

УДК 621.791.92

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ И НАГРЕВА ЧАСТИЦ ПОРОШКА STELLITE 190 ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКЕ

© 2024 С.С. Жаткин

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 26.06.2024

В работе проводится моделирование процессов движения и нагрева частиц порошка твердого сплава Stellite 190 при плазменной наплавке. Проведен анализ изменения скорости частиц, времени нахождения в плазме дуги при их движении от сопла плазмотрона до зоны наплавки на заготовку с учетом как размера сферических частиц, так и расхода подаваемого порошка. Показано, что снижение скорости частиц происходит не только с ростом их диаметра, вызывающего увеличение лобового сопротивления в газовом потоке, но и с повышением расхода наплавляемого порошка за счет снижения средней скорости газопорошкового потока на выходе из сопла плазмотрона. Установлено, что при изменении размера частиц и расхода порошка наибольшее влияние на процесс нагрева и время плавления частиц оказывает их размер, чем расход порошка. Показано, что частицы размером менее 80 мкм могут полностью расплавиться за время движения до заготовки, в то время как более крупные частицы будут плавиться в основном уже в ванне плавления.

Ключевые слова: моделирование, плазменная наплавка, порошковые материалы, расход порошка, скорость частиц порошка.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-312-318

EDN: JRXXFO

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в ряду высокотехнологичных процессов обработки концентрированными потоками энергии (в том числе и плазменным пучком) занимает наплавка и нанесение покрытий на рабочие поверхности с определенными физико-механическими свойствами, а также ремонтные и аддитивные технологии [1-5]. С помощью наплавки на рабочих поверхностях получают сплавы с необходимыми свойствами: коррозионностойкие, жаропрочные, износостойкие, и т.п. При этом биметаллические конструкции, полученные наплавкой, часто оказываются во много раз дешевле конструкций, изготавливаемых целиком из металла с требуемыми свойствами.

На процесс плазменной наплавки влияет значительное число факторов – ток и эффективный радиус плазменной дуги, скорость сканирования плазмотрона и скорость движения детали, ширина и высота наплавляемой дорожки, расход порошка и дисперсность его компонентов, соотношение теплофизических свойств наплавляемого покрытия и материала заготовки, размеры детали, определяющие также теплосодержание в ней и т. д.

При наплавке и напылении порошковый материал имеет достаточно большую дисперсию размеров. Поэтому частицы различного диаметра

Жаткин Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры литейных и высокоэффективных технологий. E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru

тра будут иметь различные траектории движения и различное время нахождения в высокотемпературной части, а следовательно, их скорости и температуры будут также различными. Поэтому на поверхность конденсации падает поток частиц, сепарированный в пространстве по размерам, скоростям и температурам. Однако в литературных источниках мало сведения о количественной оценке влияния этих факторов на качество покрытий [4]. В связи с этим вопрос о скорости частиц, транспортируемых газовой струей, в газопорошковым плазменном потоке является актуальным, необходимым для их внедрения на заданную глубину в ванну жидкого металла, создаваемую на поверхности упрочняемой детали [6]. Путем соответствующего подбора дисперсных частиц и их ввода в защитный газ можно в широких пределах управлять газопорошковым потоком, регулировать его свойства и влиять на эффективность процесса в целом [7-8].

В данной работе проводится анализ процессов динамики движения и нагрева частиц при плазменной порошковой наплавке твердого сплава Stellite 190.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для моделирования наплавочным материалом являлся порошок *Stellite 190*, который широко применяется в технологии наплавки деталей арматуры, клапанов и седел ДВС, инструмента для горячего деформирования металла, буровых долот и других деталей.

Химический состав порошка представлен в таблице 1.

Объемный расход транспортирующего газа составлял 95 л/час, а защитного газа – 98 л/час. Расстояние от сопла плазмотрона до зоны наплавки – $L = 9$ мм. Диаметр выходного отверстия сопла плазмотрона 2,4 мм, а диаметр канала подачи порошка – 2 мм. Дисперсность частиц порошка составила 50-150 мкм.

Для проведения физического моделирования и теоретического расчета отдельных параметров сделаем оценку теплофизические свойства материала покрытия.

Если не учитывать образование химических соединений, то будем считать плотность и теплоемкость наплавляемого покрытия аддитивными величинами с учетом процентного содержания компонентов в смеси, а теплопроводность приближенно оценим из соотношения [9].

$$\lambda_{покр} \approx \prod_{i=1}^m \lambda_i^{p_i}, \quad (1)$$

где m – число компонентов в покрытии; λ_i – теплопроводность отдельного элемента; p_i – относительная объемная концентрация элемента в покрытии.

Для расчета свойств наплавляемого материала теплофизические свойства составляющих его элементов возьмем при температуре 1850 К. При данной температуре плавятся почти все компоненты *Stellite 190* кроме вольфрама. Однако растворение хрома и вольфрама в кобальте приводит к образованию эвтектика с температурой плавления 1573-1810 К [10]. Рассчитанные значения теплофизических свойств покрытия приведены в таблице 2.

Массовый расход газа связан с объемным расходом:

$$G_{газа} = G_{VГ} \cdot \rho_{Г}, \quad (2)$$

где $G_{VГ}$ – объемный расход газа.

Важно выяснить в каком виде подается порошок в зону наплавки – в виде твердых частиц или расплавленных. Для этого необходимо знать время движения частиц от сопла до поверхности подложки и время плавления частиц.

Оценим скорости движения газа и частиц в газопорошковом потоке.

Сделаем допущение, что все частицы имеют сферическую форму и для одного и того же размера имеют примерно одинаковую скорость в заданный момент времени. Не учитываем рассеяние частиц в потоке. Рассматриваем движение частиц от сопла плазмотрона до заготовки, имеющих начальную скорость, зависящую от расходов транспортирующего газа и порошка.

Согласно авторам [4, 11] основное воздействие на частицу оказывает сила газодинамического напора и уравнение движения частицы записывается в виде:

$$m_c \frac{dv_c}{dt} = \rho_{Г} (u - v_c)^2 \cdot C_{сопр} S_c / 2, \quad (3)$$

где m_c – масса частицы; u – скорость газа в газопорошковом потоке, $\rho_{Г}$ – плотность газа при заданном давлении и температуре; $C_{сопр}$ – коэффициент лобового сопротивления; определяемый через число Рейнольдса; S_c – площадь миделевого сечения частицы. Масса частицы и площадь сечения выражаются через ее диаметр:

$$m_c = \frac{\pi \cdot \rho_c \cdot d_c^3}{6}; \quad S_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4}. \quad (4)$$

Согласно данным [4], если число Рейнольдса $Re = \frac{(u - v_c) \cdot d_c \cdot \rho_{Г}}{\mu_{Г}} = 1 \dots 500$, то коэффициент

лобового сопротивления можно оценить из выражения:

$$C_{сопр} = \frac{24}{Re} + \left(\frac{4}{Re} \right)^{1/3}. \quad (5)$$

В то же время согласно работе [12] в диапазоне $1 < Re < 100$ для коэффициента лобового сопротивления можно воспользоваться выражением:

$$C_{сопр} = \frac{24}{Re} \cdot (1 + 0,15 \cdot Re^{0,687}). \quad (6)$$

Уравнение (3) описывает одномерное движение одиночной сферической частицы, которая была помещена в плазменный поток [12]. В данной работе авторами предполагается начальная скорость частиц равной нулю, что не

Таблица 1. Химический состав *Stellite190*

Наименование материала	Содержание, % по массе							
	C	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	Si	W
Stellit190	3,0-3,4	основа	24-28	не более 5	не более 1	не более 3	0,5-1,0	12-16

Таблица 2. Теплофизические свойства покрытия *Stellite 190*

$T_{пл}, K$	$\lambda, Вт/м \cdot K$	$C, Дж/кг \cdot K$	$\rho, кг/м^3 \cdot 10^3$	$a, м^2/с \cdot 10^{-6}$
1573-1810	72,4	687	8,82	12

всегда верно. В частности, на выходе из сопла при попадании в плазменную дугу, частицы имеют начальную скорость, задаваемую транспортирующим газом. Если в газовый поток ввести порошок, то следует воспользоваться законом сохранения импульса, согласно которому [4-5]

$$m_g u_0 = (m_g + m_p) \cdot u_{cp}, \quad (7)$$

где m_p и m_g – масса порошка и газа соответственно, u_0 – начальная скорость газа, u_{cp} – средняя скорость газопорошкового потока. С учетом массовых расходов газа G_g и порошка G_p из последнего выражения можно выразить среднюю скорость газопорошкового потока

$$u_{cp} = \frac{u_0}{1 + \frac{G_p}{G_g}}. \quad (8)$$

Начальную скорость газа можно вычислить через его объемный расход G_{VT} из выражения:

$$u_0 = \frac{G_{VT}}{S_{канала}}. \quad (9)$$

где $S_{канала}$ – площадь поперечного сечения канала, через который проходит газ. При объемном расходе транспортирующего газа $G_{VT} = 95$ л/час и скорость газа $u_0 = 8,4$ м/с.

После интегрирования дифференциального уравнения с учетом массовых расходов порошка и газа, а также выражения для лобового сопротивления можно получить:

$$v_c = u_0 - (u_0 - u_{cp}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_v}}. \quad (10)$$

где

$$\tau_v = \frac{1}{3\pi} \cdot \frac{m_c}{d_c \cdot \mu_g} \cdot \frac{1}{1 + 0.15 \cdot Re^{0.687}}. \quad (11)$$

Масса частицы равна $m_c = \frac{1}{6} \rho_c \cdot \pi \cdot d_c^3$

, где

ρ_c – плотность материала частицы. В данном случае это плотность *Stellite 190* (см. табл. 2).

В данном случае за начало отсчета принимается выход сопла плазматрона. Будем считать, что начальная скорость частиц порошка на выходе из сопла равна средней скорости газопорошкового потока u_{cp} .

Расчеты проводились в программе Mathcad 14 с использованием функций решения нелинейных уравнений. Результаты расчетов приведены ниже на рисунках 1-2.

На рисунке 1 представлена зависимость скорости движения частиц порошка от их диаметра в момент достижения ими подложки (расстояние от сопла плазматрона до подложки $L=9$ мм). Предполагалось, что время движения $t=L/u_c$. Хорошо видно, что с ростом диаметра частиц порошка скорость их движения падает из-за роста лобового сопротивления. При этом отмечается выраженное различие в изменении скорости частиц при разных расходах порошка (особенно на низких расходах порошка 5 и 10 г/мин), что обусловлено изменением начальной средней скорости газопорошкового потока.

Время движения частиц от сопла плазматрона до заготовки в зависимости от диаметра и расхода порошка представлено на рис. 2.

Таким образом, время движения частиц в диапазоне их размеров от 50 мкм до 150 мкм от сопла до заготовки находится в пределах от 2 мс до 6 мс, что значительно меньше времени воздействия плазменной дуги.

$$t_B = \frac{2 \cdot R_{эфф}}{v_{де}}. \quad (12)$$

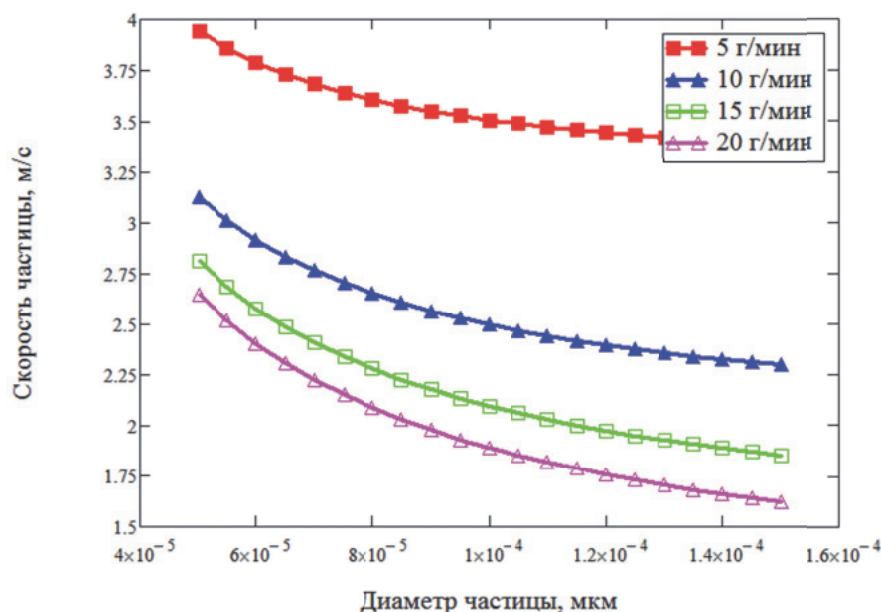


Рис. 1. Зависимость скорости частицы от ее диаметра и расхода порошка

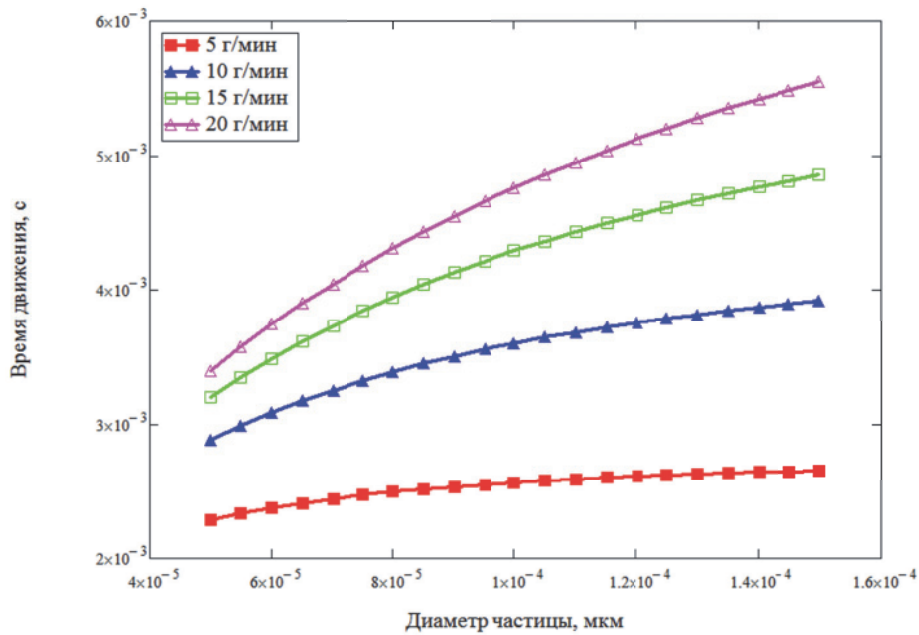


Рис. 2. Время движения частиц порошка до заготовки в зависимости от диаметра частиц и расхода порошка

где $R_{эфф}$ – эффективный радиус плазменной дуги; $v_{дв}$ – скорость движения дуги относительно заготовки. При наплавке со сканированием скорость движения равна скорости сканирования. По данным видеонаблюдения и ранее проведенным исследованиям при плазменной наплавке скорость сканирования составила 28 мм/с. При диаметре сопла плазмотрона $d_c=2,4$ мм по расчетам эффективный радиус плазменного пучка $R_{эфф} = 2.74$ мм и КПД плазменной дуги $h = 0,65$ [13]. Таким образом время воздействия t_v достигает почти 200 мс. Очевидно, что при наплавке без сканирования время воздействия будет значительно выше.

Оценим время нагрева поверхности частиц до температуры плавления и время их полного плавления.

Тепловой поток через поверхность частицы складывается из конвективного и радиационного теплообмена.

$$q = \alpha \cdot (T_r - T_c) - \epsilon \cdot \sigma_B \cdot T_c^4 \quad (13)$$

где α – коэффициент поверхностной теплоотдачи для частицы; $T_r=10000$ К – температура газовой плазмы; T_c – температура частицы; ϵ – интегральная (осредненная по спектру) излучательная способность материала частицы, $\sigma_B = 5.67 \times 10^{-8}$ Вт \cdot м $^{-2}$ \cdot К $^{-4}$ – постоянная Стефана-Больцмана. В обычных условиях плазменной обработки вклад радиационных потерь частицы в ее общий теплообмен с газом составляет 2–5 %. Излучению частицы отвечает значительная доля теплопереноса (более 10 %) лишь в условиях, когда разность температуры частицы и окружающей невелика (менее 500 К), что обычно наблюдается непродолжительное время на выходе части-

цы из высокотемпературной области струи [12]

В связи с этим нагрев частицы до температуры плавления оценим из уравнения нагрева частицы в пренебрежении лучистыми потерями [11].

$$\frac{dT_c}{dt} = k_\alpha (T_r - T_c), \quad (14)$$

где T_r и T_c – температура газового потока и частицы порошка соответственно.

$$k_\alpha = \frac{6 \cdot \alpha_c}{\rho_c \cdot d_c \cdot c_c} \quad (15)$$

где ρ_c и c_c – плотность и теплоемкость материала частицы. При обтекании сферической частицы коэффициент поверхностной теплоотдачи α определяется из выражения

$$\alpha_c = \frac{Nu_c \cdot \lambda_g}{d_c}, \quad (16)$$

где Nu_c – число Нуссельта для частицы, λ_g – коэффициент теплопроводности плазмообразующего газа; d_c – диаметр частицы. Число Нуссельта примем равным [12]

$$Nu_c = 2 + 0,6Re^{0.5}Pr^{0.33}, \quad (17)$$

где $Pr = 0.667$ – число Прандтля для аргоновой плазмы.

После подстановки (15) - (17) в (14) и преобразований дифференциальное уравнение нагрева частицы примет вид

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{1}{\tau_T} (T_r - T_c), \quad (18)$$

где

$$\tau_T = \frac{c_c \cdot \rho_c \cdot d_c^2}{6 \cdot \lambda_g} \cdot \frac{1}{2 + 0.6 \cdot Re^{0.5} \cdot Pr^{0.33}}, \quad (19)$$

Решение относительно T_q для начального условия $T_q|_{t=0} = T_{q0}$ (300 К) имеет вид,

$$T_q = T_r(1 - e^{-\frac{t}{\tau_r}}) + T_{q0}e^{-\frac{t}{\tau_r}}. \quad (20)$$

При этом, входящее в выражение для числа Рейнольдса (см. выше), использовалась скорость частицы, ранее полученная из выражения (10).

Результаты расчетов температуры поверхности частицы при достижении подложки представлены на рис. 3. Температура плавления для Stellite190 задавалась с учетом образования эвтектики в середине интервала 1573-1810 К – 1770 К, а температура кипения принималась равной 3143 К - температуре кипения кобальта как основного материала порошка.

Очевидно, что наибольшее влияние на температуру нагрева поверхности частицы оказывает ее диаметр, определяющий скорость ее

движения и соответственно время нахождения в плазме дуги при наплавке. Влияние расхода порошка также обусловлено снижением скорости движения при увеличении расхода. Так при расходе порошка 20 г/мин на частицах диаметром 60 мкм и менее достигается температура кипения, а для частиц диаметром 110 мкм и более плавление поверхности не достигается. Очевидно, что такие частицы будут нагреваться уже в ванне плавления от расплава и поступающего в нее потока плазмы.

Принимая температуру поверхности частицы в левой части (20) равной температуре плавления или кипения и решая нелинейное уравнение, можно определить время начала плавления и испарения частицы соответственно.

Время полного плавления частицы можно оценить из выражения [14]:

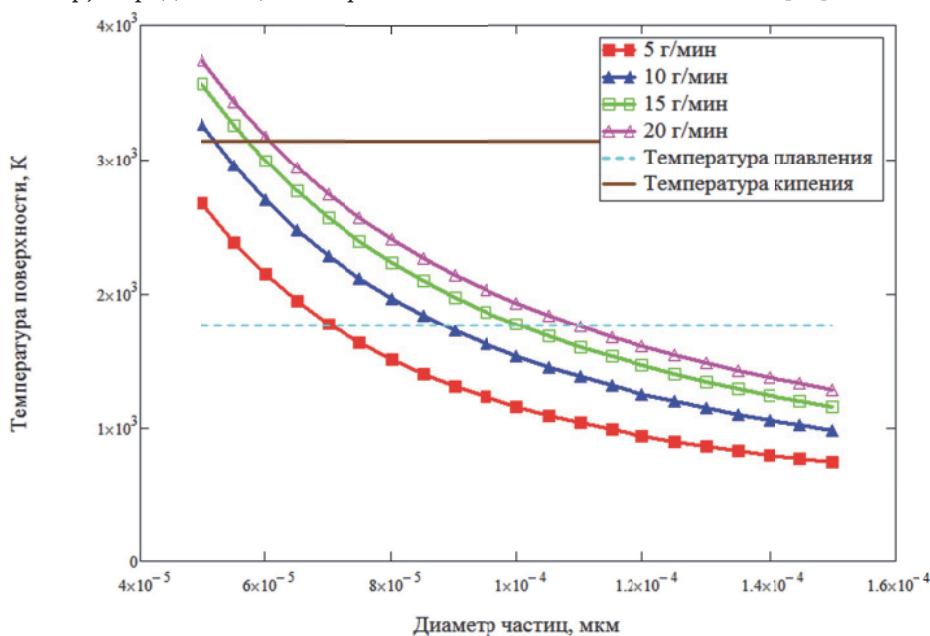


Рис. 3. Температура поверхности частиц в зависимости от их диаметра и расхода порошка

Таблица 3. Параметры движения и нагрева частиц Stellite 190 в зависимости от расхода порошка и диаметра частиц

Диаметр частиц, мкм	Расход порошка, г/мин	Скорость движения, м/с	Время движения, мс	Время нагрева до $T_{пл}$, мс	Время полного плавления, мс
50	10	3,12	2,9	1,3	0,58
	15	2,81	3,2	1,4	0,55
	20	2,65	3,3	1,4	0,54
100	10	2,50	3,6	4,4	2,37
	15	2,10	4,4	4,3	2,26
	20	1,89	4,8	4,2	2,20
150	10	2,30	3,9	8,8	5,10
	15	1,85	4,8	8,6	4,89
	20	1,65	5,6	8,5	4,76

$$t_{пл} = \frac{m_q \cdot L_{пл}}{\pi \cdot d_q \cdot \lambda_r \cdot Nu \cdot (T_r - T_{пл})}, \quad (21)$$

где $L_{пл}$ – удельная теплота плавления материала частицы (принималась равной теплоте плавления кобальта).

Результаты расчетов различных параметров динамики нагрева частиц приведены в таблице 3. Результаты представлены для диаметров частиц 50; 100 и 150 мкм при расходах порошка 10; 15 и 20 г/мин.

Из таблицы видно, что основной вклад в скорость процесса плавления вносит размер частиц порошка, нежели его расход. Частицы размером 50 мкм попадают на подложку полностью расплавленными и частично сублимированными (испарившимися), поскольку суммарное время нагрева поверхности до температуры плавления и полного плавления для них меньше времени их движения до зоны наплавки (подложки). По расчетам при температуре дуги $T_r = 10000$ К полное плавление частиц за время их движения до заготовки происходит, если их диаметр не превышает 80 мкм. При этом для частиц большего размера (в том числе 100 и 150 мкм) полное плавление не происходит, несмотря на более низкие скорости движения и соответственно больший период времени нахождения их в плазме дуги. Очевидно, что их плавление продолжится в ванне плавления от поступающего в нее потока плазмы в период времени воздействия плазменной дуги.

ВЫВОДЫ

Проведено моделирование процессов движения и нагрева сферических частиц порошка при плазменной порошковой наплавке Stellite 190. На основе расчетов проведен анализ движения частиц порошка в плазме дуги при их движении от сопла плазматрона до зоны наплавки. Показано влияние размеров частиц и расхода порошка на скорость их движения. При этом снижение скорости частиц происходит не только с ростом их диаметра, вызывающего увеличение лобового сопротивления в газовом потоке, но и с повышением расхода наплавляемого порошка за счет снижения средней скорости газопорошкового потока на выходе из сопла плазматрона.

Установлено, что при изменении размера частиц и расхода порошка наибольшее влияние на процесс нагрева и время плавления частиц оказывает их размер, чем расход порошка. Показано, что частицы размером менее 80 мкм могут полностью расплавиться за время движения до заготовки, в то время как более крупные частицы будут плавиться в основном уже в ванне плавления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соснин, Н.А. Плазменные технологии / Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2008. – 405 с.
2. Хакимов, А.М. Влияние технологии прямого лазерного выращивания на структуру и свойства жаропрочного никелевого сплава системы Ni–Cr–W–Mo / А.М. Хакимов, С.С. Жаткин, К.В. Никитин, В.И. Никитин, В.Б. Деев // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2022. – Т. 28. – № 2. – С. 60–70.
3. Корсмик, Р.С. Лазерная порошковая восстановительная наплавка лопаток газотурбинного двигателя / Р.С. Корсмик, Г.А. Туричин, О.Г. Климова-Корсмик, Е.В. Земляков, К.Д. Бабкин // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2016. – Т. 15. – № 3. – С. 60–69.
4. Барвинок, В. А. Математическое моделирование динамики движения напыляемых частиц в плазменном газотермическом потоке / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, Е.А. Ананьева // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2007. – № 1. – С. 138–147.
5. Иванов, А. С. Анализ порошков для лазерной наплавки при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники / А.С. Иванов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5 (91). – С. 125–129.
6. Донских, С. А. Расчёт скоростей газа и частиц порошка в двухфазной газопорошковой струе / С.А. Донских, Д.В. Семин // Вестник Таганрогского института имени А. П. Чехова. – 2021. – С. 10–17.
7. Сидоров, А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А.И. Сидоров. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
8. Кравченко, И. Н. Способ защиты плазменной наплавки газопорошковым потоком / И.Н. Кравченко, С.В. Кравцов, Ю.А. Кузнецов // Новые огнеупоры. – 2020. – №9. – С. 37–46.
9. Резников, А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 287 с.
10. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник в 3-х томах. Под ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – 1023 с.
11. Донский, А.В. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении / А.В. Донский, В.С. Клубниккин. – М.: Машиностроение, 1979. – 417 с.
12. Бороненко, М. П. Модель движения и нагрева частиц в плазменной струе / М. П. Бороненко, И. П. Гуляев, А. Е. Серегин // Вестник Югорского государственного университета. – 2012. – Выпуск 2 (25). – С. 7–15.
13. Жаткин, С.С. Исследование и моделирование процесса плазменной закалки стали 40X / С.С. Жаткин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25. – № 4(2). – С. 249–257.
14. Архипов, В. А. Моделирование процесса получения полых частиц кремнезема в плазменном потоке. Часть 1. Динамика движения и нагрева пористых частиц / В.А. Архипов, С.С. Бондарчук, В.В. Шеховцов, О.Г. Волокитин, А.С. Аньшаков, В.И. Кузьмин // Теплофизика и аэромеханика. – 2019. – Т. 26. – № 1. – С. 147–160.

REFERENCES

1. Sosnin, N.A. Plazmennye tekhnologii / N.A. Sosnin, S.A. Ermakov, P.A. Topolyanskiy. – Sankt-Peterburg: Izd-vo Politekhnicheskogo universiteta, 2008. – 405 s.
2. Hakimov, A.M. Vliyanie tekhnologii pryamogo lazernogo vyrashchivaniya na strukturu i svojstva zharoprochnogo nikelovogo splava sistemy Ni-Cr-W-Mo/ A.M. Hakimov, S.S. Zhatkin, K.V. Nikitin, V.I. Nikitin, V.B. Deev // Izvestiya vuzov. Cvetnaya metallurgiya. – 2022. – T. 28. – № 2. – S. 60–70.
3. Korsmik, R.S. Lazernaya poroshkovaya vosstanovitel'naya naplavka lopatok gazoturbinnogo dvigatelya/R.S. Korsmik, G.A. Turichin, O.G. Klimova-Korsmik, E.V. Zemlyakov, K.D. Babkin // Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie. – 2016. – T. 15. – № 3. – S. 60–69.
4. Barvinok, V. A. Matematicheskoe modelirovanie dinamiki dvizheniya napylyaemykh chastic v plazmennom gazotermicheskom potoke / V.A. Barvinok, V.I. Bogdanovich, E.A. Anan'eva // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta. – 2007. – № 1. – S. 138–147.
5. Ivanov, A. S. Analiz poroshkov dlya lazernoj naplavki pri vosstanovlenii detalej sel'skohozyajstvennoj tekhniki / A.S. Ivanov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – № 5 (91). – S. 125–129.
6. Donskih, C. A. Raschyot skorostej gaza i chastic poroshka v dvuhfaznoj gazoporoshkovoj strue / S.A. Donskih, D.V. Syomin // Vestnik Taganrogskogo instituta imeni A. P. Chekhova. – 2021. – S. 10–17.
7. Sidorov, A. I. Vosstanovlenie detalej mashin napyleniem i naplavkoy / A.I. Sidorov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 192 s.
8. Kravchenko, I. N. Sposob zashchity plazmennoj naplavki gazoporoshkovym potokom / I.N. Kravchenko, S.V. Kravcov, Yu.A. Kuznecov // Novye ogneupory. – 2020. – №9. – S. 37–46.
9. Reznikov, A.N. Teplovye processy v tekhnologicheskikh sistemah / A. N. Reznikov, L. A. Reznikov. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 287 s.
10. Diagrammy sostoyaniya dvoynnykh metallicheskih sistem. Spravochnik v 3-h tomah. Pod red. N.P. Lyakisheva. – M.: Mashinostroenie, 1997. – 1023 s.
11. Donskij, A.V. Elektroplazmennye processy i ustanovki v mashinostroenii/A.V. Donskij, V.S. Klubnikin. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 417 c.
12. Boronenko, M. P. Model' dvizheniya i nagreva chastic v plazmennoj strue / M. P. Boronenko, I. P. Gulyaev, A. E. Seregin // Vestnik YUgorskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – Vypusk 2 (25). – S. 7–15.
13. Zhatkin, S.S. Issledovanie i modelirovanie processa plazmennoj zakalki stali 40H/S.S. Zhatkin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2023. – T. 25. – № 4(2). – S. 249–257.
14. Arhipov, V. A. Modelirovanie processa polucheniya polykh chastic kremnezema v plazmennom potoke. Chast' 1. Dinamika dvizheniya i nagreva poristyh chastic /V.A. Arhipov, S.S. Bondarchuk, V.V. Shekhovcov, O.G. Volokitin, A.S. An'shakov, V.I. Kuz'min // Teplofizika i aeromekhanika. – 2019. – T. 26. – № 1. – S. 147–160.

SIMULATION OF MOTION AND HEATING PROCESSES PARTICLES OF STELLITE 190 POWDER DURING PLASMA SURFACING

© 2024 S.S. Zhatkin

Samara State Technical University, Samara, Russia

The work simulates the processes of movement and heating of particles of Stellite 190 hard alloy powder during plasma surfacing. An analysis was carried out of the change in particle speed and the time spent in the arc plasma as they move from the plasma torch nozzle to the surfacing zone on the workpiece, taking into account both the size of the spherical particles and the flow rate of the supplied powder. It is shown that a decrease in the speed of particles occurs not only with an increase in their diameter, which causes an increase in drag in the gas flow, but also with an increase in the consumption of deposited powder due to a decrease in the average speed of the gas-powder flow at the exit from the plasmatron nozzle. It has been established that when the particle size and powder consumption change, their size has the greatest influence on the heating process and the melting time of the particles than the powder consumption. It has been shown that particles smaller than 80 microns can completely melt during their movement to the workpiece, while larger particles will melt mainly in the melting bath.

Key words: modeling, plasma surfacing, powder materials, powder consumption, powder particle speed.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-312-318

EDN: JRXXFO

Sergey Zhatkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Founding and High-Performance Processes.

E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru