

СПОСОБ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧАМИ КОПИРОВАЛЬНЫХ ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКОВ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В.И. Малыгин, Ф.В. Черепенин,
С.М. Сковпень, Н.В. Лобанов, Д.А. Ульяничев

Предложен способ цифрового управления, при котором на основе исходного чертежа обрабатываемой детали создается цифровая модель ее профиля, состоящего из координат множества элементарных отрезков, и в дальнейшем используется для формирования сигналов управления, обеспечивающих последовательное движение рабочего органа станка по всем элементарным отрезкам. При этом в процессе обработки на каждом элементарном отрезке дополнительно осуществляется автоматическое слежение траектории движения резца за положением линии отрезка. Рассмотрены несколько методов слежения и обоснован выбор оптимального метода управления траекторией движения резца. Установлено, что эффективность применения разработанных цифровых методов управления близка к эффективности применения различных интерполяторов на станках с автономными электроприводами для каждой координатной оси. Разработанные цифровые методы позволяют повысить качество обработки поверхности изделий и расширить функциональные возможности станков.

Ключевые слова: одноприводной станок, электромагнитная муфта, методы управления, траектория движения, автоматическое слежение, элементарный отрезок.

Введение

В тяжелом машиностроении, в том числе в судостроении, широко используется технологическое оборудование с одним главным электроприводом и автоматической коробкой управления подачами по нескольким координатным осям с электромагнитными муфтами (ЭМ). Технологическое оборудование, созданное в 70-е–80-е годы прошлого века, не отвечает современным требованиям производства и требует модернизации и замены устаревших систем управления новыми цифровыми системами, обеспечивающими хорошую совместимость с современными информационными технологиями [1]. К такому оборудованию, в частности, относятся токарно-карусельные станки (ТКС) моделей 1525, 1512, 1516, 1Л532, КУ-321 и т.д., глубокая модернизация которых с заменой приводов и всей кинематической схемы [2] требует больших материальных затрат и длительного вывода оборудования из производственного цикла. В связи с этим модернизация ТКС, связанная с заменой только

системы управления, во многих случаях является целесообразной [3] и практически не требует их вывода из производственного цикла.

Состояние проблемы

При обработке сложнопрофильных крупногабаритных деталей на ТКС [4] используются электромеханические копировальные устройства, которые имеют по 3 – 5 пар контактов, замыкающихся в зависимости от давления на подвижный шток электрощупа, движущегося по поверхности копира. Траектория движения резца в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 1, а.

Принцип слежения за профилем обрабатываемой детали с использованием жесткого копира заключается в следующем. Перед началом обработки оператор выбирает одну из восьми схем копирования (гистограмму), которая зависит от формы профиля, угла наклона обрабатываемого участка, направления движения режущего инструмента, последовательности выполнения

операций обработки и т.д. Затем при настройке электрошупа с помощью специальных микро-винтов оператор устанавливает требуемую глубину резания t , задает скорость подачи S_z , устанавливает резец в точку касания A и дает команду «Пуск».

По оси ведущей подачи (в данном случае оси X) происходит заглубление резца до заданной глубины резания, при достижении которой (точка 1 на траектории) давление на подвижный шток электрошупа увеличивается. Шток перемещается и замыкает следующую пару контактов, которые включают электромагнитную муфту следящей подачи по оси Z , после чего начинается отвод резца под углом 45° , который продолжается до точки 2. При достижении этой точки давление на подвижный шток снижается, размыкаются контакты электрошупа и включается ведущая подача. Затем вновь осуществляется заглубление до точки 3 и т.д. Таким образом обеспечивается автоматическое слежение за профилем.

Использование жестких копиров с электро-механическими системами слежения за профилем имеет целый ряд недостатков и не отвечает современным требованиям по точности и качеству обработанной поверхности [5], а также не позволяет использовать современные информационные технологии. В связи с этим при модернизации подобных копировальных ТКС предлагается использовать цифровые модели и современные устройства числового программного управления (УЧПУ) с разработкой новых способов управления с автоматическим слежением за профилем. В данной работе рассматриваются результаты разработки цифрового способа импульсного управления копировальными ТКС.

Способ импульсного управления

Суть предлагаемого способа импульсного управления копировальными ТКС с асинхронным электроприводом и автоматической коробкой управления подачами по осям с ЭМ заключается в следующем.

На основе исходного чертежа детали вместо жесткого копира создается цифровая модель теоретического профиля обрабатываемой детали. При этом профиль детали произвольной формы (см. рис. 1, б) разбивается на большое число n последовательно сопрягаемых элементарных отрезков. Каждый i -й отрезок задается начальной и конечной точками в системе декартовых координат (X_{ni}, Z_{ni}) и (X_{ki}, Z_{ki}) соответственно, которые и образуют исходную матрицу цифровой модели. Шаги разбиения профиля на отрезки могут быть различными и зависят от кривизны поверхности и требований к качеству ее обработки. С увеличением кривизны должно увеличиваться и число элементарных отрезков.

Цифровая модель профиля обрабатываемой детали вводится в память УЧПУ и используется специально разработанной управляющей программой для формирования сигналов управления, обеспечивающих последовательное движение рабочего органа станка по всем элементарным отрезкам обрабатываемого участка. При этом на каждом i -м отрезке определяется величина рассогласования между координатами (X_{ki}, Z_{ki}) исходной матрицы цифровой модели и текущими координатами $(X_{теки}, Z_{теки})$ резца, поступающими в УЧПУ с высокоточных линейных датчиков обратной связи (энкодеров):

$$\Delta X_i = X_{ki} - X_{теки};$$

$$\Delta Z_i = Z_{ki} - Z_{теки}.$$

В соответствии с этими сигналами рассогла-

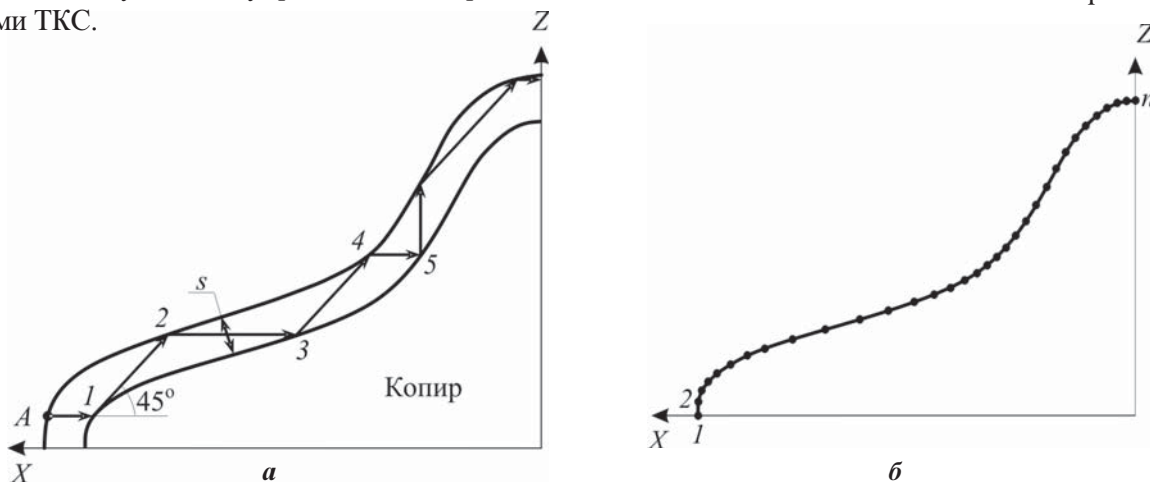


Рис. 1. Принцип слежения за профилем обрабатываемой детали с использованием жесткого копира (а) и цифровая модель профиля обрабатываемой детали (б)

сования и обеспечивается точный выход резца в координаты исходной матрицы цифровой модели.

В зависимости от угла наклона каждого элементарного отрезка

$$\alpha_i = \arctg \frac{Z_{ki} - Z_{ni}}{X_{ki} - X_{ni}}$$

автоматически выбирается один из восьми секторов обработки (аналогично одной из восьми гистограмм при использовании жестких копиров), внутри которого однозначно задается направление движения оси ведущей подачи (ВП) и следящей подачи (СП).

Траектория движения резца внутри каждого элементарного отрезка задается программой путем формирования управляющих импульсов, поступающих на соответствующие электромагнитные муфты управления (ЭМУ) подачами по осям X и Z . При этом ЭМУ ВП включена постоянно и обеспечивает движение резца с постоянной заданной скоростью подачи S_3 , а ЭМУ СП включается и выключается периодически, в зависимости от величины рассогласования между координатами резца и положением отрезка. Таким образом УЧПУ обеспечивает режим автоматического слежения за исходной линией отрезка профиля обрабатываемой детали.

Разработка и выбор оптимального способа импульсного управления траекторией движения резца внутри каждого элементарного отрезка является наиболее интересной задачей в реализации систем программного управления ТКС с асинхронным электроприводом и ЭМУ осями.

Возможные варианты движения резца внутри элементарного отрезка показаны на рис. 2. Для станков с отдельными электроприводами по каждой оси переход резца из точки a в точку b можно задать по любой требуемой траектории, используя различные типы интерполяторов (линейные, круговые и т.д.), так как можно отдельно задавать требуемую скорость подачи по каждой оси.

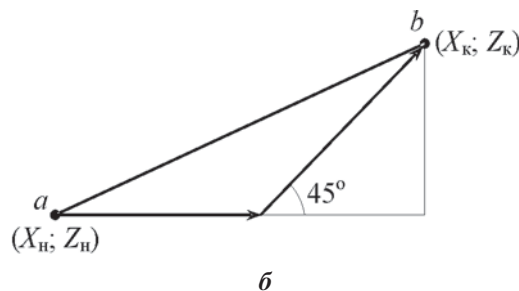
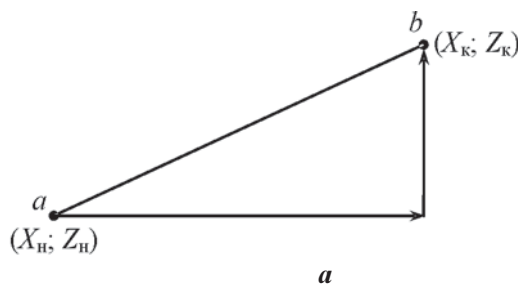


Рис. 2. Простейшие траектории движения резца без слежения за положением отрезка при раздельном (а) и совместном (б) управлении подачами по осям

В ТКС с асинхронным электроприводом и ЭМУ применение интерполяторов невозможно, так как скорости подачи по обеим осям будут одинаковыми. В связи с этим траектория движения резца может быть двух видов (см. рис. 2). При совместном управлении осями (см. рис. 2, б) вначале работает только ВП (ось X), а затем при достижении координаты $X_{\text{вп}} = X_{\text{к}} - Z_{\text{к}}$ включается СП (по оси Z) и движение резца осуществляется под углом 45° до прихода в точку b . Такой способ управления неприемлем, так как не позволяет получать хорошее качество обработки поверхности и требует разбиения профиля на большее число отрезков.

В связи с изложенным целесообразно при движении резца внутри каждого отрезка ввести дополнительно автоматическое слежение за положением отрезка. При этом возможны два варианта траектории движения резца – при раздельном и совместном управлении осями, которые показаны на рис. 3. На рис. 3 также изображены временные диаграммы формируемых сигналов управления u_y , поступающих на соответствующие ЭМУ (импульсы, поступающие на тормозные муфты сразу после выключения подачи, на рис. 3 не показаны).

При использовании данного способа оператор задает глубину резания t и ширину зоны (трубку) слежения δ , величина которой может быть достаточно малой (1 – 100 мкм).

Рассмотрим особенности траектории движения резца от начальной точки a до конечной точки b вдоль линии отрезка с углом наклона $\alpha_i \approx 30^\circ$ при раздельном управлении подачами по осям (см. рис. 3, а). После команды «Пуск» формируется сигнал управления $u_{y,x}$, который подается на ЭМУ оси X , при этом включается подача и начинается заглубление резца от точки касания до начальной координаты отрезка (точка a). Затем подача по оси X отключается (с одновременным включением на короткое время тормозной муфты) и включается подача по оси

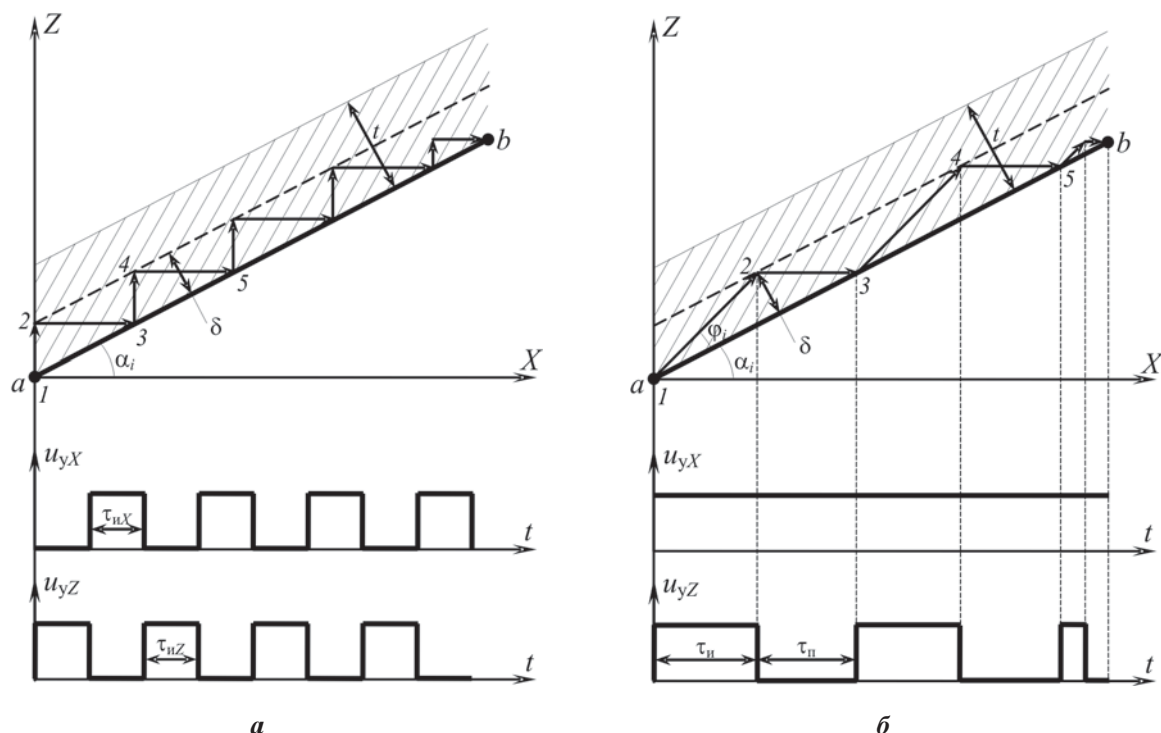


Рис. 3. Траектория движения резца с использованием слежения за положением отрезка при раздельном (а) и совместном (б) подачами по осям

Z. В процессе движения резца программой (с заданной точностью) определяется точка пересечения оси Z с линией зоны слежения (точка 2).

При условии

$$\Delta Z = \frac{\delta}{\sin \alpha_i} - Z_{\text{тек}} \leq \Delta Z_{\text{зад}}$$

снимается сигнал управления с ЭМУ оси Z (с одновременным включением на короткое время тормозной муфты) и, следовательно, с определенным упреждением отключается подача. При этом за счет выбега при торможении резец устанавливается в точку 2. Одновременно подается сигнал управления на включение подачи по оси X. В процессе движения резца по оси X аналогично определяются точка пересечения этой оси с линией исходного отрезка (точка 3) и величина отклонения ΔX , которая должна подчиняться условию

$$\Delta X = \frac{\delta}{\sin \alpha_i} - X_{\text{тек}} \leq \Delta X_{\text{зад}}.$$

При выполнении этого условия подача по оси X выключается с торможением и вновь включается подача по оси Z и т.д.

Таким образом, при раздельном управлении подачами по осям система управления формирует импульсы u_y с определенной частотой и длительностью $t_{\text{и}} = f(S_3, \alpha_i, \delta, \tau_{\text{эм}})$, зависящей от

заданной скорости подачи S_3 , угла наклона элементарного отрезка α_i , ширины трубки слежения δ , постоянной времени ЭМУ $\tau_{\text{эм}}$, величины выбега привода по осям X и Z и т.д. Величина выбега в свою очередь зависит от динамических характеристик электромагнитных муфт и приводов подач, учитывать которые в каждом конкретном случае затруднительно [6–8]. В связи с этим в предлагаемом способе слежения выбег учитывается программой при задавании допустимых величин отклонения: $\Delta X_{\text{зад}} \approx X_{\text{выб}}$ и $\Delta Z_{\text{зад}} \approx Z_{\text{выб}}$, которые определяются экспериментально с учетом конкретных динамических характеристик ЭМУ и технического состояния привода подач по осям X и Z. При этом выключение ЭМ производится с заданным упреждением $\Delta X_{\text{зад}}$ и $\Delta Z_{\text{зад}}$ так, чтобы за счет выбега при торможении резец устанавливался в заданную координату.

Основными недостатками рассмотренного способа слежения с раздельным управлением подачами по осям являются:

- сравнительно высокая шероховатость обработанной поверхности, которая определяется в основном величинами α_i и δ ;
- ухудшение динамики работы приводов подач по осям X и Z в связи с периодическим включением и отключением электромагнитных

муфт, причем частота переключений зависит от величин S_3 , α_i и δ ;

- возможны перебеги при больших значениях скорости подачи S_3 и, как следствие, пропуски отдельных циклов слежения, что негативно сказывается на качестве обработки поверхности.

При использовании совместного управления подачами по осям X и Z (см. рис. 3, б) указанные недостатки проявляются в меньшей степени, в результате чего повышается качество обработки поверхности. ВП и СП однозначно определяют углом наклона отрезка α_i . При $\alpha_i < 45^\circ$ ведущей является подача по оси X (ВП $_X$), а следящей – подача по оси Z (СП $_Z$); при $\alpha_i > 45^\circ$ наоборот – ведущей будет подача по оси Z (ВП $_Z$), а следящей – подача по оси X (СП $_X$). Чередувание ВП и СП происходит во всех восьми секторах обработки. При $\alpha_i = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ или 315° работают одновременно обе подачи с одинаковой скоростью, и резец перемещается в плоскости резания под углом, кратным 45° .

Основная особенность данного способа заключается в том, что ВП работает непрерывно, при этом на ЭМУ, которая управляет подачей по этой оси, подается постоянное напряжение $U_n = 24$ В и резец перемещается с постоянной заданной скоростью подачи S_3 , а СП включается и выключается периодически в расчетных точках 1, 2, 3 и т.д. При этом на ЭМУ, которая управляет подачей по этой оси, подаются сигналы управления $u_{y(СП)}$ с частотой

$$f_{СП} = \frac{1}{\tau_n + \tau_{\text{н}}},$$

где τ_n , $\tau_{\text{н}}$ – длительности включенного и выключенного состояния СП.

Координаты расчетных точек определяют точками пересечения траектории движения резца с исходной линией обрабатываемого отрезка (точки 1, 3, 5 и т.д.) и с линией зоны слежения (точки 2, 4, 6 и т.д.), которая проходит параллельно исходной на расстоянии заданной ширины зоны слежения δ .

Как видно из рис. 3, б, такой способ импульсного управления СП обеспечивает более плавную траекторию движения резца вдоль линии обрабатываемого отрезка (угол перехода от точки к точке – около 135° вместо угла 90° в предыдущем способе) и, следовательно, улучшается качество обработки поверхности. Кроме того, увеличивается длительность работы СП

по сравнению с предыдущим способом, что улучшает динамику работы привода по осям X и Z .

Длительность формируемых импульсов управления τ_n в общем случае зависит от многих факторов: заданной оператором скорости подачи S_3 , угла наклона отрезка α_i , ширины трубки слежения δ , электромагнитных постоянных ЭМУ и привода СП и др.

Функциональную связь между длительностью τ_n и указанными факторами можно получить, рассмотрев траекторию движения резца в зоне слежения (треугольник, образованный точками 1, 2 и 3). При известных (заданных) значениях скорости подачи S_3 , угла α_i и ширины δ получим:

$$\tau_n = \frac{d_{12}}{S_3} = \frac{\delta}{S_3 \sin(45^\circ - \alpha_i)};$$

$$\tau_n = \frac{d_{23}}{S_3} = \frac{\delta}{S_3 \sin \alpha_i},$$

где $d_{12} = \delta / \sin \varphi_i = \delta / \sin (45^\circ - \alpha_i)$ – перемещение резца между точками 1 и 2 за время τ_n ; $d_{23} = \delta / \sin \alpha_i$ – перемещение резца между точками 2 и 3 за время τ_n .

Например, при $\alpha_i = 30^\circ$, $\delta = 10$ мкм и $S_3 = 11$ мм/мин = 0,183 мм/с получим: $\tau_n = 0,211$ с; $\tau_{\text{н}} = 0,11$ с; частота $f_{СП} = 3,125$ Гц. Анализируя вышеприведенные зависимости, видим, что с увеличением угла α_i длительность τ_n увеличивается, а длительность $\tau_{\text{н}}$ уменьшается, изменяется также частота $f_{СП}$ по определенному закону. При этом максимум частоты $f_{СП} = 3,5$ Гц будет при $\alpha_i = 22,5^\circ$, при котором $\tau_n = \tau_{\text{н}} = 0,142$ с. При $\alpha_i = 0^\circ$ $\tau_n \rightarrow \infty$ и $f_{СП} = 0$, СП выключена и резец перемещается по оси X . При $\alpha_i = 45^\circ$, наоборот, $\tau_n \rightarrow \infty$ и $f_{СП} = 0$, СП включена постоянно и работает совместно с ВП, поэтому резец будет перемещаться под углом 45° .

Как показали экспериментальные исследования, такой способ импульсного слежения за линией отрезка дает хорошие результаты и обеспечивает высокую точность и качество обработки поверхности при малых скоростях подачи S_3 . С увеличением величины S_3 из-за сравнительно большого выбега оси СП после снятия сигнала управления наблюдаются перебеги точек пересечения 2, 4, 6 и т.д. и, как следствие, пропуски отдельных циклов слежения, что ухудшает качество обработки поверхности.

Широтно-импульсный режим управления подачами

Для устранения указанного выше недостатка в интервалах времени работы СП (интервал времени τ_n) необходимо ввести дополнительно широтно-импульсный режим (ШИР) регулирования скорости подачи. Траектория движения резца и временные диаграммы сигналов управления показаны на рис. 4.

Рассмотрим основные особенности способа слежения за линией обрабатываемого отрезка с использованием ШИР управления скоростью СП. При использовании данного способа система управления следящей осью формирует импульсы управления $u_{y(СП)}$. При этом первый формирующий импульс должен иметь длительность τ_ϕ , соизмеримую с электромеханической постоянной времени ЭМУ $\tau_{ЭМ}$. За время действия формирующего импульса подача по оси Z должна начать движение и разогнаться до скорости, равной примерно половине заданной скорости

подачи. После этого в работу вступает широтно-импульсный модулятор (ШИМ), который формирует импульсы управления длительностью τ_n с частотой следования $f_{ШИМ} = 1/T_{ШИМ} = \text{const}$. Длительность формируемых импульсов зависит от многих факторов и в значительной степени от особенностей работы конкретного станка и состояния механических узлов привода, учесть которые можно только экспериментально. При малых углах α_i длительность τ_n также мала, при увеличении угла α_i длительность τ_n возрастает и при $\alpha_i \approx 45^\circ$ длительность $\tau_n \approx T_{ШИМ}$. При этом частоту $f_{ШИМ}$ необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечить режим непрерывного тока в обмотке ЭМ. Для рассматриваемой задачи оптимальной можно считать частоту $f_{ШИМ} = 1 \dots 5$ кГц.

Сигнал управления $u_{y(ЭМ)}$, поступающий на ЭМ, вначале соответствует максимальному (форсированному) напряжению $U_\phi = U_n = 24$ В, а затем снижается до среднего

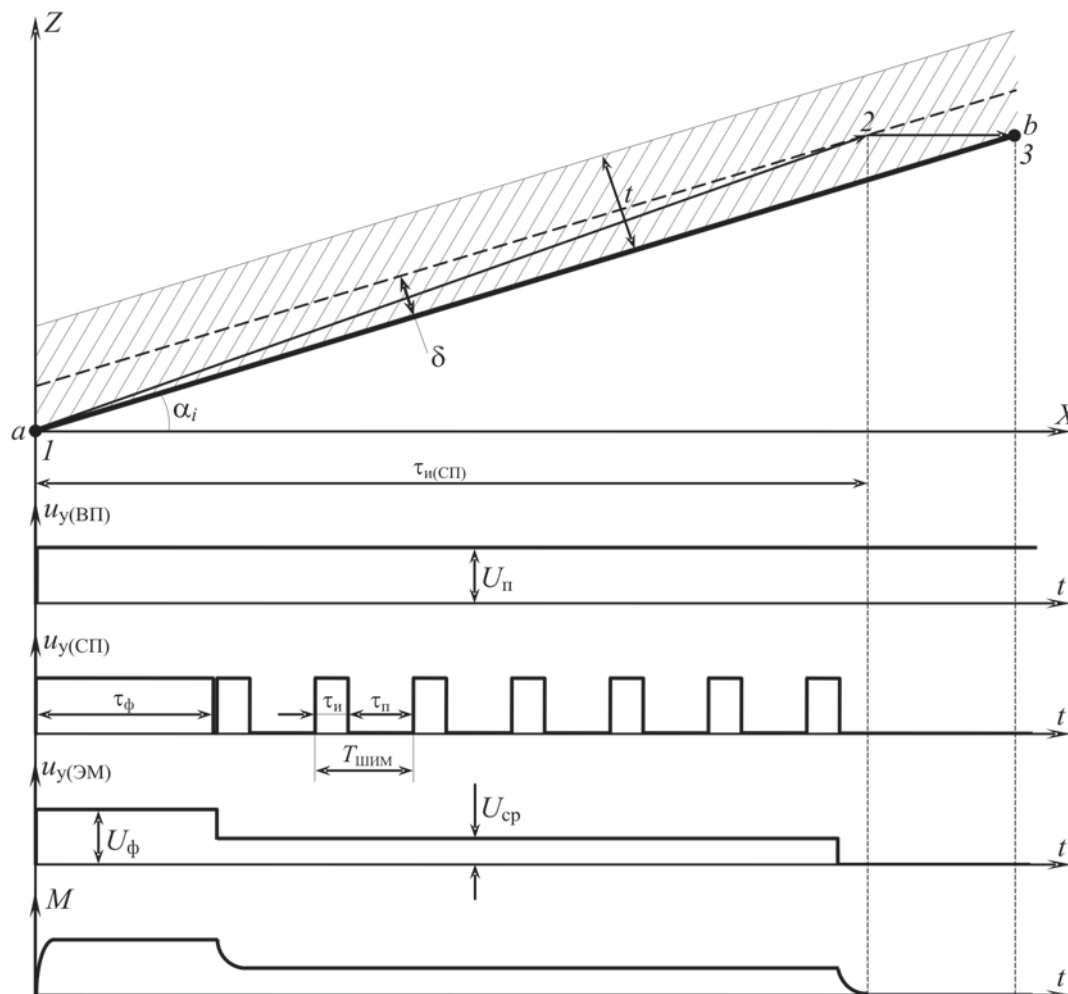


Рис. 4. Траектория движения резца на элементарном отрезке ab и временные диаграммы сигналов управления при использовании ШИР управления скоростью СП

$$U_{cp} = \frac{\tau_{и}}{T_{шим}} U_{п}$$

При этом аналогично изменяются сила тока ЭМУ и момент вращения M , передаваемый на выходной вал СП, поэтому подача по оси Z будет уменьшаться пропорционально уменьшению напряжения U_{cp} . Следовательно, резец будет перемещаться под углом не 45° , как в предыдущем случае, а под меньшим углом, близким к углу наклона отрезка α_i .

Таким образом, предлагаемый способ слежения за линией отрезка с использованием ШИР управления напряжением U_{cp} позволяет регулировать скорость СП и по эффективности приближается к эффективности линейных интерполяторов в станках с автономными электроприводами по каждой оси. При оптимальной зависимости длительности $\tau_{и}$ от различных факторов можно получить траекторию движения резца, близкую к линии обрабатываемого отрезка, а следовательно, и высокое качество обработки поверхности.

Частотно-импульсный режим управления подачами

Недостатком рассмотренного способа является сравнительная сложность его программ-

ной реализации, так как требуется учитывать многие факторы и особенности работы конкретного станка. При этом усложняются алгоритмы и структура управляющей программы за счет введения большого числа дополнительных расчетов. С этой точки зрения более универсальным и простым в реализации представляется способ слежения за положением обрабатываемого отрезка с использованием частотно-импульсного режима (ЧИР) управления средней скоростью СП. Траектория движения резца и временные диаграммы формируемых сигналов управления при использовании ЧИР показаны на рис. 5.

Особенность данного способа слежения за линией отрезка ab заключается в том, что на ЭМУ СП (по оси Z) подаются импульсы напряжения с постоянной минимальной длительностью $\tau_{и} = \text{const}$, которая определяется экспериментально с учетом особенностей динамики работы ЭМУ и технического состояния приводов. Длительность $\tau_{и}$ должна выбираться такой, чтобы за время действия этого импульса ось успела стронуться с места и отойти (отскочить) на минимальное расстояние от линии отрезка (точки 2, 5, 8 и т.д.). При этом сила тока $i_{эм}$ в ЭМ не успевает вырасти до максимальной. В

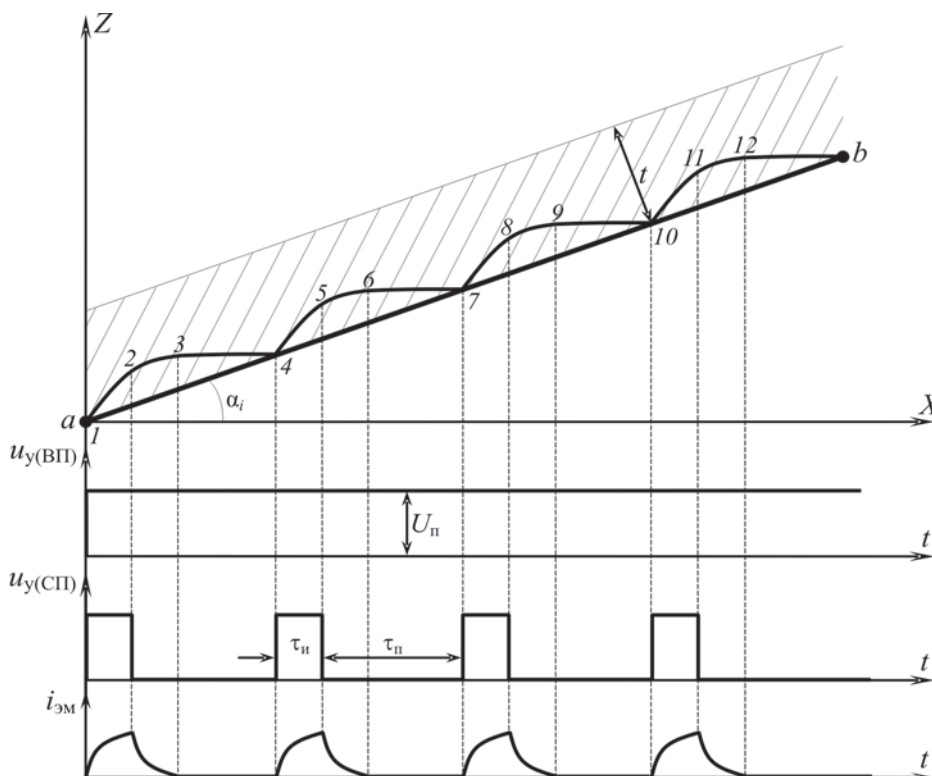


Рис. 5. Траектория движения резца на элементарном отрезке ab и временные диаграммы сигналов управления при использовании ЧИР управления средней скоростью СП ($i_{эм}$ – сила тока в ЭМ)

результате СП отключается с одновременным включением тормозной муфты и после небольшого выбега (интервалы между точками 2–3, 5–6, 8–9, 11–12) останавливается. Ведущая ось продолжает движение с постоянной скоростью подачи S_3 по горизонтали до точки пересечения траектории движения резца с исходной линией отрезка (точки 4, 7, 10 и т.д.). В момент пересечения вновь включается на короткое время τ_n следящая ось и осуществляется очередной отскок и так до конечной точки b обрабатываемого отрезка.

Следует отметить, что в данном случае используются только участок разгона и участок выбега (торможения) оси, где скорость подачи не постоянна и всегда меньше скорости подачи S_3 , поэтому траектория движения резца в отличие от остальных рассмотренных способов слежения за линией отрезка будет сглаженной, что улучшит качество обработки поверхности за счет уменьшения шероховатости. При включенном состоянии СП работает только ВП. При этом на каждом такте длительность τ_n не остается постоянной и также зависит от многих факторов: $\tau_n = f(S_3, \alpha_i, \tau_{эм}, \dots)$. Однако учитывать все эти факторы в отличие от ШИР нет необходимости, так как момент начала очередного такта слежения строго синхронизирован с моментом прихода резца в точку пересечения оси X с линией отрезка (точки 1, 4, 7 и т.д.). С этой точки зрения данный способ является адаптивным. При этом автоматически изменяется частота следования импульсов управления:

$$f_{СП} = \frac{1}{\tau_n + \tau_n},$$

где $\tau_n = \text{const}$, а $\tau_n = \text{var}$.

Если рассматривать зависимость $\tau_n = f(\alpha_i)$, то при $\alpha_i \approx 0^\circ$ $\tau_n \rightarrow \infty$ и $f_{СП} = 0$, т.е. работает только ВП; при $\alpha_i \approx 45^\circ$ $\tau_n \rightarrow 0$ и $f_{СП} = \frac{1}{\tau_n} = \text{const}$, следовательно, постоянно движутся обе оси, и резец перемещается под углом 45° .

Средняя скорость подачи $S_{ср}$ СП определяется суммарной длительностью работы этой оси и рассчитывается по формуле

$$S_{ср} = \frac{Z_b - Z_a}{\sum \tau_n} = \frac{\Delta Z_{ba}}{n\tau_n},$$

где Z_a и Z_b – координаты начальной и конечной точек отрезка; n – число включений СП в

процессе движения резца от начала до конца отрезка.

Достоинствами данного способа управления являются:

- упрощение системы управления и управляющей программы, так как в каждом такте слежения рассчитывается и контролируется только одна точка пересечения оси X с линией отрезка; при этом формируется одиночный импульс управления с калиброванной длительностью $\tau_n = \text{const}$ и короткий импульс включения тормоза;

- отсутствие необходимости в задавании ширины зоны слежения δ и частоты работы ШИМ $f_{ШИМ}$; зона слежения определяется автоматически и зависит от динамики работы электропривода следящей оси;

- возможность получения достаточно высокого качества обработки поверхности (максимальная величина отклонения от заданной линии отрезка при оптимальном выборе длительности τ_n может быть в пределах 3 – 5 мкм, что вполне приемлемо для копировальных станков);

- эффективность системы слежения за линией отрезка с использованием ЧИР регулятора средней скорости подачи СП приближается к эффективности систем управления электроприводами с линейными интерполяторами.

К недостаткам частотно-импульсного метода управления подачами следует отнести необходимость экспериментального определения минимально необходимой длительности импульса τ_n для конкретного станка и каждой оси СП. Кроме того, шероховатость обработанной поверхности несколько хуже, чем в предыдущем случае с использованием ШИР.

Экспериментальную проверку эффективности рассмотренных выше способов слежения за профилем обрабатываемых деталей с использованием цифровых моделей профиля проводили в условиях специализированного винтообрабатывающего производства ОАО «ЦС «Звездочка» (г. Северодвинск) на токарно-карусельном модернизированном станке модели 1525. При этом на станок дополнительно установили цифровую систему управления левым суппортом, реализованную на базе УЧПУ NC-201M с модулем релейной коммутации выходов и модулем входов с индикацией, включая выносной станочный пульт NC-110-78B. В качестве датчиков обратной связи по осям X и Z использовали оптоэлектронные преобразователи ли-

нейных перемещений ЛИР-8 с разрешающей способностью 1 мкм, с помощью которых с высокой точностью контролируются все перемещения рабочего органа станка.

Как показали экспериментальные исследования, предложенный способ управления дает хорошие результаты, обеспечивает высокую точность и хорошее качество обработки поверхности, а также расширяет функциональные возможности станка.

С учетом особенностей базового программного обеспечения УЧПУ NC-201M и асинхронного привода станка 1525 разработана методика создания цифровых моделей копиров с применением современных информационных технологий подготовки производства и управляющая программа для УЧПУ. Такой подход позволяет значительно сократить временные и материальные затраты, связанные с подготовкой и изготовлением жестких копиров. Модернизированный станок принят в эксплуатацию на винтообрабатывающем производстве ОАО «ЦС «Звездочка».

Заключение

Применение предложенного способа импульсного управления траекторией движения резца в копировальных станках с асинхронным электроприводом позволяет приблизить качество обработки деталей к качеству обработки на станках с автономными приводами для каждой оси, а также расширить функциональность и поднять производительность станков с асинхронным приводом.

Список литературы

1. Емельянов С.А. Модернизация станков с ЧПУ: семь практических советов // Современные технологии автоматизации. 2005. № 2. С. 76–83.
2. Первая станкостроительная компания. www.sZavod.ru/Zavod_sedina/ Станок токарно-карусельный с ЧПУ 1525ФЗ.
3. Малыгин В.И., Черепенин Ф.В., Сковпень С.М., Лобанов Н.В. Интеллектуальные системы управления копировальных станков с асинхронным электроприводом // Вестник СПб отделения АИН России. 2010. № 7. С. 272–283.
4. Малыгин В.И., Черепенин Ф.В., Сковпень С.М., Лобанов Н.В. Цифровая система управления для токарно-карусельного станка модели 1525 с асинхронным приводом // Арктический вектор развития России: сб. докл. науч.-техн. конф. «Арктический вектор развития России». – Северодвинск, 2011. С. 247–255.
5. Фидаров В.Х. Анализ погрешностей обработки на токарно-копировальном станке, оснащенном следящей системой с электромагнитными муфтами // Кооперация науки, образования, производства и бизнеса: новые идеи и перспективы безопасного развития в ближайшем будущем: матер. III Всерос. науч.-практ. электрон. конф. «Кооперация науки, образования, производства и бизнеса: новые идеи и перспективы безопасного развития в ближайшем будущем», 2011. http://innovatika.web.tstu.ru/konf_el.html(кластер5)
6. Ильичев Д.Д., Татур О.Н., Флидлидер Г.М. Электроприводы с полупроводниковым управлением. Системы с электромагнитными муфтами. – М. – Л.: Энергия, 1965. – 96 с.
7. Татур О.Н. Электромагнитные фрикционные муфты // Энциклопедия измерений, контроля и автоматизации (ЭИКА). 1968. № 10. С. 33–36.
8. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

Материал поступил в редакцию 21.03.2012

**МАЛЫГИН
Владимир Иванович**

E-mail: ismart@narfu.ru
Тел.: (8184) 58-07-89

Доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе ИСМАРТ (Севмашвтуз). Сфера научных интересов – информационно-управляющие системы, модернизация металлообрабатывающего технологического оборудования. Автор 54 научных работ.

ЧЕРЕПЕНИН

Филипп Веденеевич

E-mail: ismart@narfu.ru

Тел.: (8184) 53-02-90

Кандидат технических наук, доцент, профессор ИСМАРТ (Севмашвтуз). Сфера научных интересов – информационно-управляющие системы, модернизация металлообрабатывающего технологического оборудования. Автор 23 научных работ.

СКОВПЕНЬ

Сергей Михайлович

E-mail: ismart@narfu.ru

Тел.: (960) 014-81-92 (моб.)

Кандидат технических наук, доцент ИСМАРТ (Севмашвтуз). Сфера научных интересов – информационно-управляющие системы, модернизация металлообрабатывающего технологического оборудования. Автор 17 научных работ.

ЛОБАНОВ

Николай

Владимирович

E-mail: ismart@narfu.ru

Тел.: (8184) 58-07-89

Кандидат технических наук, доцент ИСМАРТ (Севмашвтуз). Сфера научных интересов – информационно-управляющие системы, модернизация металлообрабатывающего технологического оборудования. Автор 20 научных работ.

УЛЬЯНИЧЕВ

Дмитрий Андреевич

E-mail: udakotlas@rambler.ru

Тел.: (902) 504-63-33 (моб.)

Аспирант, инженер по НИИ ЗАО «БИУС». Сфера научных интересов – информационно-управляющие системы, модернизация металлообрабатывающего технологического оборудования. Автор пяти научных работ.