

Дядюн К.В. Чебукина В.Ф.

(Херсонский политехнический колледж)

ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ И СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССОМ

Анотация

Повышение стойкости режущих инструментов является одной из важнейших проблем современной металлообработки, несмотря на широкое применение, механизм действия пленочного покрытия не до конца раскрыт, и, следовательно, пути его совершенствования и условия эффективного использования иногда определены неверно.

Ключевые слова: *режущий инструмент, математическая модель, подача газов, закон Менделеева-Клапейрона*

Повышение стойкости режущих инструментов является одной из важнейших проблем современной металлообработки.

Однако далеко не всегда удается получить позитивный результат от применения покрытий. Это связано с тем, что, несмотря на широкое применение, механизм действия пленочного покрытия не до конца раскрыт, и, следовательно, пути его совершенствования и условия эффективного использования иногда определены неверно. Наиболее перспективным методом решения данной задачи является разработка и внедрение автоматизированных систем управления (АСК) процессом нанесения разнообразных покрытий на режущий инструмент. Следует отметить, что задача АСК процессом нанесения на рабочие поверхности инструмента ионо - плазменных покрытиях нуждается в автоматизированных систем поддержки принятия решений. В наше время решение данной задачи основано на использовании метода конденсации в вакууме на поверхности изделия базового вещества, состоящего из плазменной фазы с ионной бомбардировкой (метод КИБ) [1, 2]. Однако этот метод имеет ряд недостатков, одним из которых - снижения качества поверхности изделия, как следствие неэффективного управления процессом нанесения ионно - плазменных покрытий, что может привести к неисправимому браку. Еще более усложняет проблему контроля качества нанесения покрытий – подача нескольких газов-реагентов в камеру без предварительного смешивания. В такой ситуации оператор вообще не сможет руководить процессом нанесения покрытий, при этом альтернативные способы управления данным процессом еще не разработаны [3].

Устранение указанных недостатков требует разработки принципиально новой модели подачи нескольких газов и как следствие автоматизированной системы управления балансом подачи га-

зов-реагентов в вакуумную камеру без участия человеческого фактора.

Анализ существующих технологий нанесения покрытий и факторов, влияющих на их качество позволяет констатировать, что в ионно-плазменных технологиях имеется ряд существенных недостатков, возникающих при нанесении покрытий, а именно:

1) Отсутствие автоматизированных систем идентификации и контроля многофакторного процесса нанесения ионно-плазменных покрытий усложняет процесс его имитационного моделирования и как следствие приводит к запаздыванию принятия решений.

2) Отсутствие прогрессивных математических методов обработки параметров процесса нанесения ионно-плазменных покрытий приводит к неполному анализу данного процесса.

3) Отсутствие возможности управлять балансом подаваемых в вакуумную камеру нескольких газов-реагентов, значительно повышая тем самым мобильность применения ионно-плазменных технологий.

Данные недостатки представляют проблему, которая не позволяет результативно управлять процессом подачи в вакуумную камеру нескольких газов-реагентов при нанесении ионно-плазменных покрытий методом КИБ. Поэтому, разработка математической модели подачи нескольких газов для повышения качества нанесения ионно-плазменных покрытий является актуальной задачей.

Целью исследования является повышение эффективности ионно-плазменных технологий путем разработки и внедрения автоматизированной системы анализа и управления массовым балансом газов-реагентов в условиях подачи нескольких газов.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить классификацию методов нанесения износостойких покрытий с помощью технологии КИБ, изучить проблемы автоматизации процесса нанесения ионно-плазменных покрытий в данной технологии.

2. Выбрать и обосновать критерии оценивания параметров подачи газов в технологии КИБ, а также методы контроля качества режущего инструмента с покрытием в производстве и эксплуатации.

3. Разработать математическую модель процесса нанесения покрытий на основе описания массового баланса для подачи нескольких газов в вакуумную камеру;

4. Выполнить структурный синтез автоматизированной системы управления балансом подаваемых в вакуумную камеру нескольких газов-реагентов в технологии нанесения ионно-плазменных покрытий.

Согласно цели исследования построение динамической математической модели процесса нанесения покрытий на основе описания массового баланса для n_i в вакуумной камере в виде системы уравнений (1) [4]:

$$\begin{cases} \frac{dM_{(1)}}{d\tau} = m_{под(1)} + m_{нат(1)} - m_{отс(1)} - m_{рх(1)} \\ \frac{dM_{(2)}}{d\tau} = m_{под(2)} + m_{нат(2)} - m_{отс(2)} - m_{рх(2)} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dM_{(n_i)}}{d\tau} = m_{под(n_i)} + m_{нат(n_i)} - m_{отс(n_i)} - m_{рх(n_i)} \end{cases} \quad 1)$$

где:

- масса n_i газов в вакуумной камере, кг;
- $m_{под(1),(2),..(n_i)}$ - приход газов за счет принудительной подачи его в камеру, кг/с;
- $m_{нат(1),(2),..(n_i)}$ - приход газов за счет натекания воздуха из атмосферы из-за не герметичности камеры, кг/с;
- $m_{отс(1),(2),..(n_i)}$ - расход газов за счет работы вакуумного насоса, кг/с;
- $m_{рх(1),(2),..(n_i)}$ - расход газов на химические реакции в камере, кг/с.

На этапе нанесения покрытия объем вакуумной камеры и температура газа-реагента в ней постоянные, исходя из чего, опишем систему уравнений на основании закона Менделеева-Клапейрона (2):

$$\begin{cases} M_{(1)} = \frac{\mu_{(1)}V_k}{RT_k} \\ M_{(2)} = \frac{\mu_{(2)}V_k}{RT_k} \\ \dots\dots\dots \\ M_{(n_i)} = \frac{\mu_{(n_i)}V_k}{RT_k} \end{cases} \quad 2)$$

где: μ - молекулярный вес газов поступающих в камеру;

V_k - объем вакуумной камеры, м³;

R - универсальная газовая постоянная ($R = 8,314$ Дж•г-моль/К), м³;

T_k - температура газовой смеси в вакуумной камере, К;

- парциальное давление газов P_a .

В дифференциальной форме система уравнений примет вид (3):

$$\begin{cases} \frac{dM_{(1)}}{d\tau} = \frac{\mu_{(1)}V_k}{RT_k} \cdot \frac{dP_{(1)}}{d\tau} \\ \frac{dM_{(2)}}{d\tau} = \frac{\mu_{(2)}V_k}{RT_k} \cdot \frac{dP_{(2)}}{d\tau} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dM_{(n_i)}}{d\tau} = \frac{\mu_{(n_i)}V_k}{RT_k} \cdot \frac{dP_{(n_i)}V_k}{RT_k} \end{cases} \quad 3)$$

Решение данной системы уравнений позволит получить систему дифференциальных уравнений динамики изменения давления газов в вакуумной камере в процессе нанесения покрытия, а дальнейшее преобразование данной системы уравнений по Лапласу позволят выполнить структурный синтез автоматизированной системы управления балансом подаваемых в вакуумную камеру нескольких газов - реагентов в технологии нанесения ионно-плазменных покрытий.

Дифференциальное уравнение динамики изменения объемов для двух газов азота и углерода поступающих в вакуумную камеру в

в процессе нанесения покрытия в виде:

$$\begin{cases} \frac{\mu_{(C_2)} V_k}{RT_k} \cdot \frac{dV_{(C_2)}(\tau)}{d\tau} = -\frac{\mu_{(C_2)} V_n}{RT_k} P_{(C_2)}(\tau) + m_{\text{под}(C_2)}(\tau) - \frac{\mu_{(C_2)}}{\mu_{\text{матер}}} m_{\text{матер}}(\tau) + \frac{\mu_{(C_2)} H}{RT_k} \\ \frac{\mu_{(N_2)} V_k}{RT_k} \cdot \frac{dV_{(N_2)}(\tau)}{d\tau} = -\frac{\mu_{(N_2)} V_n}{RT_k} P_{(N_2)}(\tau) + m_{\text{под}(N_2)}(\tau) - \frac{\mu_{(N_2)}}{\mu_{\text{матер}}} m_{\text{матер}}(\tau) + \frac{\mu_{(N_2)} H}{RT_k} \end{cases} \quad (4)$$

Переходная функция зависимости выходного параметра V от управления $m_{\text{под}C_2}$ и возмущения m_{Ti} будет иметь вид:

$$\begin{cases} a_{1(N_2)} \frac{dP_{(N_2)}(\tau)}{d\tau} = -a_{2(N_2)} P_{(N_2)}(\tau) + m_{\text{под}(N_2)}(\tau) - a_{3(N_2)} m_{\text{под}i}(\tau) + a_{4(N_2)} \\ a_{1(N_2)} \frac{dP_{(N_2)}(\tau)}{d\tau} = -a_{2(N_2)} P_{(N_2)}(\tau) + m_{\text{под}(N_2)}(\tau) - a_{3(N_2)} m_{\text{под}i}(\tau) + a_{4(N_2)} \end{cases} \quad (5)$$

Полагая в $m_{\text{под}C_2}(\tau) = \text{const}$, $m_{\text{под}N_2}(\tau) = \text{const}$ и $m_{Ti}(\tau) = \text{const}$, а также:

$$A_{N_2} = \frac{a_{2N_2}}{a_{1N_2}}; \quad B_{N_2} = \frac{m_{\text{под}N_2} - a_{3N_2} m_{Ti} + a_{4N_2}}{a_{1N_2}} \quad (6)$$

$$A_{C_2} = \frac{a_{2C_2}}{a_{1C_2}}; \quad B_{C_2} = \frac{m_{\text{под}C_2} - a_{3C_2} m_{Ti} + a_{4C_2}}{a_{1C_2}} \quad (7)$$

преобразуем систему линейных дифференциальных уравнений к виду:

$$\begin{cases} \frac{dV_{(N_2)}(\tau)}{d\tau} + A_1 V_{(N_2)}(\tau) - B_1 = 0 \\ \frac{dV_{(C_2)}(\tau)}{d\tau} + A_2 V_{(C_2)}(\tau) - B_2 = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$V_{N_2}(0) = V_{N_2,0};$$

$$V_{C_2}(0) = V_{C_2,0}$$

$$\begin{cases} V_{(C_2)} = \left(V_{(C_2)0} - \frac{B_{(C_2)}}{A_{(C_2)}} \right) e^{-A\tau} + \frac{B_{(C_2)}}{A_{(C_2)}} \\ V_{(N_2)} = \left(V_{(N_2)0} - \frac{B_{(N_2)}}{A_{(N_2)}} \right) e^{-A\tau} + \frac{B_{(N_2)}}{A_{(N_2)}} \end{cases} \quad (9)$$

Программным решением для этой стадии процесса является постоянное значение объемов поступающих в вакуумную камеру газов, а программным управлением некоторое значение $m_{подN2(пр)}$, $m_{подC2(пр)}$, обеспечивающее заданное значение давления в статическом режиме.

Построим переходную функцию зависимости выходных параметров $VC2$ и $VN2$ от управления $m_{подN2}$ и $m_{подC2}$ и возмущения mTi . После преобразования по Лапласу [5] уравнение (24) приобретает вид:

$$\begin{cases} Y(S)_{(c_2)} = U(S)_{(c_2)} \left(\frac{1}{(a_{1(c_2)}s + a_{2(c_2)})} \right) - Q(S)_{(c_2)} \left(\frac{a_{3(c_2)}}{(a_{1(c_2)}s + a_{2(c_2)})} \right) \\ Y(S)_{(n_2)} = U(S)_{(n_2)} \left(\frac{1}{(a_{1(n_2)}s + a_{2(n_2)})} \right) - Q(S)_{(n_2)} \left(\frac{a_{3(n_2)}}{(a_{1(n_2)}s + a_{2(n_2)})} \right) \end{cases} \quad (10)$$

В итоге передаточная функция по управлению для двух газов будет иметь вид:

$$\frac{Y(s)_{N_2}}{U(s)_{N_2}} = \frac{1}{(a_{1N_2}s + a_{2N_2})}; \quad (11)$$

$$\frac{Y(s)_{c_2}}{U(s)_{c_2}} = \frac{1}{(a_{1c_2}s + a_{2c_2})} \quad (12)$$

а по возмущению – вид для двух газов:

$$\frac{Y(s)_{c_2}}{Q(s)_{c_2}} = \frac{a_{3c_2}}{(a_{1c_2}s + a_{2c_2})}; \quad (13)$$

$$\frac{Y(s)_{N_2}}{Q(s)_{N_2}} = \frac{a_{3N_2}}{(a_{1N_2}s + a_{2N_2})}. \quad (14)$$

Выводы

1. Выбраны и обоснованы критерии оценивания параметров подачи газов - реагентов в технологии КИБ;

2. На примере подачи в вакуумную камеру двух газов - реагентов предложена математическая модель процесса нанесения покрытий на основе описания массового баланса для подачи нескольких газов в вакуумную камеру.

Литература

1. Анатолий Верховлюк, Володимир Лахненк1. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущий инструмент с износостойкими покрытиями. [Текст] – М.: Машиностроение, 1986. – 191 с.

2. Аникеев А.И., Аникин В.Н., Торопченков В.С. Пути повышения работоспособности режущего инструмента за счет нанесения износостойких покрытий / Современный твердосплавный инструмент и рациональное его использование. [Текст] – Л.: ЛДНТП, 1980. – С. 40 – 44.

3. Тонконогий В.М. Управление подачей газа-реагента при нанесении ионно-плазменных покрытий с прогнозированием негерметичности вакуумных установок // Холодильная техника и технология. [Текст] – 2004. – № 3(89). – С. 70 – 73

4. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. [Текст] – М.: Химия, 1995. – Т. 1, 2.

5. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. [Текст] – М.: Высшая школа, 1965. – 467 с.