

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

Аспирант БУДНИК В. Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА
ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ СТЕЛЛИТОВ
В ВАКУУМЕ НА УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ
КЛАПАНОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

(05.167 — Машины и технология сварочного производства)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Н И Б М И Т У И М Н. Э. Баумана



1123619
Будник В. Н. Исследование

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

Научный руководитель — к. т. н., доц. Ямпольский В. М.

Официальные оппоненты: д. т. н., проф. Олышанский Н. А.
к. т. н., с. н. с. Антонов А. А.

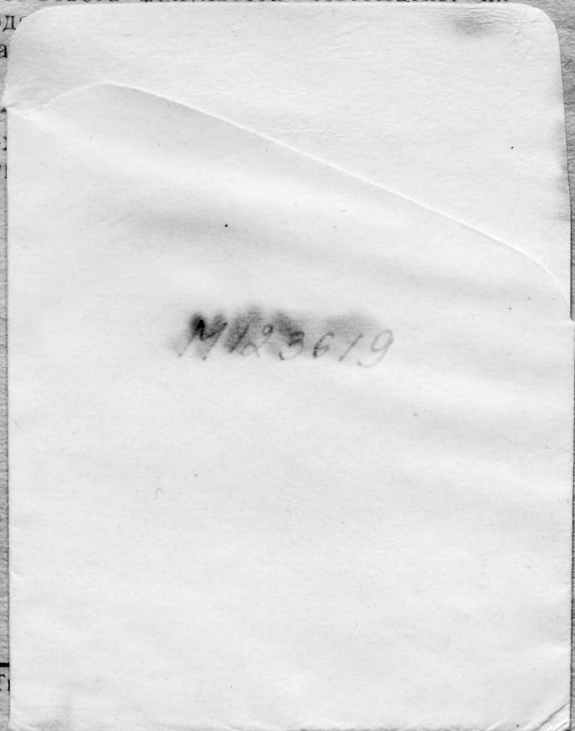
Ведущее предприятие: указано в решении Ученого Совета.

Автореферат разослан «...» 1971 г.

Защита состоится «...» 1971 г.
на заседании Ученого Совета факультета «Автоматизация и
механизация производ
сква, Б-5, 2-ая Баума

С диссертацией м

Ваши отзывы в 2-
сим направлять по у



Введение

Процессы наплавки занимают одно из важных мест в современной технике. Свойства металла наплавки и его соединения с основным металлом зависят от глубины проплавления основного металла, его перемешивания с наплавленным и перехода элементов основного металла в металл наплавки. Увеличение глубины проплавления, степени перемешивания и перехода элементов основного металла в металл наплавки ухудшает свойства как металла наплавки, так и соединения в целом. Поэтому для изготовления ответственных биметаллических изделий необходимо применять такие способы наплавки, которые обеспечивают минимальное проплавление основного металла. Разработка таких способов является важным направлением развития современной наплавочной техники.

Из новых способов наплавки наиболее полно удовлетворяет требованиям получения биметаллических изделий с минимальной глубиной проплавления основного металла способ дуговой наплавки в вакууме. Кроме этого использование вакуумно-дугового переплава наплавляемого материала в процессе наплавки позволяет получить плотный, без пор наплавленный слой повышенной химической чистоты с минимальной газозагазованностью.

Настоящая работа посвящена исследованию процесса и разработке технологии дуговой наплавки сталлитов в вакууме на изделия со сложной конфигурацией поверхности.

Работа состоит из введения, четырех глав и выводов.

Г л а в а I. Наплавка рабочих поверхностей клапанов как средство повышения моторесурса двигателей

Клапанный узел в двигателях внутреннего сгорания обеспечивает подачу горючей смеси в цилиндр и отвод выхлопных газов после ее сгорания. Подача горючей смеси и выхлоп отработанных газов осуществляется при помощи впускных и выпускных клапанов. При вспышке на дно клапана действуют агрессивные, коррозионно-активные газы, которые являются продуктом сгорания топлива, эти газы имеют температуру 1200-1300°C, а скорость истечения их достигает 650-750 м/сек. Поэтому отдельные участки рабочей поверхности выпускного клапана могут нагреваться до 900°C и впускного до 500°C. Помимо этого при посадке клапана на покоробленное седло фаска подвергается повторным напряжениям сжатия, которые приводят к появлению усталост-

ных трещин на грибке.

Рассмотренные условия работы клапана позволяют сформулировать требования к материалу его рабочей поверхности. Требования можно классифицировать следующим образом:

1. высокая жаропрочность при достаточном запасе пластичности;
2. высокая жаропрочность и сопротивление по отношению к газовой коррозии в среде выхлопных газов;
3. возможно более высокая теплопроводность;
4. отсутствие объемных изменений в материале при температуре эксплуатации;
5. низкий коэффициент трения между рабочей поверхностью клапана и седлом.

Наиболее полно как материал вышеперечисленным требованиям удовлетворяют стеллиты – сплавы на кобальтовой (В2К, ВЗК) или никелевой (ВХН-I) основе. Стеллиты хорошо сопротивляются механическому и эрозионному износу, им характерна высокая коррозионная стойкость в условиях агрессивных сред при температурах выше 850-900°C. Стеллиты также хорошо поддаются всем видам механической обработки, с применением твердосплавного инструмента, давая при этом ровную гладкую поверхность.

Нанесение стеллитов на рабочую поверхность клапанов осуществляется при помощи наплавки. В настоящее время основными способами наплавки стеллитов являются: наплавка ацетилено-кислородным пламенем, наплавка дугой, горящей в аргоне с неплавящегося вольфрамового электрода, наплавка плазменной струей, наплавка токами высокой частоты, "намораживанием" и наплавка дугой в вакууме.

Наплавка стеллитов ацетилено-кислородным пламенем на поверхности различной конфигурации обеспечивает минимальное проплавление основного металла и различную толщину наплавленного слоя. Однако этот способ имеет много недостатков, основными из которых является низкая производительность и большой процент брака (60 + + 70%) в виде отдельных неметаллических включений и пор.

При аргоно-дуговой наплавке с подачей прутков стеллита в зону наплавки содержание основного металла в наплавленном достигает 30+40%, что приводит к механической, химической и структурной неоднородности в наплавленном слое и появлению трещин и отколов на наплавленной поверхности при работе изделия.

В ИЭС им. Патона, учитывая важные технологические преимущества высокотемпературной сжатой дуги, заменили аргоно-дуговую

наплавку, при наплавке клапанов простой конфигурации, на плазменную. Опыты показали, что наплавка сжатой дугой сохраняет все преимущества и свободна от недостатков, свойственных аргоно-дуговой наплавке, но процент брака из-за пористости в наплавленном слое достаточно высокий и составляет по данным ЗИЛ - 10%.

Возможность наплавки клапанов только простой конфигурации, сложность и громоздкость оборудования, некоторые затруднения, возникающие при наплавке никелевых сплавов, имеющих низкую температуру магнитного превращения, несколько затушевывают преимущества способов наплавки токами высокой частоты и "намораживанием".

Поэтому возникает потребность в создании универсального способа получения качественных биметаллических поверхностей, на изделиях простой и сложной конфигурации, отличающегося несложным оборудованием, технологичностью, простотой, а также возможностью автоматизировать и механизировать процесс. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет способ дуговой наплавки стеллитов в вакууме. Отличительной особенностью данного способа наплавки является то, что дуга в вакууме имеет тепловые характеристики в диапазоне от тепловых характеристик ацетилено-кислородного пламени до тепловых характеристик обычных электрических дуг.

Это позволяет в процессе наплавки добиться минимального подплавления основного металла и перемешивания его с наплавленным. При этом наличие вакуума как эффективной защитной среды положительно влияет на свойства наплавленного металла.

Проведенный анализ литературных данных позволяет наметить цель настоящей работы, в которой было проведено исследование процесса дуговой наплавки стеллитов в вакууме на клапаны со сложной конфигурацией поверхности двигателей внутреннего сгорания с разработкой технологии и оборудования применительно к серийному производству. При этом ставились следующие задачи:

1. Исследовать процесс эрозионного разрушения катода, как основное условие существования дугового разряда в вакууме в зависимости от материала катода и изменения параметров горения дуги;
2. Исследовать технологические свойства дуги в вакууме;
3. Рассмотреть процесс вакуумно-дугового переплава стеллита при наплавке, а также процесс переноса вещества катода и его взаимодействия с металлом наплавки;
4. Разработать технологию наплавки клапанов со сложной конфигурацией поверхности применительно к серийному производству и

выдать рекомендации для промышленного внедрения способа дуговой наплавки в вакууме.

Г л а в а П. Разработка опытно-лабораторного оборудования для дуговой наплавки в вакууме

Для проведения исследований по изучению особенностей дугового разряда в вакууме и для разработки технологии дуговой наплавки в вакууме была спроектирована и изготовлена опытно-лабораторная установка СДВ-7. На этой установке также проводилась отработка отдельных механизмов, используемых при наплавке. Конструкция установки предусматривает применение элементов стандартного сварочного и вакуумного оборудования и максимальное использование средств механизации: продольное перемещение и вращение изделия в процессе наплавки, подача присадочного стеллита в зону наплавки.

Основные технические данные установки СДВ-7.

Объем вакуумной камеры, л	300
Вакуум в камере, мм рт.ст.	до $5 \cdot 10^{-4}$
Рабочий вакуум, мм рт.ст.	$(1 \pm 3) \cdot 10^{-3}$
Время достижения рабочего вакуума, мин.	3±4
Максимальный диаметр наплавляемых изделий, мм...	300
Потребляемая мощность установки, кВт	10

Установка состоит из рабочей камеры, вакуумной системы, сварочной горелки с механизмом вертикального перемещения катода, механизма подачи присадочного прутка-стеллита, механизмов вращения и продольного перемещения наплавляемой детали, пульта управления и источника питания сварочной дуги.

В процессе наплавки дуга горит между охлаждаемым катодом и анодом изделием. Над катодом расположен электромагнит, который создает продольное, по отношению к катоду, магнитное поле. Назначение поля удерживать катодное пятно на рабочей поверхности катода. Влияние продольного поля на движение катодного пятна впервые описано Штарком (эффект Штарка). В работе приведена схема различных вариантов использования "эффекта Штарка" для дугового процесса в вакууме. Проведено исследование влияния напряженности внешнего продольного магнитного поля на дугу установлено, что изменение величины напряженности поля влияет на электрические характеристики дуги, увеличение напряженности продольного магнитного поля приводит к уменьшению тока дуги и увеличению па -

дения напряжения на дуге. Объясняется это тем, что внешнее магнитное поле уменьшает диффузионные потери заряженных частиц из дуги, в результате чего возможно увеличение среднего значения градиента напряжения из-за некоторого повышения давления в дуговом промежутке.

Технологические основы выбора материала катода. Материал катода имеет важное значение для получения стабильного дугового разряда в вакууме. Обязательные условия существования дуги в вакууме это во-первых, наличие в дуговом промежутке паров материалов электродов и во-вторых, рабочая поверхность катода должна находиться в твердом кристаллическом состоянии. При появлении на рабочей поверхности катода жидкой прослойки дуга гаснет.

В данной работе исследовалась возможность получения длительно существующего дугового разряда в вакууме на катодах из следующих материалов: медь, алюминий, стеллит, титан, молибден, ниобий и вольфрам. Опыт показал, что получение стабильной, длительно существующей дуги в вакууме возможно лишь на катодах из меди, алюминия, молибдена и ниобия.

Следует заметить, что при горении дуги в вакууме часть вещества катода может выделиться на аноде и, если его поверхность находится в ванне жидкого металла, то возможно ее легирование материалом катода. Поэтому использовать дугу, горящую в вакууме с медного катода, для наплавки стеллитов невозможно, так как медь попадая в сплавы на основе никеля или кобальта не растворяется в них. Она располагается по границам зерен и при высоких температурах образует жидкие прослойки между зернами, что существенно сказывается на длительной прочности изделия в процессе работы.

Алюминий, вводимый в сложнелегированные никельхромистые жаропрочные сплавы, оказывает сильное влияние на повышение жаропрочных свойств этих сплавов, но использование его в качестве материала для катода не представляется возможным из-за слишком интенсивной эрозии в процессе горения дуги в вакууме. В результате эрозии на поверхности основного металла появляется напыленный слой алюминия, что ухудшает смачивание стеллитом наплавляемой поверхности.

Использование молибденового и ниобиевого катодов для процесса дуговой наплавки стеллитов в вакууме представляется наиболее целесообразным, так как их стойкость по сравнению с катодами из алюминия в 3,5-4 раза выше. Причем присутствие ниобия или молибдена в твердом растворе наплавляемых сплавов на основе кобальта

или никеля повышает их жаростойкость и термическую стойкость. Смазываемость поверхности основного металла стеллитом в процессе наплавки достаточно высока даже при наличии на поверхности основного металла напыленного слоя ниобия или молибдена.

В работе для осуществления дуговой наплавки стеллитов в вакууме материалом катода предлагается молибден. Он значительно дешевле ниобия, легче поддается механической обработке, а стойкость молибденовых и ниобиевых катодов, как показали исследования, примерно одинакова.

Чтобы избежать появления жидкой фазы на рабочей поверхности катода, приводящей к погасанию дуги, необходимо в конструкции катода предусмотреть возможность его интенсивного охлаждения в процессе работы. Были рассмотрены и испытаны различные варианты конструктивного выполнения катодов. В результате опробования катодов различной конструкции разработан составной катод, состоящий из конусообразного молибденового керна и медной втулки, соединенных между собой при помощи пайки. Дуга с такого катода горит при токе выше 400а, а его стойкость увеличилась по сравнению с первоначальными конструкциями примерно в 2,5 раза.

Г л а в а Ш. Исследование некоторых особенностей дуги в вакууме с испаряющимся катодом, как источника энергии для наплавки

Эрозионное разрушение материала катода — основное условие существования дугового разряда в вакууме.

Основным условием горения электрической дуги является наличие в межэлектродном пространстве заряженных материальных частиц. Для дуг, горящих при нормальном или повышенном давлении, это условие выполняется за счет газовой среды, которой заполнен дуговой промежуток, и за счет паров материала электродов. При горении дуги в вакууме происходит разрушение материала катода, при этом пары его концентрируются в дуговом промежутке. В данном случае дуга горит в парах материала электродов. Следовательно самое основное условие для существования устойчивого дугового разряда в вакууме — это непрерывное разрушение материала катода, но с другой стороны постепенный износ поверхности, по которой перемещаются катодные пятна, приводит к изменению геометрических размеров катода и нарушению технологических характеристик дуги как источника нагрева. И, наконец, при эрозии материала катода часть вещества катода переносится столбом дуги на анод.

Поэтому исследование эрозии катода, выявление причин, влияющих на нее, имеет большое практическое значение для обеспече-

ния надежности и стабильности процесса наплавки в вакууме, а также для получения качественного наплавленного слоя.

Определение основных факторов, влияющих на процесс эрозийного разрушения катода и выявления возможности управления процессом эрозии.

Ограниченные данные по исследованию эрозийного разрушения материала электродов не могут объяснить процессов эрозии, происходящих при горении дуги в вакууме с молибденового катода, поэтому в дальнейшем были проведены исследования, связанные с выяснением причин, влияющих на эрозию и причин, вызывающих ее.

В данной работе в качестве основного метода, позволяющего определить эрозию материала катода, был взят весовой метод.

В результате проведенных многочисленных исследований установлено, что зависимость скорости эрозии катода от величины сварочного тока (в пределах от 50 до 300 ампер) является линейной функцией в области исследованных токов. Следует заметить, что заметное влияние на скорость эрозии оказывают условия охлаждения катода. При уменьшении расхода охлаждающей катод воды с 65+70 г/сек до 2+4 г/сек скорость эрозии катода увеличивается на 25+30%. Температура охлаждающей воды в процессе экспериментов была равна примерно 10°C. Дальнейшее уменьшение расхода воды приводит к перегреву катода, в этот момент на рабочей поверхности катода появляется прослойка жидкого молибдена, дуга начинает перебра- сываться на боковую поверхность катода и гаснет.

Изменение длины дугового промежутка в диапазоне от 5 до 60 мм при постоянном значении тока дуги не влияет на скорость эрозии и она остается для каждого тока дуги постоянной.

Таким образом эрозия материала катода находится в прямой зависимости от тока дуги и интенсивности охлаждения катода и не зависит от длины дугового промежутка. Поэтому некоторое увеличение длительности работы катода может быть достигнуто путем интенсификации условий его охлаждения.

Анализ процессов, происходящих на катоде вакуумной сварочной дуги.

Одной из характерных особенностей поведения катодного пятна на однородных металлах при низких давлениях среды является непрерывное, хаотическое перемещение его по поверхности металла. При наложении продольного магнитного поля пятно начинает дви -

гаться направленно, но с точки зрения законов электродинамики, его движение происходит в направлении, обратном направлению, ожидаемому по правилу Ампера (эффект Штарка).

В данной работе изучалось движение катодного пятна в процессе горения дуги в вакууме. Изучение проводилось при помощи скоростной киносъемки рабочей поверхности катода камерой СКС-1М со скоростью 2600 кадров в секунду.

Обработка результатов, полученных скоростной киносъемкой, показала, что на рабочей поверхности катода существует одно или несколько катодных пятен. При увеличении тока дуги от 50 до 300 ампер число пятен увеличивается от 1 до 3-5. Пятна имеют хаотическое, но в то же время направленное перемещение, совпадающее с направлением вращения часовой стрелки. Скорость движения пятен изменяется от 2 до 20 м/сек и зависит от тока дуги.

Снимки катодных пятен позволили, весьма приближенно, определить плотность тока вакуумной сварочной дуги. Он находится в пределах $10^3 + 10^4$ а/см² при увеличении тока дуги от 50 до 300 ампер. Исходя из этих данных следует отметить, что учитывая погрешность в результатах определения плотности тока, которая возникает вследствие увеличения видимой площади, занимаемой катодными пятнами из-за яркости свечения, все равно плотность тока на молибденовом катоде не достигает значений, достаточных для интенсивной автоэлектронной эмиссии. В данном случае предпочтительней остановиться на термоэлектронных и термоавтоэлектронных процессах как основных.

Для верного истолкования механизма эрозионного разрушения были проведены металлографические исследования катодов, работавших при различных параметрах дугового процесса в вакууме. Исследования ставили целью:

- а) изучить микроструктуру поверхностного слоя катодов;
- б) установить влияние катодных пятен на изменение микроструктуры поверхности катода;
- в) по характеру изменения микроструктуры определить распределение температур по сечению катодов после их работы при различных параметрах процесса и более детально рассмотреть поверхностный слой катода, с которого происходит его эрозия.

Катодные пятна, перемещаясь по рабочей поверхности катода, нагревают ее, при этом происходят структурные превращения в поверхностном слое катода.

Влияние температуры нагрева на структурные превращения, происходящие в поверхностном слое катодов, определялось при помощи метода эталонных образцов. Выяснилось, что структурные превращения в поверхностных слоях катодов, работавших при различных токах дуги сводятся, в основном, к процессам рекристаллизации и собирательной рекристаллизации. При сравнении микроструктуры эталонных образцов, нагретых до различных температур в пределах $1000 \pm 1600^{\circ}\text{C}$, с микроструктурой образцов, изготовленных непосредственно из катодов установлено, что при токе в 50 ампер поверхностный слой катода нагревается не выше 1000°C . Увеличение тока дуги до 300 ампер приводит к нагреву поверхности катода до 1550°C . В глубь от поверхности температура плавно понижается и на глубине 4 мм составляет 1000°C .

При анализе большого количества профилограмм поверхностных слоев катодов обнаружены трещины, распространяющиеся от поверхности вглубь катода, без следов оплавления поверхности. Причиной появления этих трещин могут быть, очевидно, температурные напряжения, которые возникают из-за очень большого градиента температур в ограниченном объеме металла катода, на рабочей поверхности которого в данный момент располагается катодное пятно. Это подтверждается данными, полученными при определении температур поверхностных слоев катодов.

Проведенный расчет температурных напряжений, возникающих при интенсивном локальном разогреве отдельных участков поверхности катода, показал, что при локальном нагреве уже на 200°C температурные напряжения могут превысить предел прочности молибдена.

Исходя из анализа проведенных исследований можно предложить гипотезу механизма эрозионного разрушения молибденового катода сварочной дуги в вакууме.

В момент возбуждения дуги происходит взрыв мостика расплавленного металла, который нагрет до очень высоких температур. Благодаря высокой температуре разрушения мостика в облаке пара может возникнуть некоторое количество заряженных частиц вследствие термической ионизации. Повидимому именно эти заряженные частицы и участвуют в первый момент в создании катодного пятна.

Последующее питание столба дуги происходит вследствие растрескивания поверхности катода, отколов и выброса блоков кристаллитов в прикатодную область. Растрескивание является следствием перемещения катодных пятен по рабочей поверхности катода и возникающих термических напряжений, превышающих, предел прочности

молибдена. Отколам и выбросу вещества способствует наличие в прикатодной области электрического поля большой напряженности. В прикатодной области под действием высоких температур происходит плавление выброшенного вещества и его взрыв. В результате взрыва часть молибдена переходит в парообразное состояние, образуя и поддерживая паровую среду для существования разряда, а часть в виде отдельных частиц и капель разлетается в разные стороны.

Тепловые характеристики дуги в вакууме. Проведенные исследования ставили перед собой целью количественно оценить распределение тепла на катоде и аноде в процессе горения дуги. Оценка проводилась при помощи калориметрирования.

Исследования показали, что при увеличении тока дуги от 50 до 300 а относительная тепловая мощность дуги, выделяющаяся на катоде увеличивается с 12 до 25%, в то время как относительная тепловая мощность, выделяющаяся на аноде остается неизменной. На ее изменение существенное влияние оказывает длина дугового промежутка. При изменении длины дугового промежутка от 10 до 60 мм относительная тепловая мощность, выделяющаяся на аноде уменьшается с 50 до 35%. Таким образом длина дугового промежутка является одним из основных параметров процесса, позволяющим регулировать тепловыделение на аноде-изделии.

Г л а в а IV. Исследование некоторых свойств стеллита, наплавленного дугой в вакууме, и разработка технологии наплавки изделий со сложной конфигурацией поверхности

Основные параметры процесса наплавки. Определение значений основных параметров технологического процесса наплавки проводилось на образцах и заготовках выхлопных клапанов из стали ЭИ-69 (4Х14Н14В21). Эта сталь применяется при изготовлении выпускных клапанов авиационных поршневых двигателей. Наплавленным материалом был стеллит ВХН-1, который подавался в зону наплавки в виде литого прутка, при помощи механизма подачи.

В работе приведены оптимальные значения основных параметров процесса дуговой наплавки стеллитов в вакууме: длины дугового промежутка и тока дуги, при которых не наблюдается перегрева и подплавления основного металла. Были проведены металлографические исследования микроструктуры наплавленных слоев стеллита при различных токах дуги и длинах дуг. Анализ микроструктуры линии

сплавания показал, что при токе дуги до 100 а на линии сплавления основного и наплавленного металла нет следов подплавления основного металла и перемешивания его с наплавленным. При увеличении тока выше 100 а. возможен перегрев, подплавление, а следовательно и недопустимое увеличение концентрации основного металла в наплавленном слое. Повышенное содержание железа в слое, наплавленном никелевым или кобальтовым стеллитами снижает их коррозионную стойкость, сопротивление ползучести и горячую твердость. Поэтому максимальным значением тока дуги в процессе наплавки следует считать ток 100 ампер, а оптимальные пределы 70-85 ампер. Длина дугового промежутка должна находиться в пределах 15-19 мм.

В характеристике основных параметров процесса наплавки отсутствует значения напряжения на дуге. Дело в том, что при горении дуги в вакууме изменение тока дуги и длины дугового промежутка приводят к незначительному изменению напряжения, проведенные эксперименты показали, что напряжение вакуумной дуги не оказывает влияния на глубину проплавления основного металла и геометрические размеры наплавленного слоя.

Технология наплавки стеллитов существующими способами предусматривает обязательный предварительный подогрев изделий перед наплавкой для предупреждения появления трещин в наплавленном слое. В работе рассмотрены возможности предварительного подогрева перед наплавкой в вакууме непосредственно дугой. Данный способ подогрева рекомендуется применять при наплавке изделий в условиях единичного и мелкосерийного производства. Для крупносерийного производства рекомендован способ контактного подогрева, который позволяет равномерно нагревать до заданных температур все изделие, он отличается простотой, надежностью и безопасностью в работе. Источником контактного подогрева служил сварочный трансформатор машины для контактно-стыковой сварки типа АСИФ-25. Опыты показали, что производительность контактного способа подогрева превосходит производительность способа подогрева дугой в 5-6 раз.

Влияние многослойности наплавки на качество наплавленного слоя. При наплавке изделий с подачей присадочного прутка в зону наплавки иногда невозможно получить за один проход наплавленный слой, соответствующий заданным геометрическим размерам. Поэтому, чтобы получить нужную толщину наплавленного слоя, приходится увеличивать количество наплавленных слоев до 2-3. При этом происходит перегрев как основного так и наплавленного металлов. Для определения влияния повторного нагрева на качество наплавленного

слоя и структурные превращения, происходящие при этом, был проведен анализ микроструктур наплавленных слоев. Анализ показал, что увеличение количества наплавленных слоев от I до 3 характеризуется увеличением количества карбидов хрома правильной геометрической формы. Исследование механической неоднородности наплавленных образцов позволило установить следующее: при наплавке в один слой на оптимальном режиме эвтектика и карбиды имеют микротвердость выше, чем при наплавке в 2 и 3 слоя. Это можно объяснить различной степенью тепловложения и уменьшением скорости охлаждения с увеличением количества наплавленных слоев. Следовательно лучше вести наплавку в один слой. Для этой цели в работе рекомендуется использовать специальные формирующие подкладки, которые позволяют получать заданные размеры наплавленного слоя за один проход.

Влияние вакуумно-дугового переплава стеллита в процессе наплавки на химический состав и физико-механические свойства наплавленного слоя.

Повышенная газонасыщенность стеллитов, которая объясняется методом их производства, приводит к ухудшению свойств сплава при работе. В процессе дуговой наплавки в вакууме происходит интенсивное обезгаживание наплавленного стеллита. Проведенный газовый анализ стеллита ВХН-I, наплавленного различными способами, показал, что при наплавке дугой в вакууме содержание кислорода в наплавленном слое уменьшается в 20 и более раз, азота примерно в 2 раза и наличия водорода не обнаружено совсем. При этом значительно облегчается механическая обрабатываемость наплавленного слоя.

Как указывалось ранее часть молибдена в процессе наплавки попадает в жидкую ванну расплавленного стеллита. Исследование количественного распределения молибдена, проведенное методом спектрального анализа показало, что легирование стеллита молибденом при повышенных температурах приводит к тому, что атомы молибдена препятствуют диффузии вакансий и дислокаций на границе зерен, тем самым увеличивая жаропрочность сплава. Кроме того, наличие в наплавленном стеллите молибдена способствует повышению температуры рекристаллизации и замедлению коагуляции упрочняющих фаз. Это, в свою очередь, способствует дополнительному упрочнению твердого раствора на основе никеля.

Особенности технологии дуговой наплавки в вакууме стеллита ВХН-I на изделия со сложной конфигурацией поверхности.

Проведенные исследования позволили разработать технологию дуговой наплавки стеллитов в вакууме на изделия со сложной конфигурацией поверхности (на примере выпускных клапанов Двигателей

внутреннего сгорания).

Технологический процесс наплавки предусматривает предварительный подогрев клапана перед наплавкой непосредственно дугой в вакууме.

Стеллит в виде прутка подается в зону наплавки с помощью механизма подачи. Заготовка клапана в процессе наплавки вращается.

Для осуществления наплавки обеих поверхностей клапана за одну установку и получения необходимых размеров наплавленного слоя нужно применение специальной формирующей подкладки.

Такая технология пригодна для наплавки изделий в условиях единичного и мелкосерийного производства.

По данной технологии наплавлена опытная партия выпускных клапанов поршневого двигателя. Наплавленные клапаны были переданы на испытания. После длительного испытания клапаны имели удовлетворительное состояние поверхности рабочей фаски. Способ дуговой наплавки стеллитов в вакууме было предложено внедрить на предприятии для условий серийного производства. В данной работе были проведены исследования, связанные с разработкой технологии и оборудования для дуговой наплавки в вакууме в серийном производстве.

Рекомендации по промышленному внедрению способа дуговой наплавки стеллитов в вакууме на рабочую поверхность клапанов двигателей внутреннего сгорания в условиях серийного производства.

В содружестве с кафедрой "Оборудование и технология сварочного производства" Ростовского-на-Дону института сельхозмашиностроения была спроектирована и изготовлена двухпозиционная опытно-промышленная установка для отработки технологии дуговой наплавки стеллитов в вакууме в серийном производстве выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания.

Проведенные исследования показали, что значительное увеличение производительности процесса наплавки может быть достигнуто путем замены подачи присадочного стеллита в зону наплавки в виде прутка литыми стеллитовыми кольцами. Сравнительные металлографические исследования, клапанов, наплавленных с подачей прутка и с применением колец, указывают на то, что вероятность подплавления поверхности основного металла при расплавлении стеллитового кольца значительно меньше, чем при расплавлении прутка.

Таким образом использование литых стеллитовых колец позволяет во-первых, упростить оборудование (нет надобности в механизме подачи прутка), во-вторых, стабилизировать процесс горения дуги и в третьих, повысить производительность процесса наплавки.

Для внедрения в промышленность разработана и изготовлена надежная конструкция катодного узла, позволяющая избавиться от частой замены сменных катодов и стабилизировать технологические свойства дуги.

В результате применения контактного подогрева клапана перед наплавкой, использования литых стеллитовых колец и формирующей подкладки суммарное машинное время предварительного подогрева и наплавки одного клапана равно 5 минут – это примерно в 4-5 раз *меньше времени* наплавки клапана существующим на заводе в настоящее время способом ацетилено-кислородной наплавки.

Одним из результатов проведенной работы явилось проектирование и изготовление промышленного образца полуавтоматической многопозиционной установки для дуговой наплавки в вакууме. В настоящее время ведется ее монтаж на базовом предприятии.

Годовая экономия от использования способа дуговой наплавки в вакууме для базового предприятия составит примерно 10.000 рублей в год.

Выводы по работе

1. Дуговая наплавка в вакууме является одним из наиболее перспективных способов создания биметаллических поверхностей с незначительной концентрацией основного металла в наплавленном и минимальным количеством дефектов.

2. Материалом катода для дуговой наплавки стеллитов в вакууме рекомендован молибден, он наиболее полно удовлетворяет предъявляемым требованиям для получения качественного наплавленного слоя.

3. Эрозионное разрушение молибденового катода при горении дуги в вакууме находится в прямой зависимости от тока дуги, интенсивности охлаждения и не зависит от длины дугового промежутка. Определен минимально допустимый расход охлаждающей воды, при котором возможно существование дуги в вакууме.

4. На основании комплекса исследований установлено, что эрозионное разрушение катода сварочной дуги в вакууме происходит вследствие действия высоких температур перемещающихся катодных пятен по поверхности катода и растрескивания поверхности с последующим отколом и выбросом блоков кристаллитов в прикатодную область в результате возникающих при этом термических напряжений, превышающих предел прочности молибдена. Под действием высоких температур столба дуги выброшенное вещество перегревается и взрывается, частично образуя паровую среду для поддержания существо-

вания дугового разряда, а другая часть в виде твердых частиц или капель разлетается в разные стороны.

5. Исследованы технологические свойства дуги в вакууме, горящей с молибденового катода, получены параметры режимов, позволяющие получать плотный без пор и других дефектов наплавленный слой с минимальной концентрацией основного металла и повышенной химической чистоты. Наличие в наплавленном слое молибдена повышает его жаропрочность в процессе работы.

6. Наплавлена опытная партия выпускных клапанов, которые прошли длительное 300 часовое стендовое испытание по форсированной программе. Клапаны выпуска после длительного испытания имеют удовлетворительное состояние поверхности рабочей фаски.

7. Даны рекомендации по технологии и элементам оборудования для промышленного внедрения способа дуговой наплавки стеллита ВХН-I на сложную поверхность клапанов поршневых двигателей внутреннего сгорания в условиях серийного производства.

8. Использование технологии дуговой наплавки стеллитов в вакууме с применением колец в условиях серийного производства позволяет получить годовую экономию для завода примерно в 10.000 рублей в год.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. В.М.Ямпольский, В.Н.Будник, Б.Я.Ивницкий, В.В.Иванов, В.Г.Кравченко, В.С.Магнитов. Установка для дуговой наплавки в вакууме. "Известия высших учебных заведений", Машиностроение, № 3, 1970.

2. В.М.Ямпольский, В.Н.Будник, С.Ф.Богданов, В.Г.Кравченко, В.С.Магнитов. Разработка и исследование дугового источника питания для сварки в вакууме. Материалы 3-ей всесоюзной научно-технической конференции "Научные основы технологии прогрессивные технологические процессы в машино- и приборостроении", Москва, 1970.

3. В.М.Ямпольский, В.Н.Будник, В.Г.Кравченко, В.С.Магнитов, В.В.Иванов. Дуговой разряд в вакууме и перспективы его использования при изготовлении электронных приборов. Материалы научно-технической конференции "Прогрессивная технология и новое оборудование для производства электронных приборов", Саратов, 1970.

4. В.Н.Будник, В.М.Ямпольский, В.А.Маворонков, В.Я.Шапиро, В.В.Дмитриев, Н.П.Закорко, А.А.Антонов. Способ производства периодических профилей. Авторское свидетельство № 250089 по заявке № I207944 с приоритетом от 3 января 1968 г.

По результатам работы были сделаны два доклада на семинарах кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им.Баумана.