.

4. Предложенный расчетный метод определения состава флюса для процесса порошково-копьевой резки с достаточной точностью подтверждается данными химического, петрографического и микро-рентгеноспектрального анализов, что позволяет его рекомендовать для аналогичных процессов.

5. Разработанная конструкция установки УФР-6 обеспечивает равномерную подачу необходимого количества мелкодисперсного флюса и кислорода, по своим технико-эксплуатационным характеристикам отвечает требованиям, предъявляемым к оборудованию для газопламенной обработки металлов и по показателям находится на уровне лучших образцов аналогичных установок ведущих зарубежных фирм.

6. Применение порошкового копья на ряде предприятий черной металлургии показало его высокую экономическую эффективность, простоту в обслуживании, безопасность в работе.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Еремин В.Н., Егоров В.П., Евсеев Г.Б., Михеев А.Ю. Скоростной метод вырезки проема в горне доменной печи. "Металлург", № 8, 1970.
2. Евсеев Г.Б., Максимов В.И., Михеев А.Ю. Порошково-копьевая резка зашлакованной стали и шлаковых массивов. "Сталь", № 1, 1971.
3. Егоров В.П., Касьянов А.В., Никифоров И.А., Евсеев Г.Б., Михеев А.Ю. Применение кислородно-флюсовой резки при ремонте металлургических агрегатов. "Сварочное производство", № 6, 1972.
4. Михеев А.Ю. Установка УФР-5 для кислородно-флюсовой резки неметаллических материалов. Инф. листок № 0031-73, серия 1007 ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1973.