Липецкий государственный технический университет

 Кафедра обработки металла давлением

ДОКЛАД

на тему

«**ЭЛЕКТРОЛИТНАЯ ОБРАБОТКА ПОЛОСЫ»**

Выполнил: студент Лепекин Н.В.

Группы ОД-01-1

Проверил: Пешкова

 Липецк 2002

**1. Возможности ЭО**

**2. Виды загрязнений поверхности и существующие способы очистки**

**3. Электролитная очистка поверхности металлов**

**4. Очистка поверхности металлов и сплавов от окислов**

**5. Результаты промышленных испытаний**

**6. Очистка поверхности сварочной проволоки в электролите**

**7. Нанесение покрытий при катодной обработке**

**8. Образование покрытий на поверхности активного анода**

**ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОКА ТНОГО, ВОЛОЧИЛЬНОГО И ТРУБНОГО ПРОИЗВОДСТВА.**

Многофункциональная электролитная обработка (ЭО) основана на протекании и комплексном воздействии на поверхность и саму заготовку электрохимических, диффузионных и термохимических процессов. ЭО производится, как правило, в водных растворах электролитов солей, слабощелочных и слабокислотных растворах с различными функциональными добавками и заключается в формировании электрических разрядов между анодом и катодом (обрабатываемая деталь) через слой электролита и газо-паровую подушху, окружающую заготовку, в условиях наложения на электроды повышенного напряжения постоянного тока (от 150 В). Состав рабочей среды, электрические, гидродинамические и тепловые режимы, конструкция узла ЭО определяют цель и технологическое назначение процесса. Ниже приводятся результаты промышленного применения и экспериментальных разработок возможностей процесса.

ОЧИСТКА ПОЛОСЫ ОБЕСПЕЧИВАЕТ:

чистоту поверхности полосы до 0,00-0,05 г/м2 (в зависимости от степени очистки электролита);устраняет необходимость применения стандартных способов очистки - химического, механического, электролитического (до 40В) и одного узла промывки полосы;позволяет вести поверхностное легирование стали, в частности, для электротехнической- силицирование и обезуглероживание, а также возможность управлять доменной структурой металла;увеличить сцепление покрытий различного назначения с поверхностью полосы за счет увеличения ее площади и изменения геометрии микроразрядами;значительно повысить коррозионную стойкость полосы.

Размеры установки ЭО для электротехнической стали шириной 1000 мм. при скорости 2 м/сек - 2х2 х2 м. Результаты получены при производстве десятков тысяч тонн электротехнической стали на НЛМК и ММК. Новизна разработок подтверждена 6-ю изобретениями.

НАСЕЧКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ОБЕСПЕЧИВАЕТ:

повышение износостойкости валков в 2-3 раза;

шероховатость - от 0,4 до 10 мкм;

изотропность выступов вдоль и поперек прокатки -0,8-1,0;

число выступовва базовой длине - регулируемое 50-250 шт/см;

устранение возникновения дефекта «навара» полосы на валок при обрыве в непрерывных станах;

повышение поверхностной твердости валка;

вдвое снизить свариваемость металла в рулонах при высокотемпературном отжиге в колпаковых печах за счет «развитой» поверхности полосы;

определять визуально дефекты валка, допущенные при изготовлении и при пере шлифовках;

стоимость установки электролитной насечки валков в 30-50 раза ниже зарубежных аналогов (лазерный, разрядный).

Разработки защищены нами патентами России, а также запатентованы Америкой, Англией, Германией. Прокатано на валках с электролитной насечкой 1000 тонн электротехнической стали и автолиста на **НЛМК, ММК,** Череповецком меткомбинате, Ашинском метзаводе и Запорожском

меткомбинате.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ ТРУБ С ПОКРЫТИЕМ.

Сущность способа одной операции ЭО поверхности изделия в растворе определенного состава и заданных режимах.

Наиболее близким по технологии является способ изготовления газонефтепроводных труб (Н.В. Курганов «СТАЛЬ», № 10, 1999 г., с.55-58), включающий термическое обезжиривание, дробеметную обработку и кислотную очистку с последующим нагревом в печи, последовательным нанесением защитных слоев из эпоксидного праймера, адгезива я полиэтилена, охлаждение, проверку сплошности, отделку и контроль качества покрытия. Основной недостаток способа в том, что подготовка поверхности перед нанесением покрытия включает три сложные, продолжительные, самостоятельные технологические операции, направленные на улучшение качества соединения покрытия с металлом трубы. При этом коррозионная стойкость в большей степени определяется защитными покрытиями и качеством его нанесения.

Процесс ЭО позволяет совместить в одной операции все выше названное. Электротехническая сталь, очень склонная к коррозии, даже в течение дня, после года хранения в условиях «снег- дождь- тепло- дождь» осталась без следов коррозии. Валки прокатных станов после электролитной насечки не ржавеют в аналогичных условиях в сравнении с валками после дробеметной обработки.

Большие возможности процесса **ЭО** представляются в технологии волочильного производства. Обработка высоколегированной проволоки на опытно- промышленной установке позволила совместить в одной технологической операции очистку поверхности, высокотемпературную обработку и нанесение защитно - смазочного подслоя из состава электролита при необходимости дальнейшего волочения. Размеры электролитного узла- 400 мм, скорость проволоки до 2 м/сек.

**ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЫШЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

**1. Виды загрязнений поверхности и существующие способы очистки**

Состояние поверхности металлов и сплавов оказывает большое влияние на эксплуатационные качества готовых изделий. Важную роль играет под готовка поверхности на промежуточных операциях, поскольку вносимые при их проведении загрязнения могут дать дефекты, исправление которых на дальнейших стадиях изготовления продукции весьма затруднительно.

Встречающиеся на поверхности стальных изделий загрязненияможно разбить на три основные группы:

1) твердые окисные и солевые образования (окалина, ржавчина, про­дукты травления и т. д.),

2) масляные, жировые и эмульсионные пленки, наносимые специально при прокатке и штамповке в качестве смазки,

3) твердые и жидкие загрязнения случайного характера (пыль, металли­ческие частицы и т. д.).

Загрязнения первой группы почти нерастворимы в воде, щелочных и органических растворителях, но хорошо растворяются в кислотах. Мине­ральные масла растворяются в органических растворителях (бензине, бен­золе, эфире и т. д.). В щелочной среде они диспергируются и образуют

эмульсии, отделяющиеся от поверхности металла: Животные и раститель­ные масла сравнительно легко омыляются щелочами, растворяются в орга­нических растворителях и образуют водорастворимые соединения с некото­рыми кислотами.

Продукты взаимодействия животных и растительных жиров с применя­емыми для очистки растворами также могут быть эмульгированы. Частьизних растворима в воде, часть реагирует со щелочами с образованием водорастворимых соединений.

Масла и жиры при нагреве в окислительной среде сгорают, а в восста­новительной и нейтральной - разлагаются, перегоняются и испаряются.

При определенных условиях на поверхности металла может остаться твердый остаток, удаление которого весьма затруднительно.

Загрязнения третьей группы обычно удаляются техническими способами (щетками, сильной струёй воды, действием ультразвуковых колебаний).

Существенную роль в процессах очистки играет состав стали и состояние ее поверхности. Содержащиеся в стали легирующие элементы и примеси сильно влияют на состав и структуру окисных пленок, образующихсянаповерхности.

Разнообразная природа загрязнений поверхности приводит к необходи­мости выполнять различные операции очистки в определенной последова­тельности. При этом за каждой химической операцией должна следовать соответствующая промывка поверхности. :

При химическом обезжиривании очищающая жидкость должна хорошо смачивать поверхность металла. Только в этом случае можно достичь такого контакта, при котором может произойти либо растворение загрязнения, либо его отрыв от поверхности. Это происходит в том случае, если коэффи­циент поверхностного натяжения (или поверхностная энергия) на границе металл - газ превышает сумму соответствующих аналогичных характери­стик на границах металл - жидкость и жидкость - газ. При большой величине поверхностной энергии границы металл - жидкость наблюдается явление полного несмачивания. Промежуточное состояние характеризуется определенной величиной краевого угла смачивания (угла между поверхно­стью металла и касательной к поверхности жидкость - газ в точке сопри­косновения трех сред).

Жидкое загрязнение удаляется с поверхности при помощи нерастворя­ющейся жидкости в том случае, если она способна образовывать на границе с металлом краевой угол, меньше краевого угла, образуемого жидким

загрязнением» При этом очищающая жидкость должна прника-пь через

тонкую пленку жидкого загрязнения непосредственно к поверхности металла.

Вытеснение пленки очищающей жидкостью почти всегда сопровожда­ется химическим взаимодействием их компонентов. Последнее играет ре­шающую роль при растворении загрязнений органическими растворителя­ми. Интенсификация этих процессов достигается применением поверхно­стно-активных веществ (ПАВ), которые помогают отделить частицы загряз­нения от поверхности металла с образованием эмульсии и удерживают в ней частицы, не давая им возможности повторно осесть. Для интенсификации процессов при химическом обезжиривании часто применяют ультразвук.

Электрохимическое обезжиривание в щелочных растворах протекает быстрее, чем химическое. В качестве электролитов используются растворы тех же веществ (МаОН, КОН, МазР04, Nа2СОз, Ма2&Юз), что и при химическом обезжиривании. Механизм процесса электрохимического обез­жиривания сводится, в основном, к эмульгированию жиров пузырьками водорода (на катоде) или кислорода (на аноде).

При погружении загрязненного металла в щелочной раствор наблюдает­ся разрыв масляной пленки и собирание ее в капли. При поляризации металла прилипание масляной пленки к металлической поверхности умепь шается. Газовые пузырьки, отрываясь от электрода около капли масла, задерживаются на ней. По мере увеличения их размеров масляные капли вытягиваются, силы сцепления их с поверхностью металла уменьшаются, и они отрываются от поверхности.

При использовании постоянного тока на катоде выделяется в два рааа больше газа, чем на аноде. Поэтому катодное обезжиривание является болей эффективным. При одинаковом количестве выделяющегося газа более эффективным является обезжиривание выделяющимся кислородом.Это может быть объяснено частичным гидрированием смазки (взаимодействием с водородом) с образованием более вязких продуктов, которые труднее удаляются с поверхности.

Обычно применяемая плотность тока в стационарных ваннах не превы шает 0,03...0,1 А/см2, при обезжиривании быстро перемещающихся полос и проволоки плотность тока увеличивают до 0,25...0,50 А/см .

Наиболее простым способом удаления с поверхности всех органических веществ является обезжиривающий отжиг. Для предотвращения образова­ния на поверхности слоя окислов его обычно проводят в защитной атмос­фере. Это усложняет конструкцию соответствующих агрегатов и повышает стоимость данной технологической операции. Поэтому его применяют в тех случаях, когда наряду с обезжириванием требуется термическая обработка. Полного испарения масел и жиров с поверхности обычно не происходит.

При нагреве в воздушной атмосфере это связывают с окислением ком­понентов смазочных материалов. При недостатке кислорода вместо полного сгорания смазки может происходить процесс сухой перегонки, сопровож­дающийся образованием твердого углеродистого остатка.

Удаление с поверхности окислов обычно проводят с использованием химического и электрохимического травления. При химическом травлении на поверхности протекают сложные физико-химические процессы: смачи­вание окалины растворами кислот, проникновение их в поры, сопровожда­ющееся началом химического взаимодействия. Этому моменту соответству­ет наибольшая скорость процесса. При насыщении раствора продуктами взаимодействия наблюдается спад скорости растворения окислов.

Применение электрохимического травления позволяет интенсифициро­вать процесс удаления окислов. В качестве электролитов используют рас­творы кислот, щелочей, солей, а также их смеси. Стальные изделия могут быть как катодом, так и анодом.

При катодном травлении в растворах кислот выделяется водород, кото­рый имеет большую восстановительную способность и может восстанавли­вать высшие окислы металлов до низших, растворимых в кислоте. Кроме того, выделение водорода способствует разрыхлению и отрыву окалины.

При анодном травлении удаление окислов сопровождается образованием пассивной пленки, препятствующей растворению основного металла.

Для очистки поверхности от окислов применяются и другие методы; в частности механические: обработка металлическими щетками, абразивами, дробеструйная и пескоструйная очистка.

**2. Электролитная очистка поверхности металлов от масляных и жировых загрязнений**

Специфика процессов около активного электрода обуславливает комп­лексное воздействие, которое может быть использовано для обезжиривания поверхности. При этом будет действовать электрохимический механизм удаления загрязнений, связанный с выделением водорода на катоде и кислорода на аноде. Интенсивность этого процесса будет намного больше, поскольку величина плотности тока будет значительно превышать ту, кото­рая достигается при низких напряжениях. Вскипание электролита у катода способствует размягчению загрязнений и ослаблению их сцепления с по­верхностью металла. Кавитационные и электроэрозионные процессы вбли­зи обрабатываемой поверхности тоже ускоряют процесс обезжиривания.

химическим процессом - восстановлением высших окислов железа в ни­зшие атомарным водородом. Для этого было предложено использовать как постоянный, так и переменный ток напряжением не менее 100 В при плотности тока 5...10 А/см . Предполагалась струйная подача электролита на обрабатываемое изделие. Обезжиривание при аналогичных режимах предложено проводить в: напряжение 90...180 В, плотность тока 8... 10 А/см2.

Проверка данного метода проведена для лент шириной 40 мм с использованием струйной (спреерной) подачи электролита (8...12%-ный раствор Nа2СОз) и шириной 250 мм методом опускания полосы в ванны с использованием частично погруженного в электролит ролика. Оптимальной в данных работах признана температура электролита 40...50С, а концентрация Ка2СОз - выше 7%. Рекомендуемое напряжение зависит от скорости движения полосы: 90...120 В при скорости 0,5 м/с и 140...190 В при скорости 2 м/с и более. Оптимальные режимы позволили добиться удаления 98% загрязнений.

Электролитная обработка способствовала повышению пластичности, выразившейся в снижении давления на валки при прокатке полос и умень­шении содержания в стали углерода и азота. Последнее объясняется воздей­ствием на цементит и карбонитриды железа, которые имеются в стали В виде включений. Замечено сглаживание микрорельефа поверхности, дости­гаемое за счет действия импульсных разрядов.

Было обнаружено проникновение смазки при прокатке на глубину 10...13 мкм в зависимости от степени деформации. На поверх ности углерод распределялся в виде крупных сегрегации площадью до 1 мм , Химическое обезжиривание, осуществляемое протиркой образцов бензином и ацетоном, не позволяло удалить загрязнения, проникшие по порам и трещинам в глубь металла. Последующая обработка в электролите при напряжениях 100...170 В позволила уменьшить площадь сегрегации в десят­ки раз и достичь количества остаточных загрязнений 0,14...0,23 мг/м2.

Для обезжиривания полосы концентрацию кальцинированной соды сле­дует принимать не выше 7%, так как при более высокой концентрации затрудняется промывка полосы. Добавка до 2% фосфатов или до 0,6% поверхностно-активных веществ благоприятно влияет на процесс очистки и облегчает смыв с поверхности полосы остатков электролита. Добавка их в большем количестве приводит к усиленному пенообразованию и вторич­ному загрязнению поверхности при выходе из ванны.

Оптимальным признано рабочее напряжение 70... 120В**,** что обеспечивает качественную очистку (удаление 97...98% загрязнений) при исходной загряз­ненности полосы 1,081...1,176 г/м .

Следует отметить, что указанные в данной работе значения поверхност­ной мощности (1,5...3,5) • 10 кВт/м представляются завышенными, так как получены с учетом предположения, что основное падение напряжения (до 70...80%) происходит в прикатодном слое.

Следует отметить, что при напряжениях, соответствующих переходуотрежимаII к режимуIII**,** качество очистки ухудшается,что связано с нестабильностью процессов в этих условиях (рис. 3.1).

Позднее аналогичные исследования были проведены в Славянском филиале ВНИИМЕТМАШ.

В качестве электролита применяли водные растворы кальцинированной соды с концентрацией 8.-.12% или сульфата натрия (концентрация 15...20%) Применение некоторых нейтральных электролитов, в частности суль­фатов, хлоридов, нитратов позволяет интенсифицировать процессы очистки поверхности. Однако эксплуатация таких электролитов связана с дополнительными трудностями: элементы циркуляционной системы долж­ны быть выполнены из коррозионностойких материалов. Кроме того, в зоне обработки в этом случае наблюдается выделение токсичных газов, что предъявляет повышенные требования к вентиляции и технике безопасности.

Представляет интерес исследование зависимости удельных энергозатрат от плотности тока при очистке поверхности полосового проката. По результатам экспериментов, представленных на рис. 3.2, были сделаны следующие выводы:

1. Энергетическиезатраты на очистку минимальны при плотности тока 1 А/см2.

2. Очистка толькопри анодной поляризации требует энергии на порядокбольше, чем прикатодной.

По технологическим возможностям было предложено выделить пятьзон**,**

Область А характеризуется высокой интенсивностью удаления загрязне­ния, в том числе и окислов, но энергозатраты при этом значительны.

Область Б-с поверхности проката удаляются смазка и сажистые загрязнения, при этом отпадает необходимость в щеточно-моечных машинах (ЩММ).

Область В характеризуется минимальными энергетическими затратами, применение ЩММ зависит от требований к качеству очистки.

В области Г обязательно применение ЩММ, энергетические затраты относительно невысокие.

Область Д не эффективна с точки зрения энергетических затрат.

Обработка при малых напряжениях и низких плотностях тока обычно применяется как финишная операция после проведения предварительной очистки другими способами.

При электролитной очистке поверхности загрязнения переходят в элей-тролит. В процессе эксплуатации электролит также загрязняется за счет постепенного растворения анода.

 Результаты спектраль­ного анализа, проведенного в инфракрасной области, свидетельствовали о том, что в процессе электролитной очистки происходит разложение эфиров и карбоновых кислот, входящих в состав эмульсола. Дифференциальный термический анализ неорганических загрязнений показал наличие двух эндотермических эффектов при 110 "С и 400 "С, обусловленных потерей сорбционной и кристаллизационной воды, и большого экзотермического эффекта с максимумом при 275 "С. Такие эффекты характерны для гелеоб-разных окислов РегОз • пН20. Данные рентгенофазного анализа показали, что основными составляющими неорганических загрязнений являются Ре(ОН)з и у-РезОз • НзО. При спектральном анализе обнаружены примеси 81, Са и др. После прокаливания на воздухе при температуре 1000 "С в составе загрязнений были обнаружены 5102 (а-тридимит), окислы РеО, Ре20з, Рез04, 4Са • ЗРе20з • Рез04.

Таким образом, в состав загрязнений входят: технологические масла и продукты их превращения (эфиры, спирты, альдегиды и кетоны), гидраты окислов железа, кремния и кальция, соли веществ, входящих в состав электролита, а также частицы металла, являющиеся продуктами износи полосы и оборудования при прокатке.

**3 Очистка поверхности металлов и сплавов от окислов**

Возможность очистки поверхности от окислов предусматривалась • одной из первых работ по применению данного способа поверхностной обработки. Результаты экспериментальной проверки, проведенной в работе для полосового проката, показали, что обработку можно вести в растворах Nа2СОз, МаС1, К.2СОз с концентрацией 5...10% при напряжениях 160... 220 В.

Аналогичные исследования были проведены с использованием одномо­лярных растворов Ма2СОз, Маг504, NаС1, а также разбавленных кислот НС1 и Н2&04. Продолжительность удаления горячекатанной окали­ны с полос малоуглеродистой стали толщиной 2,5...10 мм составляла 20...45 с при использовании в качестве электролита раствора кальцинированной соды.

Применение солей активных кислот позволяло снизить время обработки на 40... 60%. Эксперименты, проведенные с использованием слабых раство­ров соляной и серной кислоты, позволили значительно сократить время обработки. Так, окисная пленка толщиной 0,2...0,35 мм, образующаяся ни поверхности автолистовой стали при холодной прокатке, удалялась в тече ние 0,2...0,25 с. Окисная пленка толщиной 1,5...2,0 мкм, образовавшаяся при отжиге на поверхности нержавеющей стали, удалялась в течение 0,3...0,5 с, а окалина толщиной 10...18 мкм была удалена с поверхности толстых полос за 1,0...5,0 с.

Необходимо отметить, что катодная очистка поверхности от окислов по существу является электроэрозионной обработкой. Она может происходить только при возникновении импульсных электрических разрядов. Как отмечалось ранее, характер импульсных разрядов в режимах III и IV приблизительно одинаков. Отличие лишь в том, что в переходном режиме периодически осуществля­ется контакт электролит - металлический катод, что приводит к охлажде­нию последнего и не позволяет образовываться на поверхности стабильному парогазовому слою.

При обработке изделий, движущихся с достаточно большой скоростью, поверхность металла не сможет нагреться до значительной температуры даже при выходе на режим IV.

В качестве электролита использовался 10%-ный водный раствор сернокислого натрия при температуре 50...70°С. Опыты проводи­лись при напряжении до 150 В. Оптимальным признано применение катодной поляризации, обеспечивающее надлежащее качество очистки за время обработки, равное 3 с.

Для интенсификации процесса очистки к раствору соды (9,5...11%) было предложено добавлять 1,3...1,5% фтористого натрия. Очистку прово­дили при напряжении свыше 170...180 В и плотности тока 0,9...1,1 А/см2.

Обра­ботка, названная авторами электроразрядной, проводилась при напряжении 170...180 В и плотности тока 0,95...1,0 А/см2 в электролите, содержащем 12...15% соды. Было найдено, что после 30 с обработки наблюдалось значительное изменение рельефа поверхности, характеризующееся сильной разрыхленностыо окисного слоя, вырывами, обнажающими участки метал­лической основы. При дальнейшей обработке (60 с) окалина сохранялась в-ввде отдельных островков. Увеличение времени обработки до 90 с и выше приводит к микрооплавлению основного металла. При этом возможно повторное окисление очищаемой поверхности.

Применение предварительного знакопеременного изгиба позволяло со­кратить время очистки с 60...90 до 20...25 с. Скорость очистки может быть увеличена при последующем использовании приводных металлических ще-ТОк[131].

Для очистки поверхности стальной проволоки и лент было предложено применить 10.. .15%-ный раствор сульфата аммония. Процесс рекомен­довано проводить при напряжении 100...150 В и плотности тока 2,5...3,4 А/см2.

Возможна также очистка фасонных поверхностей с применением специ­альных устройств для подачи электролита.

Весьма недостаточно исследована возможность применения анодного процесса для очистки поверхности. Возможно, это связано со вторичным ее окислением в результате выделения кислорода. Между тем, имеющиеся данные указывают, что при анодном процессе происходит активное растворение некоторых металлов. К ним относятся вольфрам, молибден, алюминий, титан. Хуже растворяются хром и некоторые стали. В ряде случаев максимальный эффект наблюдался в сравнительно узком интервал напряжений, где выход по току, определяемый условно по закону Фарадея,

превышал 100%. Авторы связывают это с протеканием интенсивных химических и электрохимических реакций в парогазовой оболочке в присутствии электрических разрядов, а также их непосредственным воздействием на поверхность анода, особенно в электрогидродинамическом режиме. Воз­можна эрозия поверхности и в режиме нагрева.

Таким образом, анодная обработка совмещает в себе электроэрозионное, кавитапионное и электрохимическое воздействия, и для некоторых металлов и сплавов ее применение может дать положительный эффект. По своему действию она является электроэрозионноэлектрохимической, которая на­ходит широкое применение в машиностроении как один из видов размерной обработки.

**4. Результаты промышленных испытаний и внедрение способа электролитной очистки поверхности**

Очистка поверхности металлов и сплавов в электролите при повышенных напряжениях, получившая ряд названий (электролитная, электролитно-кя-витационная, термоэлектроразрядная) прошла опытно-промышленные ис­пытания.

Наиболее приемлемым сортаментом для ее использования являются проволока и прутки, имеющие круглое сечение. При их обработке отсутствует необходимость принятия специальных мер для защиты кромок, что иногда имеет место при обработке полос, особенно тонких. Кроме того, для них легче создать одно из необходимых условий для электролитной обработки: площадь вспомогательного электрода должна быть больше пло щади активного электрода (обрабатываемого участка поверхности).

Очистка поверхности сварочной проволоки диаметром до 8 мм проводилась на специализированной установке при напряжении 150...200 В и силе тока 100... 150 А. Максимальная скорость проволоки, обеспечивающая ее качественную очистку, достигала 50 м/мин, используемый электролит *-* раствор кальцинированной соды концентрацией 10...15%. В данной уста­новке использовали катодный процесс. После обработки на поверхности образовывалась защитная пленка, содержащая натрий, что улучшало усло­вия горения дуги при последующем использовании проволоки.

Аналогичные параметры использованы в установке, предназначенной для очистки проволоки от ржавчины и графито-мылъной смазки. Габариты установки были 2200 х 1700 х 1900 мм, применяемое напряжение 180 ± 20В**,** сила тока до 400 А, плотность тока 4,9...5,2 А/см2. В качестве электролита использовали водный раствор соды концентрацией 5 ± 1%.

На одной из промышленных установок осуществлялось травление про­волоки диаметром 1...3 мм при напряжении до 130 В и плотности тока до 15 А/см2 при скоростях 2,5...9,5 м/мин.Обработка полос малой ширины(от 40 до 350 мм) проводилась с использованием узлов разной конструкции, в том числе с горизонтальным и вертикальным перемещением изделий.

Была выполнена опытно-промышленная проверка электролитной очи-, стки поверхности рулонной электротехнической стали промышленной ши­рины (до 800 мм). Обработку проводили в двух режимах: разрядном (при напряжении 200...240 В и силе тока в каждой из двух ванн 300...500 А), и в режиме активного электролиза (при напряжении 80... 100 В и силе тока 600...1000А).

Первый режим наиболее эффективен для очистки поверхности металла, прокатанного с использованием эмульсола. В то же время очистка поверх­ности с остатками индустриального масла в данном режиме нецелесообраз­на. Под воздействием электрических разрядов в этом случае происходило частичное выгорание летучих фракций с образованием твердых частиц, которые в дальнейшем коагулировали и служили источником вторичного загрязнения поверхности.

Одновременно с отработкой технологии была проведена оценка возмож­ности применения в качестве источников питания тиристорных преобразо­вателей АТ-1000/230-1 с номинальным выпрямленным напряжением 230 В и номинальным током 1000 А.

 Необходимость проведения данной работы была вызвана тем, что в промышленных установках электролитной обработки, в том числе и нагрева, не было необходимости в использовании столь больших значений силы тока. Выбранные агрегаты являются регули­руемыми преобразователями трехфазного переменного тока и предназнача­ются для питания якорных цепей электродвигателей постоянного тока.Ихприменение в электролитной очистке широкополосного проката было про­ведено впервые и требовало исследования возможности использованияихдля этих целей.

Определенные сложности возникли при переходе от электролизного режима к разрядному, ибо в переходном режиме наблюдались броски тока, иногда срабатывала токовая защита.

Одним из вариантов вывода процесса на разрядный режим без перегру­зок по току является постепенное увеличение площади контакта электро­лита и полосы при полном напряжении на спреере. Постепенное увеличение уровня электролита приводит к локальному контакту электролита с полосой и возникновению разрядов на небольшой площади касания, при этом переходные процессы на малой площади не создают больших токов, пре­дельных для преобразователей. Дальнейшее увеличение площади касания полосы с электролитом уже не ведет к срыву разрядов и переходу процесса в электролизный режим с большими токами.

С декабря 1985 г. на Ашинском металлургическом заводе впервые в стране внедрен и успешно эксплуатируется промышленный агрегат элект­ролитной обработки полос, на котором была реализована рассматриваемая технология. На этом агрегате используется универсальная конструкция, обеспечивающая возможность двухсторонней очистки полос толщиной от нескольких десятков до нескольких сот микрон. Данная схема может быть применена и для обработки более толстых полос. Применение специальной конструкции позволило обеспечить равномерное распределение потока электролита, а также плотности тока по ширине полосы, что дает возможность проводить качественную очистку обеих поверхностей и избежать локального перегрева отдельных участков, в том числе и кромок,

Оптимальные параметры и расположение рабочего электрода по отно­шению к полосе дали возможность снизить падение напряжения в электро лите и увеличить выделение энергии в парогазовом слое около обрабатыва­емой поверхности. По результатам испытаний рекомендованы оптимальные режимы обработки, обеспечивающие количество остаточных загрязнений менее 20 мг/м , при этом время очистки сокращено до 0,1 с.

Электробезопасность работы агрегата обеспечивается конструкцией ус­тановки, заземлением полосы, системами ограждений и блокировок, уста­новленных на агрегате.

На заводе фирмы "Ниппон кокан" одна из установок электролитической очистки переоборудована для работы в режиме высокой плотности тока (не менее 1 А/см ), при этом длительность очистки не превышает 0,1 с. Сведения о других технологических параметрах, напряжении, составе и температуре электролита, а также о применяемой конструкции, отсутствуют. В то же время приведенные выше данные весьма сходны с теми, которые применяются при электролитной очистке.

В целом можно отметить, что наиболее технологически отработанной и подготовленной к внедрению следует считать очистку поверхности полосы от технологических смазок, механических частиц и других загрязнений после холодной прокатки. Малая продолжительность обработки (0,1...0,2 с) дает возможность проводить качественную подготовку поверхности в узлах малой протяженности. Это позволяет вводить узлы очистки в состав дейст­вующих агрегатов при их реконструкции и увеличить их производительность в том случае, если лимитирующим параметром является скорость подготов­ки поверхности.

Как правило, агрегаты непрерывной обработки, на которые рулоны полосы поступают после холодной прокатки, имеют комплекс устройств, где осуществляется многоступенчатая очистка поверхности (химическое обезжиривание, щеточно-моечная обработка, низковольтная электрохими­ческая или ультразвуковая очистка). Узел электролитного обезжиривания

может быть установлен вместо любой ванны, где выполняются вышеуказан­ные операции, а освободившиеся площади можно использовать для уста­новки дополнительного технологического оборудования, обеспечивающего повышение скорости последующей обработки.

Применение электролитной очистки поверхности полос после холодной прокатки может сократить количество углерода, перешедшего из прокатной смазки, оставшейся на по поверхности, в металл в процессе отжига.

Для электролитного обезжиривания применяются технологические рас­творы примерно такого же состава, как при химической и низковольтной электрохимической очистке (водные растворы кальцинированной соды с добавками тринатрийфосфата, а также слабые растворы щелочей).Это позволяет использовать существующие системы циркуляции при предвари­тельном охлаждении электролита, который будет нагреваться при обработке. Обезжиривание проверено при скоростях перемещения полос до 120 м/мин, возможна обработка при больших скоростях.

Электролитная очистка поверхности металлов и сплавов от окислов испытана и может быть рекомендована к внедрению на агрегатах, где проводится обработка полос малой ширины, прутков, проволоки и т. д. Рекомендуемые скорости перемещения до 20...30 м/мин. В настоящее время технология не разработана настолько, чтобы ее можно было рекомендовать для использования в агрегатах, предназначенных для травления широких полос, перемещающихся с большими скоростями.

**5. Очистка поверхности сварочной проволоки в электролите**

Особенности очистки сварочной (и любой другой) проволоки, связанные с протягиванием ее через рабочий узел, накладывают определенный отпе­чаток на ведение технологического процесса и конструкцию установки.

Сразу отметим, что варианты ванной обработки значительно уступают камерным (и даже спреерным) по эффективности и производительности. Это объясняется невозможностью обеспечения хорошей сменности элект­ролита в прикатодной зоне и, как следствие, невозможностью поддержания прикатодной области в наиболее оптимальном состоянии. В отличие от химического травления об очистке ванным способом всей бухты проволоки одновременно (например, полным или частичным погружением) не может быть и речи из-за невозможности течения процесса в межвитковом про­странстве и проблем, возникающих с ее хранением в неперемотанном виде.

Вышеизложенные соображения, существующий опыт и наши предвари­тельные исследования привели к созданию промышленной установки "ЭП-10" , устройство которой показано на рис. 3.3.

Установка представляет собой раму, на которой смонтированы разматы­вающее, направляющее и приемное устройства, бак с электролитом и

насосом для его подачи, рабочая камера. Отдельно расположен специали­зированный источник питания с блоком управления и контрольными приборами. Механическая часть оборудования выполнена на базе известных опробованных инженерных решений, которые в каждом конкретном случае, согласно требованиям заказчика, могут быть различными.

Рабочий узел установки (рис. 3.4а) представляет собой цилиндрическую конструкцию, состоящую из двух электрически не связанных друг с другом элементов: рабочей камеры 1 и "холодильника" 2. Положительный полюс источника питания подается только на первую камеру. Для удобства заправ­ки проволоки в верхней части камер вблизи перегородки 3 и крышки 5 вырезаны прямоугольные окна, которые закрываются крышками или пово­ротными кольцами.

При работе установки электролит последовательно протекает через ра­бочую камеру и холодильник. Соотношение линейных размеров камер» , сечений патрубков и некоторых других элементов рассчитано и подобрано таким образом, чтобы электрический потенциал, попадающий во вторую камеру по электролиту, создавал на корпусе второй камеры, также являю- щейся анодом, определенное напряжение. В этом случае напряжение на 1 первой камере можно повысить и довести до такого значения, при котором 1 очистка в ней будет идти более эффективно, но с некоторым нагревом проволоки. Во второй камере при этом будет также идти процесс очистки, уже без нагрева проволоки, с ее охлаждением и защитой от вторичного окисления при контакте нагретой поверхности с окружающей средой.

Таким образом, автоматически поддерживаемое соотношение потенци­алов на камерах позволяет интенсифицировать процесс очистки.

Опыт эксплуатации установок типа "ЭП-10" выявил определенные не­достатки в конструкции ее отдельных узлов и в последующем некоторым изменениям помимо механики подвергся и узел очистки.

В первом варианте (рис. 3.4а) электролит в рабочую камеру подавался через три патрубка, расположенных в одной плоскости и смещенных относительно друг друга на 120 градусов, а выводился через патрубок большего диаметра, вваренный вертикально в верхней ее части. В холодиль­ник электролит подавался через два патрубка, расположенных на образую­щей цилиндра-корпуса снизу, а сливался через два аналогичных смещенных относительно осей нижних патрубка в верхней части. Часто в холодильнике задействовалось два патрубка (один на вход, другой на выход), чтобы обеспечить встречное по отношению к перемещению проволоки движение электролита.

В модернизированном узле очистки (рис. 3.46) подача электролита осуществляется через специальные пластмассовые распылители - улитки. В рабочей камере и холодильнике расположено по два распылителя таким образом, что вытекающий из них электролит омывает изнутри только стенки

камер,а на обрабатываемую проволоку отдельные струи не попадают. Положительную роль в этом случае играет также взаимодействие двух потоков, закрученных распылителями в противоположные стороны. Необ­ходимо отметить, что преимущества модернизированного узла очистки реализуются только при полном и постоянном заполнении электролитом камер и достаточной его сменности, что и происходит при работе установки.

Для небольших предприятий и производств, использующих полуавтома­тическую сварку эпизодически или с перерывами в технологическом цикле разработано устройство электролитной очистки сварочной проволоки, встраиваемое непосредственно в полуавтомат без ограничения его типа и модели и с минимальной его переделкой.

Устройство состоит из узла очистки, расположенного между подающим механизмом и устройством для размотки бухты проволоки, и специализи­рованного источника питания с пультом управления.

Основные технические характеристики устройства:

Напряжение питания, В 380

Рабочее напряжение на камере, В 80-200 Максимальный рабочий ток. А 100 Скорость протяжки, м/ч до 500 Продолжительность включения, % 40-80\* Вес, кг 50-100\*

**ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ**

**1. Нанесение покрытий при катодной обработке**

Наличие электрических разрядов между обрабатываемой поверхностью и электролитом способствует переходу элементов электролита в парогазовую оболочку, где они находятся в химически активном состоянии. При этом ионы металлов и других легирующих элементов, таких как бор, углерод, азот, устремляются к катоду. В результате обрабатываемая поверхность обогащается этими элементами. При этом на поверхности могут произойти химические реакции, в результате которых либо образуется окисная плёнка, либо нарастает поверхностный слой. Последнее ускоряется за счёт микро­капель электролита, движущихся через парогазовый слой к поверхности металла. Одновременно происходит эрозия поверхности. В итоге состояние поверхности определяется как результат взаимодействия противоположно

действующих факторов.

В одной из первых работ по применению катодного процесса для нанесения покрытий на сталь использовался сам факт нагрева поверхности катода в электролите. Предназначенные для нанесения на поверхность наплавочные порошки сормайта и сталинита (смеси карбидообразующих элементов с углеродом) вначале были закреплены на поверхности с исполь­зованием жидкого стекла. После сушки и прокалки при 400 °С стержневые образцы диаметром 5...10 мм нагревали в водном электролите, содержащем 10 % КазСОз, при напряжении 200...250 В и плотности тока 5...65 А/см2. В опытах получены наплавленные слои толщиной от десятков до сотен микрометров с микротвёрдостью 8...9 ГПа. Поскольку перегрев выше тем­пературы плавления сплава был небольшим, основной металл плавился

незначительно, поэтому даже тонкие слои сплава не перемешивались г металлом основы.

Обработка по биполярной схеме в 3...7%-ном растворе щавелевойкис­лоты была применена для получения на поверхности проволоки гидрокса латов железа т • Рег(С204) • пРе(ОН)з, отлагающихся в виде кристалличе­ского осадка*.* Эти соединения, используемые в качестве подсмазочного слоя, облегчают процесс волочения проволоки. В данном процессе исполь­зовался как сам электролит (щавелевая кислота), так и ионы железа, поступающие в электролит с обрабатываемой поверхности в анодных ячей­ках.

Катодный нагрев был использован для получения боросодержащих ком­позиционных электрохимических покрытий (КЭП). Сущность пред­ложенного в данной работе метода состоит в совместном осаждении элект­ролитического никеля с дисперсными частицами аморфного бора или карбида бора и последующей термической обработке в электролитной плазме. Толщина полученных покрытий составляла 0,3.-.0,4 мм, содержание частиц в покрытиях было 4,6 масс. % бора и 5,9...7,2 масс. % В4С. Диффузионный отжиг покрытий осуществляли в 15%-ном растворе Nа2СОз при выдержках от 1 до 300 с, скорость нагрева составляла 50 и 500 "С/С. Температура нагрева регулировалась в пределах 500...880 °С.

Рентгеноструктурный анализ покрытит гоказал, что при всех изученных режимах термической обработки покрытий обоих типов основной упрочня­ющей фазой был борид никеля№.4В фазы №3В при различных режимах свидетельствовало о заметном у**.**

Исследование кинетики образования скорении этого процесса по сравнению с нагревом в печи. Было установлено, что объёмная доля и температура начала образования боридов и их распределение в объёме покрытия зависит от природы наполнителя. Отмечено также образование пор размером 0,5... 9мкмпри плазменной (электролитной) обработке покрытий никель-бор, в то время как покрытия №-В4С пор не содержали.

Анализ исследования тонкой структуры покрытий показал, что в интер­вале температур формирования боридов (400...900 °С) наблюдалась высокая плотность дислокации (10 ...10 см'2), причём в покрытии с карбидом бора она была почти на порядок ниже, чем в покрытии с частицами аморфного бора. В работе проведено сравнение триботехнических свойств покрытий, прошедших обычный (печной) отжиг и электролитный нагрев. Линейный износ покрытий после электролитного нагрева был значительно ниже, коэффициент трения изменялся несущественно. Авторы связывают это с более высоким содержанием боридной фазы в приповерхностных слоях (в покрытии №-В) и с более равномерным распределением боридной фазы (в покрытии №-В4С).

Мало исследована обработка в переходном режиме катодного процесса. Между тем его использование для этих целей представляет значительный интерес. Наличие в данном режиме импульсных электрических разрядов позволяет проводить очистку поверхности, в том числе и от оксидов.В тоже время существование интервалов времени, когда осуществляется контакт электролита с металлом, не допускает перегрева последнего в объеме и позволяет осуществить обычный гальванический процесс осаждения метал­лов на поверхность катода. Обработка полученного слоя импульсными электрическими разрядами может привести к образованию на поверхности сложной системы, состоящей как из обрабатываемого металла, так и из компонентов электролита.

Одним из возможных вариантов применения данной обработки является технология упрочнения поверхностного слоя воздействием электрических разрядов при полном сохранении структуры и свойств в объеме изделия. Такая обработка названа авторами технологией обработки электрическими разрядами (ТОЭР).

Предварительные эксперименты показали значительное увеличение твердости поверхностного слоя обработанных изделий из различных сталей в сравнении с исходной твердостью в объеме металла, принятой за 100%:

Ст. 3 - 400%, сталь45 - 320%, Р6М5 - 200%, У8 - 290%, 60Х2СМФ (закаленная валковая сталь) - 120%, 20ХГСА - 170%. Технология позволяет создать микрорельеф поверхности с заданной шероховатостью, отличающейся вы­сокой степенью изотропности.

На базе технологии разработана установка, на которой можно обрабаты­вать рабочие валки прокатных и дрессировочных станов, вальцы и другие детали.

**Техническая характеристика установки** Плотность электрических

разрядов, 1/см • с 40...100

Длительность обработки (в зависимости от задаваемой шероховатости), мин2...30

Потребляемая мощность (в зависимости от размеров валка), кВт 20...200

Габаритные размеры, м 4х3х3

Большое число электрических разрядов с высокой плотностью на еди­ницу поверхности, случайный характер зарождения и постоянно меняюще­еся во времени распределение разрядов по поверхности, возможность леги­рования поверхностного слоя различными элементами в процессе воздей­ствия на поверхность плазмы электрических разрядов - все это обеспечи­вает комплекс положительных свойств поверхностного слоя, который весь­ма затруднительно получить другими способами и устройствами.

**Характеристики поверхностного слоя обработанных прокатных валков**

Твердость, ГПа 11...12 Толщина слоя, мкм 150...250 Интервал задаваемой шероховатости, мкм 1...10 Изотропность шероховатости 0,9... 1,0

Число пиков на единицу длины базы профиля 80... 300

По структуре микрорельеф поверхности представляет собой равномерно распределенные выступы в виде наплавленных капель металла. В этом принципиальное отличие микрорельефа от получаемого другими способа­ми, в результате которых на поверхности создаются впадины. При данном способе обработки в сравнении с известными существенно выше число пиков на единицу длины базы обрабатываемого профиля.

**2. Образование покрытий на поверхности активного анода**

Образование на поверхности активного анода неметаллических образо­ваний отмечалось в большинстве работ, посвящённых данному способу обработки. При этом характер образований был различным.

Так, при молибденировании армко-железа и стали 45 на поверхности образовывалась рыхлая "шуба", причём её толщина зависела от состава электролита. В то же время при вольфрамировании на поверхности могли образовываться как толстые рыхлые слои, так и тонкие плотные плёнки, отделение которых от поверхности было весьма затруднительным. При азотировании технического железа в водном растворе 15% N11401 + 5% Н40Н поверхностный слой содержал 66% чистого железа, в то время как на стали 45 после обработки содержание железа было 48%. В слое обнаружены окислы РеО, Ре20з, Рез04, для технического железа в большом количестве были нитриды Ре2М и Рез1^. На стали 45 в малом количестве присутствовал нитрид Ре2К.

Анализ поверхности металла, проведённый после снятия поверхностного слоя, показал наличие феррита (а-Ре), аустенита (у-Ре], смеси нитридов РезN4 и Ре4М^, а также некоторого количества оксидов РеО, Ре20з и Рез04. Предполагалось, что это может быть вызвано как неполным снятием поверх­ностного слоя, так и образованием в диффузионной зоне дисперсных включений.

При науглероживании таких же образцов в электролите, состоящем из 15% хлористого аммония + 10% ацетона, в поверхностном слое техническо­го железа было обнаружено 83% чистого железа, а на стали 45 - 71%. В слое присутсвовали также оксиды РеО, Ре20з и Рез04, а на поверхности железа ещё и незначительное количество графита.

Поверхностный слой после вольфрамирования содержал 19% железа, до 48% вольфрама, окислы Ж)2, \УОз, РеО и Рез04, кроме того, соединения \УС, Ре2^ и РезС. На поверхности обработанных образцов обнаружены следы сложных оксидов вольфрама и около 5% чистого вольфрама.

На основании результатов рентгенодифрактометрического фазового ана­лиза был сделан вывод об изменении тонкой кристаллической структуры технического железа.

После молибденирования поверхностный слой ("шуба") представлял собой смесь оксидов РеО, Ре20з, Рез04, феррита (9...11%) и чистого молибдена (18%). На поверхности металла были обнаружены феррит, не­значительное количество окислов Ре20з и Рез04 и около 2% чистого молибдена.

При комплексном насыщении стальных образцов молибденом и вана­дием в поверхностном слое в большом количестве содержались оксиды У02, У204, МоОз, Мо02,8, РеУ204, РеУ205, РеУ04, РеМо04, а также малое количество РеО и Ре20з. Обнаружено небольшое количество ванадия и молибдена (их соотношение приблизительно 3:1).

При азотировании титанового сплава ВТ1-0 поверхностный слой содер­жал а-Т1, смесь окислов титана, нитрид Т1К С ростом длительности обработки увеличивалось количество нитридов при одновременном умень­шении содержания окислов.

У науглероженных образцов при различных напряжениях состав поверхно­стных слоев в качественном отношении был одинаков: а-Т1, оксиды титана, карбид и карбоксид титана. Повышение напряжения сопровождалось уве­личением окисления поверхностных слоев, что дало основание сделать предположение о стабилизирующей роли окисной плёнки при данных условиях обработки.

Таким образом, в состав слоя, образующегося на поверхности анода при нагреве последнего в электролите, входят оксиды обрабатываемого металла и элементов, входящих в состав электролита. Содержание относительно большого количества железа, вольфрама, молибдена и в меньшей степени ванадия свидетельствовало об активных восстановительных процессах в парогазовом слое. Однако причиной этого является, по-видимому, наличие в этом слое значительного количества водорода (и окиси углерода при науглероживании), а не высокая напряжённость поля и большая темпера­тура нагрева анода.

Процессы восстановления окислов железа водородом и окисью углерода достаточно хорошо изучены, а восстановление водородом окислов молибдена и вольфрама - это основной метод получения *этих* металлов в промышленности.

Образование покрытия на поверхности может происходить и в результате взаимодействия металла с азотом парогазового слоя. Так, при обработке стали 40Х в электролите, содержащем 10% N11401 и 5% N114011, на поверхности образовался нитридный слой толщиной 20...40 мкм. Над ним наблюдался слой окислов толщиной 4...5 мкм.

Коррозионные испытания в растворе 0,1 N Nа2504 показали, что ско­рость коррозии азотированной стали в 3 раза меньше, чем необработанной. Промежуточные результаты были получены для азотированной стали С удалённым окисным слоем. Коррозия обработанной стали проходила нерав­номерно в виде пятен и точек. Это объясняли и наличием пор в слое нитридов, и проникновением продуктов растворения железа через поры на поверхность. На высокие защитные свойства многофазного покрытия, полученного при азотировании стали 45.