

УДК

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

© 2017 С.Р. Шехтман, А.Р. Исаев

Уфимский государственный авиационный технический университет

Статья поступила в редакцию 18.03.2017

Рассмотрена проблема автоматизированного выбора параметров технологического процесса нанесения защитного покрытия. Разработана программа для ЭВМ, которая автоматизировано подбирает и выполняет все необходимые расчеты, а также моделирует параметры процесса ионного осаждения покрытия.

Ключевые слова: *автоматизация, технологический процесс, защитное покрытие*

В авиационной промышленности с каждым днем возрастают требования к технико-эксплуатационным свойствам изделий, так как они работают в экстремальных условиях: при высоких динамических и статических нагрузках, температурах, радиационных и электромагнитных полях различной природы и интенсивности. На сегодняшний день конструкционные материалы не всегда способны удовлетворять требованиям, предъявляемым к деталям машин и механизмов, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Конструкционные материалы повышенного качества, если и отвечают таким требованиям, могут оказаться слишком дорогими для их использования в производстве. [3].

Одним из наиболее эффективных технологических путей повышения эксплуатационных свойств деталей машин и механизмов является нанесение на рабочую поверхность изделий различных однокомпонентных и многокомпонентных покрытий с материалами, которые могут обеспечить заданные свойства. Покрытия на рабочей поверхности толщиной от нескольких ангстрем до нескольких микрон способны обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики деталей. Незначительный расход материала покрытия и высокие характеристики поверхности детали обеспечили повышенный интерес к разработке технологий нанесения покрытия и внедрения в производство.

В условиях современного производства стоит задача назначения рациональных режимов обработки, обеспечивающих качество и стоимость. Назначения и расчет режимов обработки весьма сложный и трудоемкий процесс. Для расчетов режимов обработки традиционными методами резания и режимов сварки на предприятиях используется автоматизированные системы расчета, такие как TECHCARD, ВЕРТИКАЛЬ и др. Но для технологического процесса нанесения ионно-плазменных покрытий нет аналогичных систем, вследствие этого замедляется процесс выпуска изделия. Расчет режимов нанесения ионно-плазменных покрытий без вычислительной техники замедляет проектирование одного технологического процесса, так как

требуется большее количество времени на проведении множественных расчетов. Также минимум справочной информации, литературы по нанесению ионно-плазменных покрытий затрудняет разработку технологического процесса. Становится настоятельно необходимыми меры по повышению эффективности расчетов. Одной из таких мер является разработка специальных программ для ЭВМ с целью автоматизации вычислительного процесса.

Для решения поставленной задачи была разработана программа для ЭВМ и подана заявка на регистрацию авторских прав в Роспатент. Разработанная программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- моделирование параметров процесса ионного осаждения покрытия
- автоматизированный подбор и расчет всех необходимых параметров.

Алгоритм работы программы основан на изменении технологических параметров процесса осаждения: тока дуги, ускоряющего напряжения, давления реакционного газа, расположения обрабатываемой зоны в процессе осаждения, состава и свойств покрытия. Сложность назначения и расчета режимов обработки обусловлена тем, что совместное действие управляющих факторов приводит к большому разбросу параметров покрытий (рис. 2). Рассмотрим упрощенную модель, позволяющую осуществить предварительный выбор технологических параметров осаждения покрытий. Математическая модель позволяет связать технологические параметры с параметрами покрытий [2]. Математическая модель разработана на основе физико-химических процессах на поверхности твердого тела. На рис. 1. представлена расчетная схема ионно-плазменного осаждения покрытий, для которой в дальнейшем данная программа производит расчет технологических и физических параметров по приведенным ниже формулам [2, 4].

Плотность ионного тока определяется по формуле (1)

$$j_{r,\varphi} = \frac{\mu_p \cdot I_0 \cdot \bar{z}_i}{2\pi \cdot m_i \cdot R_k^2} \cdot \left[1 + \frac{R_k^2 - l^2 - b^2}{\sqrt{(R_k^2 + l^2 + b^2)^2 - 4R_k^2 \cdot b^2}} \right] \quad (1)$$

Шехтман Семен Романович, доктор технических наук, профессор. E-mail: shex@inbox.ru;
Исаев Артур Рамилевич, магистр. E-mail: gtel-pochta@gmail.com

где μ_p - коэффициент эрозии катода; I_d - ток дуги, А; m_i - масса конденсирующегося иона, кг; z_i - средний заряд ионов; R_k - радиус катода; l - расстояние от торца катода; b - смещение относительно оси катода.

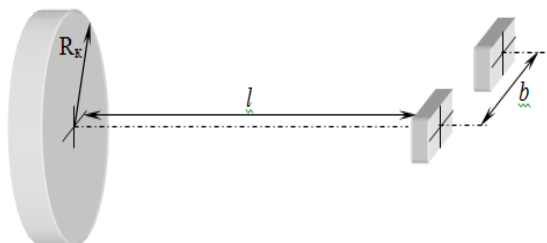


Рис. 1. Расчетная схема ионно-плазменного покрытия

Потоки ионов металла и молекулярного газа в произвольной точке на единицу площади в единицу времени определяются соотношениями:

$$n_i = \frac{j_i}{Z \cdot e} \quad (2)$$

$$n_r = \frac{\alpha_k P_r}{\sqrt{2\pi m T}} \quad (3)$$

где $\bar{Z}$ - среднее зарядовое число ионов; α_k - коэффициент конденсации; P_r - давление газа; m - масса молекулы (для молекулярного газа) или атома (для атомарного газа); T - температура газа; e - заряд электрона.

На поверхности конденсации за единицу времени выделится энергия, определяемая соотношением:

$$\Delta q = n_i (\bar{W}_i + \bar{Z} e U_n + Q_k) \quad (4)$$

где U_n - отрицательное напряжение смещения на подложке относительно плазмы; $\bar{W}_i$ - средняя энергия ионов; Q_k - энергия, выделяющаяся при конденсации одного иона.

Температура подложки находится из соотношения:

$$T_n^4 = \frac{j_{l,b} (\bar{W}_i + \bar{Z} \cdot e \cdot U_n + Q_k + e \cdot \bar{U}_i)}{\sigma \cdot \varepsilon_r \cdot \bar{Z} \cdot e} - T_c^4 \quad (5)$$

где σ - постоянная Стефана-Больцмана; ε_r - интегральный коэффициент излучения; $\bar{W}_i$ - энергия иона; U_n - потенциал подложки; $\bar{U}_i$ - средний потенциал ионизации; T_c - температура среды.

В непрерывном стационарном режиме работы, если тепло отводится за счет излучения и часть подведенной энергии идет на образование химических соединений и диссоциацию молекул газа, затраченная энергия будет определяться соотношением:

$$\Delta q' = \sigma \varepsilon_r (T_n^4 - T_{ст}^4) + n_x Q_p \quad (6)$$

где n_x - количество газа, вступившего в реакцию; $T_{ст}$ - температура стенок камеры; Q_p - потенциальный барьер реакции; T_n - температура подложки.

Количество газа, вступившего в реакцию с металлом, будет определяться соотношением:

$$n_x = \frac{n_i}{Q_p} (\bar{W}_i + \bar{Z} e U_n + Q_k) - \frac{\sigma \varepsilon_r}{Q_p} (T_n^4 - T_{ст}^4) \quad (7)$$

Выражение для выделяющейся мощности совместно с условием отвода тепла от изделия определяет его тепловой баланс:

$$\Delta q = \Delta q' \quad (8)$$

или

$$n_i (\bar{W}_i + \bar{Z} e U_n + Q_k) = \sigma \varepsilon_r (T_n^4 - T_{ст}^4) + n_x Q_p \quad (9)$$

Расчет стехиометрического состава:

$$C_x = \frac{n_r}{n_i} = \frac{\alpha_k \cdot \bar{Z} e \cdot P_r}{j_i \cdot \sqrt{2\pi m k T}} \quad (10)$$

Пороговое значение потенциала подложки, при котором весь поток газа вступает в химическое соединение, однозначно связанное с давлением газа, можно найти из соотношения:

$$U_{пкр} = \frac{\sigma \varepsilon_r (T_n^4 - T_{ст}^4) + \alpha_k P_r \cdot Q_p - n_i (\bar{W}_i + Q_k)}{n_i \cdot \bar{Z} e} \quad (11)$$

Скорость роста покрытия находится из соотношения:

$$V_k = \frac{m_i}{\bar{Z} \cdot e \cdot \rho} \sum_{i=1}^{i=n} (\alpha_k \cdot j_{l,b} - s_p \cdot j_{l,b}) \quad (12)$$

где ρ - удельная масса конденсирующегося вещества; s_p - коэффициент распыления.

При осаждении покрытий коэффициент распыления будет стремиться к нулю, следовательно, им можно пренебречь. Из соотношений (1) и (12) получим упрощенную формулу для определения скорости роста покрытия:

$$V_k = \frac{\mu_p \cdot J_p}{\rho \cdot \pi \cdot (l^2 + R_k^2)} \quad (13)$$

Толщина покрытия определяется из соотношения:

$$h = V_k \cdot t \quad (14)$$

где t - время нанесения.

На рис. 2. представлена структурная схема технологической операции осаждения покрытия. Важное обстоятельство разработки технологий нанесения покрытий заключается в следующем. После выявления диапазона управляющих параметров, в котором покрытие не разрушается, как в процессе напыления, так и после его завершения под действием остаточных напряжений, а температура в системе не превышает допустимые для данных материалов или конкретных деталей значения, можно переходить к оптимизации процесса по другим выходным параметрам. Для покрытий, удовлетворяющих этим условиям, выходные параметры разделяются на группы.

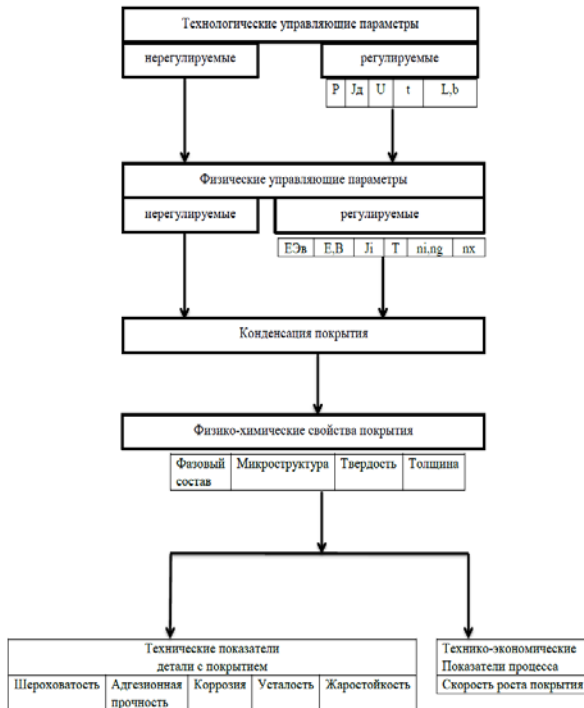


Рис. 2. Структурная схема технологической операции нанесения покрытий

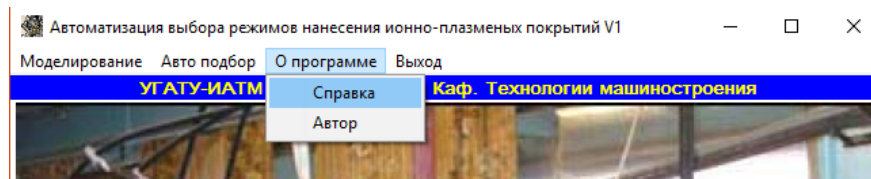


Рис. 3. Стартовое окно программы

Рис. 4. Окно ручного моделирования.

На рис. 5. представлено окно автоматизированного подбора параметров технологического процесса нанесения покрытия. Вводим исходные данные о наносимых материалах, требования к покрытию, расположение детали в процессе обработки и точность вычислений, далее программа автоматизированно рассчитывает все возможные варианты и выдает только необходимые нам. Как видно из рис. 5 программа просчитала около 2000 тысяч вариантов и подобрала более 320 подходящих варианта. Без применения средств вычислительной тех-

В первую группу входят физико-химические свойства покрытий, во второй группе технические показатели, а в третью группу – технико-экономические показатели процесса [1]. Для выявления диапазона параметров, при котором можно получить необходимое покрытие была разработана программа.

На рис. 3. представлено стартовое окно программы, через которое можно перейти в раздел моделирования, автоматического подбора параметров, просмотреть справочные данные о том, как работать в программе, сведения об авторе и выход из программы.

Окно ручного моделирования позволяет варьировать параметры и применять для корректировки существующих режимов обработки.

нике и программ для ЭВМ расчеты займут много времени и снизят точность вычислений. Данная программа может быть использована для расчетов при разработке технологических процессов, таких как: технологический процесс нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия TiN на матрицы для обрезки шестигранников болтов и пуансоны для операции холодной высадки крестообразных шлицев и внутреннего шестигранника; на бандажии используемые в матрице, формирующей резьбовую часть винта и т.п.

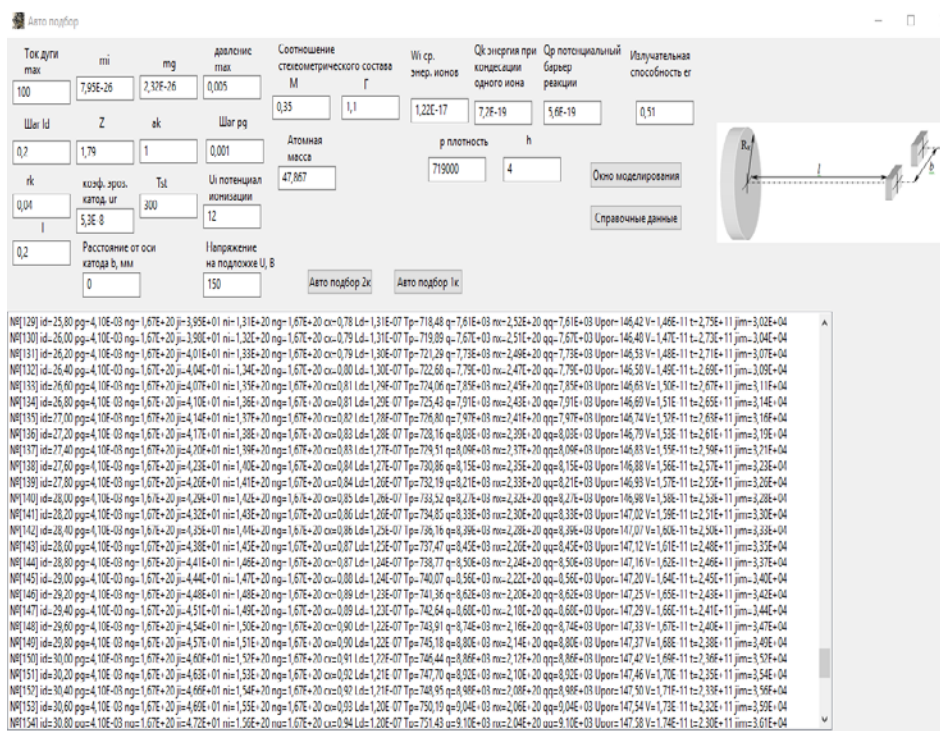


Рис. 5. Окно автоматизированного подбора параметров технологического процесса нанесения покрытия (более 2000 тысяч рассчитанных вариантов)

Выводы: разработана программа для автоматизированного выбора параметров процесса нанесения ионно-плазменных покрытий. При необходимости эту программу можно интегрировать в качестве одного из компонентов в общую систему САПР. Использование программы позволит сократить время на проведении множественных расчетов, тем самым повысить эффективность технологической подготовки производства, исключить ошибки при расчетах. Программа может применяться для расчёта режимов осаждения ионно-плазменных покрытий в условиях опытного и серийного производства, в научно-исследовательских лабораториях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барвинок, В.А. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно-плазменного напыления / В.А. Барвинок, В.И. Богданович. – М.: Машиностроение, 1999. 309 с.
2. Будилов, В.В. Технология вакуумной ионно-плазменной обработки: учебное пособие / В.В. Будилов, Р.М. Киреев, С.Р. Шехтман. – М.: Изд-во МАИ, 2007. 155 с.
3. Зенин, Б.С. Современные технологии модифицирования поверхности нанесения покрытий: учебное пособие / Б.С. Зенин, Б.Б. Овечкин. – Томск, 2008. 75 с.
4. Рамазанов, К.Н. Практикум по дисциплине «Методы исследования объема и поверхности микро- и наноструктурированных металлов и сплавов» / К.Н. Рамазанов, Р.М. Киреев. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2010. 19 с.

AUTOMATION OF CHOICE THE PROCESS PARAMETERS FOR DRAWING COATING

© 2017 S.R. Shekhtman, A.R. Isaev

Ufa State Aviation Technical University

The problem of the automated choice the parameters of technological process for drawing a coating is considered. The computer program which has been made, automatically selects and carries out all necessary calculations, and also modeling the parameters of ionic sedimentation covering process.

Key words: automation, technological process, coating

Semyon Shekhtman, Doctor of Technical Sciences,
Professor. E-mail: shex@inbox.ru;
Artur Isaev, Master. E-mail: gtelpochta@gmail.com