

УДК 681.5:677

И. Ш. Абдуллин, И. Х. Ибрафиров, Л. А. Симонова,
Д. И. Ибрафиров, М. А. Чернова

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНО-НАПЫЛИТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ключевые слова: металлизация ткани, вакуум, плазма.

В результате проведенных исследований показана возможность моделирования процесса выбора параметров вакуумно—напылительного технологического комплекса в зависимости от требуемой толщины напыленного материала. Решение этой задачи приводит к оптимальному выбору звеньев вакуумно—напылительного технологического комплекса и оптимизации их параметров, где в качестве критерия оптимальности выступает эффективность технологического процесса.

Keywords: tissue metallizing, vacuum, plasma.

The studies demonstrated the possibility of modeling the process of selecting parameters vacuum sputter technology complex, depending on the desired thickness of the deposited material. The solution to this problem leads to an optimal choice of units vacuum sputter engineering and optimization of their parameters, where the optimality criterion serves process efficiency.

Введение

Наиболее перспективным направлением совершенствования вакуумно—напылительного технологического комплекса (ВНТК) является комплексный подход. Он включает создание системы автоматизированного проектирования технологического процесса (ТП) плазменной обработки, синтез системы автоматического управления (САУ) с обратными связями по параметрам, характеризующим процессы в зоне взаимодействия и внедрение новых методов обработки информативных параметров [1]. Это позволяет на основе баз данных экспериментальных исследований оптимизировать структуры взаимодействия информационных и энергетических потоков [2].

Цель работы

Показатели качества ТП плазменной обработки зависят от стабильности параметров ВНТК. Воспроизводимость результатов ТП зависит, в основном, от стабильности коэффициента отражения напыленного материала, измеряемой в реальном времени [3].

Задача при построении САУ направлена на выполнение требуемого ТП с обеспечением заданных показателей качества [4].

Наиболее перспективным направлением совершенствования ВНТК является синтез САУ технологического комплекса с обратными связями по параметрам процессов, измеряемых в реальном времени, и внедрение новых методов обработки информативных параметров.

Информационный анализ по номенклатуре реализуемых предприятиями-производителями ВНТК, показал, что САУ построены по разомкнутому принципу на основе программного управления по заданным параметрам. В этом случае стабилизируют-

ся основные параметры ВНТК: подводимая электрическая мощность, зазор от подложки до распыляемого материала, давление в камере рабочих газов, скорость перемещения подложки относительно магнетрона и геометрические размеры магнетрона, т.е. без компенсации возмущающих воздействий на другие звенья комплекса. Одним из путей решения данной задачи является введение обратных связей по среднемассовой температуре плазменного потока, электрической мощности, скорости перемещения магнетрона и межэлектродному зазору.

Для компенсации влияния возмущающих воздействий на выходную величину звеньев САУ вводим отрицательную обратную связь [5], охватывающую весь технологический комплекс, куда входят не только звенья системы управления и магнетрона, но и среда пропускания плазмы и подложка. Такой подход позволяет упростить решение задачи по синтезу САУ, повысить ее точность и надежность [6].

При всех режимах плазменной обработки для стабилизации заданных параметров [7] ТП необходимо выявить степень влияния параметров звеньев ВНТК на показатели качества ТП. Из этой проблемы вытекает, что задача по оптимизации схемотехнического решения САУ, где в качестве критериев оптимальности выступают как экономические, так и технические показатели ВНТК, является многокритериальной [8] и, как следствие, трудно решаемой.

Анализ

Повышение требований к показателям качества напыления приводит к созданию САУ технологическими комплексами, отвечающей заданным требованиям показателей качества ТП [9].

Подобные комплексы позволяют получать необходимое качество напыления.

Для реализации ТП напыления для достижения заданных показателей качества необходимо производить контроль и управление технологическими параметрами в реальном времени протекания процесса обработки [1].

В этих условиях актуальным является, с одной стороны, расчет оптимального изменения технологических параметров [10], а с другой - разработка и исследование САУ процессом плазменного напыления, основанная на реализации комбинированного управления путем введения обратной связи по информативному параметру ТП, что обеспечит повышение эффективности использования ВНТК [11].

Однако применяемые в настоящее время ВНТК не обеспечивают непрерывного контроля и регулирования процесса в реальном времени. Нет гарантированной воспроизводимости заданных характеристик напыления. Контроль качества напыления, как правило, осуществляется после окончания ТП.

Методика

Для обеспечения напыления деталей предложена блок-схема САУ кольцевым магнетроном (рис. 1).

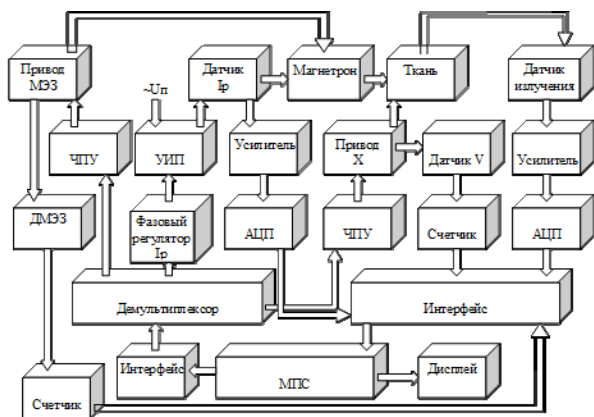


Рис. 1 - Блок-схема (ВНТК) металлизации тканей

ВНТК включает совокупность звеньев системы, содержащую как источник энергии плазмы, подложка и т. д., так и МПС с регуляторами выходных параметров ТП. Выбор и расчет режимов напыления детали является составной частью задачи оптимизации системы управления ВНТК.

САУ условно можно разделить на три независимые подсистемы. В первой применяется регулирование скорости осаждения напыляемого материала за счет изменения зазора между магнетроном и подложкой (МЭЗ), во второй - за счет регулирования скорости перемещения подложки относительно магнетрона и в третьей - за счет изменения параметров питающего напряжения.

Синтезированная в соответствии с блок-схемой структурная схема САУ имеет вид (1).

Максимально допустимое значение времени переходного процесса САУ определяется физическими процессами [73], происходящими в зоне взаимодействия.

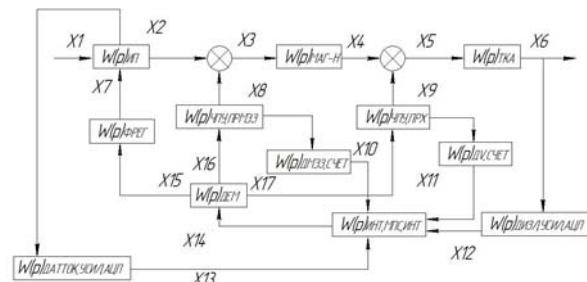


Рис. 2 - Структурная схема САУ

Максимально допустимое значение времени переходного процесса определяется из физических свойств взаимодействия плазмы с поверхностью материала. Магнетрон высотой $d = 180$ мм относительно подложки перемещается со скоростью $V = 40$ мм/с. Для выполнения операции управления технологическим процессом необходимо обеспечить достаточное быстродействие системы [6], удовлетворяющее условию: $TP \leq d/V = 180/40 = 4,5$ с.

Динамические процессы в элементах, входящих в нее, описываются дифференциальными уравнениями, на основании которых рассчитаны передаточные функции и, используя пакет прикладных программ MathCAD [12], получены переходные и частотные характеристики, определяющие качество САУ.

Разработанная математическая модель системы управления [53] представлена в виде дифференциальных уравнений на основе передаточных функций звеньев системы:

- Источник питания: $W(p)_{ип} = \frac{K_{ип} + 1}{T_{ип} p + 1}$
- Магнетрон: $W(p)_{маг-н} = \frac{K_{маг-н}}{T_{маг-н} p + 1}$
- Ткань: $W(p)_{тка} = \frac{K_{тка}}{T_{тка} p + 1}$
- Датчик излучения, усилитель1, АЦП, интерфейс, МПС, интерфейс: $W(p)_{датч, усч1, ацп, инт, мпс} = K_{датч} \cdot K_{усч1} \cdot K_{ацп} \cdot K_{инт} \cdot K_{мпс} \cdot K_{дем}$
- Демultipлексор: $W(p)_{дем} = K_{дем}$
- Фазовый регулятор: $W(p)_{фрег} = \frac{K_{фрег}}{T_{фрег} p + 1}$
- Измеритель мощности: $W(p)_{датч, усч2, ацп} = K_{датч} \cdot K_{усч2} \cdot K_{ацп}$
- Привод МЭЗ: $W(p)_{прмэз} = \frac{1 - K_{мех}}{T_{мех} \cdot p + 1} \cdot \frac{1 - K_{эл}}{T_{эл} \cdot p + 1}$
- Датчик МЭЗ, счетчик: $W(p)_{дмэз, сч1} = K_{дмэз} \cdot K_{сч1}$
- Привод X: $W(p)_{прх} = \frac{1 - K_{мех}}{T_{мех} \cdot p + 1} \cdot \frac{1 - K_{эл}}{T_{эл} \cdot p + 1}$
- Датчик скорости, счетчик: $W(p)_{дв, сч2} = K_{дв} \cdot K_{сч2}$

Для оценки качества переходного процесса на звено блока питания системы подается единичное воздействие [5]. Так как на данную подсистему поступает сигнал с пирометра то входной сигнал будет иметь вид:

$$X1 = g(t),$$

где $g(t)$ - единичное воздействие.

Выходной величиной данной подсистемы является сигнал, выходящий из зоны взаимодействия плазмы с материалом и представляющий собой коэффициент отражения $X6$ (рис.2).

Выводы

Исследования, проведенные, по ионно-плазменному напылению металлов на ткани, показывают нестабильность показателей качества технологического процесса. К этим показателям качества относятся адгезия, пористость, коррозионная стойкость и химический состав. Существенное значение в этом играют параметры ВНТК. Здесь необходимо рассматривать ВНТК как совокупность взаимодействующих между собой звеньев сложной системы. Это магнетрон кольцевого типа, обрабатываемая подложка и механизм ее перемещения.

Главным критерием оценки качества параметров ТП выступает коэффициент отражения напыляемого материала. Однако сложность температурных измерений связана с экранированием зоны взаимодействия плазменным факелом, поэтому измеряем температуру плазмы яркостным, спектральным пирометром с поляризационной фильтрацией и проводим расчет среднemasовой температуры плазмы.

Литература

1. Д.И. Исрафилов. Дисс. канд. тех. наук, КамПИ, Набережные Челны, 2007. 141 с.
2. L.A. Simonova, D. Israphilov, M. Chernova and A.Nugumanova, WASJ, 23, 7, 926-929 (2013)
3. L.A. Simonova, D. Israphilov, M. Chernova and A.Nugumanova, WASJ, 23, 7, 930-934 (2013)
4. И.Х. Исрафилов, В.В. Звездин, А.И. Нугуманова, Р.С. Файрузов, Д.И. Исрафилов, Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2, 86-88 (2007)
5. Л. А. Симонова, С. Ю. Юрасов, К. В. Симонова. Оборудование автоматизированного производства. Камская гос. инженерно-экономическая акад., Набережные Челны, 2011. 160 с.
6. Ю.И. Топчеев. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования: Учеб. пособие для втузов. Машиностроение, Москва, 1989.
7. Д.Р. Фархутдинова, Л.Н. Абуталипова. Вестник Казанского технологического университета, 20, 315-317 (2013)
8. А.Н. Титов, Н.К. Нуриев, Р.Ф. Тазиева. Вестник Казанского технологического университета, 19, 324-331 (2013)
9. А.Т. Галиакбаров. Дисс. канд. тех. наук, КамПИ, Набережные Челны, 2006. 125 с.
10. Д.А. Башмаков. Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация, 2, 10-14 (2010)
11. А.И. Сайфутдинов, Б.А. Тимеркаев. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2, 109-114 (2011)
12. Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. Машиностроение, Москва, 304с.

© **И. Ш. Абдуллин** - д.т.н., проф., зав. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ; **И. Х. Исрафилов** - проф., зав. отделением «Энергетика и информатизация», Набережно-челнинский институт К(П)ФУ, IHIIsrafilov@kpfu.ru; **Л. А. Симонова** - проф., зам. дир. того же вуза, lasimonova@mail.ru; **Д. И. Исрафилов** – доц. каф. высокоэнергетических процессов и агрегатов того же вуза, DIIsrafilov@kpfu.ru; **М. А. Чернова** – инж. каф. автоматизации управления того же вуза, smilby@mail.ru.