

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ

**Постановка проблемы.** Газопламенное напыление является одним из перспективных технологических методов нанесения восстановительных и упрочняющих покрытий. Широкому внедрению этого способа напыления препятствует отсутствие системы управления качеством газопламенных покрытий. Для разработки технологии восстановления детали необходимо проведение научно-исследовательской работы по определению оптимальных режимов газопламенного напыления, что связано с отсутствием общей методики проектирования этого процесса.

Управление качеством газотермических покрытий включает в себя выбор технологических параметров процесса, влияющих на показатели качества покрытий, и регулирование ими (стабилизация или изменение по заданной программе). На сегодняшний день существует лишь несколько типовых технологических процессов нанесения плазменных покрытий на простейшие детали (поршневые кольца двигателей, нитеводители текстильных машин и т. п.) [1].

**Анализ основных достижений и публикаций.** Типовой технологический процесс восстановления деталей газопламенным нанесением покрытий включает следующие операции: подготовка напыляемой поверхности, нанесение подслоя (при необходимости), напыление покрытия, обработка покрытия. Каждая технологическая операция характеризуется определенным количеством факторов, оказывающих влияние на свойства покрытий. Изучению влияния различных факторов на свойства покрытий посвящено много работ. В итоге пришли к выводу, что на качество напыленного слоя влияют более 60 различных факторов [1].

Качество покрытия характеризуется следующими свойствами: прочностью сцепления покрытия с основой, когезионной прочностью напыленного слоя, пористостью, равномерной толщиной покрытия, уровнем остаточных напряжений, однородностью структуры и свойств покрытия, рис. 1 [2].

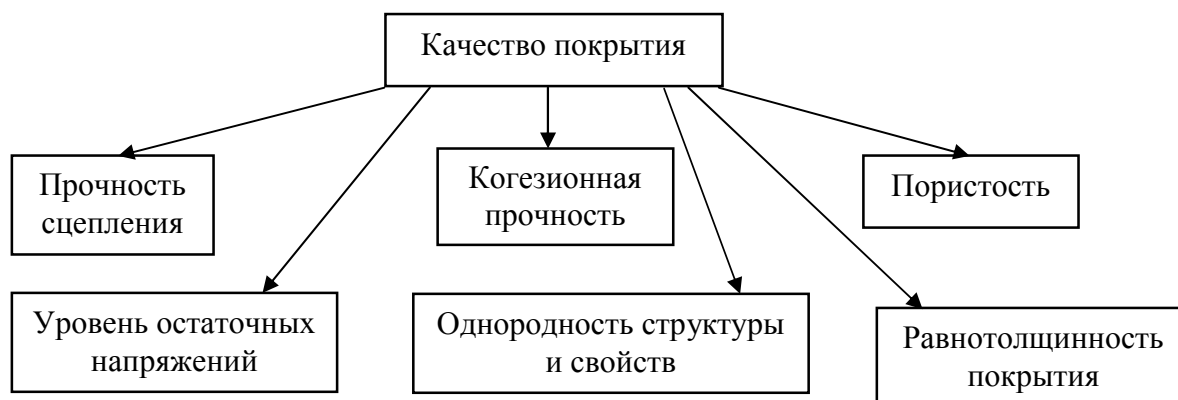


Рис. 1. Качество покрытия

Качество модели процесса напыления является не регламентированным элементом, что вызвано недостаточной разработкой вопросов управления свойствами покрытий.

Основным фактором, от которого зависит качество газопламенного покрытия, является точность математической модели процесса напыления, обеспечивающей стратегию и алгоритмы управления свойствами покрытий.

**Формулирование цели статьи.** Разработать обобщенную схему влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий и их связи с технологическими операциями напыления.

Определить связь управляющих воздействий и показателей качества газопламенных покрытий.

Сформулировать общие принципы управления качеством газопламенных покрытий.

**Основной материал.** Для разработки принципов управления качеством газопламенных покрытий необходимо рассмотреть факторы и их влияние на качество напыляемых покрытий.

При газопламенном напылении покрытия все факторы, влияющие на его качество, можно разделить на две группы. К первой группе относятся факторы, определяющие параметры процесса газопламенного напыления: состав и расход горючей газовой смеси, свойства напыляемого материала, конструкция газопламенной горелки, скорость и температура струи горючей газовой смеси, а также напыляемых частиц. Ко второй группе относятся: твердость и шероховатость напыляемой поверхности, дистанция напыления, температура основы, скорость перемещения напыляемой поверхности по отношению к горелке, условия охлаждения напыляемого покрытия, дополнительные воздействия на напыляемую деталь и покрытие.

Обобщенная схема влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий и их связь с технологическими операциями напыления представлена на рис. 2.

Из обобщенной схемы рис. 2 видно, что от 1-ой группы факторов зависят температура и скорость напыляемых частиц, которые достигают основы и определяют свойства покрытий. Постоянные величины температуры и скорости частиц достигаются стабильностью состава и расхода горючей газовой смеси, однородным фракционным составом напыляемого материала. Вторая группа факторов также влияет на все показатели качества покрытия. Поэтому повышение качества напыляемого покрытия может быть достигнуто с учётом комплексного влияния факторов 1-ой и 2-ой группы.

Вследствие неоднородности распределения по поперечному сечению газовой струи температурного и скоростного полей, напыляемый порошок нагревается не одинаково. В этой связи, периферийные частицы нагреваются недостаточно и попадание их в покрытие приводит к снижению его качества. Для предотвращения этого явления применяют экраны и насадки к горелке различных конструкций. Прочность сцепления покрытия с основой зависит от слоя, находящегося в контакте с поверхностью детали. Поэтому необходимо, чтобы этот слой содержал по возможности меньше периферийных частиц. Их число зависит также от такого фактора, как скорость относительного перемещения газопламенной горелки и напыляемой поверхности. При недостаточной скорости нижний слой будет формироваться с большим количеством периферийных частиц. Поэтому, важным является правильный выбор скорости относительного перемещения.

Эффективным способом повышения прочности сцепления покрытия с основой является управление таким фактором, как охлаждение напыляемого покрытия с целью поддержания температуры основы в определенных пределах. Для этого применяют обдувку детали со стороны противоположной напылению сжатым воздухом, азотом, сжиженным углекислым газом, смесью сжатого воздуха с водой и др.

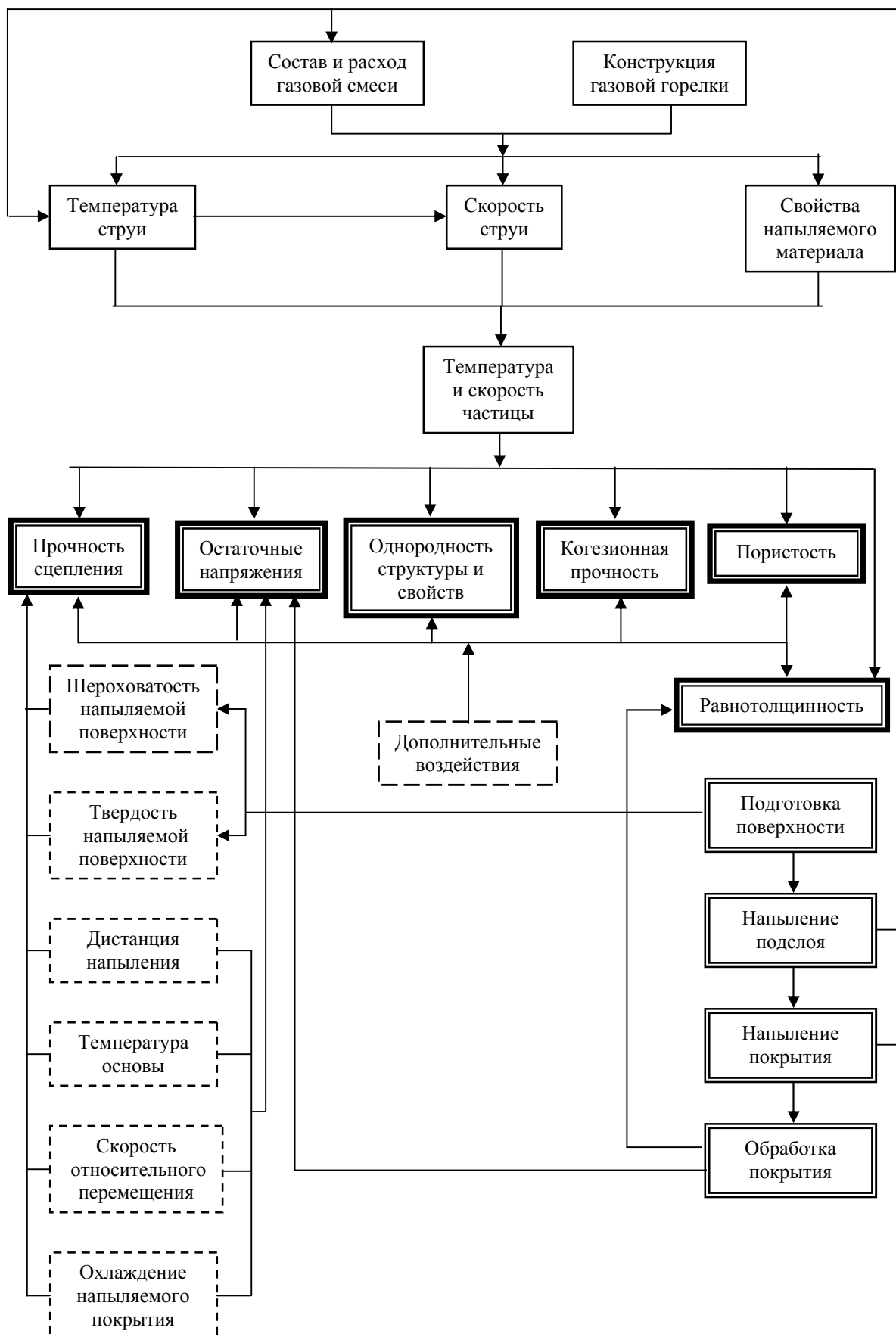


Рис. 2. Обобщенная схема влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий и их связь с технологическими операциями напыления

Предварительная подготовка напыляемой поверхности заключается в очистке её от грязи, масел и создания определенной шероховатости. Повышение прочности сцепления покрытия с основой происходит за счет зацепления расплавленных частиц о микронеровности поверхности и увеличения площади взаимодействия. Так площадь поверхности после абразивно-струйной обработки в три раза больше площади поверхности до обработки [1].

Важным фактором, влияющим на прочность сцепления напыляемого покрытия с основой, является величина промежутка времени между технологическими операциями подготовки поверхности и напылением покрытия. При разработке технологии напыления покрытий необходимо предусмотреть, чтобы этот промежуток времени был минимальным. Это позволит сохранить поверхность наиболее энергетически активной (ювенильной), что положительно скажется на прочности сцепления покрытия с основой.

В случае напыления покрытия из материала, значительно отличающегося от материала основы по коэффициенту термического расширения, например керамики на металл, необходимо применять подслои из материала, который имеет промежуточное значение коэффициента термического расширения, что обеспечивает формирование более низкого уровня остаточных напряжений в переходной зоне покрытие-подслой-основа. В качестве материала подслоя обычно применяют порошки алюминиды никеля или нихрома, как наиболее доступные и не дорогие.

Получение покрытий равной толщины и минимальной волнистости зависит от стабильности работы порошкового питателя и скорости относительного перемещения напыляемой поверхности и горелки.

Дополнительные воздействия на напыляемую деталь и покрытие позволяют целенаправленно повысить любой из показателей качества покрытия. Осуществляется необходимое воздействие на деталь или зону напыления путем интегрирования способа газопламенного напыления с другими методами обработки и технологиями. Например, наложение колебаний на напыляемую деталь позволяет снизить уровень остаточных напряжений в покрытиях.

Качество оборудования для газотермического напыления определяется ресурсом его стабильной работы, шириной диапазона регулирования параметров, возможностью быстрой переналадки, степенью механизации и автоматизации, а также эргономическими и экологическими показателями, влияющими на качество труда операторов. Качество заготовки, если не учитывать ее конструктивных особенностей, определяется качеством подготовки поверхности для напыления. Требования к качеству наносимого материала и рабочих газов приведены в соответствующих нормативных документах.

Управляющие воздействия на показатели качества покрытий представлены на рис. 3.

В качестве выходных параметров обычно принимают прочность сцепления покрытия с основой, уровень остаточных напряжений, когезионную прочность, пористость, равнотолщинность, однородность структуры и свойств.

Управляющие воздействия можно объединить в три группы: 1 – параметры напыления (давление горючего газа  $P_{гг}$ , давление кислорода  $P_k$ , расход горючего газа  $Q_{гг}$ , расход кислорода  $Q_k$ , соотношение между горючим газом и кислородом  $\beta$ , давление воздуха обжимающего газовое пламя  $P_v$ ), 2 – кинематические параметры (дистанция напыления  $L$ , угол напыления  $\alpha$ , скорость перемещения горелки  $V$ , скорость подачи горелки  $S$ , скорость вращения заготовки  $n$ ), 3 – дополнительные воздействия (иглофрезерование – величина натяга  $\Delta$ , обороты иглофрезы  $n_{иф}$ , скорость подачи иглофрезы  $S_{иф}$ ; виброобработка – амплитуда деформации  $\epsilon_m$ , частота колебаний детали  $f$ , время виброобработки  $t$ ), электроискровое легирование – мощность разряда  $N_p$ , напряжение  $U$ , ток короткого замыкания  $I_{кз}$ , ёмкость конденсатора  $C$ ).

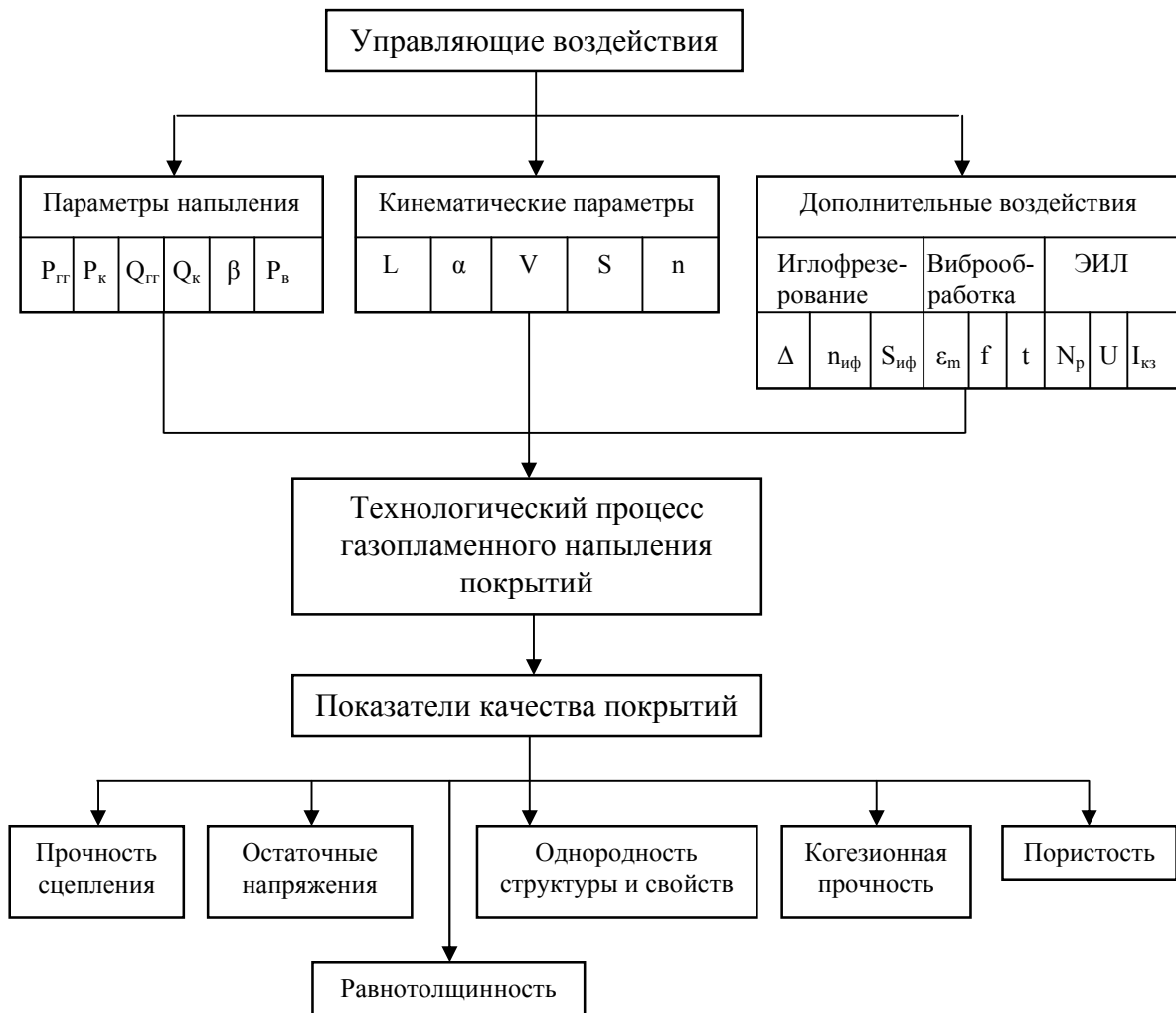


Рис. 3. Управляющие воздействия на показатели качества газопламенных покрытий

Современный этап развития газотермических способов напыления характеризуется совершенствованием методов получения покрытий и комбинированием их с другими технологиями с целью повышения качества напыляемых покрытий и управления их свойствами как при напылении, так и при последующей обработке. Возможны три варианта такого комбинирования: совмещение нескольких методов газотермического нанесения покрытий; применение при напылении приемов, не вносящих существенных изменений в схему процесса, но позволяющих улучшить свойства покрытий; дополнительная обработка покрытий.

Основным параметром, определяющим качество напыленного покрытия, является прочность сцепления с основой. Используя обобщенную схему влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий и их связь с технологическими операциями напыления (рис. 2) представим основные способы повышения прочности сцепления покрытия с основой в виде следующей схемы, рис. 4.

Как было показано выше качество покрытия характеризуется следующими показателями: прочностью сцепления покрытия с основой, когезионной прочностью напыленного слоя, пористостью, равномерной толщиной покрытия, уровнем остаточных напряжений, однородностью структуры и свойств покрытия.

Наибольшее влияние на эти показатели оказывают температура и скорость напыляемых частиц, температура подложки и свойства среды.

Рассмотрим некоторые способы управления качеством покрытий.



Рис. 4. Способы повышения прочности сцепления покрытия с основой

Величину нагрева напыляемых частиц можно регулировать путем изменения длины газопламенной струи, состава горючей смеси, подогрева струи дополнительным потоком горючего газа либо интенсификации теплообмена газовой смеси с напыляемыми частицами. Например, одним из способов увеличения энтальпии частиц является интенсификация межфазного теплообмена за счет уменьшения толщины теплового пограничного слоя, путем наложения на двухфазную струю акустических колебаний либо высокочастотных пульсаций, которые в результате срыва пограничного слоя может существенно повысить интенсивность теплообмена.

Активация поверхности основы за счет предварительного подогрева позволяет проводить процесс нанесения покрытий при оптимальной температуре, при которой происходит интенсивное химическое взаимодействие материалов основы и покрытия. Необходимо отметить, что величина предварительного подогрева металлической заготовки при напылении на воздухе ограничена критической температурой  $T_{кр}$ , превышение которой приводит к нежелательному увеличению толщины пленки оксида на поверхности подложки и соответственно снижению уровня остаточных напряжений.

Наиболее распространен предварительный подогрев напыляемой детали в термических печах либо непосредственно струей газопламенной горелки.

Одним из эффективных способов управления качеством напыляемых покрытий является охлаждение напыляемого покрытия и детали в процессе нанесения покрытия. Это бывает необходимым при напылении покрытий на тонкостенные детали или покрытий большой толщины. Охлаждение напыляемого покрытия и детали обычно производят сжатым воздухом. Для более эффективного охлаждения можно применять водную аэрозоль или углекислоту.

Сепарация напыляемых частиц по скорости. Для получения качественного покрытия частицы с низкими скоростями, находящимися в периферической части газопламенной струи, необходимо удалять. С этой целью применяют специальные экраны (маски),

отсекающие периферийную зону газопламенной струи. Однако из-за того, что калибрующее отверстие быстро забивается напыляемыми частицами и экран выходит из строя, этот способ не нашел широкого применения. Более эффективным является сдвиг низкоскоростных частиц перпендикулярным потоком воздуха, оседают на экране, расположенном рядом с деталью.

Термомеханическая обработка покрытия в процессе напыления дает возможность повысить плотность и прочность сцепления покрытия с основой. Одним из ее способов является электроконтактное припекание. Покрытие обкатывается роликом. При этом ролик и заготовка подключаются ко вторичной обмотке трансформатора (величина тока 25 - 30 кА, напряжение 3 - 6 В). В результате выделения тепла в покрытие и на границе раздела покрытия и заготовки происходит спекание частиц, а вследствие давления ролика (20 - 50 МПа) достигается требуемый физический контакт.

Существует также способ, включающий в себя оплавление нанесенного покрытия газовым пламенем и деформирование его роликом. Указанные способы могут быть использованы, как правило, только при нанесении покрытий из самофлюсующихся сплавов на плоскости и на простейшие тела вращения, что ограничивает область их применения.

В работе [3] показано, что уменьшить или устранить недостатки газопламенного напыления (недостаточная прочность сцепления покрытия с основой, пористость покрытия, снижения усталостной прочности изделий и др.), можно как технологическими мероприятиями – применением дискретных покрытий, созданием новых композиционных материалов и др., так и интегрированием газопламенного напыления с другими методами обработки поверхности: электроэрозионной обработкой, иглофрезерованием (обработка металлическими щетками) заготовки и покрытия, эпиламинированием, наложением колебаний на заготовку, СВЧ процессом, лазерной обработкой и др. (рис. 5).



Рис. 5. Схема интегрирования газопламенного напыления покрытий с другими методами обработки поверхности

На основе изложенного можно сформулировать общие принципы управления качеством газопламенных покрытий. Они заключаются в том, что на стадии создания модели восстанавливаемой детали задается качество покрытия с учетом условий эксплуатации и ресурса работы изделия. На стадии разработки модели технологического процесса газопламенного напыления производят выбор наносимого материала, горючей газовой смеси, осуществляется расчет параметров процесса напыления, интегрирование с другими технологиями для обеспечения получения покрытия с заданными свойствами. В качестве выходных параметров обычно принимают прочность сцепления покрытия с основой, пористость, коэффициент использования наносимого материала. На стадии производства заданное качество покрытия обеспечивается, а на стадии эксплуатации – реализуется, рис. 6.



Рис. 6. Структура общих принципов управления качеством газопламенных покрытий

**Выводы.**

1. При газопламенном напылении покрытия все факторы, влияющие на его качество, можно разделить на две группы. К первой группе относятся факторы, определяющие параметры процесса газопламенного напыления, ко второй группе относятся: твердость и шероховатость напыляемой поверхности, дистанция напыления, температура основы, скорость перемещения напыляемой поверхности по отношению к горелке, условия охлаждения напыляемого покрытия, дополнительные воздействия на напыляемую деталь и покрытие.

2. Разработана обобщенная схема влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий и их связь с технологическими операциями напыления.



3. Установлена связь управляющих воздействий и показателей качества газопламенных покрытий.
4. Определены основные способы повышения прочности сцепления покрытия с основой.
5. Сформулированы общие принципы управления качеством газопламенных покрытий.

**Литература:** 1. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учебное пособие по курсу "Технология конструкций из металлокомполитов". - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 360 с. 2. Лузан С.А., Дерябкина Е.С. Оценка качества газотермических покрытий при ремонте тракторов // Тракторна енергетика в рослинництві: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Вип. 89. - Харків, 2009. – С. 231-236. 3. Лузан С.А. Совершенствование метода газопламенного нанесения покрытий // Сборник докладов 7-ой Международной конференции ОТТОМ-7. Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов. Том III. - Харьков: ННЦ ХФТИ, ИПЦ "Контраст", 2006. – С. 182-183.

**Bibliography (transliterated):** 1. Puzryakov A.F. Teoreticheskie osnovy tehnologii plazmennogo napylenija: Uchebnoe posobie po kursu "Tehnologija konstrukcij iz metallokompozitov". - M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2003. - 360 s. 2. Luzan S.A., Derjabkina E.S. Ocenka kachestva gazotermicheskikh pokrytij pri remonte traktorov // Traktorna energetika v roslinnictvi: Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu sil'skogo gospodarstva im. Petra Vasilenka. Vip. 89. - Harkiv, 2009. – S. 231-236. 3. Luzan S.A. Sovershenstvovanie metoda gazoplammennogo nanesenija pokrytij // Sbornik dokladov 7-oj Mezhdunarodnoj konferencii OTTOM-7. Oborudovanie i tehnologii termicheskoj obrabotki metallov i splavov. Tom III. - Har'kov: NNC HFTI, IPC "Kontrast", 2006. – S. 182-183.

Лузан С.О.

#### ПРОПОНОВАНІ ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ГАЗОПОЛУМ'ЯНИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ВІДНОВНОМУ РЕМОНТІ ДЕТАЛЕЙ

Розроблена узагальнена схема впливу факторів на показники якості газополум'яних покриттів і їх зв'язок з технологічними операціями напылення. Встановлений зв'язок управляючих дій і показників якості газополум'яних покриттів. Сформульовані загальні принципи управління якістю газополум'яних покриттів.

Luzan S.

#### PROPOSED GENERAL PRINCIPLES OF CONTROL QUALITY GAZOPLAMENNYH COVERING UNDER RECONSTRUCTION REPAIR OF THE DETAILS

The generalised scheme of the influence factor on factors quality gasoflame coatings and their relationship with technological operation of the evaporation. The Installed relationship controlling influence and factors quality gasoflame coatings. The formulate general principles of control quality gasoflame coatings.

---