

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА НА ТОЧНОСТЬ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С ЧПУ

Горбунов В.П., Григорьев В.Ф.

Брестский политехнический институт

В общем балансе погрешностей обработки на МЦС с ЧПУ в связи с возрастающими требованиями к точности обработки большую долю занимают погрешности, которые обусловлены тепловыми деформациями несущей системы станка, приводящие в процессе эксплуатации к изменению относительного положения заготовки и инструмента.

Тепловые деформации металлорежущего станка с ЧПУ характеризуется в общем случае смещениями шпинделя и установленной на столе заготовки в направлениях осей координат X, Y, Z и угловыми поворотами вокруг осей. Их величина, характер и направление действия в значительной степени определяются компоновкой и конструкцией узлов станка и размещением тепловыделяющих элементов относительно базовых деталей станка (например, колонны), а также зависят от качества изготовления и сборки станка, условий его эксплуатации. Основная доля тепла при работе станка выделяется, как правило, в приводе главного движения (приводной двигатель и коробка скоростей) и в узле шпинделя.

Тепловые деформации станков носят нестационарный характер и при непрерывной работе станка изменяются как по величине, так и по направлению, обуславливая постоянное воздействие на формирование показателей качества обработки деталей.

Деформации отдельных деталей станка при их нагреве до избыточной температуры ΔT определяются по зависимости $\Delta L = \beta L \Delta T$, а углы поворота $\alpha = (\beta \Delta T_{\text{н}}) / H$, где L — размер детали, вдоль которого неравномерно изменяется температура, м; $\Delta T_{\text{н}}$ — разность температур противоположных стенок нагреваемой детали, $^{\circ}\text{C}$; β — коэффициент линейного расширения, $1/^{\circ}\text{C}$ [1].

Температура узлов и деталей станка с течением времени изменяется, как показывают многочисленные исследования [2, 3], по экспоненциальному закону $\Delta T = \Delta T_{\text{у}} (1 - e^{-Bt})$, где $\Delta T_{\text{у}}$ температура установившегося режима; B — температурный фактор, характеризующий скорость роста температуры.

В общем случае величина температурного фактора для различных деталей станков не одинакова и определяется по формуле $B = (\alpha F_{\text{п}}) / (C M_{\text{п}})$,

где α_p , F_p , C_p , M_1 – соответственно коэффициент теплоотдачи, величина площади теплоотдающей поверхности, теплоемкость и масса.

Исходя из этого, величина тепловых деформаций станка будет также изменяться по экспоненциальному закону и определяться по формуле $\Delta L = \Delta L_y (1 - e^{-\beta t})$, где ΔL_y – величина тепловых деформаций при установившемся режиме работы станка.

Расчет температурного поля станка и тепловых деформаций его узлов и деталей является сложной теплотехнической задачей, а в тех случаях, когда она решается, достоверность результатов получается достаточно низкой из-за необходимости принятия многих допущений, а также отличия исходных данных от реальных.

Поэтому для точного определения теплового режима и истинных величин тепловых деформаций во всем диапазоне работы конкретного станка, для подтверждения полученных тем или иным расчетным методом данных, для их уточнения или оценки полученной ошибки проводят многократные экспериментальные исследования. Данные исследования являются достаточно длительными и трудоемкими, и только для одной частоты вращения шпинделя их продолжительность может колебаться от 2 до 10 часов. При исследовании на нескольких частотах вращения шпинделя это время значительно увеличивается из-за необходимости проводить каждый раз длительное охлаждение станка (в течении 12-16 часов). Ниже приведенные исследования проведены по методу ускоренных испытаний [2], который позволяет при применении общедоступных измерительных средств в обычных производственных условиях на основе измерения только начальных данных за очень короткое время определить с необходимой достоверностью характер изменения и величины установившихся тепловых деформаций ΔL_y (или температуры нагрева ΔT_y) на всех возможных режимах работы.

Сущность данного метода заключается в определении границы изменения температурного фактора B и колебания предела установившегося режима ΔL_y по нескольким экспериментальным начальным значениям величин тепловых деформаций. Причем величина ΔL_y может определяться и для нескольких режимов частот вращения шпинделя с фиксацией величин тепловых деформаций не менее чем в трех точках для каждой частоты вращения. По определенным границам изменения параметров B и ΔL_y можно рассчитать любое текущее значение ΔL для соответствующих интервалов времени t .

Экспериментальные исследования влияния теплового режима на точ-

ность положения оси шпинделя проводились на примере многоцелевого станка с ЧПУ модели МС 12-250.

Исходя из предположения термосимметричности данной конструктивной компоновки станка, величины смещений измерялись бесконтактным методом индуктивным преобразователем (ИП) в плоскости YOZ.

Температура фиксировалась термосопротивлениями в точках, показанных на рисунке 1. Точки 1, 2, 4 расположены в местах основных источников тепловыделений в цепи привода главного движения. Датчики 3, 5 регистрировали изменения температуры окружающей среды и масла в гидросистеме станка. Все замеры осуществлялись при помощи измерительного комплекса "Сигнал-1", разработанного институтом надежности машин Академии Наук Республики Беларусь.

Экспериментальные исследования проводились при наиболее характерных частотах вращения шпинделя 1000 мин^{-1} , 1600 мин^{-1} . Положение ползуна (смещение его вдоль координаты Z) принималось исходя из возможного вылета инструмента и среднего положения плоскости обработ-

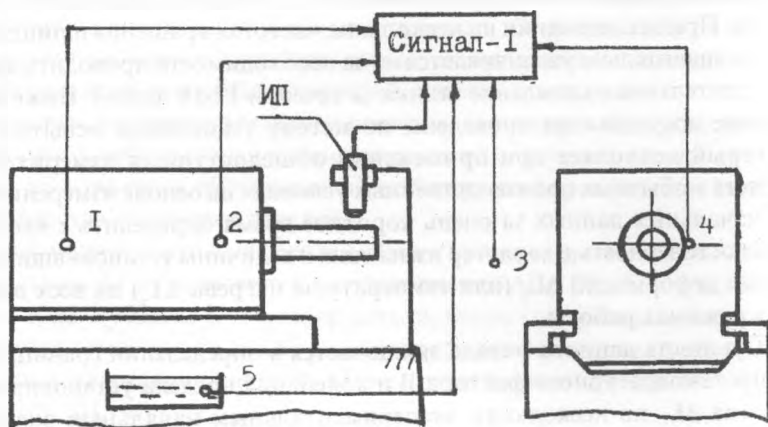


Рисунок 1 – Схема измерения

ки в рабочей зоне станка. На рисунке 2 показаны графики изменения температуры регистрируемых точек.

Неравномерность распределения температуры на стенках шпиндель-

ной бабки, показывает, что положение оси шпинделя относительно плоскости обработки в направлении Y будет меняться. Причем смещения его

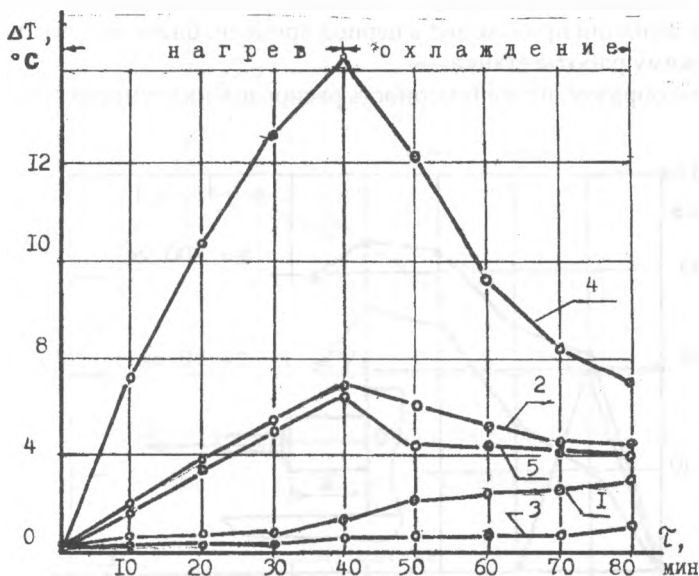


Рисунок 2 – Изменение температуры регистрируемых точек при частоте вращения шпинделя 1000 мин⁻¹

начального положения для одного и того же режима работы в зависимости от вылета ползуна происходят по разным законам (рисунок 3). От классического экспоненциального ($z=50$; 100 мм) до знакопеременного с явно выраженным максимумом ($z=0$). Значения установившихся тепловых деформаций ΔL_y стабилизируются в интервале 30-40 минут времени холостого режима работы станка. Тогда 2-4 текущих значений смещения оси шпинделя будет достаточным для нахождения параметра температурно-го фактора В и функции изменения ΔL .

На рисунке 4 представлены величины смещения шпинделя полученные экспериментально и рассчитанные по выше упомянутой методике. Диапазон максимальных текущих значений смещений оси шпинделя в

плоскости YOZ для рассматриваемых частот вращений будет от 20 до 50 мкм.

Возникающие при этом погрешности между экспериментальными и расчетными значениями будут незначительными, не более 10%. Так, искажение функции происходит в период времени, близкий к установившемуся режиму работы станка.

Таким образом, неравномерность распределения температуры в шпин-

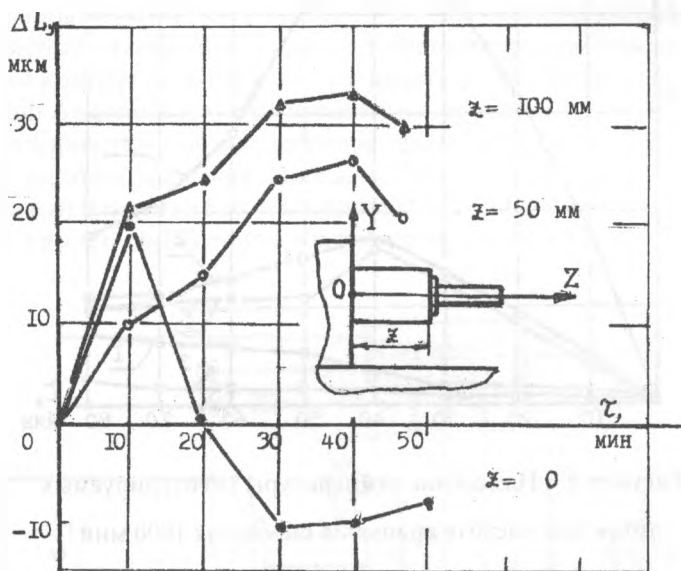


Рисунок 3 – Смещение оси шпинделя в плоскости YOZ при частоте вращения 1000 мин⁻¹

дельной бабке приводит к смещению положения оси шпинделя, что в конечном итоге изменяет его геометрическую точность. Используя расчетные методы оценки тепловых деформаций в сочетании с кратковременными определительными испытаниями позволит не только оценить данное влияние, но и оперативно исправлять их, используя коррекцию в системе управления станка с ЧПУ.

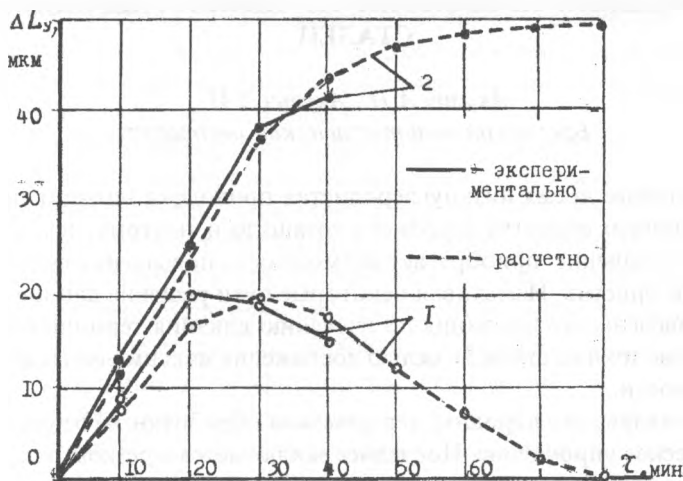


Рисунок 4 – Смещение оси шпинделя в плоскости YOZ при частоте вращения 1000 мин⁻¹ (1), 1600 мин⁻¹ (2)

Литература

1. Соколов Ю.Н. Температурные расчеты в станкостроении. –М: Машиностроение, 1968. 78 с.
2. Стародубов В.С., Кузнецов А.П. Метод ускоренной оценки тепловых контрольных испытаний металлорежущих станков.— В кн.: Ремонт и надежность технологического оборудования.— М.: МДНТП, 1979 , с.87-96.
3. Кузнецов А.П., Горбунов В.П. Оценка влияния теплового режима металлорежущего станка с ЧПУ на точность обработки. — Надежность и контроль качества, 1982, № 2, с.30-37.
4. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. -М.: Машиностроение, 1986.