

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ ПОДАЧИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ЖЕЛОБОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

В. А. БЕЙНАРОВИЧ

(Представлено научным семинаром электромеханического факультета)

Техническая культура, точность, надежность и долговечность продукции машиностроения во многом зависит от технологии обработки металлов. Численность парка шлифовальных станков—один из показателей технического уровня машиностроения. В этой связи большое значение приобретает автоматизация шлифовальных станков, особенно для подшипниковой промышленности, где шлифовальные станки составляют основную часть оборудования (50—60 %).

Одной из основных задач при автоматизации желобошлифовальных станков является автоматизация поперечной подачи шлифовального круга.

В результате целого ряда технологических исследований [1,2,3], установлено, что основные показатели процесса шлифования (чистота шлифованной поверхности, глубина ожога, время обработки, износ шлифовального круга, упругие деформации системы станок—инструмент—деталь и стоимость шлифования) зависят от величины скорости съема припуска металла, т. е. скорости действительной подачи. На рис. 1, 2 приведены зависимости скорости линейного износа шлифовальных кругов марки Э-100-СТВ и величины упругой деформации (отжатия, натяга) от скорости действительной подачи [2]. Анализ этих зависимостей показывает необходимость учета изменяющихся в процессе обработки упругих деформаций и износа шлифовального круга. Следовательно, автоматизация подачи может быть осуществлена только с применением следящей системы, обеспечивающей автоматическое регулирование величины подачи по оптимальной закономерности в процессе шлифования. Привод подачи шлифовального круга должен работать в системе автоматического регулирования (САР).

Рассмотрим некоторые вопросы автоматизации подачи применительно к желобошлифовальному станку модели ЛЗ-5.

### Выбор регулируемого параметра

Как показано в работах [1,2,4], автоматизация поперечной подачи шлифовальных станков может практически осуществляться по величине скорости действительной подачи или мощности шлифования.

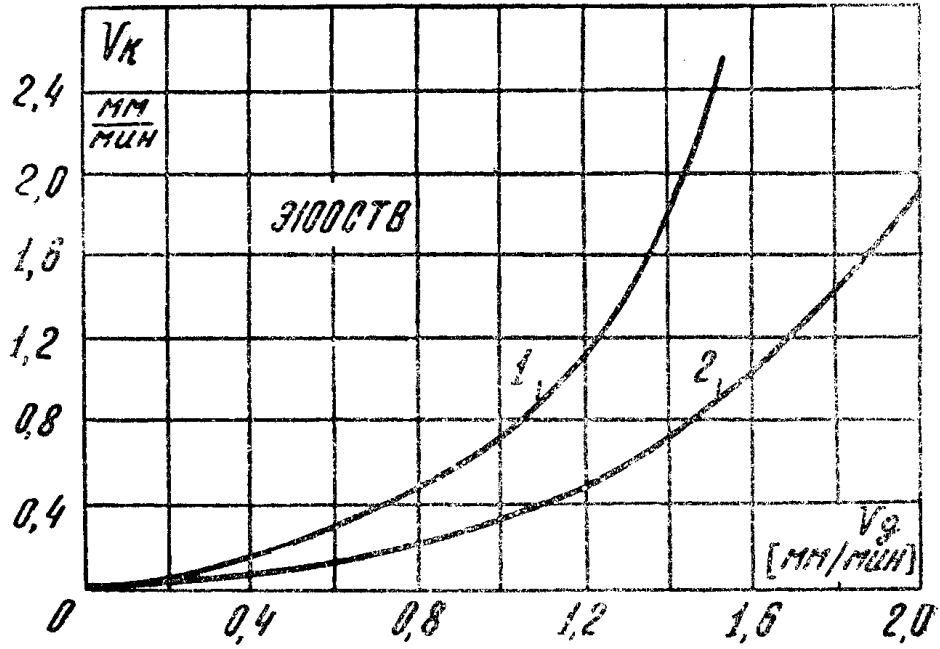


Рис. 1.

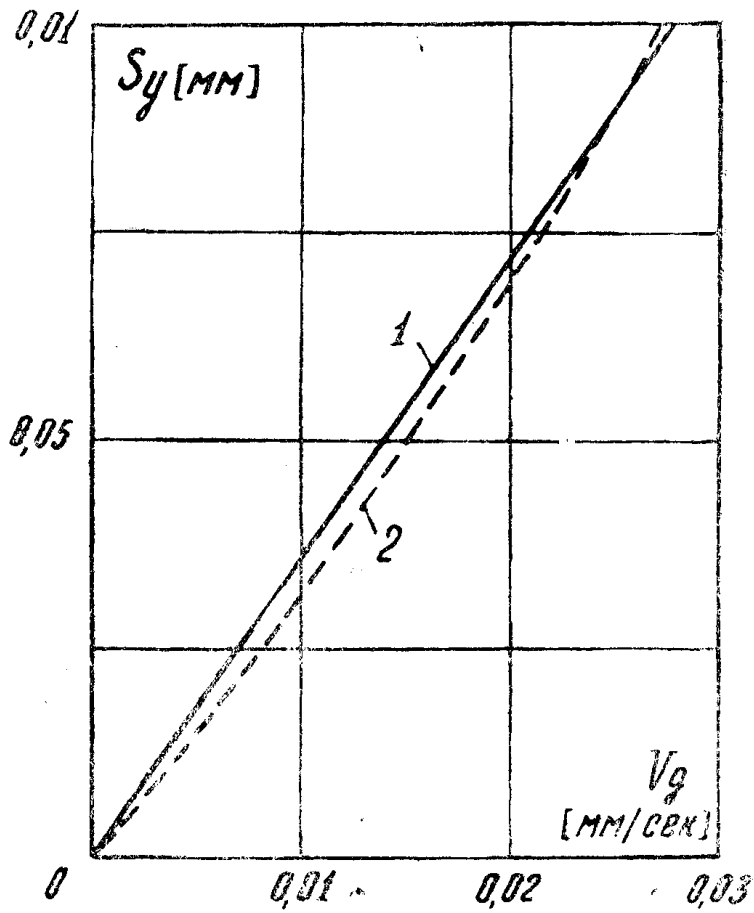


Рис. 2.

Скорость действительной подачи легко замеряется, удобно нормируется, однозначно определяет показатели процесса шлифования. Однако при затуплении, засаливании шлифовальных кругов контроль скорости действительной подачи не позволяет оценивать глубину ожога и возможно появление брака.

Мощность шлифования замеряется с большими трудностями и невысокой точностью и характеризует показатели процесса шлифования только при определенных геометрических соотношениях размеров детали и шлифовального круга.

Сравнение этих двух путей автоматизации позволяет сделать вывод, что наиболее универсальной будет совмещенная система, где контролируются оба параметра и регулирование подачи ведется по оптимальному закону. Однако это значительно усложняет систему.

Практически считают, что систему контроля скорости действительной подачи рационально использовать при работе самозатачивающимися шлифовальными кругами и систему контроля мощности шлифования—при работе несамозатачивающимися шлифовальными кругами, с периодической правкой.

На всех желобошлифовальных станках, в том числе модели ЛЗ-5, применяются только самозатачивающиеся шлифовальные круги. Следовательно, для автоматизации подачи целесообразно применить систему с регулированием по скорости действительной подачи.

#### Представление станка как элемента системы автоматического регулирования

В процессе шлифования механическая (моторная) подача —  $S_m$  равна сумме снятого припуска— $S_d$ , радиального износа шлифовального круга— $S_k$  и величины упругой деформации (отжатия) —  $S_y$ .

$$S_m = S_d + S_k + S_y. \quad (1)$$

Дифференцируя (1) по времени, получим

$$V_m = V_d + V_k + V_y, \quad (2)$$

где  $V_m$  — скорость механической (моторной) подачи;

$V_d$  — скорость съема припуска или действительной подачи;

$V_k$  — скорость износа шлифовального круга;

$V_y$  — скорость изменения упругой деформации (отжатия, натяга).

С небольшой ошибкой (около 10 %) зависимости  $V_k = f(V_d)$  и  $S_y = f_1(V_d)$ , представленные на рис. 1,2, можно заменить линейными [1,2].

$$V_k = aV_d, \quad (3)$$

$$S_y = bV_d. \quad (4)$$

Тогда дифференциальное уравнение, описывающее соотношение скоростей при шлифовании и представляющее уравнение звена „станок“ в системе автоматического регулирования поперечной подачи, запишется

$$V_m = V_d + aV_d + b \frac{nV_d}{dt}. \quad (5)$$

Входной величиной звена „станок“ является скорость моторной подачи  $V_m$ , выходной—скорость действительной подачи  $V_d$ .

Передаточная функция звена „станок“

$$K(p) = \frac{V_n}{V_m} = \frac{1}{1 + a + pb} \quad (6)$$

Такая функция соответствует обычному аperiodическому звену первого порядка. Определим коэффициент усиления  $K_c$  и постоянную времени  $T_c$  звена „станок“.

$$K_c = \frac{1}{1 + a}; \quad T_c = \frac{b}{1 + a} \quad (7)$$

Физически коэффициент усиления звена „станок“ представляет собой отношение скорости действительной подачи к сумме скорости действительной подачи и скорости износа шлифовального круга, т. е. выражает уменьшение скорости действительной подачи в  $K_c$  раз по отношению к скорости перемещения оси вращения шлифовального круга.

Постоянная времени  $T_c$  звена „станок“ физически представляет собой время нарастания скорости действительной подачи от нуля до величины 0,632 установившегося значения при постоянной скорости моторной подачи.

С учетом (7) передаточная функция звена „станок“ запишется

$$K(p) = \frac{K_c}{1 + pT_c} \quad (8)$$

### Выбор структурной системы автоматического регулирования

При разработке системы автоматического регулирования приводом подачи шлифовального круга могут иметь место три разновидности структурных схем: разомкнутая, замкнутая и замкнуто-разомкнутая.

1) Разомкнутая САР (рис. 3) не может обеспечить регулирование

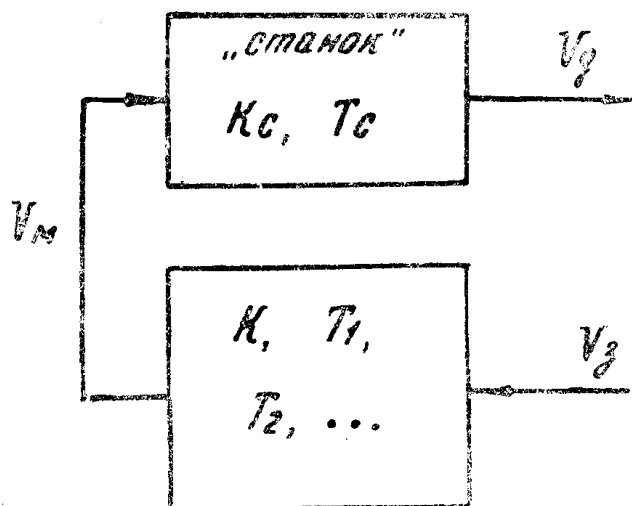


Рис. 3.

по заданной закономерности, так как износ шлифовального круга и упругие деформации изменяются в процессе шлифования и не могут быть заранее учтены, ввиду изменения ряда влияющих факторов, в том числе случайных.

2) Замкнутая САР (рис. 4) может обеспечить заданную закономерность регулирования. В этой системе следящая подача с определенной точностью поддерживает регулируемую величину равной заданной, независимо от изменения других параметров (в некоторых пределах).

Для режима установившихся упругих деформаций станка уравнение скоростей (2) запишется (см. рис. 4).

$$K(V_3 - V_d) = V_d(1 + a), \quad (9)$$

где  $K$  — механический коэффициент усиления САР;

$V_3$  — заданная скорость подачи;

$V_d$  — скорость действительной подачи;

$a$  — коэффициент линейного износа шлифовального круга (3).

Ошибка регулирования

$$\delta = \frac{V_3 - V_d}{V_3} = \frac{1 + a}{1 + a + K}. \quad (10)$$

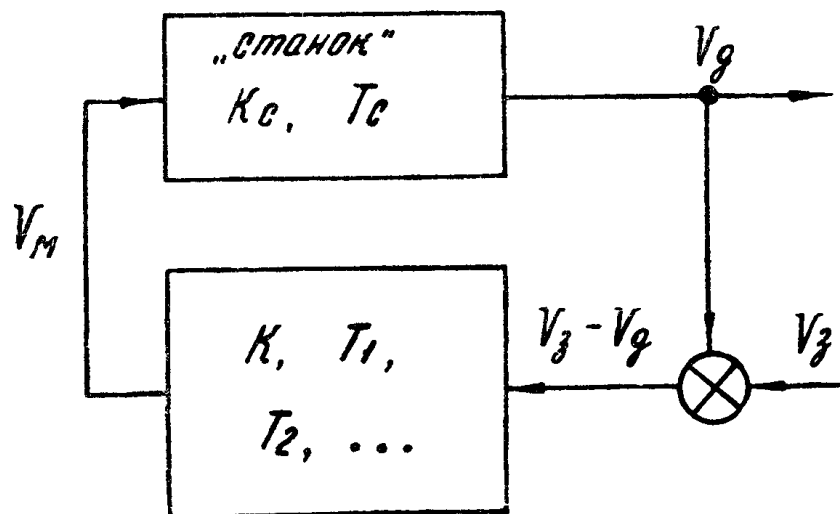


Рис. 4.

3) Замкнуто-разомкнутая САР (рис. 5) также может обеспечить заданную закономерность регулирования. Такая система представляет собой совокупность системы программного регулирования и следящей системы. При равенстве регулируемой величины  $V_d$  заданной  $V_3$  следящая система не работает, сигнал  $V_3 - V_d = 0$ . Это соответствует разомкнутой структуре САР. При отклонении регулируемой величины  $V_d$  от заданного значения  $V_3$ , следящая система вступает в действие, стремясь ликвидировать рассогласование. Это соответствует замкнутой структурной схеме САР.

Уравнение скоростей (2) для режима установившихся упругих деформаций запишется

$$V_3 + K(V_3 - V_d) = V_d(1 + a). \quad (11)$$

Ошибка регулирования

$$\delta_1 = \frac{V_3 - V_d}{V_3} = \frac{a}{1 + a + K}. \quad (12)$$

Сравнение выражений (10) и (12) показывает, что при одинаковых коэффициентах усиления  $K$  ошибка в замкнуто-разомкнутой САР (12) меньше, чем в замкнутой (10). Следовательно, замкнуто-разомкнутая структурная схема САР обеспечивает более высокую точность регулирования и является наиболее целесообразной для автоматизации подачи.

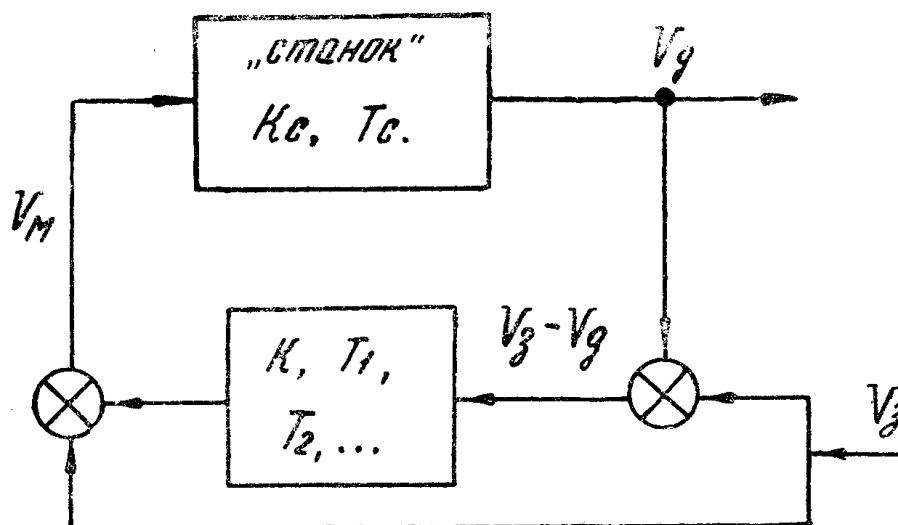


Рис. 5.

### Выбор системы электропривода подачи

Привод подачи должен обеспечивать достаточно большой диапазон бесступенчатого регулирования скорости подачи. В работах [2,3,4] показано, что скорость действительной подачи должна регулироваться от 1,5—1,8 мм/мин до 0,05 мм/мин, диапазон регулирования около 30—40. С учетом влияния упругих деформаций и износа шлифовального круга диапазон еще более расширяется. Наиболее подходящим для привода с таким диапазоном регулирования является двигатель постоянного тока независимого возбуждения, питаемый от источника с управляемым напряжением. В качестве последнего ввиду малой мощности целесообразно использовать управляемый тиратронный выпрямитель, который имеет большее быстродействие, малые веса, стоимость и габариты по сравнению с системами генератор-двигатель и магнитный усилитель-двигатель и в настоящее время дешевле системы выпрямитель-полупроводниковый усилитель-двигатель.

Для управления скоростью двигателя подачи удобно применить способ импульсного регулирования. Система подачи с импульсным регулированием скорости разработана на кафедре ЭПП [5] и показала хорошие результаты на станке ЛЗ-5М. По сравнению с системой непрерывного действия система импульсного регулирования отличается простотой, большей надежностью, быстродействием, отсутствием фазосмещающих и фазорегулирующих устройств, лучшей динамической устойчивостью и большой величиной пускового момента, что имеет очень важное значение для привода механизма подачи, относящегося к механизмам с нагрузкой типа сухого трения.

Недостатки приводов с импульсным регулированием — повышенная мощность двигателя из условий большего нагрева и пульсация скорости — являются несущественными для привода подачи.

Двигатель привода подачи на шлифовальных станках всегда имеет завышенную в несколько раз мощность, ввиду трудности учета изменения нагрузки в процессе эксплуатации по мере износа деталей, качества и регулярности смазки, регулировки узлов и т. д. Например, по расчетам мощность двигателя механизма подачи станка ЛЗ-5М равна 15—30 *вт*, завод-изготовитель ставит двигатели мощностью 125 *вт*. Видимо, такая мера полностью оправдывается увеличением надежности, а также малой значимостью стоимости такого двигателя в общей стоимости электрооборудования станка.

Пульсации скорости двигателя привода подачи не имеют отрицательного влияния на процесс шлифования, ввиду наличия упругих деформаций и инерционности кинематических узлов станка. По этой причине на большинстве современных шлифовальных станков применяются механические системы прерывистой подачи (кулачковые, храповые и т. п.).

В автоматизированных механизмах подач при малых жесткостях системы „станок-инструмент-деталь“ необходимо применять реверсивные следящие системы привода. Эти системы обеспечивают быстрое создание натяга, съём основного припуска с постоянной скоростью, снятие натяга реверсированием подачи (отводом) в конце обработки и окончание обработки при очень малых подачах, обеспечивающих высокую частоту обработки. Практически, применение реверсивной системы можно считать необходимым, если величина упругой деформации станка равна или больше величины припуска, который снимается с постоянно уменьшающейся скоростью подачи из условий отсутствия ожога [2,4]. Рассматриваемые желобошлифовальные станки ЛЗ-5 имеют большую жесткость, величина упругих деформаций много меньше 0,1 *мм*—припуска, с которого обычно скорость подачи равномерно уменьшается. Следовательно, для станков модели ЛЗ-5 можно применять более простой нереверсивный привод подач, что и подтверждает практика [4].

По вышеизложенным соображениям для привода подачи желобошлифовальных станков ЛЗ-5 рационально применить нереверсивный привод с двигателем постоянного тока независимого возбуждения с импульсным регулированием скорости вращения посредством управляемого тириatronного выпрямителя.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы по автоматизации поперечной подачи желобошлифовальных станков модели ЛЗ-5:

1. В качестве регулируемого параметра целесообразно выбрать скорость действительной подачи.
2. Станок в САР представляется аperiodическим звеном первого порядка.
3. Систему автоматического регулирования подачи рационально строить по замкнуто-разомкнутой структурной схеме.
4. Привод подачи рекомендуется выполнять по нереверсивной схеме тириatronный усилитель-двигатель с импульсным регулированием скорости вращения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Б. Лурье. Основные направления автоматизации рабочего цикла круглого шлифования. Сборник „Автоматизация в машиностроении“, МАШГИЗ, 1957.
2. Е. С. Железнов. Электрическая следящая подача для шлифования желобов колец подшипников. Технология подшипникоостроения, № 10, 1956.
3. Х. Х. Баталов. Экспериментальное исследование сферического шлифования подшипниковых колец методом качания. Станки и инструмент, № 1, 1956.
4. В. А. Бейнарович, А. И. Зайцев. Автоматизация желобошлифовальных станков. Известия вузов, Машиностроение, № 3, 1962.
5. В. А. Бейнарович, А. И. Зайцев. Авторское свидетельство, № 134746. Бюллетень изобретений, № 1, 1961.

Поступила в редакцию  
в мае 1962 г.