

Откуда следует, что изменение действительного заднего угла реза обуславливается соотношением скоростей перемещения комбайна и резания и местом положения реза на дуге резания.

Амплитуда скорости перемещения является величиной случайной с распределением вероятностей, не противоречащей нормальному закону [3]. Тогда изменение действительного заднего угла реза является также величиной случайной с распределением вероятностей, не противоречащей закону «арктангенса» от нормально распределенной случайной величины.

При качании рабочего органа в вертикальной плоскости величина действительного заднего угла реза определится аналогично приведенной выше зависимости с учетом скорости качания органа

$$\alpha_{di}^{(k)} = \alpha_k - \arctg \frac{\dot{x}_k \sin(\gamma_i - \theta - \zeta_i)}{\sqrt{v_{pi}^2 + v_k^2 - 2v_{pi}v_k \sin \gamma_i}}, \quad (12)$$

где

$$\zeta_i = \arctg \frac{v_k \cos \gamma_i}{v_{pi} - v_k \sin \gamma_i},$$

где  $v_k$  – скорость качания рабочего органа в вертикальной плоскости.

Таким образом, качание рабочего органа в вертикальной плоскости обуславливает изменение действительных параметров

резов и в первую очередь их задних углов и параметров разрушения пласта или породного массива – толщину среза. Это приводит к дополнительной затрате энергии и повышенному износу режущего инструмента.

Таким образом, из вышесказанного следует, что качание органа и резов в вертикальной плоскости в рабочем режиме комбайна влияет на действительные параметры разрушаемого массива и режущего инструмента. В дальнейшем необходимо проведение экспериментальных исследований и установление количественных показателей снижения затрат энергии и расхода режущего инструмента при параметрах, определенных с учетом качания рабочего органа в вертикальной плоскости.

#### Список использованной литературы

1. Бойко Н.Г. Формирование параметров резания при разрушении массива рабочими органами, установленными на подвижной рукоятки. – Изв. Вузов. Горный журнал, 1979, № 3, с. 79-81.
2. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. – М.: Физматгиз, 1962. – 630 с.
3. Влияние неравномерности перемещения добычных комбайнов на толщину среза // Н.Г. Бойко и др. – Изв. Вузов. Горный журнал, 1973, № 1, с. 65-68.

УДК 621.9.06-8

В.М.Пестунов, канд.техн.наук., проф., А.В.Лысенко, инж., Кировоградский государственный технический университет, г.Кировоград, Украина

### ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*В статье рассмотрены конструктивные схемы приводов металлообрабатывающего оборудования, реализующие метод адаптивного управления параметрами процесса обработки. Оборудование, созданное на основе предложенных схем, позволит повысить качество, снизить стоимость, повысить производительность обработки.*

Основные тенденции развития технологии наблюдаются в направлении повышения качества, снижения стоимости или повышения производительности. Технологии, охватывающие все перечисленные параметры должны базироваться на открытиях и изобретениях, вносящих новый вклад в развитие техники и технологии [1-4].

Приведенная на рис. 1 схема осуществления способа обработки решает проблемного как процесса обработки, связанного с дроблением стружки, повышением точности обработки, так и привода движений формообразования. Это достигается тем, что в процессе обработки контролируют предельное значение нагрузки на инструмент и при его достижении подачу прерывают путем торможения кинематической цепи на выходе механизма разветвления потоков мощности в приводе, имеющем на выходе минимум две степени свободы, а подачу снова включают при достижении нагрузки на инструмент заданного минимального значения. Разветвление кинематических цепей главного движения и подачи выполнено через дифференциальный механизм, а в ведомой части кинематической цепи подачи установлен тормоз, включенный в систему управления в функции нагрузки кинематической цепи главного движения.

Для повышения качества путем многоскоростной обработки за один проход суппорта подачу включают после поворота шпинделя на угол, определяемый из соотношения:

$$\varphi = \frac{2\pi}{m \cdot n},$$

где  $\varphi$  – угол поворота шпинделя;  $m$  – число равномерно расположенных по окружности лезвий инструмента (резов);  $n$  – число проходов.

Причем, о величине угла поворота шпинделя судят по пороговым значениям нагрузки, контролируемой датчиком. Как только произойдет срезание слоя металла на глубину врезания и дробление стружки нагрузка уменьшится.

Нагрузка на резец увеличивается при увеличении подачи, а подача увеличивается при торможении муфты 4. После достижения предельного значения нагрузки на инструмент управляющее устройство 11 включает тормозную муфту 10 и движение подачи прекратится. Дальнейшее вращение шпинделя станка позволит резцу срезать слой металла на глубине врезания.

Электродвигатель 1 через звено настройки 2, вышележающее, например, в форме ступенчатой коробки скоростей, соединен с дифференциальным механизмом 3. Ведомые кинематические цепи дифференциального механизма соединены с муфтой 4 и муфтой 10, тормозом. В кинематической цепи главного движения установлен датчик нагрузки 5. В кинематической цепи подачи расположена самотормозящая передача 9. Датчик 5 через усилитель 6 соединен с устройством сравнения 7, с которым

также соединено задающее устройство 8, управляющее устройство 11 соединено с муфтой 10.

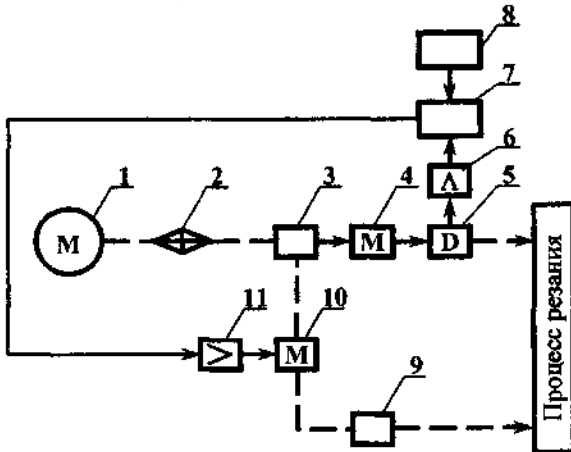


Рис. 1. Схема способа обработки позволяющая реализовать повышение точности обработки изменением привода движений формообразования

При включении электродвигателя 1 вращение через звезду настройки 2, муфту 4 передается шпинделю станка с обрабатываемой заготовкой. Притормаживание муфты 4 включает привод подачи, который через передачу 9 осуществляет быстрый подвод реза к обрабатываемой заготовке и врезание в заготовку. Врезание реза увеличивает нагрузку, а рост нагрузки кинематической цепи главного движения будет происходить до тех пор, пока контролируемая датчиком 5 она не превысит допустимого значения, определяемого задающим устройством 8. Как только нагрузка превысит установленный уровень, муфта 4 выключается, а муфта 10 выключит движение подачи. После срезаания слоя металла нагрузка в кинематической цепи снизится, управляющее устройство 11 выключит тормозную муфту 10. Произойдет очередное врезание реза на глубину, определяемую нагрузкой кинематической цепи привода. Превышение ее допустимого значения снова вызовет включение тормозной муфты 10 и повторное срезание слоя металла на глубину очередного врезания. В дальнейшем циклический процесс обработки повторяется до полной обработки.

Таким образом, обеспечивается обработка с надежным дроблением стружки при одновременном значительном упрощении привода. Привод не имеет кинематической цепи подачи в ее традиционной форме (коробки подачи с дискретным или плавным регулированием величины подачи). Упрощение схемы и конструкции повышает надежность работы привода.

Отвод реза в исходное положение осуществляется реверсом и притормаживанием муфты 4 и выключением муфты 10.

Упрощение конструкции и расширение технологических возможностей обеспечивает технологический ротор, схема которого показана на рис. 2.

Привод содержит корпус 1 ротора, пиньоль 2, шпиндель 11, инструмент 12, гайку 9, винт 4, звезду настройки кинематической цепи главного вращательного движения (редуктор), электродвигатель 5, втулку 6, пружину 3, муфты 7 и 15 и реэчную передачу 16-14.

Корпус 1 ротора установлен на оси 10. В корпусе 1 расположены пиньоль 2 по числу исполнительных органов ротора. В пиньоле 2 расположен шпиндель 11 с инструментом 12. Шпиндель 11 через винт 4 винтовой передачи, содержащий гайку 9, и звезду настройки соединен с электродвигателем 5. Гайка 9 установлена на шпинделе, расположенном в пиньоле 2. На последней нарезана рейка, с которой связана реэчная шестерня, установленная на оси

тормозной муфты 15. Муфта 7 установлена на пиньоле 2 и соединяет гайку 9. Схема управления содержит блок 19, логический элемент 18 и управляющее устройство 8 и 17.

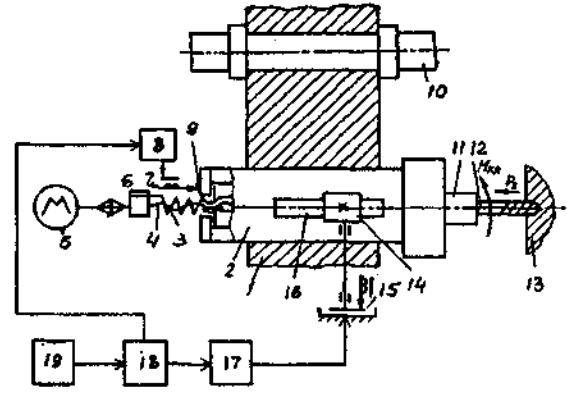


Рис. 2. Конструктивная схема технологического ротора

В процессе работы роторной линии ротор вращается синхронно с планшайбой, на которой установлены заготовки 13. От электродвигателя 5 через звезду настройки и несамотормозную винтовую передачу 4-9 получает главное вращательное движение шпиндель 11 с инструментом 12. При этом муфта 7 выключена, а муфта 15 включена. На муфты 7 и 15 подаются чередующиеся импульсы, и пиньоль 2 со шпинделем перемещается в осевом направлении в соответствии с заданной скоростью рабочей подачи. Величина подачи регулируется блоком 19 управления, а логический элемент 18 осуществляет чередование импульсов управляемых муфт 7 и 15.

Быстрый отвод пиньоль в исходное положение может осуществляться пружиной 3 при выключении муфт 7 и 15.

Новые технологические возможности обеспечивает многооперационный станок, схема которого приведена на рис. 3.

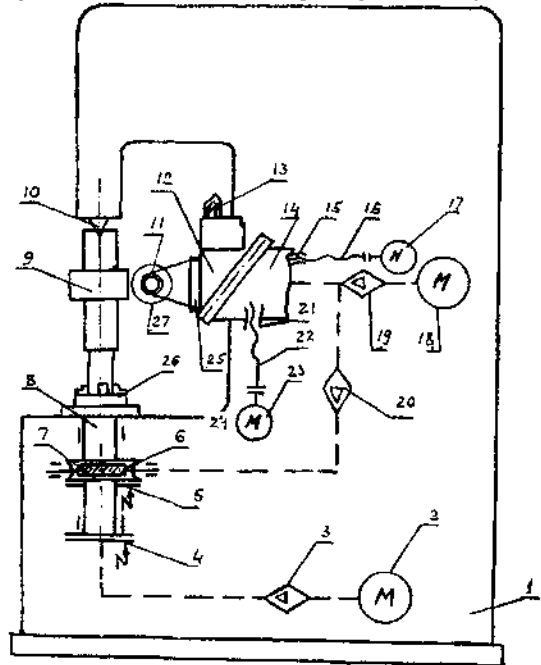


Рис. 3. Многооперационный станок

Все узлы и кинематические цепи, включая электродвигатели 2, 23, 17, 18, расположены в станине 1. Двухпозиционный суппорт 12 связан со станиной продольными и поперечными направляющими и имеет кинематические цепи продольной (вдоль оси заготовки 9) подачи, включающей двигатель 23,

управляемый системой ЧПУ, винтовую передачу 22-21, и поперечной подачей, включающий двигатель 17, управляемый системой ЧПУ, винтовую передачу 16-15. В станине I станка расположен привод вращения заготовки 9, включающий электродвигатель 2, звено настройки 3, выполненное в форме ступенчатой коробки скоростей, и муфту 4. В станине станка расположена кинематическая цепь обкатки, включающая электродвигатель 18, звена настройки 19 и 20, червячную передачу 6-7 и муфту 5.

Цикл работы станка обычно складывается из токарных и зуборезных технологических операций, которые могут чередоваться в любой последовательности в соответствии с технологией обработки и управляющей программой.

При выполнении токарных технологических операций головка 12 суппорта 14 поворачивается на  $180^\circ$  вокруг наклонной оси и установленный в резцедержателе резец 13 выходит в рабочую позицию. Одновременно включается электромагнитная муфта 4 и выключается муфта 5, которые в систему управления включены инверсно, что означает, что при включенной муфте 4 муфта 5 выключена и наоборот. Шпиндель 8 с заготовкой 9 получает вращение с частотой, обеспечивающей заданную скорость резания. Для выполнения токарных операций используются механизмы продольной и поперечной подачи.

После окончания токарной обработки суппорт 14 отводится в исходное положение, головка 12 снова поворачивается на  $180^\circ$  и в рабочей позиции фиксируется шпиндель 11 с фрезой 27 на поворотной планшайбе 25. Планшайба поворачивается на угол, соответствующий углу наклона зубьев фрезы 27. Соответственно этому повороту включается муфта 5, а муфта 4 выключается. Кинематическая цепь обкатки связывает вращение фрезы 27 через звено настройки 20 с вращением заготовки 9. Настройка звена 20 осуществляется в соответствии с числом зубьев нарезаемого колеса и числом заходов фрезы 27. Звено настройки 19 обеспечивает заданную скорость резания в соответствии с технологией обработки зубчатого колеса.

Нарезание цилиндрического зубчатого колеса может осуществляться при использовании либо продольной подачи, либо методом поперечного врезания и продольной подачи. При нарезании червячных колес используется радиальная подача. Таким образом станок обеспечивает с одной установки заготовки 9 выполнение токарных и зубонарезных технологических операций.

Кинематическая настройка зуборезного станка осуществляется как обычно. Настраивается кинематическая цепь главного движения.

$$n_9 \cdot i_{19} = \frac{1000V}{\pi D},$$

откуда

$$i_{19} = \frac{1000V}{\pi D n_9},$$

где  $i_{19}$  – передаточное число звена настройки цепи,  $V$  – скорость резания (м/мин),  $n_9$  – число оборотов электродвигателя,  $D$  – наружный диаметр фрезы (мм).

Определив передаточное число звена настройки по паспорту, определяют необходимые параметры сменных шестерен.

Кинематическая настройка цепи обкатки

$$1 \text{ об. ф.} \cdot i_{20} \frac{Z_6}{Z_7} = \frac{K}{Z},$$

откуда

$$i_{20} = \frac{K}{Z} \cdot \frac{Z_7}{Z_6},$$

где  $i_{20}$  – передаточное число звена настройки 20,  $K$  – число заходов фрезы,  $Z_6, Z_7$  – число заходов червяка и число зубьев

колеса.  $Z$  – число зубьев нарезаемого колеса. Определив  $i_{20}$  по паспорту подбирают шестерни.

Повышение точности обработки обеспечивается за счет исключения погрешностей, связанных с переустановкой заготовки при переходе от токарных технологических операций к зубонарезным и наоборот.

Одновременно путем расширения технологических возможностей, это увеличивает загрузку оборудования и область возможного использования станка.

Экономическая эффективность станка увеличивается за счет повышения точности, расширения технологических возможностей и увеличения коэффициента его использования в серийном и мелкосерийном производствах. Станок может найти широкое применение в гибких переналаживаемых производствах.

Проблему сокращения производственного цикла и повышения эффективности технологии решают системы правки шлифовальных кругов.

Известно, что шлифовальный круг после правки имеет максимальную режущую способность, которая непрерывно падает в процессе обработки, а дискретное восстановление режущей способности шлифовального круга вызывает циклические потери времени производительности и, кроме того, обработка шлифовальным кругом, с непрерывно ухудшающейся режущей способностью, не позволяет стабилизировать режимы и качество обработки.

Эту проблему в какой-то мере решают механизмы непрерывной правки шлифовального круга. Такой способ показан на рис. 4.

В процессе обработки заготовки 1 вращающимся резцом 2, правящий ролик 16 вводится в соприкосновение с поверхностью правки реза 2.

По мере затупления реза в процессе обработки изменяется соотношение составляющих силы резания. Это приводит к тому, что изменяется скорость вращения реза 2. Появляется возможность в процессе обработки по скорости вращения реза 2 определить величину его износа. Для заданных условий обработки оптимальной режущей способности реза соответствует определенная частота вращения реза.

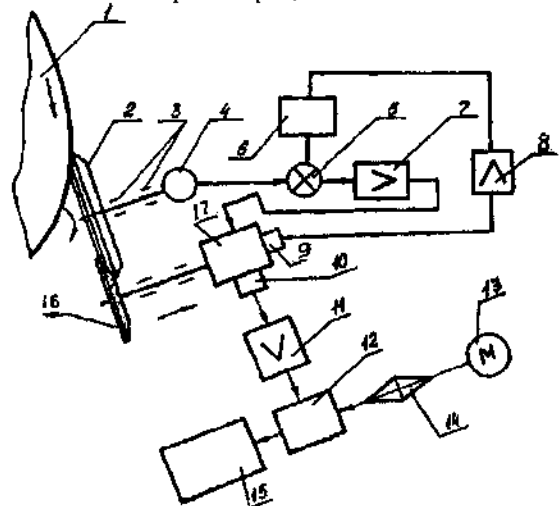


Рис. 4. Механизм непрерывной правки шлифовального круга

Частота вращения реза 2 измеряется датчиком 4, который соединен с устройством 5 сравнения фактической частоты вращения с задающим устройством 6.

Результирующий сигнал с устройства 5 поступает на усилитель 7, откуда на исполнительный механизм 17 осевого перемещения правящего ролика 16. Подача правящего ролика 16 осуществляется до тех пор, пока частота вращения реза не

достигает заданной. После чего подача ролика 16 прекратится. Поскольку величина подачи ролика 16 пропорциональна величине результирующего сигнала устройства 5, механизм осуществляет управление подачей правящего ролика в функции скорости вращения реза 2.

Величина износа реза и срезания изношенной части в процессе правки оказывает влияние на величину размера обработки. С целью компенсации этого влияния в поперечное перемещение реза вносится поправка на износ реза путем суммирования перемещения реза с перемещением правящего ролика. С этой целью перемещение правящего ролика 16 измеряется датчиком 10. Полученный сигнал через усилитель 11 поступает в суммирующий механизм 12 кинематической цепи поперечной подачи реза 2. Этот механизм получает движение от электродвигателя 13 и через звено настройки 14 суммирующий механизм 12 сообщает движение исполнительному органу 15 механизма подачи.

Скорость подачи правящего ролика 16 оказывает влияние на скорость вращения реза. С целью компенсации этого влияния установлен датчик 9 скорости перемещения правящего ролика. Полученный сигнал через усилитель 8 подается на задающее устройство 6. Таким образом вносится поправка путем коррекции заданного параметра вращения реза. При использовании несамовращающихся резов в качестве параметра вращения реза принимают крутящий момент вращения реза. Этот момент измеряют с помощью соответствующего датчика момента, который включается в описанную схему. Процесс управления осуществляется аналогично.

Новую технологию в получении возвратно-поступательного движения процесса обработки вносит структурная схема привода, показанная на рис. 5. От электродвигателя М мощность через звено настройки 1 подведена к механизмам управления потоками мощности 2 и 4, которые управляют механизмом 3. Все исполнительные органы привода, воспринимающие технологическую нагрузку М, V, P<sub>1</sub>, S<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, замыкаются на процессе обработки 5, образуя единую систему.

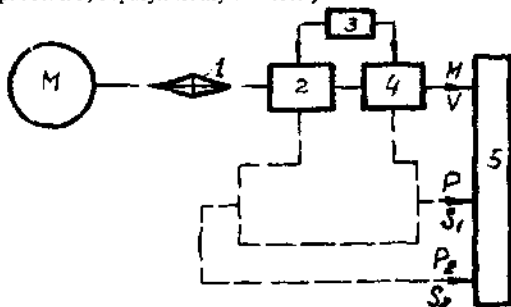


Рис. 5. Структурная схема привода для получения возвратно-поступательного движения процесса обработки

По этой структурной схеме разработана кинематическая схема привода хонинговального станка (рис. 6) с двумя двигателями и единой системой управления. Привод содержит хонинговальную головку 1, шпиндель 2, пиноль 3, установленную в корпусе 4, винты 5 и 7, гайки 6 и 8, двигатели 9 и 10. Хонинговальная головка 1 закреплена на шпинделе 2. Шпиндель установлен на подшипниках в пинноли 3, которая расположена в корпусе 4. На шпинделе нарезаны винты 5 и 7 несамотормозящих винтовых передач противоположного направления винтовых пар. Гайки 6 и 8 винтовых передач соединены с роторами двигателей 9 и 10, например, постоянного тока. Питание двигателей 9 и 10 осуществляется от регулируемого источника, не показанного на схеме.

Управление циклом осуществляется путевой автоматикой, не показанной на схеме. В крайних положениях хонинговальной головки 1 с помощью концевиков происходит переключение

частот вращения двигателей и реверсирование возвратно-поступательного движения пинноли. Системы питания двигателей настраиваются на получение заданных частот вращения гаек 6 и 8, которые в соответствии с выбранными параметрами винтовых передач обеспечивают заданные параметры движения формообразования.

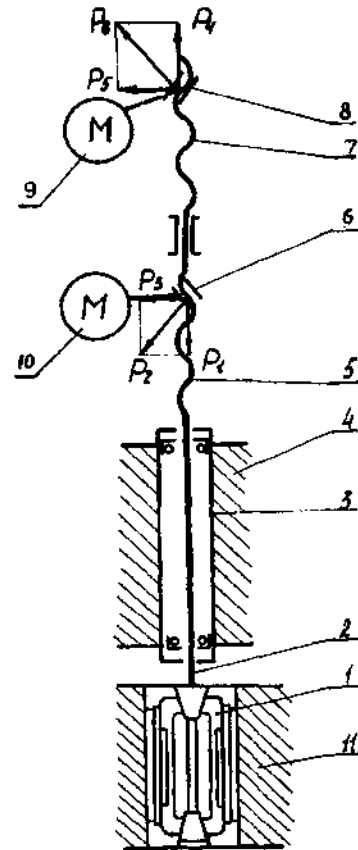


Рис. 6. Кинематическая схема привода хонинговального станка

В процессе обработки детали 11 путевая автоматика переключает двигатели 9 и 10 на одну из двух фиксированных частот вращения, что определяет скорость рабочего вращения и поступательного движения шпинделя 2. Включенный на заданную частоту вращения двигатель 9 через несамотормозящую винтовую пару 8-7 сообщает рабочее вращение шпинделю 2. Одновременно в винтовой передаче возникает осевая движущая сила P<sub>1</sub>, стремящаяся перемещать шпиндель 2 в осевом направлении. В это время двигатель 10 включен на другую частоту вращения, совпадающую с двигателем 9 по направлению, но меньшей угловой скоростью.

Вращение двигателей 9 и 10 с разной угловой скоростью однозначно определяет скорость поступательного движения шпинделя в направлении действия движущей силы P<sub>1</sub>.

В крайнем положении пинноли 3 происходит переключение двигателей 9 и 10. Двигатели меняются частотами вращения. В результате в винтовой паре 7-8 возникает сила P<sub>4</sub>, которая перемещает шпиндель 2 в обратном направлении с той же скоростью поступательного движения и частотой вращения.

После возвращения пинноли 3 в исходное положение путевая автоматика повторяет цикл работы станка. Скорость винта зависит от скоростей гаек следующим образом:

— для винтовой пары 7-8 справедливо соотношение:

$$S_b = (\varphi'_2 - \varphi_b) \frac{h'}{2\pi};$$

— для винтовой пары 5-6 справедливо соотношение:

$$S_b = (\varphi''_2 - \varphi_b) \frac{h''}{2\pi},$$

где  $S_b$  – осевое перемещение винта;  $\varphi''_2$  – угол поворота гайки 8;  $\varphi'_2$  – угол поворота гайки 6;  $\varphi_b$  – угол поворота винта 5, 7;  $h'$  – шаг винтовой нарезки гайки 8;  $h''$  – шаг винтовой нарезки гайки 6;

Решив уравнение совместно, получим:

$$S_b = \frac{\varphi''_2 - \varphi'_2}{2\pi} \cdot \frac{h'' h'''}{h' - h'''},$$

$$\varphi_b = \frac{h'' \varphi''_2 - h' \varphi'_2}{h'' - h'}.$$

Таким образом, как осевое перемещение шпинделя  $S_b$ , так и угол его поворота  $\varphi$ , однозначно зависят от разности углов поворота гаек  $\varphi'$  и  $\varphi''$  и соотношения шагов винтов и гаек 7-8 и 5-6. Анализ уравнений показывает, что в зависимости от разности углов поворота гаек 6-8 перемещения винта могут быть положительными и отрицательными, т.е. винт может перемещаться в обоих направлениях с заданной скоростью.

Создание станочного оборудования на основе предложенных структур приводов позволит упростить схемы и конструкции,

расширить технологические возможности, увеличить коэффициент использования оборудования в различных типах производства и, таким образом, повысить точность обработки, увеличить загрузку и область его возможного использования.

#### Список использованной литературы

1. Базров Б.М. Модульная технология изготовления деталей.– М.1986.– 92 с.
2. Пестунов В.М. Основы теории привода с перераспределенной нагрузкой металлорежущих станков: Автореферат дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / МВТУ им. Н.Э. Баумана.– М., 1983.– 32 с.
3. Металлорежущие системы машиностроительных производств / Под ред. Г.Г. Земскова и О.В. Таратынова.– М.: Высшая школа, 1988.– 464 с.
4. Пестунов В.М., Кариков Е.А. Повышение точности и производительности металлорежущих станков.– К.: Техника, 1979.– 96 с.

УДК 621.923

П.О.Киричок, д-р техн. наук, проф., О.А.Гавриш, д-р техн. наук, ст.наук.співр.  
НТУУ „Київський політехнічний інститут“, м.Київ, Україна

## СТРУКТУРНІ ЗМІНИ У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПОВЕРХНЕВІЙ ТЕРМОМЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛЕВИМИ ЩІТКАМИ

*Розглянуто механічні, технологічні та службові властивості матеріалу деталей при поверхневій оздоблювально-зміцнюючій обробці сталевими щітками.*

Механічні, технологічні та службові властивості матеріалу виробів, які підлягали методу поверхневої оздоблювально-зміцнюючої обробки (ПОЗО) засобами термомеханічного оброблення (ТМО), встановлюються згідно структури металу, яка є гетерофазною системою. Процес поверхневого оброблення пов'язаний з миттєвим високотемпературним нагріванням та швидким охолодженням поверхні металу, що вносить певні особливості в процес протікання структурно-фазових перетворень наявністю градієнту температур та зовнішніх напружень.

На жаль, не дивлячись на значну кількість публікацій з питань ПОЗО ТМО [1-5], дослідженням впливу технологічних параметрів процесу обробки сталевими щітками на структурно-фазові перетворення у поверхневих шарах деталей практично ніхто не займався. Це обумовило появу у виробництві різних за характеристиками процесів ПОЗО, які у більшості своїй є далеко не оптимальними і найчастіше призначені для забезпечення окремих, хоча нерідко і складних, інженерно-технічних задач.

Тому всебічне дослідження структурних змін у поверхневих шарах деталей при ТМО є актуальним питанням, вирішення якого має не тільки наукове, але, і що не менш важливо, практичне значення.

Саме цьому присвячена дана стаття, метою якої є вивчення цілеспрямованого і ефективного впливу технологічних факторів на структуру матеріалу оброблення і встановлення закономірностей при її перетвореннях.

Дослідження у цьому напрямку виконувалось у рамках науково-дослідної роботи "Розробка технології і обладнання

для об'ємного зміцнення виробів методом термомеханічної обробки" (Державні науково-технічні програми 05.43, 04.04 ДКНТ та Міннауки України за 1994-97 рр).

Серед основних хімічних елементів, які чинять суттєвий вплив на процеси структуроутворення в сталях у результаті поверхневого теплового враження, слід виділити вуглець, тому сталь і розглядається в першу чергу як сплав заліза з вуглецем. Крім того, до важливих параметрів термічного циклу, який пов'язаний з поліморфними перетвореннями у матеріалі, слід віднести ряд наступних факторів:  $T_{max}$  – максимальна температура шкелу;  $\omega_n$  – швидкість нагрівання в інтервалі температури критичної точки  $A_{c3}$  до  $T_{max}$ ;  $t'$  та  $t''$  – час перебування металу при температурі вище критичної точки  $A_{c3}$ , відповідно, нагрівання та охолодження;  $\omega_{800-500}$ ,  $\omega_{600-500}$  – швидкість охолодження в інтервалі температур перетворення аустеніту (800...500 °С та 600...500 °С), а також відповідні цим інтервалам температур тривалості охолодження  $t_{800-500}$  та  $t_{600-500}$ ;  $\omega_n$  – миттєва швидкість охолодження до температури найближчої стійкості аустеніту  $T_{st}$ .

Частина наведених параметрів досліджувалась авторами даної роботи, а частина, отримана на основі рівнянь теплопровідності перенесених на процес ПОЗО ТМО, відображена в працях ряду науковців, які ґрунтовно досліджували термічні цикли процесу електрозварювання [6-9].

В результаті утворення на поверхні електроразрядом залишкового кратера-лунки, характерним для металу навколоразрядної зони є його високотемпературна хімічна неоднорідність на мікроскопічному рівні, наслідком якої може бути суттєва втрата технологічних та