

УДК 621.923.1. 01:62-83

В.В. Булгар, канд. техн. наук, проф.,
Фам Суан Вьонг, магистр,
 Одес. нац. политехн. ун-т

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

В.В. Булгар, Фам Суан Вьонг. Вибір технологічних параметрів плоского шліфування. Технологічні параметри плоского шліфування — швидкості подач, швидкості різання, зміни діаметра шліфувального диска та радіуса оброблення — безпосередньо впливають на продуктивність шліфувального процесу, точність та якість оброблення поверхні, рівень споживання потужності. Наведено основні співвідношення між технологічними параметрами для різних типів шліфувальних верстатів при плоскому шліфуванні. Зміни цих технологічних параметрів в процесі плоского шліфування висувають додаткові вимоги до електроприводів та систем керування з метою стабілізації цих параметрів.

В.В. Булгар, Фам Суан Вьонг. Выбор технологических параметров плоского шлифования. Технологические параметры плоского шлифования — скорости подач, скорости резания, изменения диаметра шлифовального круга и радиуса обработки — непосредственно влияют на продуктивность процесса шлифования, точность и качество обработанной поверхности, уровень потребления мощности. Приведены основные соотношения между технологическими параметрами для различных типов плоскошлифовальных станков. Изменения этих технологических параметров в процессе плоского шлифования выдвигают дополнительные требования к электроприводам и системам управления с целью стабилизации этих параметров.

V.V. Bulgar, Pham Xuan Vuong. Principles of selection of surface grinding technological parameters. Basic technological parameters of surface grinding, such as feeding speed, cutting speed, grinding wheel diameter and grind area radius alternation, etc, are immediately influencing the grinding process efficiency as well as the processing accuracy, resulting surface quality, and power consumption. The basic correlation between different grinder tools' technological parameters in surface grinding is exposed. Those parameters alternation, while grinding involves some additional requirements applicable both to electric drives and control systems for those parameters stability reaching.

Управление процессом шлифования основано на использовании функциональных связей между производительностью и себестоимостью обработки, с одной стороны, и технологическими параметрами, с другой, с учетом качества и точности, достигаемых при обработке. Причем сложность реализации этих функциональных связей обусловлена особенностями режущего инструмента — шлифовального круга и высокой теплонапряженностью процесса шлифования. Правильный выбор технологических параметров процесса шлифования имеет большое практическое значение [1, 2].

Одним из основных путей повышения производительности плоского шлифования является сокращение времени обработки T_0 [1], определяемого из соотношения

$$T_0 = \frac{Q_m}{Q_{уд}} = \frac{Fh}{V_d S_0 S_t}, \quad (1)$$

где Q_m — объем металла, подлежащий снятию, мм³;
 F — поверхность обработки, мм²;
 h — припуск на обработку, мм;
 $Q_{уд}$ — удельный съем металла, мм³/мин;
 V_d — скорость движения стола с деталью, мм/мин;
 S_0 — поперечная подача, мм;
 S_t — глубина врезания, мм.

В ряде случаев производительность оценивают косвенно относительным показателем q , учитывающим, наряду с удельным съемом металла, удельный износ шлифовального круга Q_α , [2]

$$q = \frac{Q_{\text{уд}}}{Q_\alpha}. \quad (2)$$

В свою очередь, величина Q_α является функцией режима обработки, примерно одинаково зависит от всех видов подач [1] и может быть приближено описана соотношением

$$Q_\alpha = C \left(\frac{V_d S_0 S_t}{V_k} \right)^x, \quad (3)$$

где V_k — скорость резания;

C и x — постоянные.

Износ шлифовального круга, помимо экономических затрат на абразивный материал [3], приводит к необходимости периодической правки шлифовального круга по истечении периода его стойкости. Затраты времени на правку соответственно снижают производительность обработки.

Из соотношений (1)...(3) видно, что режимные технологические параметры шлифования (в данном случае подача и скорость резания) оказывают непосредственное влияние на производительность шлифования. Они влияют также на другие показатели процесса обработки: затраты, потребляемую мощность, возникающие усилия в зоне резания и деформации упругой системы, точность и качество обработанной поверхности.

Анализ эмпирических соотношений, описывающих мощность шлифования [4], показывает аналогичный характер зависимости ее от величин подач для разных схем

$$P = \alpha (V_d S_0 S_t)^{0,7} B_k^{0,25} K_1 K_2, \quad (4)$$

где α — коэффициент пропорциональности, равный 0,63 для плоского шлифования с обработкой периферией круга и 0,73 — для обработки торцем круга;

B_k — ширина шлифовального круга, мм;

K_1 — коэффициент, зависящий от твердости и ширины круга;

K_2 — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала.

Поперечная подача S_0 измеряется на один ход прямоугольного (либо на один оборот круглого) стола при обработке периферией круга. При обработке торцем круга поперечная подача измеряется приведенной шириной шлифования $B_{\text{пр}}$, которую определяют в долях ширины шлифовального круга.

В плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом с обработкой периферией и торцем круга средние значения подач, предварительно заданные при настройке режима обработки, в дальнейшем остаются неизменными. Изменяются мгновенные значения поперечной подачи (в станках с обработкой периферией круга) и подачи на врезание в связи с неполной загрузкой стола и колебаниями припуска на обработку деталей.

В станках с круглым столом и горизонтальным шпинделем при постоянной угловой скорости стола ω_c и скорости минутной поперечной подачи $S_{\text{ом}}$ окружная скорость точки контакта круга с изделием V_d и подача на оборот стола S_0 определяются из соотношений

$$V_d = 60 \omega_c r = f(t), \quad (5)$$

$$S_0 = \pi \frac{S_{\text{ом}}}{30 \omega_c} = \text{const}. \quad (6)$$

Учитывая, что

$$\left| V_d \right| = \left| \frac{dr}{dt} \right|, \quad (7)$$

можно, решая совместно уравнения (5) и (7), получить функцию изменения во времени радиуса обработки

$$r = r_0 e^{[\text{sign}U]60\omega_c t}, \quad (8)$$

и соответственно окружной скорости

$$V_d = 60\omega_c r_0 e^{[\text{sign}U]60\omega_c t}, \quad (9)$$

где r_0 — начальное значение радиуса обработки;

$\text{sign}U = +1$ при движении круга от центра стола к периферии, т.е. при увеличении радиуса;

$\text{sign}U = -1$ при движении круга в обратном направлении.

Как видно из полученных соотношений, при обработке с постоянными частотой вращения стола и минутной поперечной подачей окружная скорость точки контакта круга с изделием V_d изменяется во времени по экспоненциальному закону, а обратная подача S_0 остается постоянной.

В соответствии с соотношением (4) изменение радиуса обработки приводит к изменению мощности шлифования P_z , поскольку при постоянных прочих значениях

$$P_z = K_3 V_d^{0,7} = f(r), \quad (10)$$

где K_3 — коэффициент пропорциональности.

При постоянных частоте вращения стола и радиусе шлифовального круга (износ круга за время одного цикла шлифования в станках этой группы можно не учитывать) мощность шлифования пропорциональна тангенциальному усилию резания

$$F_z = K_4 P_z. \quad (11)$$

Вертикальная составляющая усилия резания

$$F_y = K_5 F_z, \quad (12)$$

где $K_5 = 8 \dots 10$, определяет [1] деформацию конца шпинделя и его прогиб, который упрощенно может быть представлен в виде

$$y = C_1 F_y, \quad (13)$$

где C_1 — величина, обратная радиальной жесткости шпинделя. Радиальная жесткость шпинделя шлифовального станка на опорах скольжения составляет по экспериментальным данным $2,45 \cdot 10^5$ Н/мм [5].

Из выражений (9)...(13) видно, что уменьшение радиуса обработки при движении шлифовального круга к центру стола при постоянной угловой скорости ω_c вызывает снижение мощности шлифования и соответствующее уменьшение отжима конца шпинделя. Это приводит к образованию конических вогнутых поверхностей и, следовательно, ухудшению точности обработки вдоль всего зеркала стола.

Указанные недостатки могут быть устранены в электроприводе вращения круглого стола с системой управления, обеспечивающей шлифование с постоянной окружной скоростью V_d . Для этого в соответствии с (5) система управления должна обеспечивать изменение угловой скорости вращения стола ω_c в функции радиуса обработки в виде семейства гипербол

$$\omega_c = \frac{V_d}{60/r} = \frac{C_2}{r}. \quad (14)$$

В этом случае с учетом (6) при постоянной минутной поперечной подаче окажется переменной подача на оборот S_0 , что, в свою очередь, приведет к изменению качества обработки по всей поверхности стола. Во избежание этого для обеспечения неизменной подачи на оборот в условиях изменения частоты вращения стола необходимо обеспечить изменение минутной подачи пропорционально частоте вращения. Таким образом, условия обработки в станках данного класса с постоянными точностью и качеством обработанной поверхности могут быть представлены как

$$\omega_c = \frac{C_2}{r},$$

$$S_{\text{ом}} = C_3 \omega_c. \quad (15)$$

Одним из основных параметров плоского шлифования является скорость резания. Этот параметр определяет тангенциальное усилие [6]

$$F_z = C_p V_k^{-\alpha}, \quad (16)$$

и соответственно деформации при шлифовании. Одновременно скорость резания определяет время нагружения t абразивного зерна шлифовального круга [3]

$$t = \frac{e_c}{V_k},$$

где e_c — дуга контакта зерна с обрабатываемой поверхностью.

Скорость резания по выражению (3) определяет также износ круга Q_α . Снижение скорости резания по мере износа шлифовального круга и уменьшение его диаметра приводит к увеличению удельного износа, повышению расхода абразивного материала, ухудшению качества обработанной поверхности. Снижение окружной скорости сопровождается увеличением тангенциального усилия, что приводит к изменению величины отжима шпинделя и снижению точности обработки.

Зависимость радиуса шлифовального круга при постоянной частоте его вращения может быть получена из выражения (3) с учетом того, что

$$|Q_\alpha| = \left| \frac{dV_{kp}}{dt} \right|, \quad (17)$$

где V_{kp} — объем шлифовального круга.

После преобразований получим

$$r = r_0 - \left[\frac{C}{\sqrt{2\pi B_k}} \left(\frac{30 S_0 V_d S_t}{\pi n} \right)^x t^x \right], \quad (18)$$

где r_0 — начальный радиус неизношенного круга. Показатель x примерно равен 1,6 [1].

Выражение (18) не учитывает правку круга, основано на эмпирическом соотношении (5) и является весьма приближенным, однако иллюстрирует сложный характер изменения во времени радиуса круга и соответственно скорости резания.

Таким образом, аналогично приводу вращения круглого стола плоскошлифовальных станков с горизонтальным шпинделем во всех плоскошлифовальных станках с обработкой периферией круга привод вращения шлифовального круга работает в условиях постоянного изменения во времени радиуса обработки, в данном случае — радиуса шлифовального круга. Для обеспечения поддержания постоянства скорости резания в этом приводе аналогично приводу вращения круглого стола необходимо осуществить изменение частоты вращения шпинделя обратно пропорционально радиусу шлифовального круга. Разработка и внедрение подобных систем ограничиваются главным образом не проблемами обеспечения функциональной зависимости между радиусом круга и частотой его вращения [7], а трудностями, связанными с реализацией датчика диаметра шлифовального круга.

Особую группу плоскошлифовальных станков составляют обдирочные станки для металлургической промышленности. Поверхностный слой заготовок проката содержит мелкие трещины, раковины и окалину, которые не удаляются при дальнейшей прокатке, а должны быть зачищены абразивным кругом, ось вращения которого параллельна вектору скорости продольной подачи V_d . В соответствии с нормами на сортамент заготовок отклонение их профиля от прямолинейного достигает 20 мм на 1 м длины.

Так как дефекты металла концентрируются, в основном, в поверхностном слое заготовки, для снижения отходов металла при обдирке достаточно снять с нее только поверхностный слой. Применение в этих условиях традиционного привода периодической подачи на врезание плоскошлифовальных станков с обработкой периферией круга нецелесообразно, так как приведет к повышенному съему металла (10...20 мм вместо 0,5...1 мм) и снижению производительности. Задача снижения непроизводительного расхода металла особенно актуальна при обдирке дорогостоящих легированных сталей. Эта задача решается приводом подачи на врезание, обеспечивающим поддержание постоянства толщины снимаемого слоя металла, независимо от колебаний профиля заготовки.

При гармоническом законе изменения профиля заготовки, которой наиболее часто встречается на практике, отклонение профиля заготовки от горизонтальной линии при движении круга относительно нее может быть описано следующим уравнением

$$\delta = \frac{\Delta}{2} \sin\left(\frac{\pi V_d}{30T} t\right), \quad (19)$$

где Δ — величина отклонения профиля (его размах);

T — период волны профиля.

При $V_d = (5...20)$ м/мин и $T = 1$ м частота колебаний профиля заготовки составляет $\omega_3 = (0,52...6,25)$ с⁻¹. Привод подачи на врезание, обеспечивающий поддержание глубины шлифования, должен пропускать эти частоты. Решение этой задачи усложняется значительной инерционностью механической части привода и тем, что частоты собственных его колебаний в 2...3 раза превышают максимальное значение частоты колебаний профиля. Это предъявляет повышенные требования к фильтрации частот при построении систем управления.

Таким образом, изменения технологических параметров в процессе плоского шлифования накладывает дополнительные требования к приводам и системам управления, обеспечивающим стабилизацию этих параметров.

Так, при шлифовании на станках с круглым столом и горизонтальном шпинделем для повышения производительности и точности обработки следует применять регулируемые электроприводы стола и поперечной подачи с системами управления для обеспечения условий (15). Функциональная схема взаимосвязанных приводов для поддержания постоянства окружной скорости стола и подачи на оборот с использованием датчика диаметра ВД и функционального преобразователя АУ приведена на рис. 1.

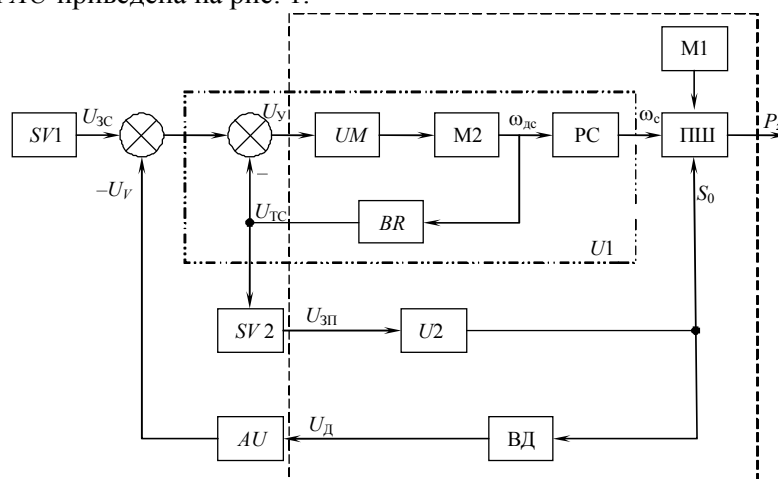


Рис. 1. Функциональная схема системы взаимосвязанных приводов для поддержания постоянства окружной скорости стола и подачи на оборот

В шлифовальных станках с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем с обработкой периферией круга следует выбрать регулируемый электропривод вращения шпинделя с

системой управления, обеспечивающей стабилизацию скорости резания $V = \omega R = \text{const}$, с применением датчика диаметра шлифовального круга. Функциональная схема управления приводом вращения шпинделя для стабилизации скорости резания приведены на рис. 2.

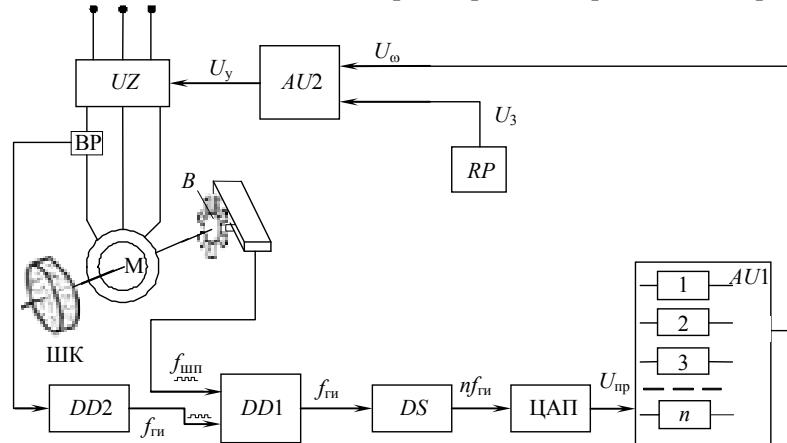


Рис. 2. Функциональная схема управления приводом вращения шпинделя для стабилизации скорости резания

В обдирочных плоскошлифовальных станках для металлургической промышленности для поддержания постоянства толщины снимаемого слоя металла следует применять регулируемый электропривод с системой управления, обеспечивающий постоянство мощности по условию (4) и усилие прижима шлифовального круга к обрабатываемой детали. Функциональная схема управления приводом подачи для поддержания постоянства глубины шлифования приведена на рис. 3.

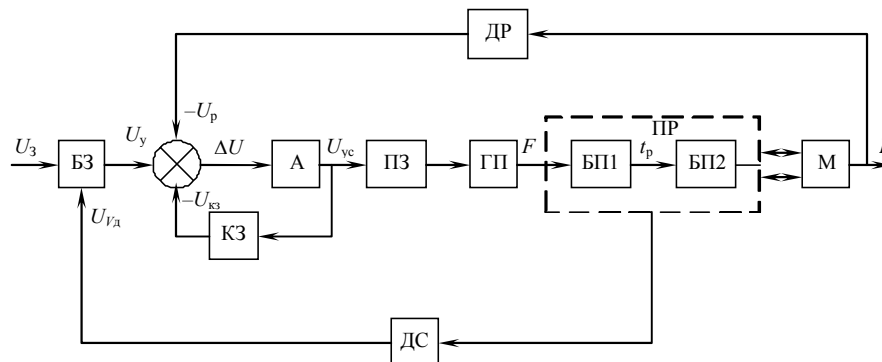


Рис. 3. Функциональная схема управления приводом подачи для поддержания постоянства глубины шлифования

Представленные системы электроприводов и схем управления к ним были испытаны на шлифовальных станках с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем 3Д722, с круглым столом и горизонтальным шпинделем 3Д740, обдирочно-шлифовальном станке для металлургической промышленности 3306К-60.

Литература

1. Лурье, Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. — М.: Машиностроение, 1989. — 172 с.
2. Корчак, С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. — М.: Машиностроение, 1974. — 280 с.

-
3. Иосикава, Х. Изучение износа шлифовальных кругов / Х. Иосикава, Т. Сата. — Ч.1 Разрушение связи шлифовальных кругов // Transaction of ASME. Ser. B: J. of Eng. for Industry. — 1984. — № 1. — P. 46 — 51.
 4. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на шлифовальных станках. Крупносерийное и массовое пр-во. — М.: Машгиз, 1979. — 360 с.
 5. Палей, Л.Я. Опоры качения шпинделей плоскошлифовальных станков // Станки и инструмент. — 1987. — № 3. — С. 10 — 11.
 6. Кудасов, Г.Ф. Плоское шлифование / Г.Ф. Кудасов. — Л.: Машиностроение, 1987. — 107 с.
 7. Михелькевич, В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. — М.: Машиностроение, 1975. — 304 с.

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Ларшин В.П.

Поступила в редакцию 2 апреля 2008 г.