

На правах рукописи
УДК 621.791



Орлик Геннадий Владимирович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ
АЛЮМИНИЕВОЙ БРОНЗЫ НА СТАЛЬ
КОМБИНИРОВАННЫМ АРГОНОДУГОВЫМ СПОСОБОМ**

05.03.06 – Технологии и машины сварочного производства.

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.**

УДК 621.791

Работа выполнена в Калужском филиале Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук
Царьков А. В.

Официальные оппоненты: -д.т.н., профессор
Чернышев Г.Г.
- к.т.н., доцент
Дубровский В.А.

Ведущее предприятие- ОАО «Калужский турбинный завод»

Защита диссертации состоится «13» мая 2002 г.
на заседании диссертационного совета в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г. Москва, 2-я Бауманская улица, 5.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью, просьба выслать по указанному адресу.

Телефон для справок: 267-09-63.

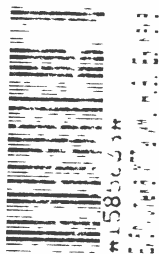
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ
им. Н.Э. Баумана.

УДК 621.791

13 2002г.



Коновалов А.В.



1585603

Всего 1 л. л. Тираж 100 экз.
У им. Н.Э. Баумана. Заказ №24

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы. Освоение севера и северо-востока России базируется на энергии паротурбинных электростанций малой мощности с тепловыми потребителями, а иногда и на использовании чисто конденсационных систем. Повышение качества и увеличение эксплуатационной надёжности систем автоматического регулирования частоты вращения и давления пара в отборах поставило ряд задач по увеличению антифрикционных свойств пар и узлов трения.

Основные проблемы получения высококачественного бронзового покрытия на низкоуглеродистой стали связаны с образованием в процессе нанесения антифрикционного слоя ряда характерных дефектов и, в первую очередь, трещин на границе сплавления «бронза-сталь». Указанные дефекты существенно снижают работоспособность антифрикционного слоя.

Известные способы нанесения антифрикционных покрытий не во всех случаях обеспечивают требуемое качество наплавляемого слоя и зоны сплавления, что ограничивает срок эксплуатации необслуживаемых энергетических установок. Поэтому остаются актуальными любые разработки повышающие технико-экономические показатели получения биметаллических изделий.

Целью работы является повышение качества наплавленного слоя путём использования комбинированного аргонодугового способа наплавки.

Для достижения поставленной цели необходимо решались следующие основные задачи:

1. Провести анализ существующих методов нанесения антифрикционных бронзовых покрытий на поверхности тел вращения из низкоуглеродистых сталей.
2. Исследовать влияние основных параметров процесса наплавки комбинированным аргонодуговым способом на механизм формирования наплавленного слоя.
3. Определить область допустимого изменения технологических параметров процесса комбинированной аргонодуговой наплавки, обеспечивающую необходимое качество зоны сплавления.
4. Определить технические требования и выработать практические рекомендации при проектировании наплавочного оборудования,

обеспечивающего необходимую степень защиты высокотемпературной зоны и минимальную степень неравномерное и антифрикционному бронзового покрытия.

5. Разработать технологию обеспечивающие реализацию в промышленных условиях комбинированного аргонодугового способа наплавки алюминиевой бронзы на сталь.

Методы исследования. Основные задачи работы решались на основе сочетания теоретических и экспериментальных методов исследования. Теоретические расчёты базировались на аппарате теории теплопроводности и классической теории электромагнетизма.

Теоретические расчёты тепловых полей в случае наплавки наружной поверхности полого цилиндра проводились на основе аналитической модели, учитывающей ограниченность наплавляемого изделия по длине. При оценке вероятности порообразования в наплавленном слое рассматривался баланс сил, действующих на движущуюся пору в вязком металле. Для определения оптимальных температурных условий работы неплавящегося вольфрамового электрода использована модель, основанная на конечно-разностной аппроксимации стационарного нелинейного уравнения теплопроводности. Численное решение осуществлялось по явной разностной схеме методом сквозного счёта на установление.

Экспериментальный метод исследования состоял в записи термических циклов точек наплавляемого цилиндра с помощью специального измерительного комплекса. Комплекс позволяет осуществлять одновременный опрос десяти хромель-алюмелевых термопар с частотой 40 Гц. Остаточные напряжения в наплавленном слое определяли методом голографической интерферометрии на измерительном комплексе «ЛИМОН ТВ». Для экспериментального определения потока магнитной индукции использовался комбинированный прибор Ш1-8, с зондом «С». Измерения геометрии профиля наплавленного слоя выполнялись на профилографе-профилометре модели 201.

Для определения внутренних и наружных дефектов в наплавленном металле и зоне сплавления применяли методы капиллярной и ультразвуковой дефектоскопии. Структуру наплавленного слоя исследовали с помощью оптической металлографии.

При исследовании геометрии наплавленного слоя использовался аппарат математической статистики.

Научная новизна работы. Проведенный анализ показал, что большинство методов наплавки не обеспечивают возможность получения высоких антифрикционных свойств бронзового покрытия за один проход. Альтернативой традиционным является комбинированный

двухдуговой способ наплавки, позволяющий гибко регулировать величину тепловложения как в основной, так и в присадочный материал.

Установлено, что электромагнитное взаимодействие основной и вспомогательной дуг, оказывает существенное влияние на качество технологического процесса комбинированной наплавки. Экспериментальные исследования показали, что при увеличении тока в присадочной проволоке (ток вспомогательной дуги) от 60 до 150 А, приводит к отклонению оси дуги неплавящегося электрода (основная дуга) на угол от 15 до 40 градусов. Полученные данные по взаимному влиянию магнитных полей могут быть использованы для исследования двухдуговых способов сварки и наплавки.

Проведенные опыты показали, что снижение степени сосредоточенности дуги, за счет использования в качестве неплавящегося электрода (катода цилиндрического плоскозаточенного вольфрамового прутка, приводит к повышению технологических характеристик наплавленного слоя.

Практическая ценность работы. Применение комбинированного аргонодугового способа наплавки алюминиевой бронзы на низкоуглеродистую сталь позволяет гибко регулировать тепловложения в основной металл и присадочную проволоку, что повышает качество антифрикционного слоя.

Реализация результатов работы. Разработанная технология и оборудование прошли опытно-промышленное апробирование и внедрение на АОЗТ «Калужский турбинный завод» с экономическим эффектом 168 тыс. рублей за 2001 г.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на научном семинаре кафедры М2-КФ «Технологии сварки» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана; на научном семинаре МТ-7 «Технологии и оборудование сварочного производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2001г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка литературы и приложения. Изложена на 150, страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков, 17 таблиц и 105 наименований литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Глава I. Особенности теплообменного оборудования турбин малой мощности потребовали отыскания более простых, менее металлоемких конструкций с большим саморегулированием. Созданная на Калужском турбинном заводе одно-насосная автоматическая система регулирования

частоты вращения паровой турбины малой мощности при блочном исполнении гидравлических органов преобразования и усиления информации. Она позволила существенно повысить качество системы: повысить надежность до уровня, обеспечивающего в ряде случаев наработку до 10 лет эксплуатации без регламентных работ и переналадок.

Для привода органов парораспределения применяются сервомоторы с двухсторонним подводом рабочей жидкости к поршню и, как правило, с встроенной гидравлической обратной связью. Работоспособность сервомотора, определяется диаметром поршня и выбирается из расчета преодоления паровых усилий действующих на регулирующие органы турбины, и сил трения в приводе. Общий вид поршня сервомотора представлен на рис. 1.

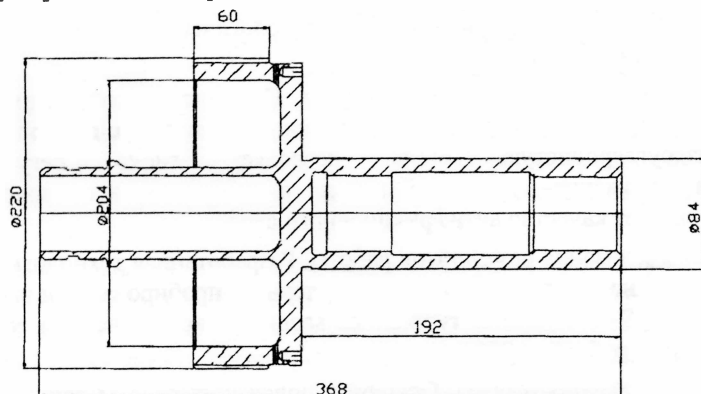


Рис. 1. Поршень сервомотора.

По экономическим соображениям предложено изготовить поршень из низкоуглеродистой стали с нанесением антифрикционного слоя из алюминиевой бронзы Бр АМц 9-2 на поверхности сопрягаемые с корпусом блока регулирования. Качество поршня, в первую очередь, будет определять качество покрытия

Основные проблемы получения бронзового высококачественного покрытия на низкоуглеродистой стали связаны с образованием в процессе наплавки различных микро - дефектов и, в первую очередь, трещин на границе «сталь-бронза». Указанные дефекты существенно снижают общую работоспособность антифрикционного покрытия.

В основе теории трещинообразования лежит изучение механизма межкристаллитного проникновения (МКП) бронзы в сталь. Современное

представление по данному вопросу основывается на трудах: Е.А. Дениса, А.М. Божко, М.А. Кулагина, В.С. Новосадова, М.Х. Шоршорова, А.Е. Вайнермана и др. Несмотря на многочисленные исследования до сих пор нет единого взгляда на механизм МКП бронзы в сталь. В настоящее время наиболее обоснованно механизм МКП объясняется в выводах А.Е. Вайнермана. Согласно которого механизм МКП объясняется проявлением эффекта Рейбиндера, который предполагает адсорбционное снижение прочности и пластичности при наличии значительных деформаций (растягивающих напряжений). Таким образом, первостепенную роль при образовании микро-трещин играют температурные условия формирования наплавляемого слоя, которые, определяются тепло вложением. Поэтому при разработке технологического процесса необходимо стремиться к минимальному тепло вложению в основной металл.

На основании проведенного анализа литературных источников установлены возможные способы нанесения антифрикционного покрытия. Из анализа преимуществ и недостатков рассматриваемых способов, а также результатов предварительных исследований установлено, что наиболее рациональным способом нанесения антифрикционного покрытия является комбинированная аргонодуговая наплавка неплавящимся вольфрамовым электродом.

Глава 2. Основными трудностями при разработке технологии наплавки алюминиевой бронзы на сталь является узкий диапазон оптимальных значений эффективной тепловой мощности источника нагрева и структурная неоднородность металла переходной зоны. С одной стороны увеличение эффективной мощности приводит к увеличению глубины проплавления в процессе наплавки бронзы на сталь, что неблагоприятно влияет на свойства биметаллического соединения. С другой стороны повышается растекаемость бронзы по стали, что способствует получению качественного соединения. Следовательно, необходим компромисс при выборе интервала изменения эффективной мощности дуги.

Анализ возможных схем нанесения алюминиевой бронзы на сталь показал, что применение двухдуговой схемы подключения на постоянном токе прямой полярности позволяет более гибко подойти к решению компромисса в отношении определения изменения интервала эффективной тепловой мощности. Основная дуга возбуждается между неплавящимся вольфрамовым электродом и присадочной проволокой, а вспомогательная (низко амперная) - между тем же неплавящимся электродом и основным металлом. В данном случае появляется возможность регулировать процессы подогрева основного металла и плавления присадочной проволоки за счет соотношения эффективных мощностей двух дуг.

Установлена связь между технологическими и металлургическими факторами и качеством наплавки алюминиевой бронзы на низкоуглеродистую сталь. Увеличение содержания углерода в стали, химический состав присадочной проволоки, величина сварочного тока – увеличивают глубину проникновения бронзы в сталь. Ориентация сварочной головки относительно наплавляемого изделия (угол наклона относительно вертикали и её положения относительно зенита), скорость плавления присадочной проволоки, полярность при двухдуговой схеме подключения позволяют уменьшить глубину проникновения. Качество наплавки определяется возможностью регулировки тепловложения в основной металл и присадочную проволоку. На основании проведенных исследований предлагается в качестве основного применять комбинированный аргонодуговой способ наплавки на прямой полярности.

При использовании двухдуговой схемы наплавки необходимо учитывать электромагнитные взаимодействия основной и вспомогательной дуг. Сравнение рассчитанных по уравнению Био-Савара и экспериментальных данных даёт плохую сходимость результатов, поэтому были проведены экспериментальные исследования магнитных полей для комбинированного способа наплавки.

На рис. 2, представлены экспериментальные данные, показывающие, что угол отклонения дуги возрастает прямо пропорционально с увеличением тока в присадочной проволоке. Для обеспечения максимального тепловложения в присадочную проволоку определён угол её ввода в область горения дуги $\alpha=15^\circ$.

Электрическая дуга неплавящегося вольфрамового электрода имеет два режима горения: с сосредоточенным и рассредоточенным катодным пятном (РКП). При использовании режима горения дуги с РКП плотность тока на рабочем участке электрода уменьшается на два три порядка, что значительно повышает его стойкость.

Проведённые исследования показали, что с увеличением угла при вершине рабочей части неплавящегося электрода изменяется характер распределения давления дуги. При этом случайные колебания анодного пятна не вызывают таких значительных отклонений положения наплавляемого валика от оси шва, как в случае применения стандартного (остро заточенного) электрода.

Для обеспечения температурных условий реализации режима работы неплавящегося вольфрамового электрода с распределённым катодным пятном были проведены экспериментальные исследования и численное моделирование. Установлено, что плотность тока при распределённом катодном пятне на рабочем участке электрода уменьшается на два три раза, что значительно повышает его стойкость и уменьшает число перезаточек. Основным фактором, сдерживающим широкое применение плоско заточенных катодов является узкий токовый диапазон горения дуги с

распределенным катодным пятном (30...50 А/мм). Определена возможность его увеличения за счёт изменения величины вылета катода из медной цанги. Получены количественные зависимости распределения температур по длине катода в зависимости от основных технологических параметров, представлены на рис. 3.

Для реализации комбинированной аргонодуговой наплавки алюминиевой бронзы на низкоуглеродистую сталь с использованием неплавящегося плоско заточенного катода требуется применение специализированного оборудования. Для этого создана установка на базе токарно-винторезного станка и технологическая оснастка для обеспечения качественной защиты от вредного воздействия атмосферы. Разработана конструкция сварочной головки для наплавки плоско заточенным неплавящимся вольфрамовым электродом с распределенным катодным пятном.

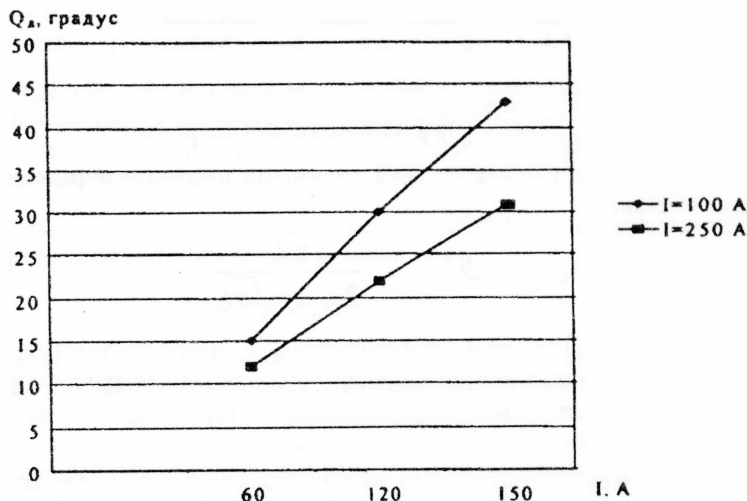


Рис. 2. Зависимость угла отклонения дуги от величины тока в присадочной проволоке

Глава 3. Определён диапазон изменения параметров режима комбинированной аргонодуговой наплавки, при которых температура нагрева изделия смежными валиками не превышает критической величины 500 °С. Расчёт производился с учетом взаимного влияния линейных размеров наплавляемого цилиндра, как изотермических границ. В основе данной методики используется расчётная зависимость, построенная

учётом упрощающих допущений по схеме быстродвижущегося источника тепла.

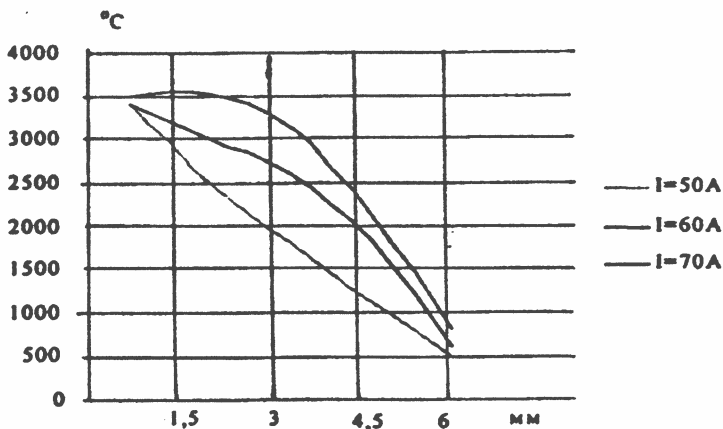


Рис.3. График распределения температуры по длине неплавящегося вольфрамового электрода.

Температура нагрева изделия смежными валиками определяется зависимостью:

$$T_{\Sigma_{пол}} = \vartheta \cdot \Sigma_{пол} \frac{nq_n}{2\delta_{пр} c\gamma \sqrt{at}},$$

где: n — поправочный коэффициент; q_n — погонная энергия; $\delta_{пр}$ — приведенная толщина полого цилиндра; $c\gamma$ — объемная теплоёмкость; a — коэффициент температуропроводности; t — время одного оборота источника.

Относительная температура нагрева изделия смежными валиками определяется относительной температурой нагрева полого цилиндра ($\vartheta \cdot \Sigma_{пол}$) с учётом коэффициента (β), учитывающего влияние ограниченности цилиндра по длине

$$\vartheta_{\Sigma_{оп}} = \vartheta \cdot \Sigma_{пол} \beta$$

Для перехода к размерным величинам при выполнении аналитического расчёта термических циклов точное определение значения отношения $\frac{q}{c\gamma\sqrt{a}}$ не представляется возможным. Это обусловлено тем,

что теплофизические коэффициенты: объемная теплоемкость (c_v), коэффициент температуропроводности (a) являются функциями температуры, а погонная энергия (q_n) зависит от коэффициента полезного действия для данного способа сварки и типа сварочной головки. Поправочный коэффициент (n) определялся на основе получения хорошей сходимости аналитически полученных и экспериментально записанных термических циклов, для точки расположенной на оси наплавляемого валика.

В процессе наплавки происходит плавление присадочной проволоки, что приводит к образованию пузырьков газа. Часть их может остаться в наплавленном металле, ухудшая качество наплавки. Для удаления пор из наплавленного металла необходимо время. С целью определения времени необходимого для всплытия пузырька, прообраза поры, для рассматриваемых параметров режима наплавки, была построена математическая модель. Сравнение расчетных данных с реально определенным временем существования жидкой фазы позволяет получить бездефектный наплавленный слой, удовлетворяющий технологическим требованиям.

Так, как предлагаемая схема процесса комбинированной аргонодуговой наплавки является многофакторной, то для определения оптимальных параметров режима использовался аппарат теории планирования эксперимента.

На основании проведенных исследований было получено уравнение регрессии математической модели:

$$Y = 6,555 - 0,435x_1 - 0,225x_2 + 0,665x_3$$

Произведённый анализ коэффициентов уравнения регрессии показал, что наибольшее влияние на качество наплавки оказывает сварочный ток (x_3), причём он оказывает противоположное действие скорости наплавки (x_1) и значению тока в присадочной проволоке (x_2). Из всех смешанных эффектов значимым является эффект взаимодействия токов в присадочной проволоке и основной дуге.

Выполненный регрессионный анализ линейной математической модели процесса комбинированной наплавки показал адекватность последней.

На основании проведенных исследований определены параметры режима комбинированной аргонодуговой наплавки представленные в таблице 1.

Глава 4. В ходе проводимых наплавок изучалось влияние формы рабочего участка неплавящегося электрода на формирование геометрии

наплавленного слоя. В частности производилось измерение с помощью профилографа-профилометра профиля наплавленного слоя, полученного с помощью стандартного и плоско заточенного катода.

Таблица 1

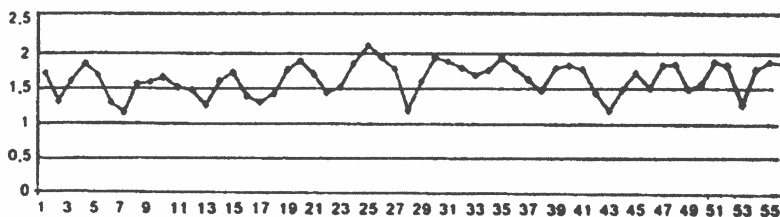
Параметры режима комбинированной наплавки.

Параметры	Значения
1. Диаметр неплавящегося электрода.	1,5 мм
2. Вылет электрода из цанги.	6 мм
3. Длина дуги.	5 мм
4. диаметр присадочной проволоки.	2 мм
5. Вылет присадочной проволоки из мундштука.	
6. Угол подачи присадочной проволоки.	15° (к горизонту)
7. Диаметр сопла сварочной горелки.	10,5 мм
8. Общий сварочный ток.	130 А
9. Ток в присадочной проволоке.	60 А.
10. Напряжение.	18В
11. Скорость наплавки.	0,34 м/мин.
12. Скорость подачи присадочной проволоки.	0,63 м/мин.
13. Расход защитного газа.	6 л/мин.

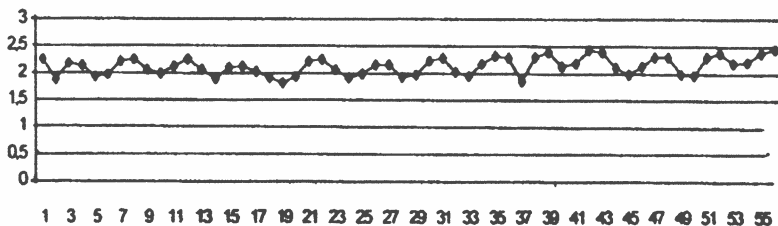
Проведенные исследования по оценке влияния угла рабочей части неплавящегося вольфрамового электрода и повторной дуговой обработки в режиме оплавления показывают, что с увеличением угла рабочей части электрода изменяется геометрия профиля наплавляемого слоя. В случае наплавки плоско заточенным электродом характер профилограммы становится наплавленного слоя более плавный, чем при использовании стандартного(остро заточенного).

Повторная дуговая обработка наплавленного слоя без подачи присадочной проволоки приводит к дальнейшему сглаживанию профиля наплавки и устранению (завариванию) поверхностных дефектов. Параметры режима обработки выбираются так, чтобы глубина подплавления наплавленного слоя не превышала 0,5 мм (1/3 от толщины

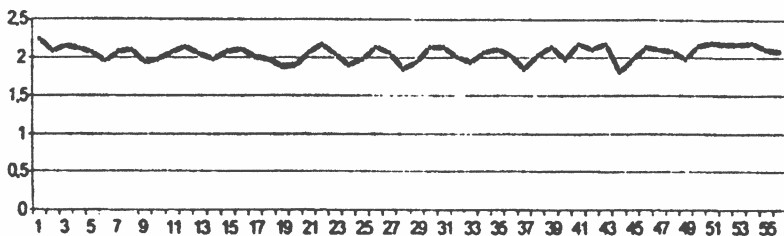
наплавленного слоя), что не оказывает влияния на свойства наплавленного слоя. Профилограммы профилей наплавленных слоев выполненные стандартным, плоско заточенным неплавящимся вольфрамовым электродом и повторной дуговой обработкой представлены на рис.4.



а).



б).



в).

Рис.4. Профилограммы профилей наплавленных слоев выполненные стандартным (а), плоско заточенным (б) неплавящимся вольфрамовым электродом и повторной дуговой обработкой (в)

Анализ полученных данных показывает, что повторная дуговая обработка способствует стабилизации геометрических параметров

наплавляемого слоя, т.е. уменьшению неровностей поверхности. Количественно это характеризуется двумя параметрами во-первых максимальной разностью высот между наиболее высокой и низкой точкой наплавленного слоя $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$, и во-вторых, площадью которую следует снять механической обработкой для получения плоской поверхности.

Количественные характеристики наплавленных поверхностей с применением стандартного и плоско заточенного неплавящегося вольфрамового электрода и последующей дуговой обработки наплавленного слоя представлены в таб. 2. Полученные данные показывают, что при наплавке плоско заточенным электродом возможно получение антифрикционного слоя более 1,5 мм с минимальными потерями бронзы на механическую обработку.

Таблица 2.

Количественные характеристики наплавленных поверхностей

Технологическая операция	Δh , мм	S , мм ²
1. Наплавка стандартным электродом.	0,98	58
2. Наплавка плоско заточенным электродом.	0,64	38
3. Дуговая обработка.	0,44	26

Произведенная оценка влияния повторной дуговой обработки на напряженно-деформационное состояние и формоизменение поверхности показали, что средний уровень остаточных окружных напряжений снижается незначительно, произошло только их некоторое перераспределение. При повторном дуговом нагреве формоизменений не наблюдается, изменение остаточных напряжений в наплавленном слое до и после электродуговой обработки производились по деформациям окрестности несквозного зондирующего отверстия на измерительном комплексе «ЛИМОН ТВ». Результаты измерения остаточных напряжений приведены на рис. 5.

Применение плоско заточенного неплавящегося вольфрамового катода и последующая дуговая обработка приводит к уменьшению трудоемкости механической обработки и экономии алюминиевой бронзы.

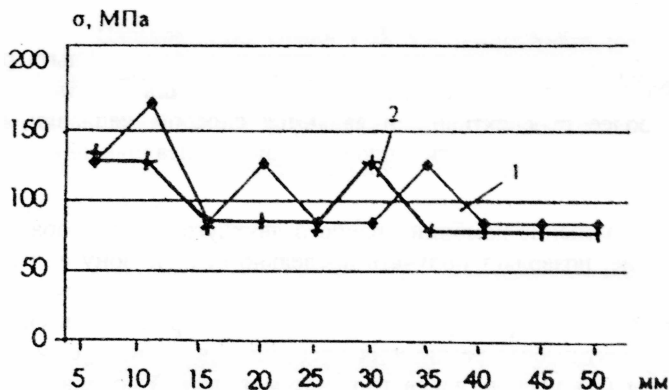


Рис.5. Результаты экспериментального определения окружных остаточных напряжений в наплавленном слое (1) и после дуговой обработки.

На основании результатов проведённых исследований в Калужском филиале МГТУ им. Н. Э. Баумана и ОАО «Калужский турбинный завод» была разработана технология комбинированной аргонодуговой наплавки алюминиевой бронзы Бр Амц 9-2 на низкоуглеродистую сталь при изготовлении поршня сервомотора, применяемого в системы автоматического регулирования частоты вращения и давления пара в отборе для паровой турбины малой мощности К-11.

Для изучения антифрикционных свойств и износостойкости были проведены стендовые испытания биметаллического поршня сервомотора.

Испытания на трение и износ проводились на машине с замкнутым кинематическим контуром Фирмы «Амслер» по схеме трения скольжения частичного вкладыша о вращающийся ролик. Контртело изготавливалось из стали ОХ10Н20Т2 (ГОСТ 5632- 72).

Применение данной технологии изготовления позволяет произвести замену литых бронзовых поршней на биметаллические, при этом снизить себестоимость их изготовления.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

1. При наплавке бронзы на низкоуглеродистую сталь традиционными способами в результате протекания термометаморфических процессов в зоне сплавления высока вероятность

образования трещиноподобных дефектов в материале подложки резко снижает эксплуатационные свойства всего изделия.

2. На основании анализа литературных данных и опыта работы предприятий отечественной и зарубежной промышленности показано, что наиболее перспективными являются способы наплавки, позволяющие гибко регулировать тепловложение в присадочный и основной металл.

3. Применение комбинированного двухдугового способа наплавки в аргоне, позволяет получать предельно низкую зону сплавления. Однако многофакторность комбинированного способа требует четкого представления о характере взаимного влияния различных факторов. Однако практическая реализация преимуществ данного способа возможна только на основе адекватной математической модели процесса.

4. Полученная на основе ПФЭ математическая модель позволила определить основные параметры режима комбинированной аргонодуговой наплавки.

5. На основе аналитических расчётов и экспериментов по определению температур определены размеры защитного приспособления и расход газа обеспечивающий требуемую защиту наплавленного слоя.

6. Показано, что с увеличением угла заточки рабочей части неплавящегося вольфрамового электрода за счёт снижения степени сосредоточенности давления дуги наблюдается плавный характер формирования наплавленного слоя.

7. Определены режимы послесварочной дуговой обработки наплавленного слоя с целью дальнейшего его сглаживания, без ухудшения качества наплавленного слоя. Путём интерференционных измерений показано, что послесварочная дуговая обработка не снижает уровень остаточных напряжений.

8. Создано технологическое оборудование для реализации способа комбинированной аргонодуговой наплавки, которое внедрено на Калужском турбинном заводе. Предполагаемый экономический эффект составляет 168 тыс. рублей на две установки.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Царьков А.В., Орлик Г.В. Систематическая погрешность измерения термопарами температурных полей при сварке // Социально-экономические проблемы управления производством, создание прогрессивных технологий, конструкций и систем: Тезисы докладов ВНТК.- Калуга, 1998.- С.- 12-14.

2. Царьков А.В., Орлик Г.В. Влияние технологических параметров на определение остаточных напряжений и деформаций при сварке кольцевым швом тонкостенных конических оболочек // Технологические методы повышения качества сварных конструкций: Тезисы докладов ВНТК.- Калуга, 1998.- С.46.

3. Царьков А.В., Орлик Г.В., Пантюхов Г.П. Разработка экспериментальной установки для определения эффективного КПД дуговых источников нагрева // Создание прогрессивных технологий, конструкций систем и социально-экономические проблемы производства: Тезисы докладов ВНТК.- Калуга, 1998.- С. 64.

4. Царьков А.В., Орлик Г.В., Лешков К.И. Исследование систематической погрешности измерения термопарами температуры поверхности свариваемого изделия // Сварочное производство.- 1998. - №6.- С. 20- 22. В данной работе Орликом Г.В. было изучено влияние свойств покрытия, обеспечивающего защиту спая от прямого воздействия дуги, на систематическую погрешность измерения температуры поверхности свариваемого образца.

5. Царьков А.В., Орлик Г.В. Численно-экспериментальный метод определения эффективного КПД сварочной дуги // Труды МГТУ.- 2000.- №574.- Математическое моделирование сложных технических систем.- С. 64- 72.

6. Царьков А.В., Орлик Г.В. Горелка для наплавки в защитных газах стабилизированной дугой // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборостроении и машиностроении: Тезисы докладов ВНТК.- Калуга, 1999.- С. 24.

7. Царьков А.В., Царькова Н.В., Орлик Г.В. Методика определения эффективной мощности дуги неплавящегося электрода // Труды МГТУ.- 2000.- №578.- Математическое моделирование сложных технических систем. С. 134- 138.

8. Орлик Г.В. Особенности наплавки алюминиевых бронз // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборостроении и машиностроении: Тезисы докладов ВНТК.- Калуга, 2000.- С. 35.

9. Царьков А.В., Орлик Г.В. Определение коэффициента сосредоточенности дуги при сварке неплавящимся электродом// Сварочное производство.- 2001. - №6.- С. 3- 6.

10. Орлик Г. В. Оптимизация параметров режима комбинированного аргонодугового метода наплавки // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборостроении и машиностроении: Тезисы докладов ВНТК.- Калуга, 2001.- С. 61.

