

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ ПО РЕСУРСУ ТОЧНОСТИ

**В. П. ГОРБУНОВ, В. Ф. ГРИГОРЬЕВ**

*Брестский государственный технический университет, Беларусь*

*Рассмотрена методика прогнозирования потери станком работоспособности с учетом износа направляющих базовых деталей. Предложены показатели точности обработки. Приведены результаты расчета диаметральных отклонений и увеличения межремонтного ресурса точности на примере токарного станка. Использование компьютерного моделирования, мониторинга ответственных сопряжений позволяет определять состояние направляющих станка путем расчета траекторий движения формообразующих узлов, прогнозировать изменения параметров точности обработки и остаточный ресурс станка.*

При эксплуатации станков с ЧПУ важно обеспечить не только требуемую точность обработки деталей, но и последующее ее длительное сохранение. Указанное свойство характеризует технологическую (точностную) надежность оборудования. Выход заданного параметра качества (точности) за допустимые пределы считается технологическим отказом и относится к параметрическим отказам.

Для оценки технологической надежности станков целесообразно применять показатели, установленные ГОСТ 27.002-2015: ресурс  $T_P$ , определяемый периодом работы до капитального или среднего ремонта; коэффициент технического использования  $K_{Т.И.}$ , определяемый нормативами системы технического обслуживания и ремонта, а также запас надежности по выходному параметру  $K_H$ , оценивающий возможности станка по сохранению работоспособности.

Ресурс по точности  $T_P$  определяют для эксплуатируемых станков с использованием средств контроля, диагностики и статистических методов.

Коэффициент технического использования определяется по формуле  $K_{Т.И.} = T_{РАБ}/(T_{РАБ} + T_{РЕМ})$ , где  $T_{РАБ}$  – суммарное время работы станка за некоторый период эксплуатации;  $T_{РЕМ}$  – суммарное время технического обслуживания и ремонта за тот же период. Для станков с ЧПУ рекомендуется  $K_{Т.И.} = 0,8...0,9$ ; наибольшее значение характерно для станков в составе ГПС [1]. Типичным режимом работы для них является 20 ч работы в авто-

матризованном режиме и 4 ч на техническое обслуживание ( $K_{ТЛ} = 0,83$ ). При переходе от системы планово-предупредительных ремонтов к ремонту по фактическому состоянию происходит сокращение числа ремонтов дорогостоящего и высокопроизводительного оборудования и эксплуатационные затраты существенно снижаются. Коэффициент технического использования станка при этом увеличивается.

Основными выходными параметрами точности станков, формирующие качественные характеристики обрабатываемых деталей, являются траектории перемещения их формообразующих узлов. Методическим и информационным обеспечением диагностирования и прогнозирования изменений параметров траекторий является программный метод испытаний станков (ПМИ), предложенный профессором Прониковым А.С., который позволяет диагностировать текущее состояние станка, прогнозировать его технологическое состояние и вносить обоснованные коррективы в технологические задачи, решаемые с его применением, или планировать необходимые ремонтно-профилактические работы [2].

При выборе показателей точности станка необходимо учитывать их связь с погрешностью обработки. Влияние показателей точности станка на возникновение погрешностей обработки неравноценно, и зависит от требований, предъявляемых к точности обрабатываемой детали, класса точности станка и метода формообразования.

Для обработки цилиндрических поверхностей на токарных станках классов Н,П рекомендуются следующие показатели:  $\Delta_{ЗХ}$ ,  $\Delta_{ИЗ}$ ,  $\beta$ , где  $\Delta_{ЗХ}$  – погрешность в направлении оси X (поперечное перемещение инструмента) при вращении заготовки вокруг Z;  $\Delta_{ИЗ}$  – погрешность в направлении X при перемещении инструмента вдоль оси Z;  $\beta$  – угол поворота оси шпинделя в плоскости XOZ. Погрешность  $\Delta_{ЗХ}$  формируется биением оси шпинделя, которое в основном определяется точностью изготовления и сборки узла и проявляется в отклонении диаметрального размера. Погрешность  $\Delta_{ИЗ}$  формируется отклонениями профиля продольного сечения и определяется в большинстве случаев износом направляющих. Угловая погрешность  $\beta$  формируется погрешностью сборки станка и проявляется в отклонении формы продольного сечения (конусообразность). Показатели точности станка, характеризующие линейные диаметральные смещения при перемещении суппорта на величину Z составят:  $\Delta = \Delta_{ЗХ} + \Delta_{ИЗ} + \beta \cdot Z$ . В процессе эксплуатации под действием температурных факторов указанные погрешности изменяются. При увеличении требований к точности обработки (обработка на станках классов В и выше) вводятся дополнительные показатели для отклонений вертикального направления.

Поскольку тепловые деформации, проявляющиеся в межналадочном периоде, являются обратимыми, то за межремонтный цикл основной причиной потери работоспособности по параметрам траекторий перемещения в большинстве случаев выступает изнашивание. Износ направляющих скольжения, винтовых и кулачковых механизмов, фрикционные муфты является характеристикой, непосредственно связанной с потерей работоспособности станком или механизмом. Он и будет определять ресурс станка, связанный с потерей точности (ресурс станка по точности).

Возможно установить ресурс достижения границы области допустимого износа по параметру точности обработки путем мониторинга параметров траекторий перемещений рабочих органов, либо расчетом, проведя компьютерное моделирование процесса изнашивания. При этом законы распределения необходимых параметров процесса изнашивания ( $K$  – коэффициент изнашивания;  $a, b$  – размеры граней направляющих;  $p(l)$  – эпюра распределения давления;  $\varphi(x)$  – кривая распределения ходов суппорта) определяются на основе данных, отражающих условия предполагаемой эксплуатации станка [1]. Методика прогнозирования потери станком работоспособности с учетом износа базовых деталей приведена в работах [2, 3].

При известном законе изнашивания сопряженных поверхностей определяется форма изношенной поверхности, по которой рассчитывается изменение рассматриваемого параметра точности станка  $\Delta$ . Затем основываясь на результатах мониторинговых испытаний, либо полученных диагностических параметрах, определенных в ходе эксплуатации или периодических осмотрах, прогнозируется ресурс станка по точности обработки.

Так, для токарного станка мод.16К20Ф3 в границах области максимальных отклонений диаметральных размеров  $\Delta_{\max} = 51,5...28$  мкм при длине обработки до 600 мм (перемещение суппорта вдоль координаты  $Z$ ) увеличение межремонтного ресурса по точности составит до 25 – 40% по сравнению с существующей системой ремонта.

Использование моделирования, а также мониторинговых испытаний дают возможность определять состояние узлов трения путем определения изменений траекторий движения формообразующих узлов, скорости изменения параметров точности обработки, и прогнозировать на основе их анализа остаточный ресурс станка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : справочник-учебник : в 3 т. Т. 1 : Проектирование станков / А.С. Проников [и др.] ; под общ. ред. А.С. Проникова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана : Машиностроение, 1994. – 444 с.

2. Проников, А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков / А.С. Проников. – М. : Машиностроение, 1985. – 288 с.
3. Горбунов, В.П. Прогнозирование ресурса технологического оборудования с ЧПУ по параметрам точности обработки / В.П. Горбунов, В.Ф. Григорьев, Ю.А. Дакало // Вестник БрГТУ. – 2017. – №4(106): Машиностроение. – С. 2–4.