

определить величину максимальной необходимой угловой скорости вращения формы, при которой будет достигнута требуемая прочность формуемого изделия, что позволит обоснованно подходить к назначению рабочих режимов процесса центрифугирования с точки зрения затрат мощности и экономного расходования электроэнергии.

Выводы:

1. Показан новый подход к определению угловой скорости вращения формы на основании результатов исследований прочности бетона на сжатие при изготовлении стоек железобетонных опор ВЛ способом центрифугирования.

2. Найдены зависимости для определения угловой скорости вращения формы при условии, что давление, которое испытывают слои бетонной смеси во вращающейся форме, можно равноценно заменить соответствующим напряжением в бетоне формируемых изделий.

3. Установлены условия определения критической угловой скорости вращения

формы, которую нецелесообразно превышать.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Емельянова И.А. Особенности технологического процесса производства стоек железобетонных опор типа ВЛ электропередач. /Емельянова И.А., Лебедев П.Н.// Ж., «Наука в центральной России», № 2 – Тамбов, Из-во ГНУ ВНИИТиП Россельхозакадемия, 2012 – С.38-44;
2. Емельянова И.А. Исследование возможности повышения частоты вращения опалубки для изготовления бетонных элементов методом центрифугирования./ Емельянова И.А., Лебедев П.Н. // Науковий вісник будівництва – Харків: ХДТУБА ХОТВАБУ, 2012, Вип. 68 – С. 240-244;
3. Бреховских Л.М. Введение в механику сплошных сред./ Бреховских Л.М., Гончаров В.В. – М.: Наука, 1972, – 336 с;
4. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Гидродинамика / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., – М.: Наука, 1988 – 736 с;
5. Игменский А.Ю. Задача о медленном течении вязкой жидкости в круглой трубе переменного сечения. / Игменский А.Ю.// Прикладная математика и механика, т.8 – 1944, Вып.5, – С. 395 – 400.

УДК 621.793.7

Лузан С.А.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Постановка проблемы. Построение математической модели, устанавливающей связь технологических параметров, определяющих свойства газопламенных покрытий, является необходимым этапом в определении оптимального режима напыления, обеспечивающего получение покрытия заданного качества.

Анализ существующих решений. Для выбора оптимальных условий проведения плазменного напыления необходим всесторонний анализ взаимодействия частиц порошков с плазменными струями, а для этого, прежде всего, требуется построение модели и проведение оптимизации для управления процессом в реальном времени [1].

В общем случае математическая модель для струйно-плазменного процесса напыления дисперсного материала должна представлять собой систему уравнений, отражающих смешение реагентов, теплообмен, фазовые переходы в исходном сырье, химические реакции и процессы формирования покрытия [2-4].

Трудности, возникающие при моделировании процессов газотермического напыления, определяются различными оценками определяющей роли отдельных стадий и допущений, принимаемых при математическом описании.

Формулировка целей статьи. Целью работы является разработка математической модели интегрированного газопламенного напыления, учитывающую специфику процесса газопламенного нанесения покрытий.

Основной материал. Поскольку технологический процесс напыления покрытий интегрированными газопламенными технологиями представляет сложную неоднородную систему, то при разработке моделей таких систем не представляется возможным установить процесс, определяющий получение требуемых свойств восстановленных деталей. Необходимо отметить, что интегрируемая с газопламенным напылением технология может применяться на подготовительном этапе, т.е. перед напылением покрытия, в процессе нанесения или после него. Это зависит от технологических возможностей интегрируемой технологии и конструкции восстанавливаемой детали. В основе каждого этапа напыления покрытий интегрированными газопламенными технологиями лежат сложные физико-химические процессы, зависящие от большого количества факторов. Поэтому определение оптимальных параметров напыления покрытий интегрированными газопламенными технологиями экспериментальным путем является трудоемким и дорогостоящим процессом. Формирование газопламенного покрытия происходит в результате процессов теплового и химического воздействия высокотемпературной газовой струи, формируемой горелкой, на напыляемый материал покрытия, образование гетерогенной струи и её воздействие на напыляемую поверхность детали, химического взаимодействия материала покрытия с окружающей технологической средой, физико-химического взаимодействия в частицах композиционных материалов покрытия, физико-химического взаимодействия материала покрытия с материалом детали, физико-химического воздействия интегрируемой технологии на материал покрытия и детали и др. При определении оптимальных технологических параметров интегрированных газопламенных технологий необходимо учитывать влияние всех этих процессов. Поэтому

процесс разработки интегрированных газопламенных технологий состоит из этапов, на каждом из которых выбирают соответствующие им факторы.

Модель должна учитывать специфику процесса газопламенного напыления: физику горения горючих газов, теплофизику, физику твёрдого тела, физику, химию и механику поверхности, газодинамику, механику сыпучих сред и аэрозолей и др. Поэтому удобно для разработки интегрированных газопламенных технологий создать структурную модель, состоящую из 5-ти взаимосвязанных подмоделей (рис. 1).

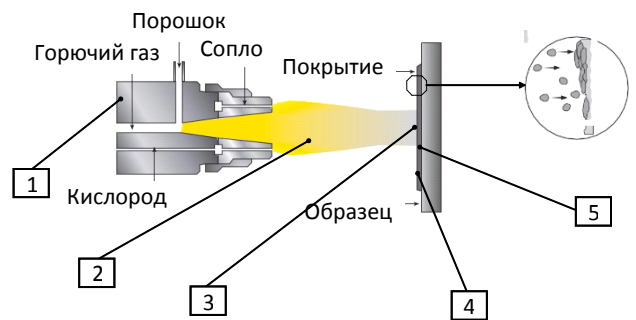


Рис. 1 – Схема процесса газопламенного напыления покрытий

1. Подмодель выбора технологической системы.

Методической базой выбора технологической системы является структурная схема операций. Банк данных такой подмодели должен содержать сведения о материальном и технологическом оснащении: технические характеристики установок газопламенного напыления, теплофизические характеристики горючих газов, физико-механические свойства порошков, манипуляторы для деталей, характеристики интегрируемых технологий и методов, приспособления, рекомендации по механической обработке покрытий, межоперационный транспорт, контроль качества напыленного покрытия.

2. Подмодель формирования скорости газовой смеси в зонах струи, несущей напыляемые частицы [5].

$$u = u_0 + 0,5(u_k - u_0) \left(1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\xi} e^{-\alpha^2} d\alpha \right), \quad (1)$$

где u - продольная составляющая скорости газового потока; u_0 , u_k - скорости основного и кольцевого потока; ξ - коэффициент сопротивления; α - тороидальный радиус.

Уравнение (1) позволяет определить продольную составляющую скорости газа во всех зонах струи, несущей частицы порошка, в зависимости от скорости основного и кольцевого потоков.

3. Подмодель определения температуры частицы в момент контакта с напыляемой деталью [6].

$$T(0, \tau) = T_1 + 2(T_0 - T_1) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \cdot e^{-\left(\frac{n\pi a}{r_0}\right)^2 \tau}, \quad (2)$$

где $T(0, \tau)$ - температура в центре частицы в момент контакта с напыляемой поверхностью; T_1 - температура теплоносителя на поверхности частицы; T_0 - начальная температура частицы; r_0 - радиус частицы; τ - время пребывания частицы в гетерофазной струе.

Уравнение (2) позволяет по заданной температуре в центре частицы определить необходимое время ее пребывания в гетерофазной струе и тем самым определить дистанцию напыления.

4. Подмодель формирования покрытия [7]. При $H \leq R_c$

$$v = v_0 \exp \left[\frac{\pi R_c^2 \left(1 - \frac{b}{2} \right) \rho_0}{2m} \left(-H + \frac{R_c}{5} \left[1 - \left(1 - \frac{H}{R_c} \right)^5 \right] \right) \right], \quad (3)$$

при $H > R$

$$v = v_R \exp \left[\frac{(H - R_c) \pi R_c^2 \left(1 - \frac{b}{2} \right) \rho_0}{2m} \right], \quad (4)$$

где v - скорость проникновения; H - глубина проникновения; v_0 - скорость проникновения при глубине проникновения $H=0$; v_R - скорость проникновения при глубине проникновения $H=R$; R_c - радиус частицы; ρ_0 - исходная плотность ранее нанесенного материала; m - масса частицы; b - коэффициент уплотнения.

5. Подмодель образования прочности сцепления напыленного покрытия с материалом детали [8].

Определение величины прочности сцепления покрытий с основой, напыленных газопламенным методом интегрированным:

- со щеточной обработкой

$$\sigma_{сц} = -4 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,0181n + 5,4298 \quad (5)$$

где n - скорость вращения металлической щётки;

- с вибрационной обработкой

$$\sigma_{сц} = 0,1477\varepsilon^3 - 1,4639\varepsilon^2 + 6,4293\varepsilon + 23,715 \quad (6)$$

где ε - амплитуда деформации при виброобработке;

- с электроискровым легированием

(ЭИЛ)

$$\sigma_{сц} = 1 \cdot 10^{-5} N_p^3 - 0,005 N_p^2 + 0,745 N_p \quad (7)$$

где N_p - мощность разряда при ЭИЛ.

Выводы.

Разработана модель интегрированного газопламенного напыления, учитывающая специфику процесса газопламенного нанесения покрытий и состоящая из 5-ти взаимосвязанных подмоделей: выбора технологической системы; формирования скорости газовой смеси в зонах струи, несущей напыляемые частички, определения температуры частички в момент контакта с напыляемой деталью, формирования покрытия, образования прочности сцепления напыленного покрытия с материалом детали, обеспечивающая заданные свойства напыленных деталей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Обабков И.Н. Моделирование и оптимизация процесса плазменного напыления тугоплавких керамических покрытий: дис. ... кандидата техн. наук: 05.17.11 Обабков Илья Николаевич - Екатеринбург, 202, - 148 с.
2. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: / А.Ф. Пузряков. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 360 с.
3. Головин С.И. Математическая модель сверхзвукового воздушно-плазменного напыления. / Головин С.И., Аверченко В.А., Попович Л.Г., Пузряков А.Ф. // Сварочное производство. - 2008. - № 2. - С. 16-22.
4. Технологические процессы в сервисе: Учебное пособие / А.Ф. Пузряков, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник, А.А. Пузряков. - Альфа-М, НИЦ Инфра-М, 2014. - 240 с.

5. Подригало М. А. Взаимодействие осесимметричной и кольцевой спутной струи в процессе газотермического напыления деталей автомобиля / М.А. Подригало, А.С. Полянский, С.А. Лузан [и др.] // XVII Научно-техническая международная конференция «Транспорт, экология – устойчивое развитие». Сборник докладов. – Варна: Технический университет, 2011. – С. 272-279.
6. Резніченко М. К. Нагрівання частинок в гетерофазному струмені при газополум'яному напыленні покриттів / М.К. Резніченко, К.А. Баранов, С.О. Лузан // Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків: ХНТУСГ. – 2011. – Вип. 110. – С. 80-84.
7. Резніченко Н. К. Определение параметров процесса уплотнения покрытий при газотермическом напылении / Н.К. Резніченко, С.А. Лузан, К.А. Баранов // 36. наук. праць. Вип. 20. – Донецьк: Дон ИЗТ УДАЗТ. – 2009. – С. 115-123.
8. Лузан С.О. Концепція відновлювального ремонту засобів транспорту і їх елементів інтегрованими газополумевими технологіями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» С.О. Лузан. – Харків, 2013. – 38 с.

УДК 621.793

Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П., Белый В.А.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА НА ГЛУБИНУ БОРИРОВАННОГО СЛОЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Введение

Одним из способов улучшения эксплуатационных свойств поршневых колец из чугунов, подвергающихся износу, является борирование. Однако применение традиционных способов борирования, связанных с диффузией бора в твердую фазу, приводит к формированию рабочего слоя, обладающего высокой хрупкостью. Поэтому актуальной является проблема разработки другого способа упрочнения поверхности, не приводящего к охрупчиванию. Реализация такого процесса может быть осуществлена с использованием лазерного нагрева с оплавлением поверхностного слоя. Однако использование такого метода может быть предложено производству только после детального изучения взаимосвязи между параметрами проведения процесса и глубиной слоя, а также исследования особенностей структурообразования в специфических условиях лазерного борирования. Свойства изделия, на которое нанесен борированный слой, зависит от глубины последнего.

Поэтому задачей настоящей работы было установление влияния параметров лазерного воздействия на глубину борированного слоя и выявление особенностей формирования структуры таких слоев.

Материал и методика исследования

Материалом исследования был высокопрочный чугун, содержащий $C=3,47\%$, $Si=2,15\%$, $Mn=1,36\%$. После предварительной обработки он имел перлитоферритную структуру (85...90% перлита). Размер шаровидного графита соответствует 3 баллу.

Лазерную обработку осуществляли на непрерывном CO_2 -лазере. При постоянной мощности облучения варьировали скорость перемещения образца в пределах 2...4 мм/с. Толщина боросодержащей обмазки была 0,15 мм и 0,30 мм. Условная расфокусировка ($F_{усл}$) позволяла изменять диаметр пятна облучения от 2 до 4 мм. В качестве обмазки использовали смесь аморфного бора с ацетоном и цапон лаком.

Структуру, фазовый состав, глубину борированного слоя изучали методом оптической микроскопии с использованием обычного и окрашивающего травления и рентгеноструктурного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

С помощью травления 4%-ным раствором азотной кислоты, выявляющим структуру всего слоя, установлено, что изменение структуры металла в результате легирования бором происходит только в зоне оплавления.