

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., Туттов 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".

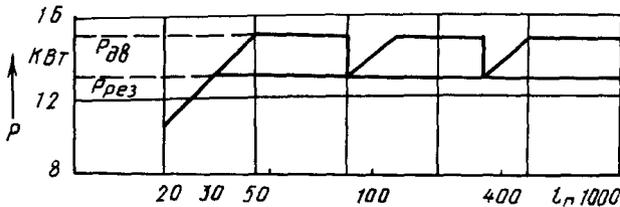


Рис. 1. Диаграмма регулирования привода.

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; φ – 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

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\delta}{\gamma}}; \quad \delta = \lambda^2 - c^2 d^2 - b^2 l^2; \quad \lambda = \frac{m_1 U_{1н}^2}{2P_{\text{мех}} K_{\text{Мд}}} - r_1;$$

$$\gamma = c^2 l^2; \quad b = r_1 \left(1 + \frac{x'_2}{x_0}\right); \quad c = x_0 \left(\frac{x_1}{x_0} + \frac{x'_2}{x_0} + \frac{x_1 x'_2}{x_0^2}\right);$$

$$d = \frac{r_1}{x_1}; \quad l = 1 + \frac{x_1}{x_0}, \quad (3)$$

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

Решив (3) для выбранного двигателя, получим $\alpha_1 = 3,9$. Соответствующее ему значение β можно получить из выражения механической мощности [1]:

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

Отсюда запишем

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

Решение уравнения (5) дает значение β .

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

$$\Delta P \leq \Delta P_{\text{н}}. \quad (6)$$

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

$$\Delta P = \Delta P_{\text{эл1}} + \Delta P_{\text{эл2}} + \Delta P_{\text{с}}, \quad (7)$$

где $\Delta P_{\text{эл1}}, \Delta P_{\text{эл2}}$ — 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]

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

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 α в соответствии с условием (6).

Расчет показывает, что потери мощности в АД превысят номинальные при абсолютном скольжении β , 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 $P_{\text{н}} = 22 \text{ кВт}$ (4А180 S4УЗ), $P_{\text{н}} = 15 \text{ кВт}$ (4А160 S4УЗ) и $P_{\text{н}} = 18,5 \text{ кВт}$ (4А160М4УЗ) при $Z = 3$ показывают, что для токарного станка модели СМ780 целесообразным является применение АД мощностью $P = 15 \text{ кВт}$ 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., Гультков 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.