

Настройка измерительного преобразователя производится при опыте идеального холостого хода синхронной машины поворотом вращающегося диска относительно ротора таким образом, чтобы начало полупериода синусоиды напряжения питающей сети совпадало по фазе с началом управляющих импульсов датчика положения ротора.

В ы в о д ы

Описанный измерительный преобразователь внутреннего угла синхронных машин прост по конструкции и надежен в эксплуатации.

Применение практически безынерционного датчика, фиксирующего положение ротора относительно поля статора, позволяет получить высокую точность измерения угла θ .

Показания измерительного преобразователя стабильны в условиях как установившегося, так и динамического режимов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. И патенко Н.Р., Боканов Н.В., Космачев Н.У. Устройство для измерения угла устойчивости синхронной машины. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1967, № 11, с. 106—109. 2. Губенко Т.П., Фильц Р.В., Глухивский Л.И. Прибор для измерения угла выбега синхронной машины. — Изв. вузов СССР. Электромеханика, 1970, № 7, с. 813—814. 3. И патенко Н.Р., Боканов Н.В., Космачев Н.У. Тиристорный измеритель угла θ синхронных машин. — Электротехника, 1971, № 9, с. 30—32. 4. Пойдо А.И. Устройство для измерения внутреннего угла θ синхронной машины: Сб. науч.тр./Моск. энергетич. ин-т. — М.: МЭИ, 1972, вып. 97. — 136 с.

УДК 621.9.014.001.24

Г.И. ГУЛЬКОВ, аспирант (БПИ)

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

Общепринятым критерием оптимизации процессов резания металлов является минимум приведенных затрат. Анализ составляющих приведенных затрат, осуществляемый для продольно-шлифовального станка модели МС510Ф1, показал, что затраты, связанные с расходом шлифовального круга и правящего инструмента, значительно меньше приведенных затрат на эксплуатацию шлифовального станка. Без учета затрат, связанных с расходом шлифовального круга и правящего инструмента, критерий минимума приведенных затрат вырождается в критерий максимума производительности. Он может быть представлен в виде переменной части штучного времени t_n , зависящей от режима резания:

$$t_n = t_p + \frac{t_{пр} + t_{см}/n}{T} t_p' \quad (1)$$

где t_p — время шлифования; $t_{пр}$ — время правки шлифовального круга; $t_{см}$ — время смены шлифовального круга при полном износе; T — стойкость шлифовального круга; n — число правок круга до полного износа.

Выражение (1), как и аналогичные ему имеющиеся в литературе [1], не

учитывает времени реверсирования стола с деталью, что для процесса шлифования не всегда оправдано. Время шлифования определяется

$$t_p = \frac{LBhk}{V_{\partial} S_t S_o} = \frac{L_i}{V_{\partial}}, \quad (2)$$

где L – длина шлифования; B – ширина шлифования; h – припуск на шлифование; k – коэффициент, учитывающий выхаживание и износ круга (для чернового шлифования $k = 1$); V_{∂} – скорость движения детали; S_t – вертикальная подача на глубину шлифования; S_o – поперечная подача на ширину шлифования; i – количество необходимых для обработки проходов.

Стойкость шлифовального круга T , работающего в условиях затупления зерен, неоднозначно зависит от режимов резания. Установлено, что с увеличением скорости резания стойкость увеличивается, а с увеличением любой из подач – уменьшается [2]. Из формулы (2) видно, что с увеличением стойкости круга время t_n уменьшается. Следовательно, при прочих равных условиях производительность обработки будет выше при большей скорости резания. Считаем, что скорость резания в процессе износа шлифовального круга поддерживается на максимально возможном уровне. В этом случае стойкость круга и производительность обработки не зависят от скорости резания. Стойкость круга при плоском шлифовании периферией круга связана с режимами резания эмпирической зависимостью [3]

$$T = \frac{0,35 \cdot H^2}{(V_{\partial} S_t S_o)^2} K_1 K_2, \quad (3)$$

где H – высота шлифовального круга; K_1, K_2 – коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала и диаметра круга соответственно. Подставив (2) и (3) в (1), получим

$$t_n = \frac{L_i}{V_{\partial}} \left(1 + \frac{t_{np} + t_{cm}/n}{0,35 \cdot H^2 K_1 K_2} (V_{\partial} S_t S_o)^2 \right). \quad (4)$$

Область существования целевой функции (4) определяется техническими ограничениями, налагаемыми на режим резания требованиями к детали, станком. Особых требований к точности и чистоте обработки при черновом шлифовании не предъявляется. В этом случае ограничениями являются:

а) мощность привода шлифовального круга

$$P_H \geq P_{рез}, \quad (5)$$

где P_H – номинальная мощность двигателя; $P_{рез}$ – мощность резания:

б) максимальные и минимальные значения скоростей подач

$$\begin{aligned} V_{\partial \max} &\geq V_{\partial} \geq V_{\partial \min}; \\ S_{t \max} &\geq S_t > 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Выражения (3) – (6) представляют собой математическую модель процесса плоского шлифования. Основным возмущающим воздействием для процесса шлифования является изменение припуска h , что характеризуется

изменением вертикальной подачи на глубину S_t . В качестве управляющего воздействия принимаем скорость движения детали V_{∂} , так как в случае шлифования узких направляющих, когда $H > B$, регулирование S_o вообще невозможно.

В работе [1] показано, что производительность при плоском шлифовании является экстремальной функцией скорости движения стола V_{∂} . Рассматривая S_o и S_t как параметры, возьмем первую производную от выражения (4) по скорости V_{∂} и приравняем ее нулю. Получим уравнение для определения значений $V_{\partial} = V_{\partial \text{ опт}}$, при которых время t_n минимально, а производительность шлифования имеет максимум

$$V_{\partial \text{ опт}} = \frac{0,6 \cdot H}{S_t S_o} \sqrt{\frac{K_1 K_2}{t_{\text{пр}} + t_{\text{см}}/n}} \quad (7)$$

В данных условиях шлифования величины, входящие в правую часть выражения (7), за исключением S_t , неизменны. Перепишем выражение (7) следующим образом:

$$V_{\partial \text{ опт}} \cdot S_t \cdot S_o = 0,6 \cdot H \sqrt{\frac{K_1 K_2}{t_{\text{пр}} + t_{\text{см}}/n}} = C \quad (8)$$

При изменении условий шлифования коэффициент C изменяется. Анализ показывает, что наибольшее влияние на изменение C оказывает изменение высоты круга H , так как K_1, K_2 имеют значения близкие к единице [3], $(t_{\text{пр}} + t_{\text{см}}/n)$ для данного станка в среднем постоянно.

Значения $V_{\partial \text{ опт}}$, согласно (5), (6), ограничены номинальной мощностью привода шлифовального круга P_H и максимальными и минимальными значениями V_{∂} и S_t . Известно [4], что мощность резания при плоском шлифовании периферией круга

$$P_{\text{рез}} = 1,77 (V_{\partial} \cdot S_t \cdot S_o)^{0,7} K_3 K_4 K_5, \quad (9)$$

где K_3, K_4, K_5 — коэффициенты, зависящие от твердости и высоты круга, обрабатываемого материала, коэффициента заполнения стола соответственно.

Сопоставив выражения (8) и (9), можно утверждать, что (8) будет выполняться при сохранении мощности резания постоянной, т.е. $P_{\text{рез}} = \text{const}$. Подставив выражение (8) в (9) и учитывая (5), определим граничное значение коэффициента C по условиям ограничения мощности резания номинальным значением мощности двигателя

$$C_{\text{гр}} = 0,44 \left(\frac{P_H}{K_3 K_4 K_5} \right)^{1,43} \quad (10)$$

Как следует из (7) и (10), в условиях шлифования при $C \geq C_{\text{гр}}$ оптимальное управление $V_{\partial \text{ опт}}$ располагается на линии

$$V_{\partial} = \frac{C_{\text{гр}}}{S_t S_o} \quad (11)$$

в диапазоне изменения S_t , определяемом неравенством

$$S_{t1} \leq S_t \leq S_{t2}.$$

Подставив в (11) значения $V_{\partial \max}$ и $V_{\partial \min}$, определим значения S_{t1} и S_{t2} :

$$S_{t1} = \frac{C_{гр}}{V_{\partial \max} S_0}; \quad S_{t2} = \frac{C_{гр}}{V_{\partial \min} S_0}. \quad (12)$$

Как следует из (12), диапазон изменения S_t , при котором оптимальное управление располагается на линии $V_{\partial} = V_{\partial \max}$ определяется неравенством

$$0 < S_t \leq S_{t1}.$$

В условиях шлифования при $C < C_{гр}$ оптимальное управление определяется по выражениям (11), (12), подставив в них C вместо $C_{гр}$.

На рис. 1 представлена область допустимых значений $V_{\partial \text{опт}} = f(S_t)$. Кривая 1 представляет собой линию ограничения по $V_{\partial \max}$; кривая 2 — линию ограничения по $P_{\text{рез}} = P_n$; кривая 3 — по $V_{\partial \min}$. Расчет проведен для следующих условий: шлифование чугуна шлифовальным кругом диаметром 600 мм ($K_1 = 1,1$; $K_2 = 1,0$; $K_3 = 1,12$; $K_4 = 0,9$; $K_5 = 1$ [4]), высотой 100 мм, при поперечной подаче $S_0 = 70$ мм/ход ($t_{\text{пр}} + t_{\text{см}}/n$) = 2 мин, $P_n = 15$ кВт, $V_{\partial \max} = 50$ м/мин, $V_{\partial \min} = 1$ м/мин. Для таких условий $C = 44,5$; $C_{гр} = 20,9$; т.е. $C > C_{гр}$. В этом случае целевая функция (4) достигает экстремума на линиях, ограничивающих допустимую область изменения $V_{\partial \text{опт}}$. Изменение поперечной подачи S_0 , которая для чернового шлифования составляет (0,4—0,7) H , вызывает деформацию области допустимых значений $V_{\partial \text{опт}}$. На этом же рис. 1 в виде линии 4 показано ограничение по величине максимально допустимой мощности резания при $S_0 = 40$ мм/ход, в виде линий 5, 6 — кривые $V_{\partial \text{опт}} = f(S_t)$ без учета ограничений при $S_0 = 40$ мм/ход, $S_0 = 70$ мм/ход соответственно.

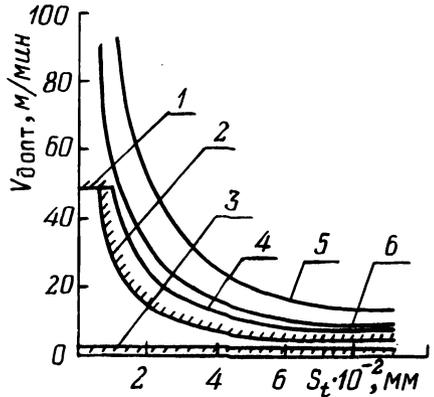


Рис. 1. Область допустимых значений $V_{\partial \text{опт}}$

Для более точного определения оптимального управления введем в (4) время реверсирования стола с деталью t_1 :

$$t_n = \frac{Li}{V_{\partial}} \left(1 + \frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{см}}/n}{0,35 \cdot H^2 K_1 K_2} (V_{\partial} \cdot S_t \cdot S_0)^2 \right) + t_1. \quad (13)$$

Время t_1 может быть определено из условия сохранения постоянства уско-

рения на участке торможения и разгона стола с деталью, что является одним из требований к электроприводу стола:

$$t_1 = 2 \cdot \frac{V_{\partial}}{3600 \cdot a} = \frac{V_{\partial}}{1800 \cdot a}, \text{ мин.} \quad (14)$$

где a — ускорение стола с деталью на участке торможения и разгона, м/с^2 .

Подставив (14) в (13), взяв от него производную по V_{∂} и приравняв ее к нулю, получим аналитическое выражение для определения значений $V_{\partial} = V_{\partial \text{ опт1}}$, при которых целевая функция (13) принимает минимальное значение:

$$V_{\partial \text{ опт1}} = \sqrt{\frac{L}{\frac{L(t_{\text{пр}} + t_{\text{см}}/n)(S_0 S_t)^2}{0,35 \cdot \text{Н}^2 K_1 K_2} + 5,6 \cdot 10^{-4}/a}}}. \quad (15)$$

Из выражения (7), определяющего оптимальную скорость движения детали без учета времени реверсирования стола, видно, что уменьшение глубины резания S_t при прочих равных условиях и неучете технических ограничений ведет к неограниченному росту значения $V_{\partial \text{ опт}}$. В отличие от этого анализ выражения (15) показывает, что при уменьшении длины шлифуемой поверхности L и подачи на глубину S_t первое слагаемое знаменателя стремится к

нулю. Следовательно, максимальное значение $V_{\partial \text{ опт1}}$ ограничено длиной шлифуемой поверхности L и ускорением при реверсировании стола с деталью a

$$V_{\partial \text{ опт1 макс}} = \sqrt{1800 La} \dots$$

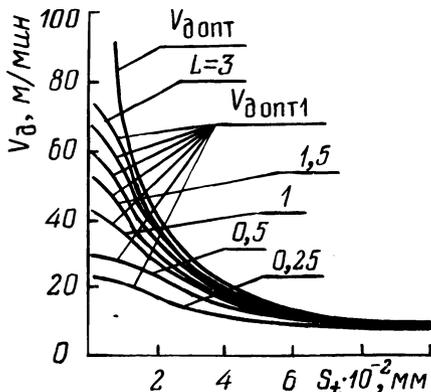


Рис. 2. Зависимости $v_{\partial \text{ опт}} = f(S_t)$; $v_{\partial \text{ опт1}} = f(S_t)$ при различных значениях L .

На рис. 2 представлены результаты расчета оптимальных скоростей движения стола по выражению (7) и (15) для условий, указанных в данной статье. Как видно из графиков, значения оптимальных скоростей, рассчитанных без учета и с учетом времени реверсирования стола с деталью, отличаются друг от друга, причем $V_{\partial \text{ опт}} > V_{\partial \text{ опт1}}$. Практически совпадение ре-

зультатов расчета $V_{\partial \text{ опт}}$ и $V_{\partial \text{ опт1}}$ начинается со значения $S_t = 0,1 \text{ мм}$, при котором отличие $V_{\partial \text{ опт}}$ от $V_{\partial \text{ опт1}}$ не превышает 6% при $L = 0,25 \text{ м}$. Область допустимых значений $V_{\partial \text{ опт1}}$ определится по соотношениям (11) и (12). Рекомендуемые значения вертикальной подачи на глубину S_t для обработки направляющих из чугуна составляют 0,025–0,06 мм, для обработки стальных деталей — 0,015–0,04 мм. Из рис. 2 видно, что в диапазоне возможного изме-

нения припуска h и параметра S_t от значения близкого к нулю до максимального рекомендуемого значения $V_{допт}$ и $V_{допт1}$ значительно отличаются друг от друга.

Следовательно, для определения оптимального управления процессом чернового плоского шлифования на продольно-шлифовальном станке необходимо использовать выражение (15), учитывающее время реверсирования стола с деталью. Использование выражения (7) оправдано в случае, когда заведомо известно, что подача на глубину S_t в процессе шлифования с изменяющимся по длине детали припуском не становится меньше 0,1 мм.

Изложенная методика определения оптимальных сочетаний V_d и S_t для плоского шлифования может быть использована также для тяжелых круглошлифовальных станков при шлифовании периферией круга методом продольной подачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шапарев Н.К., Водичев В.А. К вопросу построения поисковой системы управления электроприводом шлифовального станка. — В сб.: Электромашиностроение и электрооборудование. Киев: Техника, 1979, № 29, с. 19–24.
2. Филимонов Л.Н. Стойкость шлифовальных кругов. — Л.: Машиностроение, 1979. — 136 с.
3. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на шлифовальных станках. Серийное производство. — М.: Машгиз, 1962. — 200 с.
4. Справочник нормировщика-машиностроителя. — М.: Машгиз, 1961. — 892 с.