

Горбунов В.П., Григорьев В.Ф., Дакало Ю.А.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Введение. Технологическое оборудование с ЧПУ представляет собой сложный механотронный комплекс, эффективность использования которого является актуальной задачей для каждого машиностроительного предприятия. В процессе эксплуатации под влиянием вредных воздействий происходит изменение параметров траектории перемещения рабочих органов, несущих заготовку и инструмент, и точности позиционирования, что снижает точность выходных параметров станка и, как следствие, влияет на точность обработки. Сохранение точности и безотказности работы оборудования в течение всего периода эксплуатации обеспечивается системой технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Рациональная система ТОиР должна обеспечивать предупреждение всех видов отказов, как параметрических точностных, так и функционирования, при наиболее полном использовании потенциальных сроков службы деталей и узлов оборудования [1].

Постановка задачи. Различают ремонтные работы «по потребности», когда оборудование вышло из строя в результате достижения предельного состояния выходного параметра или поломки, и по плану, не дожидаясь выхода оборудования из строя, когда износ деталей еще не достиг предельной величины, при которой оно уже не может выполнять свои функции или дальнейшая его эксплуатация является опасной или нерентабельной. Ремонт машин по плану называют планово-предупредительным [3]. Целью планово-предупредительного ремонта (ППР) является не восстановление работоспособности вышедшего из строя оборудования, как это имеет место при ремонте по потребности, а предупреждение неожиданного для производства выхода его из строя. Это достигается с наибольшим экономическим эффектом в том случае, когда обеспечивается достаточно близкое соответствие планируемых сроков выполнения ремонтных работ и времени возникновения действительной необходимости в них, а также плановых объемов ремонтов фактических требующимся. В противном случае неизбежны производственные издержки, вызванные необоснованными простоями оборудования и большими расходами на ППР.

В настоящее время на промышленных предприятиях применяются рекомендуемые нормативы межремонтных периодов для разных видов оборудования [3]. Однако эти нормативы являются статистически средневзвешенными. В зависимости от условий эксплуатации оборудования на конкретном предприятии, применяемых методов и условий ремонта, а также достигнутого уровня качества плановых ремонтов, от них необходимо делать отступления в ту или другую сторону. Оптимизация межремонтных периодов возможна на основе моделирования влияния вредных процессов с целью прогнозирования потери точности оборудования, а также разработки критерия нормальности объема ремонтных работ. Для формирования графиков ППР сегодня используется специализированное программное обеспечение, предназначенное для информационной поддержки ТОиР [4].

Использование технологического оборудования с ЧПУ, в первую очередь многоцелевых станков (МС) – характеризующихся высокой стоимостью, многономенклатурной обработкой и высокой производительностью, ставит задачу внедрения системы ремонта по фактическому состоянию. Оборудование останавливают для планово-предупредительного ремонта, когда оно еще вполне работоспособ-

но. В этом случае рекомендуется применять средства и методы диагностирования и прогнозирования состояния, как всего оборудования, так и отдельных систем и узлов. В работе [5] предложен метод функциональной диагностики станков, где для сокращения временных затрат разработаны программные средства, позволяющие автоматизировать процесс диагностики. При этом оценка геометрических параметров точности токарного и вертикально-фрезерного станков производится по параметрам обрабатываемых поверхностей эталонных деталей.

Цель работы. Разработка методов диагностирования состояния технологического оборудования с ЧПУ с последующим прогнозированием ресурса по параметрам точности обработки.

Основными выходными параметрами точности станков, формирующими 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].

В отличие от тепловых деформаций, которые проявляются в межналадочном периоде эксплуатации и являются обратимыми, за длительный срок службы станка основной причиной потери работоспособности по параметрам траекторий перемещения является, как правило, износ. Изнашивание характерно для таких ответственных сопряжений станков, как направляющие скольжения, ходовые винты, гайки, кулачковые механизмы, фрикционные муфты и др. Износ сопряжения является характеристикой, которая непосредственно связана с потерей работоспособности станком или механизмом [6]. В этой связи важно как можно более точно определить ресурс станка, связанный с потерей точности (ресурс станка по точности). Для станков, находящихся в эксплуатации, ресурс по точности определяется как с использованием стандартных средств контроля, диагностики, так и методами статистического моделирования. Причем важно установить ресурс достижения границы области допустимого износа по параметру точности обработки путем мониторинга параметров траекторий перемещений рабочих органов [7].

Установление предельно допустимых значений износа является чрезвычайно сложной задачей, так как к деталям любого станка предъявляются самые разнообразные требования. Методика расчета предельных износов разработана еще недостаточно. Однако при каждом ремонте машины необходимо решить вопрос о возможности дальнейшей работы изношенных деталей. При занижении значений предельных износов происходит недоиспользование сроков службы деталей, а при их завышении происходит рост аварийных ремонтов, что приводит к увеличению простоев станка и затрат на его ремонт. Поэтому основным признаком оценки качества поверхностей является своевременное измерение износа, что позволяет объективно оценить применяемые методы эксплуатации станка. Измерение износа поверхностей может производиться в период плановых ремонтов специально, при плановых осмотрах, или при испытании станков.

Горбунов Виктор Петрович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой машиноведения Брестского государственного технического университета.

Григорьев Владимир Федорович, к.т.н., доцент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Дакало Юрий Александрович, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Первоначальной задачей при расчете предельных износов и, соответственно, сроков службы деталей и узлов является установление критериев (признаков) предельного износа. Эти критерии можно установить в зависимости от того влияния, которое оказывает износ детали на работу машины. Выделяют три группы критериев, определяющих значение предельно допустимого износа [1]:

- 1) в результате износа до величины U_{max} происходит отказ функционирования станка (поломка детали, заклинивание механизма или невыполнение своих функций);
- 2) износ при значениях $U > U_{max}$ приводит к попаданию станка и узлов в зону интенсивного выхода из строя (возникают удары, происходит интенсивное изнашивание поверхностей, вибрации, повышается температура узлов и т. д.);
- 3) в результате износа на величину $U \leq U_{max}$ параметры станка выходят за допустимые или рекомендуемые пределы (ухудшается качество продукции, понижается производительность, падает КПД, увеличивается шум).

Для станков наиболее характерен отказ, связанный с критериями третьей группы, и, в первую очередь, с выходом параметров точности за допустимые пределы. В этом случае необходимо установить зависимость между износом U отдельных сопряжений и изменением выходных параметров станка.

Предельно допустимый износ U_{max} определяет ресурс работы детали или станка в целом.

В станках имеет место связь износа отдельных граней с отклонением траектории движения инструмента или детали от прямолинейности. Так, неравномерный износ передней и задней направляющих токарно-винторезного станка вызывает наклон суппорта и смещение вершины резца в горизонтальной и вертикальной плоскостях, непосредственно увеличивающих диаметр обработки. Неравномерность износа направляющих по длине приводит к появлению систематической погрешности формы профиля продольного сечения обрабатываемых заготовок. При определении погрешности обработки, возникающей при износе направляющих станка, необходимо учитывать характер касания направляющих суппорта и станины и форму их изношенной поверхности по длине.

На рисунке 1 представлена кривая износа направляющих токарного станка модели 16К20Ф3, полученная по искажению траектории линейного перемещения суппорта. При этом по зависимости [1], между величиной износа U и точностью обработки $\Delta = U \cdot L / 320$, максимальное отклонение размера (диаметра) составит для длины обработки $L=200$ мм на участке 0...600 мм: $\Delta_{max} = 51,5...28$ мкм.

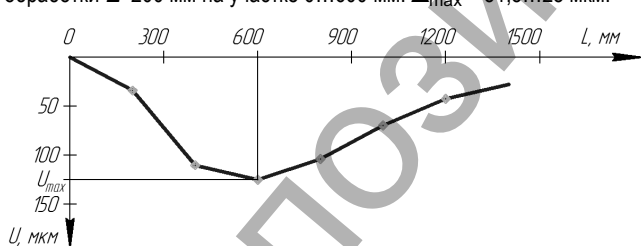


Рисунок 1 – Форма изношенной поверхности направляющих токарного станка в вертикальной плоскости

На рисунке 2 представлен график зависимости изменения погрешности обработки токарного станка Δ от износа направляющих по участкам обработки, рассчитанной по вышеприведённым зависимостям. Данные зависимости позволяют решать две задачи. Во-первых, по заданным значениям Δ и L , исходя из условий обработки, определять границы зоны устойчивого получения требуемых параметров точности. Во-вторых, задаваясь допустимыми значениями Δ , определять участки L_x гарантированного обеспечения точностных параметров.

При величине обработки L_x , равной 200 мм, максимальное значение погрешности обработки на участке 200...400 мм составит $\Delta_x=25$ мкм. При уменьшении L_x до 100 мм погрешность обработки снизится до 12,5 мкм.

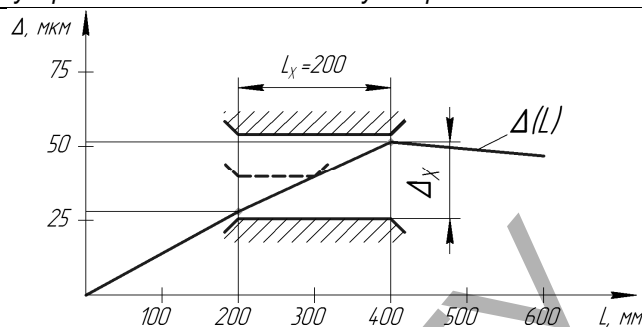


Рисунок 2 – Зависимость погрешности обработки от износа направляющих на участке 0...600 мм

Для прогнозирования потери станком работоспособности с учётом износа отдельных сопряжений и механизмов необходимо осуществить следующие шаги:

- на основании закономерностей процесса изнашивания рассчитать износ сопряжения с данными конструктивными особенностями, определить форму изношенных поверхностей;
- оценить влияние износа сопряжений на выходные параметры станка;
- учесть вероятностную природу всех процессов и факторов (оценить их законы распределения);
- используя модель параметрического отказа, рассчитать показатели надёжности станка.

Знание физической закономерности процесса изнашивания, которой подчиняются материалы сопряжений пары, является необходимым, но недостаточным условием для прогнозирования изменения выходных параметров технологического оборудования в процессе эксплуатации. Необходимо иметь методы расчета износа сопряженных поверхностей механизмов различных конструктивных форм и оценки влияния этого износа на выходные параметры технологического оборудования с учетом случайной природы процесса изнашивания. Такие методы разработаны в теории надежности машин [1].

Выделяют следующие основные этапы прогнозирования надежности при использовании программного метода испытания:

- варьируемые параметры, значения которых устанавливаются для каждого цикла испытаний, вводятся в принятый закон изнашивания;
- на основании расчета определяется форма изношенных поверхностей трения $U(x)$ и износ всего сопряжения;
- по форме изношенных поверхностей рассчитывают величину изменения параметра $\Delta X = X_m - X_n$, от начального значения параметра X_n до текущего X_m за период времени Δt , и скорость \dot{Y}_x изменений координат траекторий опорных точек данного узла (рисунок 3);
- по изменению формы траектории опорной точки определяют величину или скорость изменений \dot{Y}_x установленных выходных параметров X , поскольку они зависят от положения или формы траектории. В результате для каждого выходного параметра X получим при данном n -м цикле испытаний одно расчетное значение скорости изменения параметра \dot{Y}_x , которое соответствует принятой комбинации входных параметров. Повторяя эти расчеты для всех N циклов, получим гистограмму распределения (которую можно аппроксимировать тем или иным законом распределения $f(\dot{Y}_x)$), т. е. характеристику \dot{Y}_x как случайной величины;
- после проведения всех процедур будут накоплены необходимые данные для расчета надежности ТО по выходным параметрам:
 - а) область состояний и ее вероятностные характеристики как для нового ТО, так и полученные в результате мониторинговых испытаний;
 - б) вероятностные характеристики изменения выходных параметров, найденные путем расчета;

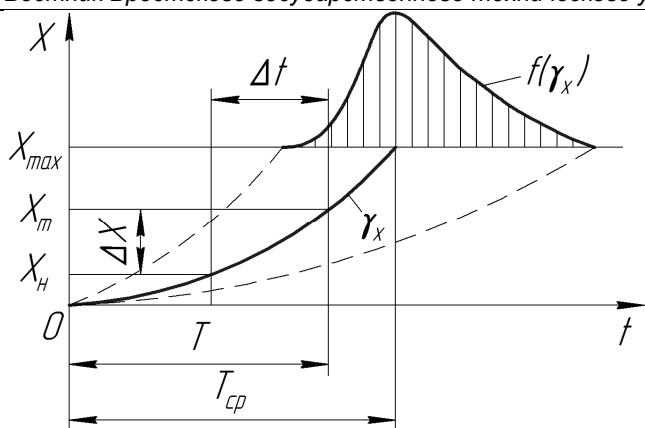


Рисунок 3 – Схема изменения выходного параметра

в) прогнозирование времени сохранения ресурса станка T по точности обработки при допустимом отклонении от прямолинейности перемещения инструмента (заготовки), измеренные в любом промежутке времени Δt .

Заключение. Использование компьютерной техники, активных методов и средств контроля обеспечивают возможность не только определять текущее состояние узлов путем измерения параметров траекторий движения формообразующих узлов, но и прогнозировать на основе их анализа остаточный ресурс узлов и деталей. При этом планируются сроки проведения и объемы ремонтных работ только необходимых агрегатов и узлов. Преимуществом такого планирования является снижение объемов ремонтных работ и увеличение за

GORBUNOV V.P., GRIGORIEV V.F., DAKALA Y.A. Prediction of a resource of NC-machining technique on the parameters of accuracy indices

Preservation of precision and safe operation during the entire period of operation is provided with the system of technical maintenance and repair. The technique of diagnosing a condition of processing equipment with the CNC by measurement of parameters of trajectories of the movement of form-building nodes with the subsequent forecasting of a resource on processing accuracy had offered. According to the monitoring plans of technical maintenance and repair are corrected. As a result volumes of repair work decrease and the service life increases.

УДК 621.91.002

Медведев О.А.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНОСТИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ УГЛОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ ДОПУСТИМОЙ ДОЛЕ БРАКОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Введение. Проектирование надежных и точных машин, эффективных техпроцессов сборки и механической обработки их деталей невозможно без комплексного размерного анализа объектов проектирования на основе выявления и решения конструкторских и технологических размерных цепей. На основе проектных расчетов размерных цепей можно определить технически обоснованные требования к точности размеров комплектующих деталей, исходя из требуемой точности важных функциональных геометрических параметров машины, формирующихся при ее сборке.

Методика проектных расчетов линейных размерных цепей достаточно подробно разработана и описана в учебной и специальной технической литературе [2 и др.]. В то же время, вопросам выявления и решения угловых размерных цепей уделяется неоправданно мало внимания, несмотря на ряд объективных факторов, определяющих их важность:

- в большинстве случаев требуемый уровень точности размеров, определяющих угловые положения поверхностей деталей и сборочных единиц (отклонение от перпендикулярности, параллельности, наклона поверхностей, торцевого биения и др.), зна-

счёт мониторинговых испытаний ресурса по сравнению с межремонтным периодом согласно ППР.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пронилов, А.С. Надежность машин. – Москва : Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Пронилов, А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 288 с.
3. Типовая схема технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования / Минстанкопром СССР, ЭНИМС. – Москва : Машиностроение, 1988. – 672 с.
4. Анцева, Н.В. Управление системой планово-предупредительного ремонта металлорежущих станков по критерию эксплуатационной технологичности / Н.В. Анцева, А.Н. Иноземцев // Известия ТулГУ. – Технические науки. – 2013. – Вып. 12 (41). – С. 21–30.
5. Анисеева, О.В. Автоматизация диагностирования и прогнозирования состояния металлорежущих станков на промышленных предприятиях / О.В. Анисеева, А.Н. Афонин, А.Г. Ивахненко // Известия Юг.-Зап. ГУ. – 2012. – № 1(40). – С. 103–107.
6. Утенков, В.М. Прогнозирование потери точности металлорежущих станков / В.М. Утенков // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013. – № 5. DOI:10.7463/0513.0574593. – 10 с.
7. Васильев, Г.Н. Обеспечение технологической надежности токарных станков мониторингом параметров траекторий перемещения суппортных узлов / Г.Н. Васильев, А.Г. Ягопольский // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Машиностроение. – 2010. – № 2. – С. 91–105.

Материал поступил в редакцию 22.11.2017

чительно выше уровня точности линейных размеров, связывающих указанные поверхности. В соответствии с ГОСТ 24643-81, допуски формы и расположения не должны превышать определенной доли допуска соответствующего линейного размера (от 25 до 60%);

- для достижения высокой точности угловых замыкающих размеров при сборке технически затруднительно использовать методы пригонки, регулирования, селективной сборки. Эта точность обычно достигается методами полной и неполной взаимозаменяемости, что предполагает достаточно высокую точность получения угловых размеров при изготовлении деталей;
- точность углового положения поверхностей деталей при механической обработке так же обеспечивается методами полной и неполной взаимозаменяемости и зависит от точности угловых положений элементов станков, приспособлений, инструментов, так как на большинстве металлорежущих станков отсутствуют механизмы точной регулировки угловых положений рабочих органов.

Таким образом, во многих случаях проектные расчеты угловых размерных цепей имеют приоритетное значение для обеспечения

Медведев Олег Анатольевич, к.т.н., доцент кафедры машиностроения и эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.