

4. **Галанин М.П., Попов Ю. И.** Квазистационарные электромагнитные поля в неоднородных средах: Математическое моделирование. – М.: Наука. – 1995. – 320 с.
5. **Тихонов Д.Ю.** Комбинированный метод расчета нестационарных плоскопараллельных электромагнитных полей / Д.Ю. Тихонов, А.Н. Ткачев, Й. Центнер // Известия вузов. Электромеханика. – 2002. – №4. – С. 39-48.
6. **Жильцов А.В.** Двумерная интегро-дифференциальная модель для расчета вихревых токов в системе кристаллизатор – индукционный перемешиватель с нелинейным массивным магнитопроводом // Электронное моделирование. – 2007. т. 29. – № 6. – С. 37-46.
7. **Толмачев С.Т.** Интегральные уравнения для расчета нестационарного электромагнитного поля / С.Т. Толмачев, А.В. Ильченко, В.А. Власенко // Вісник Криворізького національного університету. – 2012 – Випуск 30. – С. 161-165.
8. **Толмачев С.Т.** Специальные методы решения задач магнитостатики. – К.: Вища школа, 1983. – 166 с.
9. **Корн Г.** Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
10. **Толмачев С.Т.** Применение обобщенных аналитических функций для исследования статических полей / С.Т. Толмачев, А.В. Ильченко, С.Л. Бондаревский // Вісник Криворізького технічного університету. – 2007. – Випуск 17. – С. 133-138.

Рукопись поступила в редакцию 19.02.13

УДК 621.771.2-52

В.И. БОЙКО*, д-р техн. наук, проф., И.А. АЛЕКСЕЕВ, канд. техн. наук, доц.
В.О. УСТИМЕНКО, ассистент, Ю.Ю. СОЛОМКА, студент
ГВУЗ «Днепродзержинский государственный технический университет»

АДАПТИВНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАКАТКИ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ

Рассмотрена структура и основные принципы построения адаптивной комбинированной системы управления процессом валковой накатки медицинских цилиндрических профилей повышенной точности. Приведены результаты экспериментального подтверждения эффективности применения предлагаемой системы управления.

Современная номенклатура осесимметричных цилиндрических и резьбовых профилей используемых при изготовлении ортопедического оборудования предъявляет повышенные требования к точности, прочности, износостойкости и шероховатости рабочей поверхности. Одним из наиболее универсальных, позволяющим в большинстве случаев сократить количество операций по обработке поверхности является метод поперечно-профильной накатки [1].

На территории Украины распространение получили универсальные профиленкатные машины серии UPWS (Германия) и их аналоги производства ближнего и дальнего зарубежья (Россия, Швейцария, Япония и т.д.) позволяющие реализовать данный метод формообразования. Совмещение задач скоростного перемещения и точного позиционирования в системе управления приводом подвижного суппорта реализованной в машинах указанного типа, является антагонистичным и не позволяет, без организации дополнительных процедур управления, обеспечить возросшие требования к механическим и геометрическим параметрам накатываемого профиля.

Устранение данного недостатка требует разработки системы управления формообразованием с использованием принципов адаптации (самоприспособления). Структурная схема системы показана на рис. 1.

Для управления процессом формообразования используются следующие датчики технологической информации:

1. ДД - датчик давления рабочей жидкости в полости гидравлической системы привода подвижного инструмента;
2. ДП - датчик перемещения подвижного суппорта в ходе формообразования;
3. ДС - датчик электрического сопротивления очага деформации;
4. ДТ - датчик температуры накатного инструмента.

Исполнительным механизмом является гидравлический привод подвижного инструмента с соответствующими электросиловыми цепями управления и таймером накатки.

Управление обеспечивается следующими пятью контурами регулирования:

1. Основной контур регулирования по текущему отклонению величины рабочего зазора (с полосой пропускания 0-5 Гц).

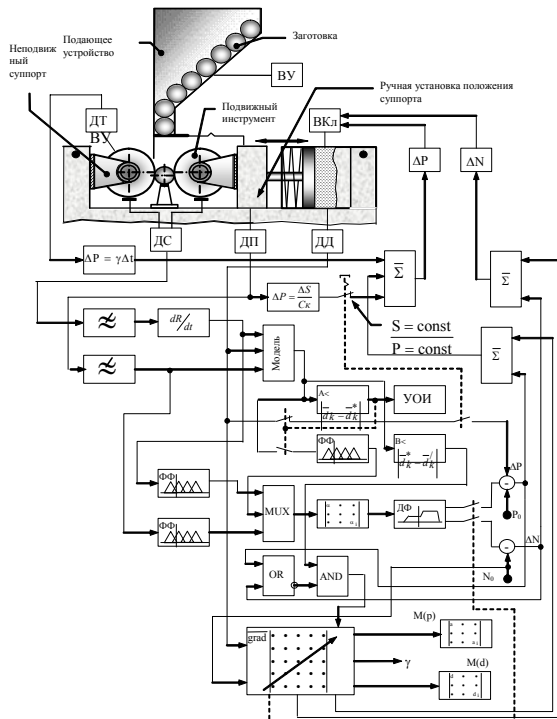


Рис. 1

2. Разомкнутый контур регулирования по возмущению (нагреву и износу инструмента).

3. Контур регулирования по отклонению давления рабочей жидкости в полости гидроцилиндра.

4. Нечеткий регулятор управления.

5. Контур адаптации базы правил нечеткого регулятора.

Основной контур предназначен для компенсации изменений прокатного зазора, появляющихся при накатке профиля под влиянием входной разнотолщинности.

В этом контуре текущее значение зазора сравнивается с базисным и пропорционально полученной разности вычисляется управляющее воздействие

$$S_{p1} = \gamma_1 \cdot (S_{от} - S_{об}), \quad (1)$$

где базисное значение $S_{об}$ определяется как

$$S_b = \begin{cases} S_b(i-1) + \frac{1}{i} (\bar{S}_i - S_b(i-1)) \text{ при } i < 10 \\ S_{b(9)} + \frac{1}{10} (\bar{S}_{(10)} - S_{b(9)}) \text{ при } i \geq 10 \end{cases} \quad (2)$$

Значение S_b определяется после накатки десяти профилей на заготовках с одинаковым средним диаметром, с полем допуска соответствующему классу резьбы, затем принимается постоянным при накатке данной партии.

Коэффициент γ_1 устанавливается опытным путем и уточняется в ходе накатки в контуре адаптации.

Разомкнутый контур регулирования по возмущению предназначен для компенсаций изменений прокатного зазора, происходящего под влиянием нагрева и износа инструмента. Регулирующее воздействие S_{p2} в этом контуре определяется как сумма постоянной и переменной во времени составляющих

$$S_{p2} = S_{p2const} + K_{S_{p2}} t, \quad (3)$$

где S_{p2} - первая составляющая обусловлена закономерностью износа инструмента, а вторая нагревом инструмента в ходе формообразования.

Контур регулирования по отклонению давления рабочей жидкости в полости гидроцилиндра предназначен для стабилизации усилия прижима подвижного инструмента в горизонтальной плоскости, в случае применения специфических методов повышения точности профиля непосредственно после накатки или без проведения процедуры выдавливания профиля. К ним относятся калибровка, выглаживание, балансировка относительно центральной оси заготовки (для стоматологического инструмента). Управляющее воздействие определяется из выражения

$$S_{p3} = P_b - P_t, \text{ где } P_b = const \quad (4)$$

Нечеткий регулятор предназначен для определения управляющих воздействий на основании нечетких оценок состояния объекта управления, с использованием лингвистической базы знаний.

Входные лингвистические переменные:

RE - изменение активного сопротивления очага деформации;

SE - изменение координаты положения подвижного суппорта.

Выходные лингвистические переменные:

HP - изменение усилия прижима подвижного суппорта;

HN - изменение количества циклов нагружения.

Значения лингвистических переменных:

NB - отрицательное большое;

NM- отрицательное среднее;

- NS- отрицательное малое;
- NO- отрицательное близкое к нулю;
- ZO- близкое к нулю;
- PO - положительное близкое к нулю;
- PS - положительное малое;
- PM - положительное среднее;
- PB - положительное большое.

Отрицательно большое и положительно большое отклонение положение суппорта и электрического сопротивления очага деформации от базовых значений соответствуют границам -20% и +20% соответственно.

Управляющие правила, связывающие лингвистические значения входных и выходных переменных, имеют вид: „Если изменение сопротивления очага деформации = A_i и, если изменение координаты положения подвижного суппорта = B_i , то изменение усилия прижима суппорта равно C_i а изменение количества циклов нагружения равно D_i ”, где A_i, B_i, C_i, D_i - лингвистические значения.

Работа нечеткого регулятора возможна только после синтеза математической модели, позволяющей прогнозировать параметры накатываемого профиля на основании нечетких оценок величины перемещения суппорта и электрического сопротивления очага деформации. Обучение происходит как в режиме стабилизации рабочего зазора между накатными роликами, так и при стабилизации усилия прижима инструмента.

В соответствие матрице возможных состояний процесса формообразования (рис. 2), ставится матрица управления (база правил).

Контур адаптации предназначен для уточнения величин управляющих воздействий с учетом изменения технологических характеристик объекта управления, а также определения оптимального управления согласно выбранного критерия качества протекания процесса формообразования.

На начальном этапе функционирования делаются следующие допущения.

1. Система подкат-прокатная клеть в пространстве состояний Ω может занимать конечное число позиций $\Omega = \langle \omega_i \rangle, i = \overline{1, n}, n \neq \infty$ [2].
2. Существует такое состояние $\omega_i = \Omega$, которое соответствует оптимальному с точки зрения выбранного критерия управления.

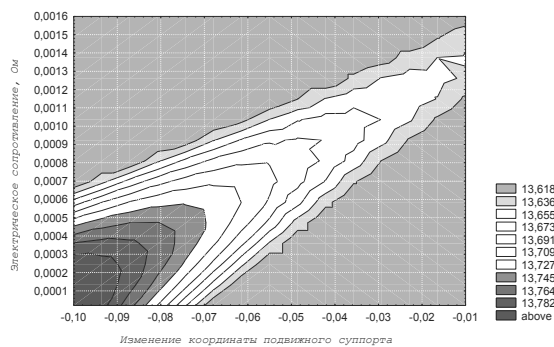


Рис. 2

На основании указанных допущений производится следующая постановка задачи:

1. Задается вектор оценок процесса формообразования $X_i = \langle x_{ij} \rangle, x_{ij} \in E_m, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ однозначно соответствующий вектору K_i в любом из состояний системы $\omega_i = \Omega$.
2. Назначается вектор ограничений по величине каждого из показателей качества функционирования системы (минимальное значение величины наружного диаметра профиля и приращение электрического сопротивления очага деформации) $X_o = \langle x_{oj} \rangle, x_{oj} \in E_m, j = \overline{1, m}$.
3. Оценки $x_{ij} \in E_m$ положительно ориентируются (максимизируются), т.е. для системы требуется, чтобы $x_{ij} \geq x_{oj}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$.

Если предположить, что каждое из состояний $\omega_i = \Omega$ потенциально достижимо и в каждом из них система характеризуется конечным вектором показателей качества $K = \langle k_j \rangle, j = \overline{1, m}$, чему однозначно соответствует вектор оценок $X = \langle x_j \rangle, j = \overline{1, m}$, компоненты которого образуют m -мерное пространство E_m , то задача поиска оптимального режима функционирования системы в конечном итоге сводится к задаче оптимального выбора в пространстве E_m .

Если $f(X_i)$ произвольная функция, удовлетворяющая принципам целевого предназначения системы, то задача выбора оптимального функционирования системы состоит в получении такого $X_i \in E_m$, при котором

$$X_{opt} = \text{extr}f(X_i), i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

$$\forall x_{ij} \in X_i : x_{ij} \geq x_{0j}, j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Следовательно, задача оптимального выбора требует определения параметров системы, при которых максимизируются все оценки вектора показателей качества функционирования системы, причем на столько, чтобы они в итоге привели к экстремальному значению $f(X_i)$ и оказались, как минимум, не хуже предъявленных к ним требований.

Обобщенный мультипликативный критерий управления представлен в следующем виде [3], где $d_{k_{ij}}$ - среднее по выборке значение наружного диаметра накатанной резьбы при реализации выбранных управляющих воздействий, «доход»; $d_{u_{\min}}$ - минимально допустимое значение наружного диаметра; p_{ij} - вероятность получения значения $d_{k_{ij}}$ при выбранных параметрах формообразования.

$$\overline{[I]} = \begin{bmatrix} \overline{d}_{k_{11}}^* \cdot p_{11} & \overline{d}_{k_{12}}^* \cdot p_{12} & \dots & \overline{d}_{k_{1j}}^* \cdot p_{1j} \\ \overline{d}_{k_{21}}^* \cdot p_{21} & \overline{d}_{k_{22}}^* \cdot p_{22} & \dots & \overline{d}_{k_{2j}}^* \cdot p_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \overline{d}_{k_{i1}}^* \cdot p_{i1} & \overline{d}_{k_{i2}}^* \cdot p_{i2} & \dots & \overline{d}_{k_{ij}}^* \cdot p_{ij} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\overline{d}_{k_{ij}}^* = (\overline{d}_{k_{ij}} - d_{u_{\min}}) \geq 0$$

Оптимальное управление соответствует функционированию системы в областях максимально возможных значений достигаемых обобщенным критерием, что является следствием максимизации наружного диаметра накатываемого профиля и вероятности его получения при выбранных параметрах процесса накатки.

Контур функционирует следующим образом. На начальной стадии с одинаковыми вероятностями (равными $1/k$) выбираются все управления u_1, \dots, u_k (усилие прижима инструмента и количество циклов нагружения заготовки) и по мере эволюции фиксируются совершаемые переходы $s \rightarrow s''$ и значения получаемых доходов ζ (косвенная оценка величины наружного диаметра профиля). По этой информации подсчитываются оценки: 1) вероятностей переходов, которые являются частотами

$$p_{ij}^{\vee}(u_i, t) = \frac{N_{ijl}(t)}{N_{il}(t)}, \quad N_{il}(t) = \sum_{j=1}^m N_{ijl}(t) \quad (8)$$

где $N_{ijl}(t)$ есть число переходов к моменту t из состояния s_i в s_j при управлении u_i ; 2) средних доходов

$$\overline{r}_{ij}(t) = \overline{r}(s_i, u_i, t) = \frac{1}{N_{ij}(t)} \sum_{h=1}^{N_{ij}(t)} x_h^{(i,t)}, \quad (9)$$

где $x_h^{(i,t)}$ означает величину дохода при h -м выходе из состояния s_i под действием управления u_i .

Оценки $p_{ij}^{\vee}(l, t)$ и $\overline{r}_{il}(t)$ являются состоятельными, т.е. при выполнении условия $\lim_{t \rightarrow \infty} N_{ijl}(t) = \infty$ они сходятся к истинным значениям оцениваемых параметров с заданной точностью. Полученные матрицы вероятности переходов и соответствующих им значений наружного диаметра профиля и величины приращения электрического сопротивления очага деформации автоматически заносятся в память компьютера и используются для уточнения базы правил нечеткого регулятора.

На рис. 3 приведенные гистограммы распределения величины наружного диаметра для различных режимов функционирования системы управления при накатывании резьбы М14×1,25 с длиной профиля $l=22$ мм, материал заготовки Ст.30, профиленакатная машина типа UPWS-16.

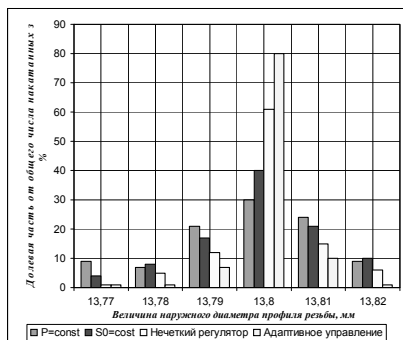


Рис. 3

Вывод. Получение профилей повышенной точности (6г и выше) для ортопедического оборудования на универсальных профиленакатных полуавтоматах, необходимо осуществлять при условии использования комбинированных адаптивных систем управления.

Список литературы

1. **Бойко В.И.** Оптимальное управление прокаткой профилей. – Днепродзержинск, ДДТУ, 1996. -272 с.
2. **Сницаренко П.Н.** Об одном подходе к решению задачи оптимизации в многокритериальном пространстве // Электронное моделирование. - 2001. –Т.23.№25.- С.60-66.
3. **Бойко В.И., Багрий В.В.** Альтернативные стратегии управления агрегатно-модульными комплексами. –Днепродзержинск, ДДТУ, 1999. -202 с.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.13

УДК 622.538

В.И. БОЙКО, д-р техн. наук, проф., С.А. ДРОН, ассистент, А.Т. НЕЛЬГА, ст. викладач, Р.В. ТИМОНОВ, студент, ГВУЗ "Дніпродзержинський державний технічний університет"

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПЛЮЩЕННЯ З УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОМІРНОСТІ ТЕМПУ

Час плющення полягає суми машинного часу головного приводу і часу паузи між пропусками. Головним є режим обтискань, а слідством витяг смуги. Оптимальний розподіл обтискань отриманий на підставі рішення задачі динамічного програмування.

Проблема і її зв'язок з практичними завданнями. Розподіл обтискань нелінійний спочатку велике, а потім менше. Грубо, в першому наближенні, це експонента з постійною часу. Умовно можна виділити три режими.

У першому відбувається значне переміщення нажимного механізму. Шлях визначається площею під кривою зміни швидкості (розгін, сталий режим, гальмування) і впливає на час переміщення. Час плющення малий, а паузи велике. Робота нажимного пристрою починається тоді, коли до закінчення процесу плющення в поточному пропуску ще залишається час.

У другому ці складові приблизно однакові і можливий мінімум сумарних витрат за рахунок нелінійності.

У третьому періоді час плющення значно перевищує час паузи, спостерігається зростання сумарних витрат часу.

Шлях переміщення верхнього валка це половина твору часу переміщення на значення максимально досяжної швидкості, визначуваної прискоренням і уповільненням, при трикутному графіку роботи. При постійних динамічних параметрах виходить нелінійна прямо-пропорційна квадратична залежність між переміщенням і часом. Тому час виходить витяганням квадратного кореня з твору обтискання на постійний коефіцієнт.

На сучасному етапі автоматизація систем управління виробництвом є необхідній у зв'язку з підвищеними вимогами до часу і якості регулювання процесів і необхідністю контролю за вихідними параметрами для їх обліку і отримання за допомогою цих даних балі якісної продукції.

Стосовно реверсивних станів універсального типу, великим числом контрольованих параметрів і дій, що управляють, що характеризується, високою швидкістю протікання технологічного процесу, широким асортиментом прокату, що випускається, а також, на основі вимог, що пред'являються до прокатного стану, раціональний об'єм автоматизації доцільно проводити на рівні створення АСУТП точного плющення.

Створена система управління точним плющенням на універсальному стані ДМКД забезпечує корекцію положення верхнього валка на останній пропуск у функції виміру темпе-