УДК 621.793.74

ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Тимохова О. М.[1], Кадырметов А. М.[2], Снятков Е. В.[2], Махонин В. Л.[2]
[1]ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Россия
[2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия
E-mail: otimohova@ugtu.net

Технологическое обеспечение плазменного напыления (ПН) представляет собой организационно-техническую систему обеспечения организационного, информационного и технического единства технологических работ на стадиях разработки и производства технологий и, в том числе, технологии нанесения плазменных покрытий на детали машин на основе конструкторско-технологических решений (КТР) [1]. Конструкторско-технологическое решение ПН представляет собой, в свою очередь, комплексное решение по перспективному сочетанию материалов и конструкции деталей с покрытием и прогрессивному методу его технологической реализации с обеспечением заданных требований.

Исходя из этого цель технологического обеспечения ПН должна содержать в себе задачи поиска и оптимизации конструктивно-технологических решений проблем получения конкурентоспособной продукции, включающей в себя детали с плазменными покрытиями, по критериям затрат и стабильности технологии, а также качества получаемых покрытий. Решение данной цели должно, прежде всего, находиться, во-первых, в прогнозировании и оценке технологической реализуемости перспективных методов ПН и, во-вторых, в технологическом обеспечении проектирования технологии ПН на основе данных методов.

Прогнозирование реализуемости перспективных методов ПН осуществляется путем формирования научно-технического задела для разработки продукции на основе информационно-аналитических, теоретических и экспериментальных исследований перспективных КТР.

Технологическое обеспечение проектирования технологии ПН включает в себя: проведение научно-исследовательских и опытно-технологических работ по решению выявленных конструктивно-технологических проблем, оформление описаний решений этих проблем; выбор КТР по продукции и их оценка;

экспериментальная отработка выбранных и оцененных КТР, оформление описаний по результатам отработки.

Прогнозирование реализуемости перспективных методов ПН

Результаты исследований возможностей совершенствования ПН и упрочнения покрытий показывает, что расширение его использования до сих пор сдерживается такими существенными недостатками, как неудовлетворительная прочность соединения покрытия с подложкой при ударных нагрузках, высокие остаточные растягивающие напряжения в покрытиях повышенной толщины, отрицательно влияющие на сопротивление усталости, наличие пористости.

Проведенный анализ современного состояния исследований процесса ПН показывает, что его совершенствование и устранение недостатков целесообразно осуществлять путями, представленными на рисунке 1, а именно путем решения задач совершенствования как самой операции напыления покрытий, так и последующей или совместной с ней операции упрочнения покрытий [2].

Данный анализ показал, что совершенствование технологии ПН за счет улучшения его операции напыления целесообразно осуществлять: путем добавления присадок к плазмообразующему газу, путем одновременной обработки напыляемой поверхности и покрытия дополнительной выносной дугой, путем модуляции параметров плазмотрона, а также путем сочетания этих методов. Однако выяснилось, что в данном методе практически не были изучены теоретические основы газодинамических, тепловых и физико-механических процессов, приводящих к повышению качества покрытий.

Совершенствование операции упрочнения напыленных покрытий традиционно осуществляется их оплавлением. Однако для тонкостенных деталей и толстых покрытий данный процесс не применим, так как требует существенного перегрева основы. А толстые покрытия толщиной порядка 5 мм необходимы, например, для рабочих органов землеройных, строительно-дорожных, сельскохозяйственных и лесных машин. Для поверхностей пар трения существует другая проблема, заключающаяся в том, что после оплавления необходима механическая обработка напыленного покрытия. Традиционно для этого используется алмазное шлифование покрытия с большим технологическим припуском. Это является существенным недостатком технологии, так как при этом ухудшается качество покрытия за счет образования на его поверхности микротрещин. Кроме того, данная операция является трудоемкой и расходующей в утиль дорогостоящий материал покрытия. Наиболее эффективным способом, позволяющим избавиться от этих

недостатков, представляется способ термо- или электромеханической обработки покрытий при помощи обкатывания роликовым или шариковым инструментом [3]. Однако данный важный для практики процесс применительно к плазменным покрытиям также не был исследован в полной мере.

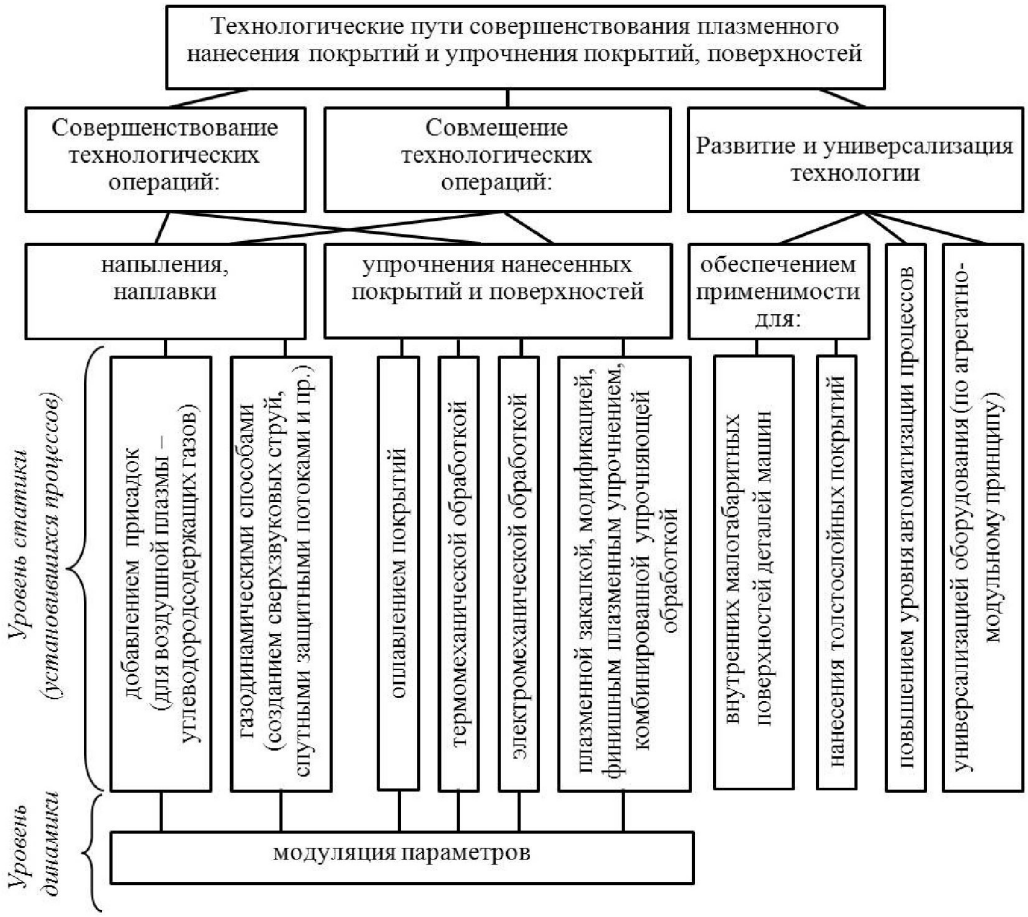

Рисунок 1 – Пути совершенствования плазменного нанесения и упрочнения покрытий

Совершенствование технологии ПН в аспекте её развития и универсализации, прежде всего, предполагает распространение данной технологии для нанесения толстых покрытий (более 1 мм), а также для нанесения покрытий на внутренние малогабаритные поверхности деталей машин, например, на внутренние поверхности гильз цилиндров. Такое дополнение возможностей ПН позволило бы охватить подавляющее большинство деталей, нуждающихся в данной технологии. Для этих целей данный процесс не был достаточно разработанным.

Конструкторско-технологические проблемы перспективных методов ПН

Указанные нерешенные вопросы в целом представляют собой практическую проблему, заключающуюся в повышении качества покрытий при мини-

мальном термическом воздействии на подложку, повышении ресурса, надежности, качества и высокого сопротивления удельным эксплуатационным нагрузкам поверхностей деталей машин.

Она предопределяет научную проблему исследований, заключающуюся в создании теоретических и методических основ интенсификации газодинамических процессов и управлении тепловыми процессами плазменного нанесения с упрочнением покрытий на основе использования модуляции электрических параметров и комбинированного воздействия с электромеханической обработкой на формирование покрытия при его нанесении, обеспечивающих оптимальные технологические условия для получения заданного качества металлических износостойких покрытий деталей машин.

Научной концепцией решения данной научной проблемы может являться то, что управление динамикой газодинамических и тепловых процессов плазменного нанесения покрытий посредством модуляции мощностей дуг плазмотрона обеспечивает повышение энергопередачи частицам напыляемого материала, оптимизирует тепловое воздействие на деталь с покрытием и улучшает физико-механические свойства покрытий по критериям прочности, пористости, твердости и износостойкости.

Физические основы технологического обеспечения динамизации плазменного нанесения и упрочнения покрытий

Базой технологического обеспечения динамизации плазменного напыления и упрочнения покрытий является разработка теоретических основ и принципов этих процессов, а именно, разработка их физической и математической модели системы «косвенная и прямая дуга – плазменная струя – покрытие – основа» в режиме модуляции параметров электрических дуг плазмотрона.

Это обусловлено тем, что эффективность процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий реализуется применением оптимальных технологических рекомендаций, полученных из знания закономерностей и связей между технологическими факторами получения покрытий в режиме модуляции и газодинамическими и тепловыми критериями качества покрытий. К данным критериям относятся температура и скорости газовой фазы и напыляемых частиц, а также распределение поля температур в покрытии и поверхности детали. Они определяют уровень остаточных напряжений в покрытиях, их прочностные и триботехнические характеристики.

Физическая модель механизма динамизации процессов плазменного

нанесения покрытий основывается на преобразовании электрической энергии импульсов при модуляции в тепловую и газодинамическую энергии, изменяющих параметры плазменной струи, энергию напыляемых частиц и КПД процесса в целом [4]. Физические процессы в плазменной струе при модуляции мощности косвенной дуги плазмотрона приводят к росту коэффициента использования порошка и теплового КПД плазмотрона, а также к повышению скорости частиц и скорости их нагрева. Это повышение энергетического состояния частиц обеспечивает улучшение условий физического контакта частиц с подложкой и соединения с ней за счет увеличения напорного и импульсного давлений частиц на подложку при ударе, что приводит к уменьшению пористости и увеличению прочностных характеристик покрытия (адгезии и когезии).

Физические процессы в покрытии в точечно-локальных местах привязки прямой дуги при её модуляции во время импульсного увеличения мощности состоят в том, что происходит проплавление покрытия до переходной границы с основой, физическое и химическое взаимодействия с ней. В зависимости от частоты модуляции и скорости перемещения плазмотрона относительно основы формируется определенная плотность дискретных зон проплавления покрытия. Дополнительная модуляция мощности прямой дуги, осуществляемая по заданной или адаптированной программе, обеспечивает равномерность температурного поля основы. Общим результатом модуляции мощности прямой дуги является повышение физико-механических и триботехнических характеристик покрытия.

Исходя из этого следует, что для технологического обеспечения качества процесса определяющее значение имеет влияние двух физических составляющих плазменного процесса: энергетического состояния частиц материала покрытия в момент удара о подложку; термодинамического состояния системы «покрытие-основа».

Анализ физической модели позволяет выработать принципы управления динамикой процессов модуляцией электрических параметров на основе управления данными физическими составляющими, которые заключаются:

во-первых, в генерировании с помощью управления параметрами импульсной модуляции мощности косвенной дуги плазмотрона ударных или интенсивных акустических волн в плазменной струе, обеспечивающих повышение скорости частиц напыляемого материала и скорости их нагрева;

во-вторых, в формировании с помощью управления параметрами импульсной модуляции мощности прямой дуги плазмотрона локальных зон проплав-

ления покрытия с размерами и концентрацией зон, обеспечивающими заданные прочностные характеристики и износостойкость покрытий;

в-третьих, в формировании с помощью дополнительной электромеханической обработки в процессе нанесения высокопрочных износостойких покрытий для условий ударных нагрузок.

Структура математической модели плазменного нанесения и упрочнения покрытий (ПН)

Сложность описанных физических процессов в системе «косвенная и прямая дуга – плазменная струя – покрытие – основа» в режиме модуляции электрических параметров дуг плазмотрона обусловливает необходимость разработки математического описания данной системы и ее последующего математического моделирования. Это позволяет детализировать теоретические основы и принципы динамизации процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий до уровня технологического обеспечения для этих процессов.

Структура комплексной математической модели представлена на рисунке 2. Она состоит из трех взаимосвязанных блоков и позволяет описывать систему «дуга – плазменная струя – частицы – покрытие». Математическая модель плазменной струи и температурного поля подложки представляет собой аналитическое описание на основе дифференциальных уравнений газодинамики и теплофизики плазменной струи и распределения температурного поля системы «покрытие – подложка» с учетом охлаждения поверхности напыления. Математическое описание физико-механических свойств покрытий основано на экспериментальных данных.

Результаты моделирования позволяют определить основные закономерности влияния модуляции электрических параметров на критерии нанесения и упрочнения покрытий, наметить условия проведения опытов в области полученных оптимальных диапазонов факторов процессов, на основе которых задать технические параметры экспериментального оборудования в качестве исходных данных для его разработки [5-7].

Математическое обеспечение процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий составляет часть технологического обеспечения этих процессов и представляет собой совокупность алгоритмов реализации математических моделей: алгоритм расчета скорости и температуры частиц в плазменной струе при модуляции мощности выносной дуги плазмотрона; алгоритмы расчета параметров модуляции выносной дуги по критериям равномерности поля температур и прочностных параметров покрытия.

$N_к$, $N_п$ – мощность косвенной и прямой дуги соответственно; $m_п$, $m_{тр}$, $m_ч$ – массовые расходы плазмообразующего и транспортирующего газа, а также напыляемых частиц соответственно; ΔN, ν, τ – параметры импульсной модуляции: амплитуда импульсов мощности дуги, частота модуляции и длительность импульсов соответственно; L – дистанция напыления; $q_г$, $q_ч$, $q_м$, $q_э$, $q_{охл}$ – тепловой поток от газовой фазы, частиц, термо-, электромеханического воздействия и охлаждения соответственно; $V_г$, $V_ч$ – скорость газовой фазы и частиц соответственно; $T_г$, $T_ч$ – температура газовой фазы и частиц соответственно; $T_{покр}$, $T_{осн}$, $\sigma_{ост}$ – температура покрытия, основы и остаточные напряжения в покрытии соответственно; $R_в$, $n_в$ H, λ, c_p – радиус вала, частота вращения вала, шаг витков напыления, теплопроводность и удельная теплоемкость материала поверхности напыления соответственно; $\sigma_{покр}$, $\sigma_{сц}$, μ, HRC, П, ε – прочность покрытия, прочность соединения покрытия с основой, микро- и квазитвердость, пористость и износостойкость покрытия соответственно; R_p, R_a, ΔR – радиус обкатывающего ролика, параметр шероховатости поверхности покрытия и точности обработки вала соответственно

Рисунок 2 – Комплексная структура математической модели плазменного нанесения и упрочнения покрытия

Данные алгоритмы позволяют получать результатную информацию для разработки комплекса прикладных программ вычислений и численных экспе-

риментов по поиску оптимальных режимов и обеспечению заданных параметров качества покрытий. Результатом математического моделирования и активного эксперимента являются аппроксимационные и регрессионные зависимости критериев процесса от их факторов, на основе которых находятся оптимальные технологические режимы.

Известные теоретические и экспериментальные результаты исследований и возможности совершенствования плазменного нанесения и упрочнений покрытий динамизацией процессов на основе применения модуляции электрических параметров представлены на рисунке 3 [5-11].

Технологическое обеспечение проектирования технологии ПН

Технологическое обеспечение проектирования технологии плазменного нанесения и упрочнения покрытий (ТО) должно включать в себя обеспечение составляющих технологии ПН:

− во-первых, динамизации процессов плазменного нанесения и упрочнения высокопрочных износостойких металлических покрытий для разнопрофильных поверхностей деталей машин путем применения модуляции электрических параметров;

− во-вторых, системы управления динамикой этих процессов.

Указанные составляющие ПН, в свою очередь, включают в себя совокупность методических и технических решений, обеспечивающих реализацию полученных результатов исследований и, в первую очередь, описание схемы ПН (см. рис. 1) и его техническое обеспечение. Таким вариантом технического обеспечения может быть оборудование, включающее установку ПН, установку термо- и электромеханического упрочнения (ЭМО) и специальное техническое обеспечение [8-10]. Установка ПН реализует технические решения № 1774828 СССР, патенты РФ № 2211256 и № 2480533. Особенностью установки является наличие в ней комплексного модулятора, позволяющего модулировать ток косвенной и прямой дуг одно- и двухполярными импульсами и, в случае необходимости, наличие блока электромеханической обработки. Требуемые технические характеристики установки представлены в таблице 1. К специальному техническому обеспечению относятся устройства для нанесения покрытий на шейки коленчатых валов (например, патенты РФ № 2085301, № 2447951, № 129021), устройства для нанесения покрытий на профильные поверхности (например, на поверхности типа «зуб» патент РФ № 2175024), устройства для нанесения покрытий на внутренние малогабаритные поверхности, системы охлаждения детали, манипуляторы и др.

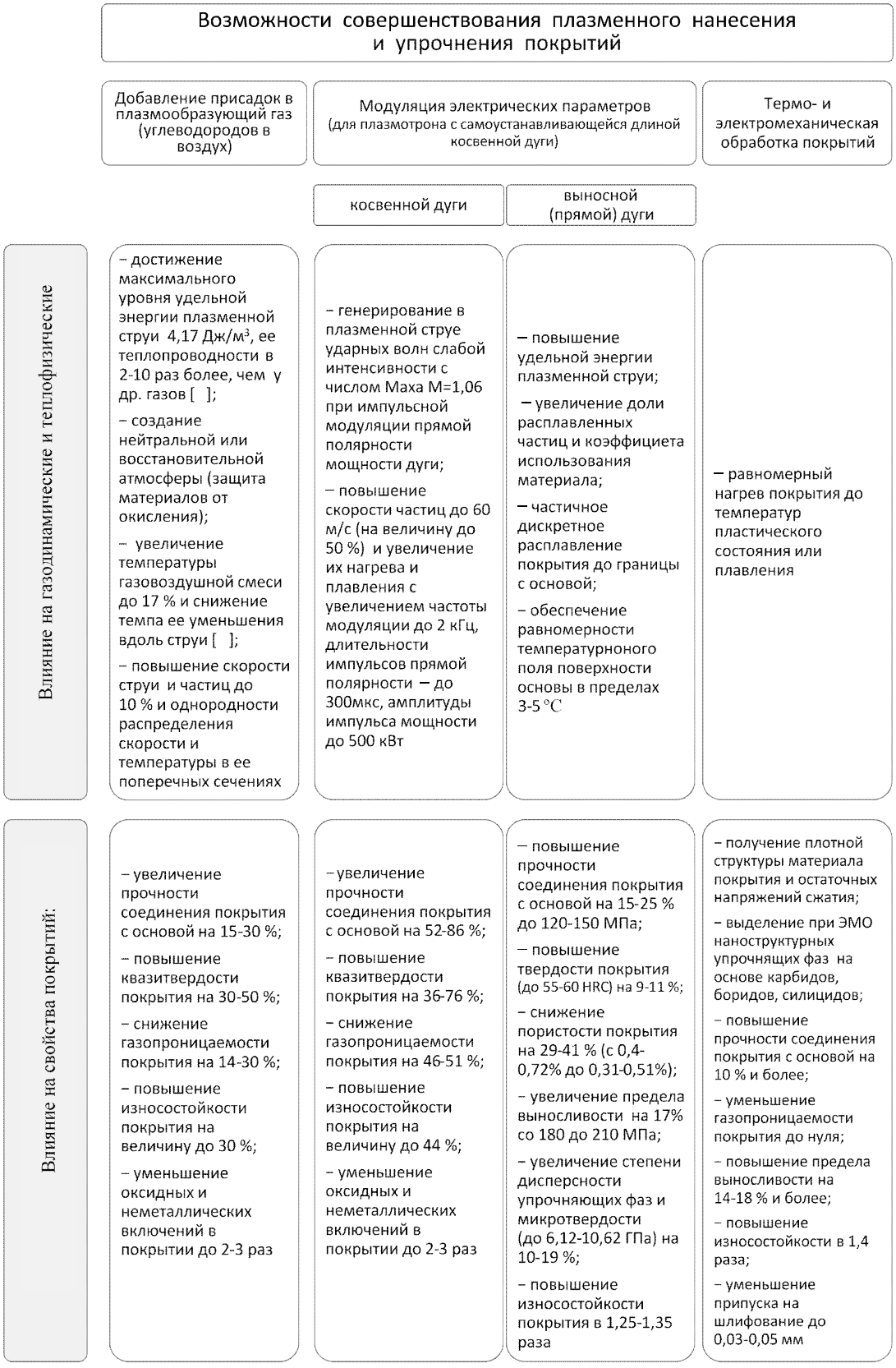

Рисунок 3 – Результаты исследований по влиянию модуляции электрических параметров на качество покрытий

Сравнительный анализ использования электрических параметров модуляции с другими управляемыми параметрами процесса нанесения и упрочнения покрытий показывает простоту реализации, относительную безинерционность и эффективность модуляции электрических параметров. Это дает им преимущество относительно других в возможности использования в системах управления с обратной связью и, в том числе, потенциально в адаптивных системах управления.

Таблица 1 – Техническая характеристика установки плазменного нанесения и упрочнения покрытий

№ п/п	Параметр	Значение параметра
1	Мощность, кВт: косвенной дуги прямой дуги микроплазмотрона в блоке электромеханической обработки электромеханического блока (ЭМБ)	 до 50 0,1 … 5 5 5
2	Напряжение электромеханической обработки (ЭМО), В	2 … 5
3	Сила тока ЭМО, А	500 … 3000
4	Амплитуды мощностей импульсов плазменного напыления, кВт	0,5 … 600
5	Длительность импульсов плазменного напыления, мкс	5 … 1000
6	Частота модуляции импульсов плазменного напыления, Гц	10 … 7000
7	Емкость конденсаторной батареи модулятора при $U_{раб}$ 5 кВ, мкф	до 160
8	Производительность напыления металлических порошков, кг/ч: плазмотроном микроплазмотроном	 до 8 до 1
9	Плазмообразующие газы	воздух, азот, добавки пропана
10	Расход газа, л/мин: плазмообразующего транспортирующего суммарный (аргон) в ЭМБ	 до 120 до 10 до 20
11	Скорость вращения патрона в ЭМБ, $с^{-1}$	0,15 … 0,4
12	Подача плазмотрона в ЭМБ, мм/об	0,1 … 4
13	Расход охлаждающей СОЖ, воды, л/мин	0,5 …4,5

Разработка системы управления динамикой процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий включает в себя разработанные средства воздействия на объект и набор средств сбора, или контроля сведений об объекте, изображенные на рисунке 4. В качестве первых используются запатентованные способы и средства модуляции электрических параметров на основе полученных результатов исследований (табл. 1).

$\uparrow,\downarrow$ – индекс увеличения и снижения параметра соответственно; C – емкость; R – сопротивление; ν – частота модуляции; $J_р$ – сила тока электромеханической обработки; $F_р$ – сила давления ролика на деталь; n – частота вращения детали; $V_р$ – подача ролика; ΔN – амплитуда импульса мощности; $\tau_{имп}$ – время импульса; $S_{св}$ – площадь проплавленной зоны покрытия; h – толщина покрытия; T – температура покрытия; $V_ч$ – скорость частиц; $dT_ч/dt$ – скорость роста температуры частиц; $\sigma_а$, $\sigma_к$ – адгезионная и когезионная прочность покрытия соответственно; П – пористость покрытия; $\varepsilon_и$ – износостойкость покрытия; «+», «-» – индексы, соответствующие принадлежности импульсам прямой и обратной полярности

Рисунок 4 – Система управления динамикой процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий модуляцией электрических параметров

Для косвенной дуги она заключается в реализации принципов максимизации мощности импульсов или их интенсивности на частотах 3-5 кГц для повышения энергии напыляемых частиц. Для прямой дуги система управления динамикой процессов заключается в генерировании импульсов мощности,

обеспечивающих, во-первых, локально дискретное проплавление покрытия с оптимальной плотностью распределения таких зон и, во-вторых, равномерное поле температур с минимальным разбросом. Регулирование параметров модуляции осуществляется изменением емкостей, активных сопротивлений модулятора и задающей частотой генератора.

Методология проектирования технологических процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией параметров

Методология включает в себя алгоритм действий по проектированию таких технологий, средства, способы и принципы решения технологических задач, модели процессов.

Структура процесса проектирования представлена на рисунке 5. Первый этап проектирования технологического процесса заключается в постановке технологической задачи (ТЗ) и технических требований (ТТ) к покрытию. В соответствии с эксплуатационными требованиями к покрытию и с учетом параметров детали эти требования подразделяются на требования для:

- наружных или малогабаритных внутренних поверхностей;
- сопрягаемых и несопрягаемых поверхностей деталей;
- поверхностей подвижных и неподвижных сопряжений;
- повышенных эксплуатационных нагрузок (знакопеременных, ударных, работающих в условиях абразивного износа).

На этапе *синтеза принципов* технологий на основе физической модели были определены физические эффекты при модуляции электрических параметров, которые составляют основу технологий плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией параметров [4].

На этапе *структурного синтеза* технологий были созданы схемы и алгоритмы реализации вариантов модуляции электрических параметров в зависимости от эксплуатационных требований и параметров детали [2]. Общий алгоритм может иметь вид, представленный на рисунке 6.

На этапе *параметрического синтеза* были получены зависимости критериев процессов от факторов и решены задачи по поиску оптимальных технологических режимов нанесения и упрочнения покрытий с учетом эксплуатационных требований и параметров детали [3, 11].

На каждом этапе проектирования в зависимости от эксплуатационных нагрузок и параметров детали выбирается технология нанесения покрытий и выполняются следующие процедуры (рис. 6):

− выбор способа ПН, его математической модели (блок-схемы и расчетной схемы);

− выбор метода решения, в том числе метода оптимизации;

− решение;

− анализ полученных результатов и принятие решения.

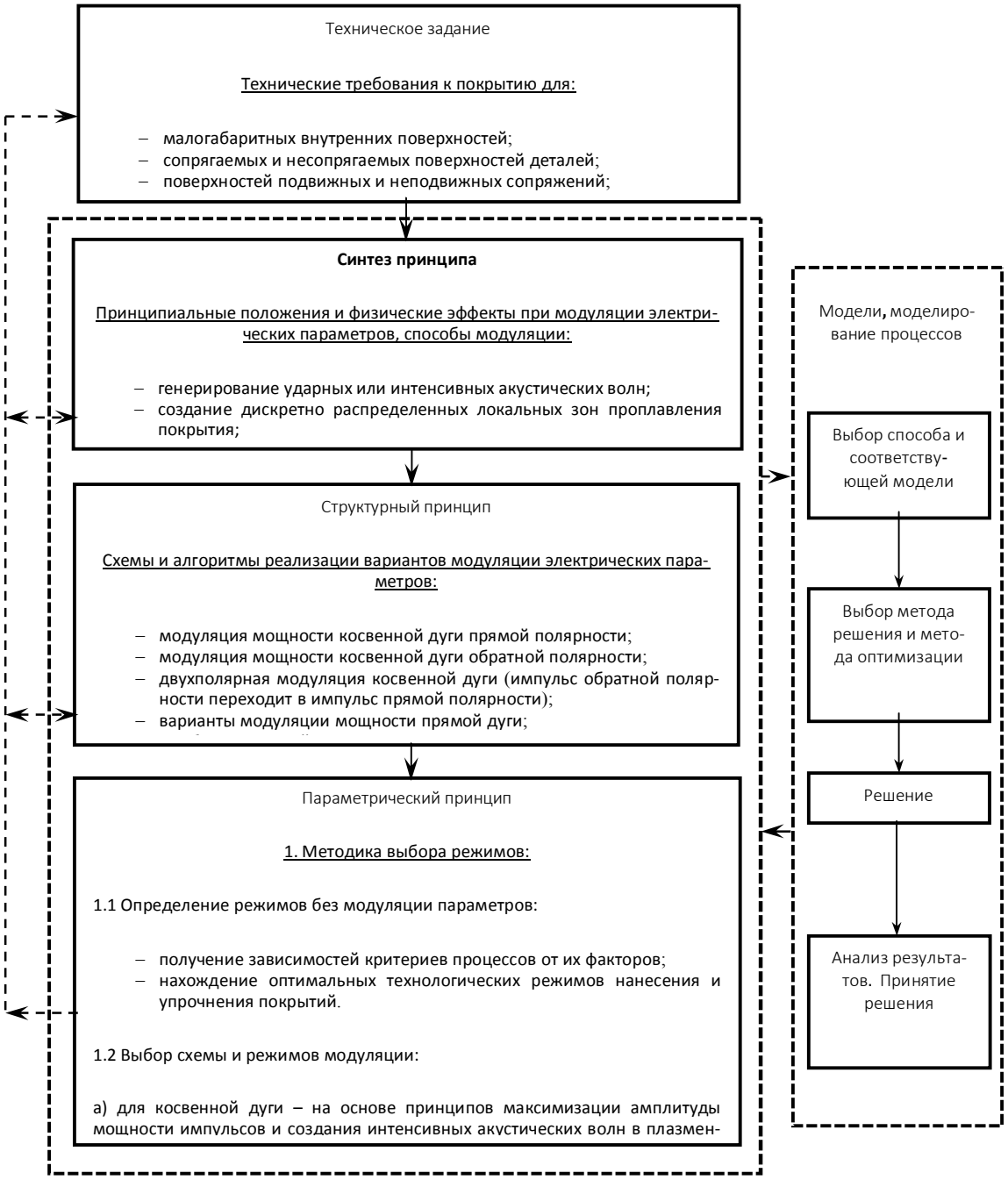

Рисунок 5 – Структура процесса проектирования технологических процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией параметров

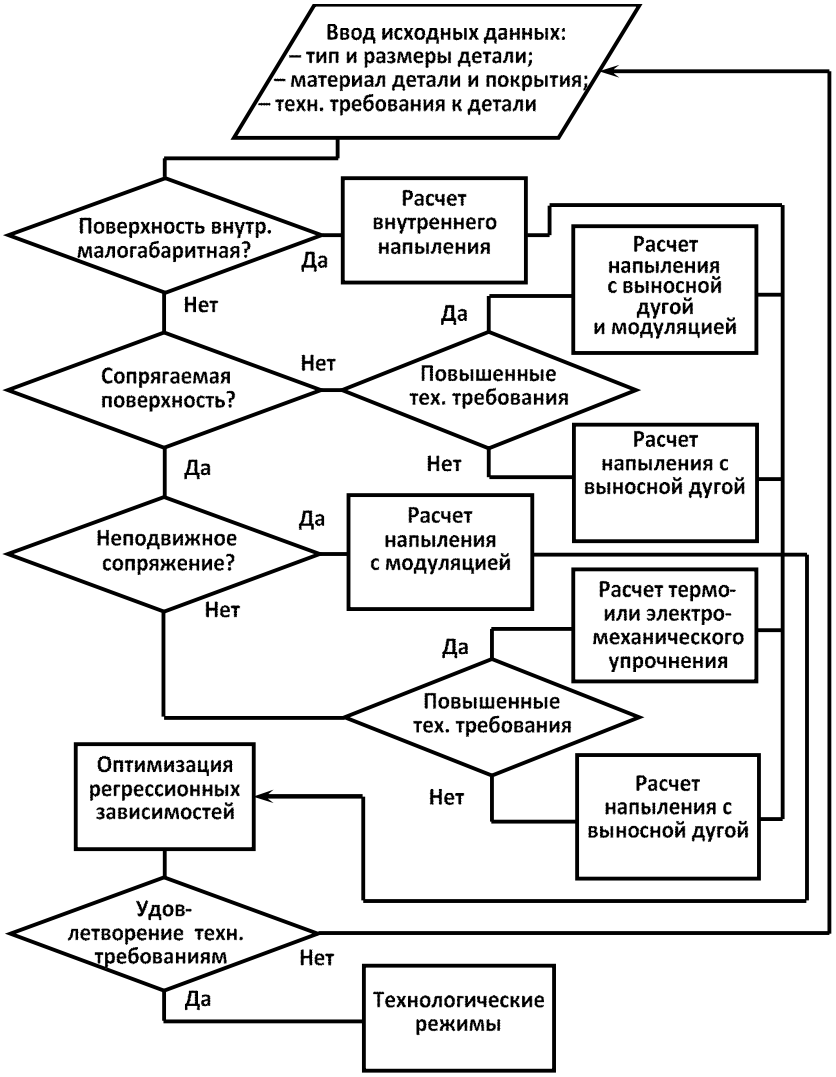

Рисунок 6 – Общая схема выбора технологии плазменного нанесения и упрочнения покрытия с модуляцией параметров

Таким образом, на основе исследований процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией электрических параметров, разработанного технологического обеспечения и методологии их проектирования могут быть разработаны оптимальные варианты технологического процесса, обеспечивающие в зависимости от заданных эксплуатационных нагрузок необходимый уровень прочностных свойств покрытий. Отличием предлагаемой технологии от традиционного плазменного напыления является то, что:

− во-первых, энергопитание дуг в операции нанесения покрытия осуществляется в режиме модуляции электрических параметров;

− во-вторых, используется комбинированное с напылением электромеханическое упрочнение покрытия для поверхностей (покрытий), подверженных высоким удельным нагрузкам, в том числе, ударным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ Р 50995.0.1-96. Технологическое обеспечение создания продукции. Основные положения

2 Кадырметов, А. М. Технология плазменного нанесения и упрочнения покрытий в ресурсосберегающих производственных процессах [Текст] / А. М. Кадырметов, Д. И. Станчев, Г. А. Сухочев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 7(67). – С. 29-36.

3 Кадырметов, А. М. Оценка качества плазменных покрытий, нанесенных комбинированным методом с обкаткой роликом, полученная на основе компьютерного моделирования / А. М. Кадырметов, В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 03 (87). – Режим доступа : http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/30.pdf, 0,813 у.п.л.

4 Кадырметов, А. М. Физическая модель механизмов динамизации процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий с помощью модуляции электрических параметров [Текст] / А. М. Кадырметов, Г. А. Сухочев, А. Ф. Мальцев, Д. А. Попов // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2013. – № 10. – С. 19-26.

5 Кадырметов, А. М. Интенсификация энергообмена в гетерогенной плазменной струе при модуляции электрических параметров процесса плазменного напыления [Текст] / А. М. Кадырметов // Инженерно-физический журнал. – 2013 г. – Т. 86 – № 4. – С. 739-746.

6 Кадырметов, А. М. Особенности процесса воздушно-плазменного нанесения и упрочнения покрытий [Текст] / А. М. Кадырметов, Г. А. Сухочев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 4(52). – С. 17 22.

7 Кадырметов, А. М. Моделирование процесса плазменного напыления покрытий на детали транспортных машин в режиме модуляции мощности дуги плазмотрона / А. М. Кадырметов, М. В. Драпалюк, В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – № 10(84). – Режим доступа : http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/19.pdf, 0,625 у.п.л.

8 Сухочев, Г. А. Экспериментальные исследования параметров

управляемости процесса воздушно-плазменного нанесения и упрочнения покрытий [Текст] / Г. А. Сухочев, А. М. Кадырметов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – №11(47). – С. 53-56.

9 Кадырметов, А. М. Технология плазменного нанесения и упрочнения покрытий в ресурсосберегающих производственных процессах [Текст] / А. М. Кадырметов, Д. И. Станчев, Г. А. Сухочев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 7(67). – С. 29-36.

10 Кадырметов, А. М. Оборудование для плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией электрических параметров [Текст] / А. М. Кадырметов, Д. И. Станчев, Г. А. Сухочев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 11(71). – С. 41-48.

11 Кадырметов, А. М. Исследование процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий и пути управления их качеством / А. М. Кадырметов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – № 07(81). – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/25.pdf, 1,125 у.п.л.