

M 276144

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

Шибанов Игорь Николаевич

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ПОРОШКОВО-КОПЬЕВОЙ РЕЗКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ,
СПЛАВОВ И ОГНЕУПОРОВ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1975

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

Научный руководитель - доцент, к.т.н. **ЕВСЕЕВ Г.Б.**

Официальные оппоненты:

проф., д.т.н. **ВЛАДИМИРСКИЙ Т.А.**, ЦНИИ МПС,

доц., к.т.н. **КЛЕБАНОВ Г.Н.**, ИВМИ.

Ведущее предприятие "Всесоюзный научно-исследовательский
институт автогенного машиностроения".

Автореферат разослан

Защита диссертации состоится " _____ 197 г.

на
и

юм 5.

дях, заверенные
дросу.

отеке ИВТУ им.

11276144

и I п.л. Зак. 1486 Тир. 120

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Директивами XXIV съезда КПСС в текущем пятилетии предусматривается увеличение производства цветных металлов и сплавов в 1,4 раза. Для достижения этой цели необходимо более полное использование всех резервов производства. Одним из таких резервов являются отходы литейного производства - зашлакованные цветные металлы и сплавы (печные выломы), которые представляют собой металлические массивы толщиной до 500-600 мм, покрытые слоем огнеупора и шлака толщиной до 150-200 мм. Для предварительной разделки печных выломов в последнее время начинают находить применение термические способы резки, одним из которых является порошково-копьевая резка. Способ порошково-копьевой резки бетона, железобетона и огнеупоров больших толщин был разработан на кафедре сварки МГТУ им.Баумана под руководством Г.Б.Евсеева. Данная работа является дальнейшим продолжением исследований процессов резки применительно к новым материалам - цветным металлам, шлакам и огнеупорам.

Цель исследований. Как показали предварительные эксперименты, порошково-копьевая резка печных выломов протекает с большим трудом. Поэтому целью данной работы является исследование и разработка процесса порошково-копьевой резки зашлакованных цветных металлов и сплавов, при котором обеспечивается достаточно высокая производительность и минимальный расход флюса, железа "копья" и кислорода.

Методы исследований. В работе применялись следующие экспериментальные методы исследований: 1) измерение температуры шлаковой ванны и нагрева металлической заготовки; 2) определение плавкости шлаков, получаемых в процессе порошково-копьевой резки огнеупоров, цветных металлов и сплавов; 3) калориметрирование разрезаемых образцов и определение расхода

теплоты на нагрев шлака и на теплопроводность; 4) химический и петрографический анализы шлаков; 5) исследование технологических параметров процесса порошково-копьевой резки.

Научная новизна. Наиболее существенной в научном плане частью работы являлось установление на основе термодинамических расчетов и данных химического и петрографического анализов шлаков возможности существования при температуре шлаковой ванны только двух окислов железа: закиси и закиси-окиси. В соответствии с этим по диаграммам состояния шлаковых систем рассчитаны оптимальные составы флюсов и удельные расходы материалов.

Практическая ценность работы определяется разработкой техники и технологии разделительной порошково-копьевой резки и прожигания отверстий. Разработанный на основе тепловых и металлургических исследований, процесс порошково-копьевой резки зашлакованных цветных металлов и сплавов был внедрен на одном из заводов по обработке цветных металлов и сплавов.

Диссертация состоит из введения и четырех глав, изложенных на 146 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунок, 9 таблиц и список использованной литературы из 82 наименований. В первой главе проанализированы существующие способы разделки зашлакованных цветных металлов и сплавов и показано, что способ порошково-копьевой резки является наиболее приемлемым для обработки материалов больших толщин. Во второй главе на основе рассмотрения диаграмм состояния шлаковых систем выбран универсальный флюс на железисто-алюминиевой основе. Третья глава посвящена исследованию тепловых и металлургических процессов, происходящих при порошково-копьевой резке зашлакованных цветных металлов и сплавов, и разработке на основе этого исследования оптимальных параметров режима и состава флюсов. В четвертой главе приведены данные экспериментальной проверки, в результате которой отработаны приёмы и уточнены параметры режимов порошково-копьевой резки зашлакованных цветных металлов и сплавов.

ГЛАВА I. ОБЗОР СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ЗАШЛАКОВАННЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Свойства огнеупора, покрывающего металлический массив, также

как и свойства самого металла или сплава оказывают большое влияние на процесс обработки печных выломок. Футеровка канальной части печи для выплавки меди, бронзы и латуни изготавливается из кварцита, а для выплавки никеля и его сплавов — из магнезита. Из огнеупоров наибольшие трудности представляет обработка магнезита, так как он обладает высокой огнеупорностью и механической прочностью. При эксплуатации индукционных печей огнеупорная обмазка пропитывается расплавленным металлом и окислами, что приводит к образованию прослойки шлака. По своим свойствам шлак не отличается от применяемых огнеупоров, так как количество металла и окислов, пропитывающих огнеупоры, незначительно.

Для исследования процессов обработки зашлакованных цветных металлов и сплавов выделены наиболее типичные представители выплавляемых на заводах металлов и сплавов: никель, медь и бронза БрАЖ-9-4.

Зашлакованные цветные металлы и сплавы (печные выломки) относят к нестандартному металлическому лому, который не может быть использован в плавильных агрегатах без предварительной подготовки, или разделки. В настоящее время применяют механические, взрывной и термические способы разделки печных выломок.

К механическим способам относятся: а) резка на аллигаторных и гидравлических ножницах; б) копровая разделка. Резка на ножницах — экономичный и производительный способ переработки металлолома малых толщин — до 70 мм. Разделка на копрах и взрывной способ характеризуются низкой производительностью процессов, высокой стоимостью оборудования, малым коэффициентом использования производственной площади и повышенной опасностью для обслуживающего персонала при работе оборудования. Копровая разделка неприменима для разбивки очищенных печных выломок ввиду высокой пластичности цветных металлов и сплавов и находит ограниченное применение для очистки печных выломок от шлака. Взрывным способом разделяют крупный цветной негабаритный лом, который невозможно обработать другими способами. Поэтому данный способ применим для разделки печных выломок ввиду их сравнительно небольшого веса — вес самой крупной печной выломки не превышает двух тонн.

Термические способы разделки: резка дугой угольного электрода и плазменной дугой, кислородно-флюсовая и порошково-копьевая резка в последнее время находят все большее применение.

Резка угольной дугой прямого действия применяется для разделки цветных металлов и сплавов ограниченных толщин: алюминиевых бронз толщиной до 150-200 мм, меди - до 40 мм, никеля - до 50 мм.

Разделку очищенных печных выломок плазменной дугой производят только при ручном ведении процесса, хотя машинная резка позволяет разрезать значительно большие толщины. Это обусловлено соображениями техники безопасности (при машинной резке применяется напряжение на дуге до 300В) и сложностью конфигурации обрабатываемого металла. Алюминиевые бронзы разрезаются толщиной до 100-150 мм, медь и никель - до 80-100 мм.

Кислородно-флюсовая резка цветных металлов и сплавов отличается низкой производительностью процесса по сравнению с резкой хромоникелевых и хромистых сталей. В отличие от процесса резки высокохромистых сталей, при котором происходит значительное тепловыделение за счет сгорания основного металла, резка цветных металлов и сплавов характеризуется малой степенью окисления разрезаемого металла и низким тепловым эффектом при окислении. Поэтому кислородно-флюсовая резка применяется для обработки печных выломок малых и средних толщин - до 150-200 мм.

Сущность процесса порошково-копьевой резки заключается в подаче через газопроводную трубку ("копье") кислорода и смеси металлических порошков, сгорающих совместно с трубкой "копья" и образующих на конце трубки высокотемпературный факел длиной 50-100 мм, которым нагревают поверхность разрезаемого материала до расплавления и действием кислородной струи удаляют расплавленный металл и шлак из полости реза. Процесс порошково-копьевой резки разработан применительно к бетону, железобетону и огнеупорам. По сравнению с другими способами обработки неметаллических материалов порошково-копьевая резка имеет ряд преимуществ:

1. Факел "копья" в процессе резки горит на конце стальной трубки значительной длины, что позволяет производить заглубление его на всю толщину разрезаемого материала.

2. При порошково-копьевой резке источник теплоты высокой концентрации находится в непосредственной близости от обрабатываемого материала, что в значительной степени способствует быстрому нагреву, расплавлению и удалению разрезаемого материала.

3. Этот способ прост по технике выполнения, обладает достаточно высокой производительностью и маневренностью, безопасен при применении. Оборудование для порошково-копьевой резки имеет небольшие габариты и вес, невысокую стоимость, не требует применения электроэнергии.

Вопросы порошково-копьевой резки зашлакованных цветных металлов и сплавов ещё не изучены, но имеется ряд предпосылок для её успешного осуществления.

ГЛАВА II. ВЫБОР ФЛЮСОВЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОРОШКОВО-КОПЬЕВОЙ РЕЗКЕ ЗАШЛАКОВАННЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Для преодоления возникающих при резке трудностей необходимо, чтобы сгорание флюса сопровождалось выделением значительного количества теплоты, образующиеся тугоплавкие окислы переводились в легкоплавкое, жидкотекучее состояние за счёт взаимодействия с продуктами окисления флюса, т.е. компоненты флюса должны оказывать термохимическое воздействие на разрезаемый материал. Кроме того, к флюсу предъявляются требования в отношении обеспечения взрывобезопасности, недефицитности и малой стоимости составляющих его компонентов. Частицы флюса и распыленные окислы не должны оказывать токсичного действия на организм резчика.

Предварительный выбор компонентов флюса для порошково-копьевой резки зашлакованных цветных металлов и сплавов производили на основе рассмотрения свойств ферросплавов и металлических порошков, используемых в процессах кислородно-флюсовой резки, порошково-копьевой резки неметаллических материалов и в виде присадок к ракетному топливу. В качестве компонентов флюса были выбраны порошки железа, алюминия, магния, силикокальция, ферросилиция и феррофосфора.

При выборе основы флюса для порошково-копьевой резки зашлакованных цветных металлов и сплавов необходимо исключить ферро-

фосфор, так как при его сгорании образуется большое количество высокотоксичного дыма, состоящего из окислов фосфора.

Таким образом, выбор основной составляющей флюсов производили из сопоставления физико-химических и термических свойств порошков железа, алюминия, магния, силикокальция и ферросилиция.

Для получения в процессе резки легкоплавких шлаков необходимо изучение по диаграммам плавкости действия окислов, образующихся при сгорании флюса, на расплавы огнеупоров и окисные плёнки на поверхности металлов. Хотя равновесия в шлаковых системах при порошково-копьевой резке огнеупоров и цветных металлов не устанавливается из-за скоротечности протекающих процессов, всё же диаграммы состояния позволяют приблизительно оценить температуру плавления соединений в двух- и многокомпонентных системах.

Критерием оценки флюсующих свойств при выборе основной составляющей флюса являлись: образование устойчивых химических соединений, легкоплавких эвтектик и взаимная растворимость продуктов окисления флюса и тугоплавких окислов.

Анализ диаграмм состояния показал, что кремнезёмистые огнеупоры легко ошлаковываются под действием окислов железа. При взаимодействии продуктов окисления ферросилиция и силикокальция с расплавленным магнезитом образуются довольно легкоплавкие соединения и эвтектики. Расплавы $MgO-FeO$ обладают большей тугоплавкостью, но в то же время имеют наименьшую вязкость.

Таким образом, для резки магнезита в качестве основы флюса можно использовать железный порошок и с некоторыми ограничениями, ферросилиций и силикокальций.

В процессе окисления меди на её поверхности образуется вязкая плёнка из окислов Cu_2O, CuO . Окисление алюминиевой бронзы происходит с образованием окисной плёнки, большей частью состоящей из окисла Al_2O_3 .

Из рассмотрения диаграмм состояния $MgO-(CuO+\frac{1}{2}Cu_2O), CuO-SiO_2, CuO-Al_2O_3, CuO-Fe_2O_3$ следует, что в наибольшей степени удаления окисной плёнки, состоящей из CuO и Cu_2O , способствует окисел Al_2O_3 .

Но алюминиевый порошок принять за основу флюса при резке меди невозможно из-за очень большой вязкости и тугоплавкости 2050° глинозёма Al_2O_3 . Поэтому принимали за основную составля-

щур флюса железный порошок, так как при его окислении образуются наиболее легкоплавкие и жидкотекучие шлаки, и по шлакующему действию по отношению к окислам меди он уступает только алюминид.

Из рассмотрения диаграммы плавкости $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ следует, что окислы железа способствуют удалению окисной плёнки с поверхности алюминиевой бронзы.

Исходя из этого, в качестве основы флюса при резке меди и алюминиевой бронзы выбрали железный порошок.

Из анализа диаграмм состояния $\text{NiO}-\text{SiO}_2$, $\text{NiO}-\text{CaO}$, $\text{NiO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{NiO}$ следует, что наиболее активному удалению тугоплавкой окисной плёнки, состоящей из NiO (температура плавления 1960°C) способствуют окислы железа.

Таким образом, изучение диаграмм плавкости показало, что наилучшими флюсующими свойствами обладают окислы железа. Единственный недостаток при применении железного порошка - сравнительно низкий тепловой эффект окисления. Для повышения тепловыделения во флюс добавляют алюминиевый порошок, так как по сравнению с другими компонентами он имеет наибольшую теплоту сгорания. Кроме того, окислы алюминия способствуют удалению окисных плёнок с поверхности цветных металлов и сплавов, особенно меди. Содержание алюминиевого порошка во флюсе ограничивается ввиду образования вязкого и тугоплавкого окисла Al_2O_3 . Сильное флюирующее действие на глинозём оказывают окислы железа при содержании Al_2O_3 в шлаке до 10-15%.

В соответствии с этим был выбран универсальный для всех обрабатываемых материалов флюс, состоящий из смеси алюминиевого и железного порошков. Результаты полсковых опытов по резке цветных металлов и сплавов, шлаков и огнеупоров подтвердили правильность выбора компонентов флюса.

ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ПОРОШКОВО-КОПЬЕВОЙ РЕЗКЕ ЗАШЛАКОВАННЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

При порошково-копьевой резке цветных металлов, шлаков и огнеупоров определяющую роль играет действие трёх взаимосвязанных факторов: теплового, металлургического и механического.

Теплота необходима для нагрева материала в объёме реза

до температуры, достаточной для расплавления его компонентов, осуществления флюсования и доведения образующегося шлака до жидкотекучего состояния. Основная роль металлургического фактора заключается в выведении выплавленного материала из полости реза. Для осуществления этой функции необходимо, чтобы продукты окисления флюса оказывали шлакующее действие на тугоплавкие и вязкие окислы. Получение жидкотекучего шлака обеспечивает непрерывное удаление выплавленного материала из полости реза за счет кинетической энергии кислородно-флюсовой струи.

Тепловой фактор

Источником теплоты при порошково-копьевой резке является факел, образующийся при сгорании флюса и трубки "копья" в кислородной струе. Флюс, состоящий из смеси порошков железа и алюминия, в определенных условиях энергично окисляется с выделением теплоты. Горение металлических порошков в окислительных средах достаточно подробно исследовано в области ракетной техники.

Процесс горения частичек металла в кислороде разделяется на три стадии: период индукции, или подготовки горючего к воспламенению, период воспламенения и период самоподдерживающегося горения, при котором горение может происходить в паровой фазе или на поверхности. Большое влияние на процесс горения оказывают размеры частичек и концентрация их в зоне горения. Применение порошков мелкой granulации и увеличение концентрации в единице объема уменьшает период индукции и снижает температуру воспламенения, что приводит к ускорению реакции горения и повышению температуры пламени.

Горение алюминиевого порошка происходит в паровой фазе. Нижний предел температуры пламени при горении алюминия составляет около 3500°C . Железному порошку свойственно поверхностное горение. Температура, достигаемая при сгорании железного порошка, имеет нижний предел 2500°C . В среднем температура факела порошкового "копья" составляет $3500-4000^{\circ}\text{C}$.

Подогрев частичек флюса до температуры воспламенения происходит в основном за счет теплоты шлаковой ванны, температуру которой замеряли пирометром марки ОПИР-ОП7. Как показали измерения, температура ванны изменялась в широких пределах

(1650-2000°C) в зависимости от состава флюса и теплофизических свойств разрезаемого материала. Наиболее низкая температура шлаковой ванны получалась при резке меди, наиболее высокая — при резке магнетита. Увеличение содержания алюминия во флюсе от 5 до 50% (по объёму) повышало температуру шлаковой ванны на 150-200 градусов.

Приход теплоты в зону реза обусловлен процессом сгорания железа флюса и "копья", а также алюминия флюса. В процессе порошково-копьевой разделительной резки зашлакованных цветных металлов и сплавов теплота расходуется на нагрев спеченного шлака, состоящего из окисленной и неокисленной частей, дисперсного шлака, выносимого за пределы полости реза в виде отдельных частиц, на теплопроводность и потери на излучение и конвекцию.

Сравнение тепловых балансов при резке огнеупоров и цветных металлов показывает, что по приходной части нет существенных различий. Основное количество теплоты выделяется при сгорании флюса — около 80%. Расходная часть характеризуется рядом особенностей. Прежде всего необходимо отметить значительно большие затраты теплоты (примерно в 1,5 раза) на нагрев спеченного шлака при резке огнеупоров. Резка цветных металлов и сплавов характеризуется увеличенным расходом теплоты на теплопроводность.

Тепловые особенности процесса прожигания отверстий (шпурения) рассматривали на примере зашлакованной меди. Калориметрирование при шпурении провести невозможно, так как достоверные сведения можно получить только при использовании массивных образцов. Поэтому применили экспериментально-расчётный метод построения теплового баланса, при котором затраты теплоты на нагрев спеченного и дисперсного шлаков определяли по теплосодержанию при температуре шлаковой ванны, потери теплоты на теплопроводность рассчитывали на основе измерений в процессе шпурения средней температуры медного слитка переносными приборами ИПШПр-54. Потери теплоты на излучение и конвекцию находили вычитанием из приходной части теплового баланса известных составляющих расходной части.

Тепловые балансы процессов прожигания отверстий и раздели-

тельной порошково-копьевой резки имеют большое различие. В приходной части теплового баланса при шпурении основное количество теплоты (более 60%) выделялось за счёт сгорания трубки "копья". В расходной части потери теплоты на излучение и конвекцию в 3 раза и на нагрев дисперсного шлака в 10 раз меньше потерь при разделительной резке, что связано с горением порошкового "копья" в замкнутом пространстве и большим использованием теплоты на нагрев разрезаемого материала. Таким образом, процесс прожигания отверстий можно рекомендовать для обработки массивных металлических слитков, обладающих значительной теплопроводностью.

Металлургический фактор

Основное шлакующее действие на расплавленные огнеупоры и тугоплавкие окисные плёнки оказывают окислы железа. При сгорании железного порошка могут образоваться три окисла: FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 . При расчёте составов флюсов необходимо знать, какие из окислов находятся в устойчивом состоянии при температуре шлаковой ванны (свыше 1600°C). Прочность окислов можно оценить по величинам термодинамического потенциала ΔZ и логарифма упругости диссоциации окислов $\lg P_{\text{O}_2}$. Из теории металлургических процессов известны уравнения для расчёта ΔZ , $\lg P_{\text{O}_2}$ в области высоких температур:

$$\Delta Z = (-122310 + 29,42T) \text{ кал}$$

$$\begin{aligned} 1) \lg P_{\text{O}_2} = -\frac{26730}{T} + 6,43 \quad 3) \Delta Z_3 = (-140380 + 81,38T) \text{ кал} \\ 2) \Delta Z_2 = (-152190 + 61,17T) \text{ кал} \quad \lg P_{\text{O}_2} = -\frac{30684}{T} + 17,79 \quad (1) \\ \lg P_{\text{O}_2} = -\frac{33265}{T} + 13,37 \quad (\text{Fe}_2\text{O}_3) \\ (\text{Fe}_3\text{O}_4) \end{aligned}$$

Анализ уравнений показывает, что наибольшая убыль ΔZ и наименьшая величина $\lg P_{\text{O}_2}$ имеют место при образовании окислов FeO , Fe_3O_4 . Окись железа Fe_2O_3 при температуре шлаковой ванны активно разлагается с образованием магнетита даже при очень больших давлениях кислорода над системой - 22-24 атм. Следовательно, при порошково-копьевой резке в шлаковой ванне возможно существование только двух окислов - FeO , Fe_3O_4 . Данные термодинамических расчётов были подтверждены петрографическим анализом остывших шлаков, проведённом на поляризационном микро-

скопе МП-7.

Составы флюсов рассчитывали без учёта сгорания трубки "копья" по заданному составу окисной системы, взятой на диаграмме плавкости и обеспечивавшей получение легкоплавкого, жидкотекучего шлака. При разделительной резке бронзы и никеля расчёт флюсов производили на основе методики О.Ш.Спектора, рассматривая свойства шлаковой системы, образующейся в результате сгорания компонентов флюсов, т.е. систему окислов $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3$. При резке огнеупоров учитывали взаимодействие разрезаемых материалов с продуктами окисления флюса на основе рассмотрения соответствующих диаграмм состояния шлаковых систем: $\text{Fe}_3\text{O}_4-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ для кварцита; $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{FeO}-\text{MgO}$ - для магнезита. Выбор состава окисных систем по диаграммам состояния производили с учётом данных по исследованию плавкости шлаков.

Было выявлено, что при содержании окисла Al_2O_3 в шлаке свыше 15% резко понижалась жидкотекучесть шлака, особенно при температурах ниже ликвидуса на 30-50 градусов.

В результате расчётов были получены следующие составы флюсов для случаев резки: 1) кварцита - 26%Al, 74%Fe; 2) магнезита - 13%Al, 87%Fe; 3) бронзы - 20%Al, 80%Fe; 4) никеля - 20%Al, 80%Fe (в объёмн. %). В процессе отработки составов флюсов при резке магнезита и кварцита экспериментальные данные совпадали с расчётными. Для никеля и бронзы наблюдалась низкая производительность при расчётном составе флюсов. Химический анализ шлаков, образующихся при резке бронзы и никеля показал, что значительная часть алюминиевого порошка не воспламенялась или сгорала за пределами полости реза вследствие относительно низкой температуры шлаковой ванны и её малых размеров. Поэтому для повышения тепловыделения и соответственно производительности при разделительной резке бронзы и никеля увеличивали содержание алюминиевого порошка во флюсе до 28-30%.

Теоретический расчёт минимально допустимых по рентабельности удельных расходов материалов (на 1 дм²) при разделительной резке позволил определить путём сравнения с экспериментальными данными степень оптимальности того или иного режима резки. Общее содержание железа и алюминия на 1 дм² площади реза при условии 100% окисления компонентов флюса находили по формулам:

$$G_{Fe} = \frac{Q_{гфк} \cdot m}{K_1 [m + n(1-m)] q_{Fe}}; \quad G_{Al} = \frac{Q_{гфк} \cdot n(1-m)}{K_2 [m + n(1-m)] q_{Al}} \quad (2)$$

где $Q_{гфк}$ - теплота для образования единицы площади реза в ккал/дм², получаемая при сгорании флюса и "копья";

q_{Fe}, q_{Al} - тепловой эффект окисления железного (в Fe_3O_4) и алюминиевого порошков ($q_{Fe} = 1,58 \frac{\text{ккал}}{\text{г}}$; $q_{Al} = 7,28 \frac{\text{ккал}}{\text{г}}$);

K_1, K_2 - степень чистоты железного и алюминиевого порошков;

n - относительный тепловой эффект сгорания алюминиевого порошка; $n = \frac{q_{Al}}{q_{Fe}}$;

m - число весовых частей железа в железисто-алюминиевой системе (по расчётному составу флюса).

Теплоту $Q_{гфк}$ определяли как сумму составляющих расходной части теплового баланса, пересчитанных на единицу площади реза, в соответствии с методикой, предложенной Г.Б.Евсеевым для теоретического расчёта теплового баланса при газовой резке м/у стали.

Удельный расход кислорода на окисление находили исходя из расхода окисленных железа флюса и "копья" (G_{Fe}), алюминия флюса (G_{Al}) по несколько изменённой формуле, предложенной А.В.Тихомировым - для случая окисления железа в Fe_3O_4 :

$$G_{O_2} = \frac{1}{K_{O_2}} (0,383 K_1 G_{Fe} + 0,89 K_2 G_{Al}), \quad (3)$$

где K_{O_2} - степень чистоты кислорода.

На окисление при резке зашлакованных цветных металлов и сплавов расходуется 30-45% от общего количества кислорода. Из этого соотношения определяли общий удельный расход кислорода.

ГЛАВА IV. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОРОШКОВО-КОПЬЕВОЙ РЕЗКИ В ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Отработку техники и технологии порошково-копьевой резки цветных металлов, шлаков и огнеупоров проводили на установке УФР-5 конструкции МВТУ им.Баумана с внешней системой подачи флюса. В процессе проведения экспериментов на основе данных тепловых и металлургических исследований были отработаны техника и технология резки зашлакованных цветных металлов и сплавов.

При разделительной резке огнеупоров шлаковая ванна наводи-

лась по всей толщине разрезаемого материала и удалялась за счет возвратно-поступательного перемещения "копья", наклонённого под углом 45-60°. Резка цветных металлов и сплавов производилась слоями при перпендикулярном положении "копья" к разрезаемой поверхности.

В процессе порошково-копьевой разделительной резки значительное влияние на производительность процесса оказывали составы флюсов, удельные расходы флюса и кислорода, давление кислорода. Для каждого расхода флюса производили расчет его состава с учетом стгорания трубки "копья" на основе исходной железисто-алюминиевой системы. Между удельными расходами флюса, трубки "копья" и кислорода на окисление должно соблюдаться определенное соотношение $B = \frac{G_{фк}}{G_{ок}}$ где $G_{фк}$ и $G_{ок}$ находятся по формулам 2 и 3. При увеличении расхода флюса соответственно увеличивается и расход кислорода для поддержания постоянства, B . В противном случае происходит недоокисление флюса и "копья". При резке зашлакованных цветных металлов и сплавов $B = 22-24$. Наиболее оптимальный по рентабельности расход флюса составил 400-700 г/мин при расходе кислорода 30-40 м³/час. Давление кислорода при резке огнеупоров применялось 2-3 кгс/см², при резке цветных металлов и сплавов - 0,7-1 кгс/см².

Наиболее приемлемым способом обработки зашлакованной меди следует считать последовательное образование отверстий со срезами оставшихся перемычек. Средний расход трубки "копья" при шпунении меди составлял 2-2,5 кг/мин и при составе железисто-алюминиевой системы 20% Al + 80% Fe (по объему) и среднем расходе флюса 700-900 г/мин для получения исходной системы необходимо было вводить алюминия во флюс в количестве 60-70% (по объему), что практически невозможно по условиям техники безопасности. Поэтому ограничивали содержание алюминиевого порошка при всех расходах флюса 50%. Наиболее оптимальные режимы прожигания отверстий следующие: расход флюса - 800-900 г/мин, давление кислорода 7-8 кгс/см², расход кислорода 100-120 м³/час, скорость прожигания - 200-250 мм/мин. Срезку перемычек производили на режимах, применяемых для разделительной резки алюминиевой бронзы.

Процесс порошково-копьевой резки применили для разделки печных выхломов на Кольчугинском заводе по обработке цветных металлов и сплавов и зашлакованной меди на Московском медеплавильном

заводе. Экономический эффект от разделки I тонны металлома составил 120 руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Сравнение различных способов разделки зашлакованных цветных металлов и сплавов показало преимущества порошково-копьевой резки, перспективность её применения.

2. В результате анализа диаграмм состояния шлаковых систем выявлено, что огнеупоры в наибольшей степени ошлаковываются окислами железа, а тугоплавкие окисные пленки на поверхности цветных металлов — окислами железа и алюминия. Поэтому в качестве компонентов флюсов были выбраны порошки железа и алюминия.

3. По данным тепловых балансов выявлены значительные потери теплоты с дисперсным шлаком и вследствие теплопроводности при разделительной резке цветных металлов и сплавов. Сравнение тепловых балансов при шпурении и разделительной резке показало значительное уменьшение потерь теплоты на излучение и конвекцию (в 3 раза) и на нагрев дисперсного шлака (в 10 раз) при прожигании отверстий.

4. Проведённые термодинамические расчёты, химический и петрографический анализы шлаков позволили установить возможность существования при температуре шлаковой ванны только двух окислов железа FeO и Fe_3O_4 . На основе этого были рассчитаны составы флюсов и параметры режимов разделительной резки, предусматривающие получение минимально допустимых по рентабельности расходов флюса и кислорода.

5. Разработана техника и технология разделительной порошково-копьевой резки и прожигания отверстий применительно к зашлакованным цветным металлам и сплавам. Процесс резки внедрён на заводе по обработке цветных металлов и сплавов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Шибанов И.Н., Евсеев Г.Б. Порошково-копьевая резка зашлакованных цветных металлов и сплавов. Сб. "Сварка и резка цветных металлов и сплавов". МДНТИ им. Ф.Э.Дзержинского, М., Машгиз, 1972 г.

2. Шибанов И.Н., Евсеев Г.Б. Порошково-копьевая резка огнеупоров, цветных металлов и сплавов. Тезисы докладов Белорусской республиканской конференции по сварке и резке, 1972 г.

3. Евсеев Г.Б., Шибанов И.Н. Определение состава флюсов и параметров режима порошково-копьевой резки огнеупоров, применяемых в цветной металлургии. "Известия вузов", 1973 г. А I.