

УДК 621.793.74

Методика нанесения плазменных износостойких покрытий*

Ю.С. ЧЁСОВ¹, Е.А. ЗВЕРЕВ²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, к. т. н., доцент, e-mail: chesov@ngs.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, к. т. н., доцент, e-mail: egor_z@ngs.ru

Предложена методика гарантированного обеспечения качества плазменных износостойких покрытий из высокохромистого порошкового материала. Данный подход основан на назначении наиболее рациональных режимов обработки на стадиях предварительной струйно-абразивной очистки поверхности заготовки, плазменного напыления покрытий и финишного шлифования изделий с учетом технологической наследственности параметров качества, достигнутых на предшествующих этапах процесса. С целью получения обобщенных результатов, а также возможности управления режимными параметрами показателей качества на всех стадиях технологического процесса обработки возникла потребность в построении соответствующей системы инженерных моделей. Так, на этапе предварительной механической обработки перед напылением покрытий в качестве критерия при разработке модели принята шероховатость поверхности. Модель собственно процесса плазменного нанесения покрытий учитывает влияние режимов напыления на основные показатели качества: адгезионную прочность, пористость и уровень остаточных напряжений. Для проверки адекватности применяемых режимов напыления покрытий были проведены дополнительные исследования по химическому и фазовому составу исходного порошка и покрытий. При условии обеспечения геометрической и размерной точности деталей инженерная модель финишного абразивного шлифования основывалась на обеспечении требуемого значения параметра шероховатости поверхности.

Ключевые слова: плазма, напыление, покрытие, износостойкость, шлифование, струйно-абразивная обработка, режимы обработки, качество, шероховатость поверхности

ВВЕДЕНИЕ

Детали машин современного технологического оборудования работают при тяжелых режимах нагружения и часто выходят из строя по причине износа рабочих поверхностей [1]. Поэтому возникает потребность в повышении физико-механических свойств поверхностных слоев деталей. На практике это достигается различными методами поверхностного упрочнения, в том числе путем нанесения износостойких покрытий. К тому же часто возникает потребность в восстановлении изношенных деталей. Среди достоинств метода плазменного напыления можно выделить высокую производительность, хорошую управляемость процессом, а также возможность обработки деталей различной конфигурации и габаритов.

В целом качество покрытий является сложной комплексной характеристикой, зависящей от множества факторов технологического процесса, и формируется последовательно на этапах предварительной обработки поверхности, нанесения покрытия и финишной обработки по-

* Статья получена 17 февраля 2014 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А "Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин").

верхности покрытия. Поэтому комплексное решение задачи по обеспечению требуемого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств покрытий, рассматривающее этапы формирования покрытий как единый процесс с позиции теории технологической наследственности на всех этапах обработки, представляется весьма актуальным.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью настоящих исследований является разработка комплексной методики нанесения плазменных износостойких покрытий с гарантированным обеспечением их качества на всех стадиях технологического процесса.

На начальном этапе экспериментальных исследований были произведены сравнительные испытания по критериям адгезионной прочности и износостойкости покрытия из пяти марок порошков, по результатам которых в качестве объекта для дальнейших исследований и был принят высокохромистый чугун марки ПГ-С27 [2]. Покрытия из данного порошка нашли широкое применение при упрочнении рабочих органов самого разнообразного по функциональному назначению технологического оборудования [3].

Разработка методики потребовала проведения сложного комплекса экспериментальных исследований: установления наиболее рациональных режимов предварительной механической обработки поверхности заготовки перед нанесением покрытий (шероховатость поверхности), собственно плазменного напыления (характер структуры с присущими ей показателями качества) и окончательной механической обработки (шероховатость поверхности).

Основной задачей предварительной обработки поверхности заготовки является формирование рельефа, создающего благоприятные условия для наилучшего сцепления покрытия с основой. Кроме того, в процессе обработки происходит активация поверхности: очищение ее от грязи, масел и окисных пленок. Очевидно, что характер структуры покрытия закономерно предопределяет комплекс его физико-механических и эксплуатационных свойств. Основными показателями, отражающими качество покрытий, являются адгезионная прочность $\sigma_{ад}$ (прочность сцепления покрытия с основой), когезионная прочность $\sigma_{к}$ (прочность соединения частиц порошка между собой), твердость HV , уровень остаточных напряжений в слое $\sigma_{он}$, а также толщина слоя δ и ее равномерность. Финишная обработка необходима для формирования окончательной размерной и геометрической точности деталей, а также шероховатости поверхности.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основного материала для изготовления лабораторных образцов использовались тонкостенные втулки и пластины из стали 20.

Для практического изучения влияния режимов САО на шероховатость поверхности была использована струйно-абразивная камера типа КСО-110-ИФВ-РМ. В качестве абразивного материала принят электрокорунд марки 13А с зернистостью 120. Для проведения основных исследований в области нанесения покрытий использовалась плазменная установка «Киев-7». Напыление осуществлялось электродуговым плазмотроном ПУН-8 мощностью 40 кВт. Для замера температуры нагрева образцов использовался бесконтактный инфракрасный пирометр *Optris MiniSight*. Финишная механическая обработка покрытий производилась на круглошлифовальном станке модели 3Б12. Инструмент – абразивный круг из карбида кремния зеленого марки 64С80ПСМ28Б1. Металлографические исследования образцов с покрытиями проводили на оптических микроскопах *NIKON Eclipse MA100* и *Carl Zeiss AxioObserver A1m*. Твердость напыленных покрытий и характер её распределения по глубине определяли измерением микротвердости на приборе ПМТ-3 по методике [4]. Химический состав напыляемого порошка и покрытия анализировали с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра *ARL Optim'X* и растрового электронного микроскопа *Carl Zeiss EVO50 XVP*, оснащенного микроанализатором химических элементов *EDS X-Act (Oxford Instruments)*. Оценка фазового состава покрытия

производилась путем расшифровки дифракционных картин, снятых с поверхности покрытия. Картины были зарегистрированы на Θ - Θ дифрактометре с использованием медной трубки в качестве источника рентгеновского излучения. При оценке адгезионной прочности покрытий применялся метод «сдвига», для чего была создана специальная установка. При определении уровня остаточных напряжений первого рода в покрытиях использовался неразрушающий экспериментально-расчетный метод «наращивания», заключающийся в деформации пластины в момент напыления на неё слоя покрытия. Определение толщины напыленного слоя производилось с помощью цифрового контактного толщиномера индукционного типа модели «Константа МКЗ». Измерение шероховатости производили на базе комплекса изучения топографии модели *Zygo New View 7300*, а также при помощи профилометра *Elcometer 223*. Испытание образцов на изнашивание в условиях трения скольжения проводили на установке, позволяющей реализовать схему «врезающийся индентор», а на контактно-усталостную выносливость покрытий – на установке, работающей по схеме «пульсирующий контакт» [5].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Как показали исследования, наиболее значимым фактором, влияющим на адгезионную прочность является шероховатость поверхности основы. На стадии предварительной обработки поверхности для определения влияния режимных условий процесса САО на шероховатость поверхности по критерию Rz перед напылением был проведен ряд экспериментов. Управляемыми параметрами были выбраны расстояние от сопла пистолета до поверхности (дистанция) l (60...150 мм) и длительность обработки τ (30...120 с). Для используемой пневмоструйной установки величина давления сжатого воздуха составляла $P_B = 0,5$ МПа, расход воздуха $G_B = 2,1$ м³/мин при диаметре сопла пистолета $d_C = 12$ мм [6]. При этом обеспечивался расход абразива $G_{АБР} = 95$ кг/час.

Опытные данные обрабатывались с использованием программного продукта *Table Curve 3D v 4.0*. В результате была получена зависимость (1) с коэффициентом корреляции, равным 0,97:

$$Rz(l, \tau) = 131,6 - \frac{2351,2}{l} - 3,72\tau + 0,07\tau^2 - 3,44 \cdot 10^{-4} \tau^3. \quad (1)$$

Анализ этой функции показывает, что с увеличением дистанции наблюдается рост величины Rz . Это связано с тем, что до определенного момента увеличивается интенсивность обработки вследствие увеличения площади контакта и возможности разгона частиц до большего значения. При увеличении времени воздействия уровень шероховатости сначала возрастает, а потом снижается. Это обусловлено тем, что в процессе обработки происходит откалывание микровыступов и образуется новая поверхность с меньшей шероховатостью и пластически деформированным слоем. Совместный учет технологических факторов позволяет получить шероховатость поверхности в пределах $Rz = 30...100$ мкм.

Для установления количественной связи параметров качества покрытий: адгезионной прочности $\sigma_{ад}$ (МПа), пористости Π (%) и остаточных напряжений $\sigma_{он}$ (МПа) – от технологических режимов плазменного напыления в обобщенном виде потребовалась разработка инженерной модели, которая была получена в виде системы регрессионных уравнений.

При разработке модели процесса напыления при прочих равных условиях в качестве управляемых режимных параметров были приняты сила тока дуги плазмотрона I (диапазон варьирования значений – 116...160 А), напряжение $U = 140$ В, расход плазмообразующего газа (воздуха) G (13...27 л/мин), давление $P = 0,4$ МПа и дистанция напыления L (80...160 мм). Массовый расход порошка составлял $G_{ПОР} = 1,5$ кг/ч. Напыление осуществлялось при вращении образцов с линейной скоростью $V_D = 12$ м/мин и скоростью перемещения (подачей) плазмотрона $S = 300$ мм/мин.

За основу проведения исследований принят ортогональный центрально-композиционный план второго порядка. В результате была получена система регрессионных уравнений процесса плазменного напыления:

$$\sigma_{ад} = 130,62 - 2,316I + 3,878G - 0,086L + 0,009I^2 - 0,124G^2 + 0,007IG; \quad (2)$$

$$П = -159,45 + 4,48I - 7,308G - 0,714L - 0,018I^2 + 0,159G^2 + 0,003L^2 + 0,008IG; \quad (3)$$

$$\sigma_{он} = 161,22 - 3,713I + 0,018I^2 + 3G - 0,099G^2 + 1,06L - 0,003L^2 - 0,004IL. \quad (4)$$

Данная модель позволила оценить степень влияния каждого из факторов, а также выявить их количественную взаимосвязь. С увеличением силы тока возрастает адгезионная прочность и снижается пористость. Это объясняется повышением температуры струи, вследствие чего в ней уменьшается количество нерасплавленных частиц. При достижении же критического значения силы тока происходит перегрев и выгорание частиц в плазменной струе. Увеличение расхода газа сказывается положительно лишь до определенного момента. Это обусловлено сложным влиянием величины расхода на состояние плазменной струи: с увеличением расхода газа растет скорость истечения плазмы (растет и кинетическая энергия частиц порошка), но при этом происходит снижение тепловой мощности струи, что отрицательно сказывается на температуре частиц. В исследуемом диапазоне режимов напыления адгезионная прочность покрытий и пористость изменяются в пределах 9,8...26,4 МПа и 4...26 % соответственно.

В результате анализа экспериментальных данных было выявлено, что в процессе напыления знак остаточных напряжений не изменяется. Величина растягивающих напряжений главным образом зависит от температуры нагрева образцов, а наибольшее влияние на нее оказывает ток дуги плазматрона. Увеличение силы тока дуги сопровождается ростом температуры основы. Это объясняется тем, что с увеличением силы тока растет и тепловая мощность плазменной струи. В то же время с повышением расхода плазмообразующего газа наблюдается обратная картина: снижение температуры образцов, поскольку при этом уменьшается теплосодержание плазмы. Практически то же воздействие оказывает и дистанция напыления: ее увеличение приводит к снижению температуры основы. В исследуемом диапазоне режимов плазменного напыления покрытий уровень остаточных напряжений находился в пределах 7...60 МПа.

Металлографический анализ также показал [7], что в исследуемом диапазоне режимов напыления наблюдается структура покрытия, характерные варианты (модификации) которой условно были названы структурами типа А, Б (не показана) и В (рис. 1).

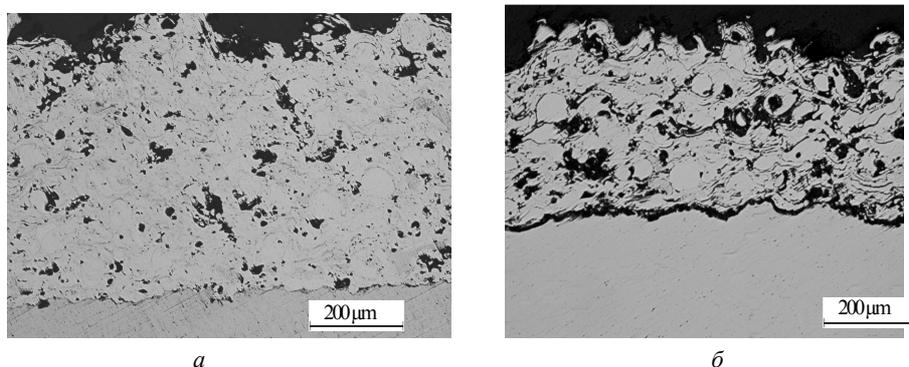


Рис. 1. Структуры покрытий ($\times 100$):
а – структура типа А; б – структура типа В

Идентификация производилась по таким структурным показателям, как пористость и размеры пор, количество нерасплавленных и степень деформации частиц, а также несплошность переходной границы. На всех образцах наблюдаются границы между отдельными частицами и между покрытием и основой. При формировании слоя глобулярная форма частиц из-за пластической деформации заменяется на неравноосную, часто завихренную. Металлографический анализ также показал, что во всех случаях формируется качественно подобная структура, но морфология и размеры зависят от режимов напыления. Наряду с температурой кинетическая энергия частиц (их скорость) определяет механизм формирования структуры и пористости. Степень деформации частиц по так называемому «форм-фактору» (ФФ) дает возможность произвести косвенно энергетическую оценку режимов плазменного напыления.

Структурные показатели плазменных покрытий в исследуемом диапазоне режимов напыления приведены в табл. 1.

Таблица 1

Структурные показатели плазменных покрытий

Тип структуры	Пористость средняя П, %	Средний диаметр пор $D_{ср}$, мкм	Несплошность границы НС, %	Доля нерасплавленных частиц НР, %	Степень деформации ФФ
А	4...13	5...9	7...12	2...8	0,15...0,22
Б	13...20	9...16	12...19	8...17	0,22...0,34
В	20...26	16...20	19...47	17...24	0,34...0,47

Следует отметить, что в исследуемом диапазоне режимов плазменного напыления наилучшими показателями обладают образцы со структурой покрытий типа А (рис. 1, а). Самым наихудшим является третий вариант – структура тип В (рис. 1, б). Структура типа Б занимает промежуточное положение.

Совместный анализ вариантов структур и сочетаний условий обработки, при которых они были получены, позволил разбить весь исследуемый диапазон режимов напыления соответственно на три характерных поддиапазона (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики поддиапазона режимов напыления

Поддиапазон	Режимы напыления			Энергетические параметры плазменной струи		Тип структуры
	Ток I , А	Расход газа G , л/мин	Дистанция L , мм	Температура T_c , °К	Скорость V_c , м/с	
1	140...160	18...22	110...125	6000...7500	630...750	А
2	120...140	13...18	80...110	6400...9300	450...600	Б
3	116...120	22...27	125...160	3900...4800	760...930	В

Очевидно, что в зависимости от режимов напыления частицы обладают различными значениями температуры T_c , скорости V_c и длительности нахождения в полете, выраженными через дистанцию L напыления.

Расчеты температуры струи на срезе сопла плазмотрона и средней скорости струи, выполненные по методике [8], позволили приблизительно оценить влияние уровня энергетического воздействия плазменной струи на тип структуры. Несмотря на то, что температура плазмы при формировании структуры типа А несколько ниже по сравнению со структурой типа Б, скорость истечения струи, а следовательно, и кинетическая энергия частиц, выше. К тому же при ее формировании дистанция напыления позволяет расплавленным частицам порошка разогнаться до максимальных значений. Структура типа В образуется при значительном расходе плазмообразующего газа, вследствие чего существенно снижается теплосодержание струи, поэтому частицы порошка не успевают полностью расплавиться.

Необходимо отметить, что с целью более глубокого анализа полученных результатов требуется оценка эксплуатационных свойств покрытий (износостойкости и контактной выносливости) с различными модификациями структуры.

При испытании покрытий на изнашивание поверхность трения представляет собой лунку (рис. 2, *а*), геометрические размеры которой служат для расчета величины объемной потери материала. При испытаниях на контактную выносливость поверхность покрытий подвергается интенсивному разрушению под действием циклических нагрузок. На рис. 2, *б* приведен типовой снимок появления усталостной трещины в пятне контакта образца с индентором.

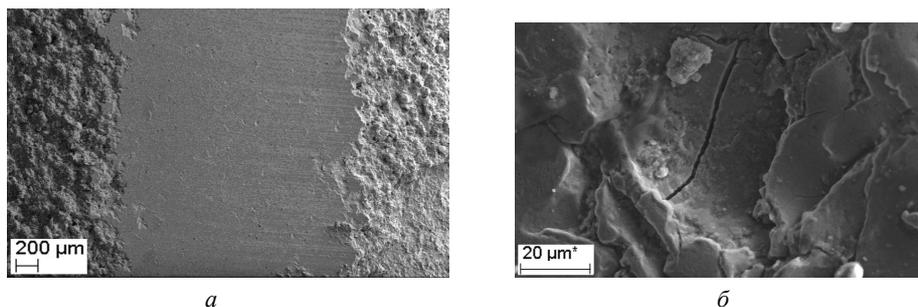


Рис. 2. Характер разрушения поверхности покрытий:

а – при изнашивании; *б* – при контактном нагружении

Экспериментальные исследования показали, что структура покрытий типа А обладает и наибольшим уровнем эксплуатационных свойств. По сравнению со структурой типа В износостойкость данных покрытий выше в 2 раза, а контактная выносливость соответственно в 2,5 раза. Именно данный вариант структуры покрытий типа А и был выбран в качестве базового при выполнении дальнейших исследований.

В связи с тем, что при плазменном напылении порошковые частицы претерпевают значительные термические нагрузки, возникает необходимость в более глубоком изучении структуры на микроуровне. Сущность исследований состоит в проведении химического и рентгеноструктурного анализа как исходного порошка, так и напыленного покрытия, а также изучение особенностей микроструктуры покрытия.

Химический и фазовый состав поверхностного слоя является одной из наиболее важных характеристик, подверженной влиянию режима плазменного напыления и оказывающей существенное воздействие на качество сформированного покрытия. В связи с тем, что при плазменном напылении порошковые частицы претерпевают значительные термические нагрузки, возникает необходимость в более глубоком изучении структуры на микроуровне. Исследования показали, что изменения химического и фазового состава после напыления незначительны, что свидетельствует об эффективности выбранных режимов [9].

Для проведения экспериментальных исследований по установлению влияния режимов круглого шлифования на шероховатость поверхности покрытий в качестве варьируемых режимных параметров приняты глубина резания t (0,05...0,15 мм) и линейная скорость детали V_d (13...27 м/мин) при толщине припуска в пределах 0,2...0,25 мм. При диаметре шлифовального круга, равном 300 мм, обеспечивалась рекомендуемая при шлифовании износостойких покрытий скорость резания $V_p = 35$ м/с. Скорость продольного перемещения (подачи) стола составляла $S_{пр} = 120$ мм/мин. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применялся водный раствор с добавкой 2 % ингибитора $NaNO_3$ при расходе 2,4 л/мин. Правка круга осуществлялась алмазным карандашом. При толщине плазменного покрытия, равного 0,60...0,63 мм, снятие основного припуска (0,2...0,23 мм) производилось методом обработки «до упора» с завершением цикла процессом выхаживания: снятие металла покрытия за счет выборки упругих отжаты детали.

На рис. 3 приведен снимок типовой поверхности покрытия и соответствующая ему профилограмма после шлифования.

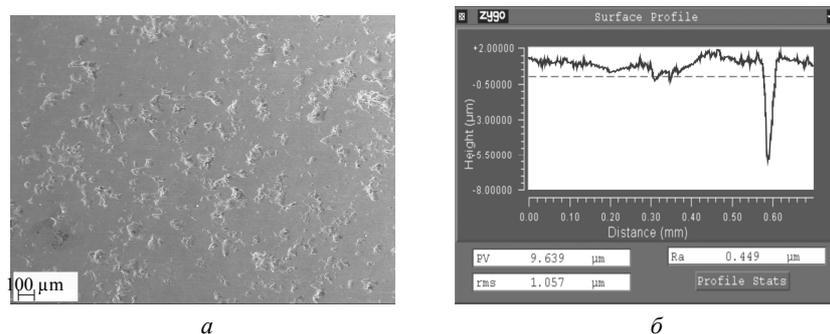


Рис. 3. Поверхность покрытия после шлифования:

a – топография поверхности; *б* – профилограмма поверхности

Характерной особенностью покрытий является наличие открытой пористости. На профилограммах поверхности отчетливо видны «провалы», обусловленные пористостью. В целом обработанная поверхность покрытий имеет нерегулярный микрорельеф [10].

С целью установления влияния режимов абразивного шлифования на уровень шероховатости поверхности по критерию Ra был проведен двухфакторный эксперимент, позволивший получить эмпирическую зависимость следующего вида (коэффициент корреляции равен 0,95):

$$Ra = 1,44 - 0,187V_{\text{д}} + 8,91t + 0,004V_{\text{д}}^2 - 62,63 \cdot t^2 + 0,46V_{\text{д}}t. \quad (5)$$

Исследования показали, что в принятом диапазоне режимов шлифования напыленных покрытий формируется микрорельеф поверхности с шероховатостью в пределах 0,15...1,50 мкм.

Зависимость (5) отражает сложное и неоднозначное влияние глубины резания и скорости вращения детали на уровень шероховатости поверхности. В частности, увеличение глубины резания в диапазоне малых частот вращения образцов не сопровождается заметным ростом шероховатости. В то же время увеличение линейной скорости детали благоприятно сказывается лишь до определенного предела (порядка 20 м/мин), ее дальнейший рост приводит к отрицательному эффекту – увеличению высоты микронеровностей. Одновременное же повышение $V_{\text{д}}$ и t вызывает резкий рост шероховатости. Это объясняется развитием поверхностных дефектов вследствие создания достаточно жестких режимных условий шлифования. Полученная зависимость позволяет на финишной стадии обработки на основе предъявляемых требований к шероховатости поверхностей деталей назначать соответствующие режимы абразивного шлифования износостойких покрытий.

Проведенные исследования и позволили разработать методику для комплексного обеспечения качества плазменных покрытий. Последовательность назначения технологических режимов на всех стадиях изображена в виде блок-схемы (рис. 4). Она наглядно отражает технологическую наследственность этапов.

Так, на стадии предварительной обработки требуемый интервал времени воздействия САО, определяемый по уравнению (1), при дистанции 150 мм составляет 85...110 с. Продолжительность обработки больше рекомендуемой сопровождается уменьшением Rz , а также нежелательным ростом уровня остаточных напряжений $\sigma_{\text{ОНП}}$ и степени наклепа ΔHV , что приводит к снижению адгезии.

При назначении режимов плазменного напыления используется графическое изображение взаимосвязи показателей качества покрытий согласно полученным уравнениям (2)–(4). На рис. 5 показана область возможных сочетаний условий режимов плазменной обработки.

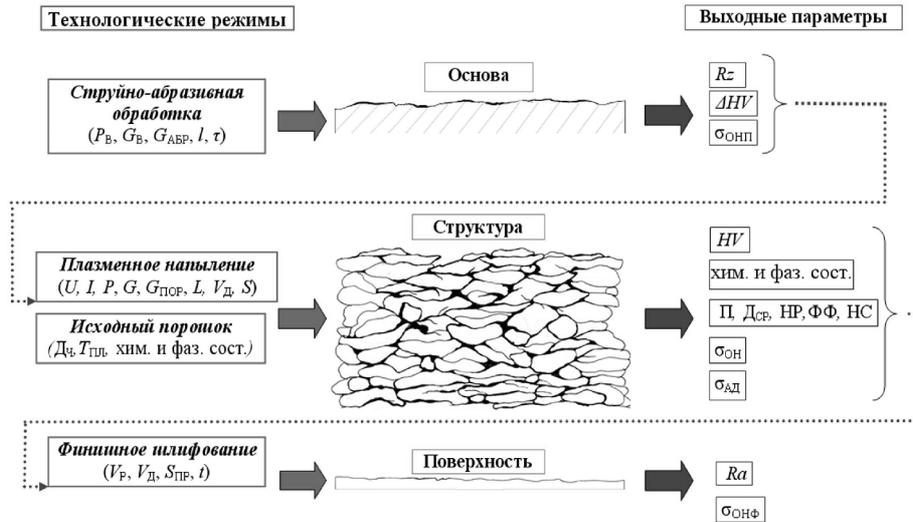


Рис. 4. Схема влияния параметров процесса на качество покрытий с учетом технологической наследственности

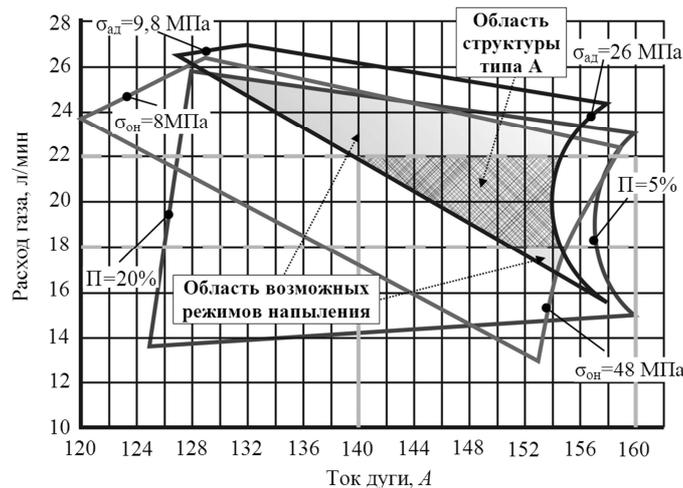


Рис. 5. Определение области режимов плазменного напыления при фиксированной дистанции ($L = 110$ мм)

Совместное решение данной задачи с результатами металлографического анализа позволяет выделить подобласть формирования наиболее благоприятной модификации структуры типа А, которая способствует обеспечению минимальной шероховатости покрытий после шлифования. Режимы напыления назначаются с учетом возможной минимизации уровня остаточных напряжений.

Режимы шлифования определяются на основе зависимости (5). В зависимости от припуска на обработку, рассчитанного по известным методикам, выбирается глубина резания, обеспечивающая минимальное число проходов при шлифовании, чем достигается максимальная производительность обработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе комплекса проведенных экспериментальных исследований была разработана обобщенная методика назначения режимов обработки на всех стадиях технологического процесса формирования плазменных износостойких покрытий из порошкового материала марки ПГ-С27. Предлагаемая методика апробирована и подтвердила свою эффективность при упрочнении интенсивно изнашиваемых деталей оснастки, которая используется при изготовлении специальных подкладок системы крепления рельсов на стрелочном переводе. Технология внедрена на ОАО «Новосибирский стрелочный завод».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 357 с.
- [2] Чёсов Ю.С., Зверев Е.А. Исследование износостойкости покрытий, нанесенных методом плазменного напыления // Науч. вестн. НГТУ. – 2008. – № 3 (32). – С. 175–181.
- [3] Газотермические покрытия из порошковых материалов: справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Аруатовская. – Киев: Наукова думка, 1987. – 544 с.
- [4] Иванцовский В.В., Скиба В.Ю. Повышение поверхностной микротвердости стали при интеграции поверхности напыления защитных покрытий // Технологии обработки // Науч. вестн. НГТУ. – 2006. – № 3 (24). – С. 187–192.
- [5] Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Плохов А.В. Эксплуатационные свойства плазменных покрытий из износостойкого порошкового материала марки ПГ-С27 // Обработка металлов. – 2010. – № 2 (47). – С. 8–12.
- [6] Зверев Е.А. Влияние режимов струйно-абразивной обработки на шероховатость поверхности деталей под плазменное напыление // Сб. науч. тр. НГТУ. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – № 2 (52). – С. 109–114.
- [7] Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Плохов А.В. Структура плазменных износостойких покрытий из порошкового материала марки ПГ-С27 // Обработка металлов. – 2010. – № 1 (46). – С. 14–18.
- [8] Лобанов Н.Ф., Козлов А.М. Оперативная оценка основных технологических параметров процесса плазмодугового напыления защитных покрытий // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 10 междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2008. – Ч. 1. – С. 205–209.
- [9] Особенности микроструктуры износостойких плазменных покрытий / С.В. Веселов, Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, П.В. Трегубчак, В.В. Базаркина, В.С. Ложкин // Обработка металлов. – 2010. – № 4 (49). – С. 35–37.
- [10] Шероховатость поверхности износостойких покрытий после финишной механической обработки / Ю.С. Чёсов, Зверев Е.А., А.И. Попелюх, П.В. Трегубчак // Обработка металлов. – 2011. – № 1 (50). – С. 12–14.

Чёсов Юрий Степанович, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования технологических машин Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – управление качеством поверхностного слоя деталей машин при плазменном нанесении покрытий. Имеет более 110 публикаций. E-mail: chesov@ngs.ru

Зверев Егор Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования технологических машин Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – управление качеством поверхностного слоя деталей машин при плазменном нанесении покрытий. Имеет 45 публикаций. E-mail: egor_z@ngs.ru

A technique of wear-resistant plasma coating spraying*

Yu.S. CHESOV¹, E.A. ZVEREV²

¹ *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospect, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.), associate professor, e-mail: chesov@ngs.ru.*

² *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospect, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.), associate professor, e-mail: egor_z@ngs.ru*

A technique providing high quality of plasma wear-resistant coating of a high-chromium powder material is proposed. This approach is based on choosing the most rational processing modes during the preparatory sandblasting of the workpiece surface, plasma spraying of coatings and finish grinding of products with regard to the technological he-

* Manuscript received on February 17, 2013.

Work is performed with financial support of the project which is carried out within a grant of the R FFI in 2013 and in planning period in 2013-2015. (Project 13-08-01102 A number "Design and research development of technological installation for plasma machining of details of cars").

redity of quality parameters, obtained at previous process stages. In order to obtain generalized results and to control quality parameters at all stages of processing an appropriate system of engineering models has been constructed. Thus, the surface roughness is assumed to be the key criterion in the development of the model at the stage of preliminary mechanical processing before spraying of coatings. The model of the plasma spraying process accounts for the effect of deposition conditions on basic quality indicators: adhesion strength, porosity and residual stress. Additional research on chemical and phase composition of the raw powder and coatings has been conducted to test the adequacy of spraying modes. An engineering model of finish abrasive grinding providing the desired surface roughness parameter values with required geometric and dimensional accuracy of workpieces is proposed.

Keywords: plasma, spraying, coating, wear resistance, grinding, sandblasting, processing modes, quality, surface roughness

REFERENCES

- [1] Puzriakov A.F. *Teoreticheskie osnovy tekhnologii plazmennogo napyleniia* [Theoretical Foundations of plasma spray technology]. Moscow, BMSTU Publ., 2008. 357 p.
- [2] Chesov Yu.S., Zverev E.A. Issledovanie iznosostoikosti pokrytii, nanosenykh metodom plazmennogo napyleniia [Research of wear resistance of the coatings received by the method of plasma spraying]. *Nauchnyi vestnik NGTU* [Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University], 2008, no. 3 (32), pp. 175-181.
- [3] Borisov Ju.S., Harlamov Ju.A., Sidorenko S.L., Aruatsovskaja E.N. *Gazotermicheskie pokrytija iz poroshkovykh materialov: spravochnik* [Thermal spray coating of powder materials: reference book]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987. 544 p.
- [4] Ivancivskij V.V., Skiba V.Ju. Povyshenie poverhnostnoj mikrotverdosti stali pri integracii poverhnostno – termicheskoj i finishnoj mehanicheskoj obrabotok [Methodology destination treatment regimes, ensuring the rational distribution of residual stresses in surface hardening by HEH HFC]. *Nauchnyi vestnik NGTU* [Science Bulletin of Novosibirsk State Technical University], 2006, no. 3 (24), pp. 187-192.
- [5] Chesov Yu.S., Zverev E.A., Plohov A.V. Ekspluatatsionnie svoistva plazmennih pokrytij iz iznosostoikogo poroshkovogo materiala marki PG-S27 [Operational properties of plasma coatings from a wear proof powder PG-S27]. *Obrabotka metallov – Metal Working and Material Science*, 2010, no. 2 (47), pp. 8–12.
- [6] Zverev E.A. Vlijanie rezhimov strujno-abrazivnoj obrabotki na sherohovatosť poverhnosti detalej pod plazmennoe napylenie [Influence of modes of abrasive blasting on roughness of a surface of details under a plasma spraying] *Sbornik nauchnyh trudov NGTU* [Collection of Scientific Papers of Novosibirsk State Technical University]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2008, no. 2 (52), pp. 109-114.
- [7] Chesov Yu.S., Zverev E.A., Plohov A.V. Struktura plazmennih iznosostoikih pokrytij izporoshkovogo materiala marki PG-S27 [Structure of plasma wear-resistant coatings of powdered PG-S27]. *Obrabotka metallov – Metal Working and Material Science*, 2010, no.1 (46), pp. 14-18.
- [8] Lobanov N.F., Kozlov A.M. Operativnaja ocenka osnovnyh tehnologicheskikh parametrov processa plazmodugovogo napylenija zashhitnyh pokrytij [Operational assessment of the key technological parameters of process of plasma spraying of protective coating]. *Materialy 10 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Tehnologii remonta, vosstanovlenij aiuprochnenija detalej mashin, mehanizmov, oborudovanija, instrumentaitehno logicheskogo snastki"* [Materials 10th International Conference Technologies of repair, restoration and hardening of details of machinery, mechanisms, equipment, tool and production tools]. Saint-Petersburg, 2008, vol. 1, pp. 205-209.
- [9] Veselov S.V., Chesov Yu.S., Zverev E.A., Tregubchak P.V., Bazarkina V.V., Lozhkin V.S. Osobennosti mikrostruktury iznosostoikih plazmennih pokrytij [Features of a microstructure of wear-resistant plasma coatings]. *Obrabotka metallov – Metal Working and Material Science*, 2010, no. 4 (49), pp. 35-37.
- [10] Chesov Yu.S., Zverev E.A., Popelyuh A. I., Tregubchak P.V. Sherohovatosť poverhnosti iznosostoikih pokrytij poslefinishnoj mehanicheskoj obrabotki [Roughness of a surface of wear-resistant plasma coatings after finishing machining]. *Obrabotka metallov – Metal Working and Material Science*, 2011, no. 1 (50), pp. 12-14.