

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кац А.М., Соловьева Н.С., Крапивина Т.Г. Совершенствование непрерывного литья слитков в кристаллизаторы скольжения. – Цветные металлы, 1975, № 10, с. 61–63. 2. Комлик Г.П., Тутов В.И. Привод механизмов вытягивания слитка на установках горизонтального непрерывного литья. – Цветная металлургия, 1978, № 11, с. 51–53. 3. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями/Под общ. ред. М.Г.Чиликина. – М., 1971. – 624 с. 4. Луценко В.Е., Рубцов В.П. Электропривод и автоматизация промышленных установок. – М., 1976, т. 6. – 124 с.

УДК 62.83:621.9

Г.И.ГУЛЬКОВ, М.Ф.ЗУХЕЙРИ, Г.М.РЫЧКОВ,  
Ю.Н.ПЕТРЕНКО, канд.техн.наук (БПИ)

### ЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ ТОКАРНОГО СТАНКА

Механическая обработка деталей на токарных станках занимает значительное место в машиностроении. Одним из путей повышения эффективности металлообработки является оптимизация режимов резания. При токарной обработке торцевых поверхностей деталей режим точения с постоянной скоростью резания является оптимальным с точки зрения повышения производительности труда. Для стабилизации скорости резания необходимо по мере уменьшения диаметра детали увеличивать угловую скорость шпинделя. Выбор регулируемого частотного электропривода рассмотрим применительно к вертикальному токарному полуавтомату модели СМ780, который предназначен для обработки деталей типа "фланец".

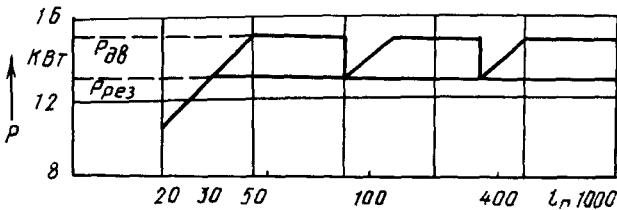


Рис. 1. Диаграмма регулирования привода.

В настоящее время регулирование скорости на станке осуществляется ступенчато в диапазоне  $D = 32$ . Причем переключение ступеней коробки скоростей в небольшом диапазоне ( $D_1 = 5,56$ ) осуществляется автоматически. Привод главного движения токарных станков в верхней части диапазона требует регулирования скорости с постоянной мощностью резания ( $D_p = 25,7$ ). В нижней части диапазона регулирование скорости осуществляется при постоянном моменте нагрузки ( $D_m = 1,23$ ). Необходимая диаграмма регулирования привода шпинделя изображена на рис. 1.

Относительное сокращение машинного времени  $T_M^*$  за счет ступенчатого регулирования скорости при торцевой обработке можно определить по формуле

$$T_M^* = \frac{T_{Mn} - T_{Mv}}{T_{Mn}} = 1 - \frac{\varphi(D+1)}{D(\varphi+1)}, \quad (1)$$

где  $T_{Mn}$  – машинное время при обработке с постоянной частотой вращения;  $T_{Mv}$  – машинное время при обработке с постоянной скоростью резания;  $\varphi$  – плавность регулирования скорости.

Для станка модели СМ780 имеем  $T_{M(1)}^* = 0,31$ .

Относительное сокращение машинного времени при точении с постоянной скоростью (бесступенчатое регулирование,  $\varphi = 1$ ) можно выразить формулой

$$T_{M(2)}^* = \frac{1}{2} \left( \frac{D-1}{D} \right) = 0,484.$$

Таким образом, возможное сокращение относительного машинного времени при торцевой обработке с постоянной скоростью резания для станка модели СМ780 составит (1)

$$(T_{M(2)}^* - T_{M(1)}^*) \cdot 100\% = (0,484 - 0,31) \cdot 100 = 17,4\%.$$

При питании асинхронного двигателя (АД) от преобразователя частоты (ПЧ) регулирование частоты вращения можно осуществить двумя путями: пропорциональным изменением напряжения питания (или ЭДС) и частоты тока статора в диапазоне до номинальной, при этом момент двигателя  $M_c = \text{const}$ ; изменением частоты при постоянстве напряжения (или ЭДС) в диапазоне выше номинальной, при мощности двигателя  $P_c = \text{const}$ . При таком управлении диапазон регулирования скорости с  $M_c = \text{const}$ :  $D'_p = 5-10$ ; диапазон регулирования при  $P_c = \text{const}$ :  $D'_p \approx 2$ . Так как  $D_p > D'_p$ , то очевидно, что чисто электрический способ регулирования нуждается в значительном повышении мощности АД. Поэтому целесообразно применить сочетание бесступенчатого электрического и механического ступенчатого регулирования. Число ступеней коробки скоростей, как правило, не должно превышать 4–5, так как при  $Z > 5$  мощность двигателя снижается незначительно, а коробка скоростей существенно усложняется.

По условиям механической прочности ротора принимаем диапазон регулирования АД  $D'_p = 2$ . Технологическая мощность резания на станке  $P_{\text{рез}} = 13$  кВт.

Номинальная мощность двигателя с коробкой скоростей третьей ступени определяется из соотношения

$$P_z \geq P_{\text{рез}} \frac{D_p^{1/3}}{D_p^1}; \quad P_z = 19,2 \text{ кВт}. \quad (2)$$

Исходя из  $P_z$ , выбираем АД типа 4А180S4У3;  $P_n = 22$  кВт.

Для выбранного АД определим возможный диапазон регулирования скорости, для чего воспользуемся методикой, изложенной в [1].

Допустимое значение  $a$ , ограниченное перегрузочной способностью  $K_{\text{Мд}}$  двигателя, определяется как

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \sqrt{\frac{\delta}{\gamma}}; \quad \delta = \lambda^2 - c^2 d^2 - b^2 l^2; \quad \lambda = \frac{m_1 U_{1н}^2}{2P_{\text{мех}} K_{\text{Мд}}} - r_1; \\
 \gamma &= c^2 l^2; \quad b = r_1 \left(1 + \frac{x'_2}{x_0}\right); \quad c = x_0 \left(\frac{x_1}{x_0} + \frac{x'_2}{x_0} + \frac{x_1 x'_2}{x_0^2}\right); \\
 d &= \frac{r_1}{x_1}; \quad l = 1 + \frac{x_1}{x_0},
 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $r_1, x_1, x'_2, x_0$  — параметры схемы замещения двигателя.

Решив (3) для выбранного двигателя, получим  $a_1 = 3,9$ . Соответствующее ему значение  $\beta$  можно получить из выражения механической мощности [1]:

$$P_{\text{мех}} = \frac{m_1 U_1^2 r_1^2 \beta (a - \beta)}{(b^2 + c^2 a^2) \beta^2 + 2r_1 r'_2 a \beta + (d^2 + l^2 a^2) r_2'^2}. \tag{4}$$

Отсюда запишем

$$\begin{aligned}
 \beta^2 (P_{\text{мех}} b^2 + P_{\text{мех}} c^2 a^2 + m_1 U_1^2 r_2') + \beta a (2P_{\text{мех}} r_1 r'_2 - m_1 U_1^2 r_2') + \\
 + P_{\text{мех}} (d^2 + e^2 a^2) r_2' = 0.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Решение уравнения (5) дает значение  $\beta$ .

Ограничением является также температура обмотки статора двигателя. При независимой вентиляции двигателя температура не будет превышена в случае (2)

$$\Delta P \leq \Delta P_{\text{н}}. \tag{6}$$

Пренебрегая потерями в стали ротора и учитывая, что механические и добавочные потери покрываются за счет механической мощности, можно записать

$$\Delta P = \Delta P_{\text{эл}1} + \Delta P_{\text{эл}2} + \Delta P_{\text{с}}, \tag{7}$$

где  $\Delta P_{\text{эл}1}, \Delta P_{\text{эл}2}$  — электрические потери в обмотках статора и ротора соответственно;  $\Delta P_{\text{с}}$  — потери в стали статора.

Рассмотрев составляющие потерь, запишем выражение (7) в виде [1]

$$\Delta P = P_{\text{мех}} \frac{\beta}{a - \beta} \left(K_1 + \frac{K_2}{\beta^2}\right) + \frac{\Delta P_{\text{Гн}}}{a} + \Delta P_{\text{вн}} \leq \Delta P_{\text{н}}; \tag{8}$$

где  $K_1 = 1 + \frac{r_1}{r_2} \left(1 + \frac{x'_2}{x_0}\right)^2$ ;  $K_2 = \frac{r_1 r'_2}{x_0^2}$ ;  $\Delta P_{\text{Гн}}, \Delta P_{\text{вн}}$  — номиналь-

ные потери на гистерезис и вихревые токи соответственно.

Совместное решение уравнений (4) и (8) дает допустимое значение  $a$  в соответствии с условием (6).

Расчет показывает, что потери мощности в АД превысят номинальные при абсолютном скольжении  $\beta$ , большем критического. Следовательно, ограничение по перегрузочной способности является более "сильным".

Определим максимальное значение скорости:

$$\omega_{1 \max} = \omega_{1н} (\alpha_1 - \beta_1) = 592,35 \text{ рад/с.}$$

Тогда допустимый диапазон регулирования АД с  $P_{\text{мех}} = \text{const}$  равен

$$D_{\text{д}} = \frac{\omega_{1 \max}}{\omega_{1н}} = 3,84.$$

Если допустимый диапазон регулирования  $D_{\text{д}}$  с ограничениями по перегрузочной способности и допустимым потерям значительно превышает первоначально принятое значение  $D'_{\text{д}} = 2$ , то выбранный двигатель 4А180 S4УЗ в процессе работы будет недогружен. Поэтому имеет смысл проверить двигатель, стоящий в ряду мощностей на ступень ниже.

Результаты расчета для двигателей  $P_{\text{н}} = 22$  кВт (4А180 S4УЗ),  $P_{\text{н}} = 15$  кВт (4А160 S4УЗ) и  $P_{\text{н}} = 18,5$  кВт (4А160М4УЗ) при  $Z = 3$  показывают, что для токарного станка модели СМ780 целесообразным является применение АД мощностью  $P_{\text{н}} = 15$  кВт с диапазоном регулирования вверх от основной скорости  $\alpha_1 = 2,5$ . Диаграмма регулирования, соответствующая выбранному двигателю, приведена на рис. 1.

Таким образом, алгоритм выбора двигателя для приводов главного движения представляет собой следующее

– предварительный выбор приемлемого значения числа ступеней коробки скоростей;

– предварительный выбор диапазона регулирования АД с  $P = \text{const}$ ;

– определение требуемой мощности  $P_z$  по формуле (2) и выбор типа АД по каталогу из условия  $P_{\text{н}} \geq P_z$ ;

– уточнение диапазона регулирования при  $P = \text{const}$  с ограничениями по потерям и перегрузочной способности на основании параметров схемы замещения выбранного АД;

– если двигатель допускает регулирование в диапазоне, большем выбранного первоначально, производим проверку двигателя меньшей мощности.

Применение частотного электропривода главного движения позволяет расширить технологические возможности станка и повысить производительность металлообработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петренко Ю.Н., Гульков Г.И. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя при постоянной мощности. – Электротехника, № 7, 1984, с. 18–19. 2. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. – М., 1979. – 616 с.