

Министерство образования и науки Украины Донбасская государственная
машиностроительная академия

ШТОГРИН ДМИТРИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ

Разработка инструментальной системы для тяжелых токарных станков с
функцией диагностики износа и поломки инструмента

8.05050301 – металлорежущие станки и системы

Автореферат магистерской работы

Краматорск – 2017

Работа выполнена на кафедре «Компьютеризированные мехатронные системы, инструменты и технологии» Донбасской государственной машиностроительной академии Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Мироненко Евгений Васильевич

Защита состоится «___» ___ января ___ 2017 г. в ___ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии в Донбасской государственной машиностроительной академии по адресу: г. Краматорск, _____, корп. № 3, ауд. 3308.

Актуальность проблемы. На современном этапе развития экономики Украины важное место отводится машиностроению – одному из источников обеспечения орудиями труда. Общие тенденции развития машиностроения связаны с повышением надежности машин, созданием конкурентоспособной продукции и использованием наукоемких технологий. Машиностроение развивается путем повышения гибкости производства и качества продукции. Результаты деятельности многих предприятий в значительной степени зависят от эффективности использования тяжелых токарных станков. Стоимость этих станков в 20–50 раз, а стоимость станкочаса их работы в 3–7 раз больше по сравнению со средними станками. Для инструмента, работающего на этих станках, расходуется до 30% твердого сплава, применяемого в машиностроении.

Эффективность процесса механической обработки деталей на тяжёлых станках в большей степени определяется надёжностью и универсальностью режущего инструмента зависящими от множества случайных факторов. На тяжёлых токарных станках до 70% выполняемых операций связаны со снятием больших сечений среза.

Это объясняется тем, что в тяжелом машиностроении наиболее широко используются заготовки, полученные методом литья,ковки, штамповки, которые характеризуются наличием больших припусков, пор, раковин, трещин, неметаллических включений и других дефектов поверхностного слоя.

После удаления дефектного слоя с поковки, деталь подвергается термообработке, а дальнейшая лезвийная обработка производится на тяжёлых токарных станках. При этом удаляется припуск до 30 мм, с целью лучшего приближения формы заготовки к профилю детали.

В результате перед окончательными (чистовыми) операциями вес детали составляет 60–70% от веса первоначальной заготовки.

Наблюдения за эксплуатацией твердосплавных резцов на тяжелых токарных станках показали, что наряду с износом, значительное место

занимает разрушение режущей части, в виде окрашиваний и поломок. Наличие неустранимых отказов резцов (поломок) оказывает большое влияние на эффективность обработки крупных деталей.

Особенности развития машиностроения в последние годы изменили характер производства в тяжёлом машиностроении в связи с освоением новой гаммы тяжёлых токарных станков оснащённых пластинчатыми суппортами и ЧПУ. Это повлияло на условия эксплуатации инструмента на этих станках, а разработка и применение высокопроизводительного модульного инструмента с механическим креплением пластин поставлены в основу рационального использования этого оборудования.

Для решения важной народнохозяйственной задачи обеспечения тяжёлых уникальных станков современным инструментом созрела необходимость разработки не отдельных конструкций, а гибких инструментальных систем на основе агрегатно-модульного инструмента.

Эффективность инструмента не может быть существенно повышена за счет только традиционных методов, например увеличения износостойкости. Должен быть решен целый комплекс вопросов, которые связаны с такими важнейшими свойствами этого инструмента, как прочность, жесткость, ремонтпригодность и приспособленность к обслуживанию, гибкость, а также безопасность станочника от травмирования сходящей стружкой, транспортабельность стружки.

При рассмотрении обработки деталей на тяжелых токарных станках потребность комплексного изучения инструмента с учетом многих критериев еще более возрастает при переходе на агрегатно-модульный принцип компоновки станков новой серии с пластинчатыми суппортами повышенной жесткости.

Модульный принцип компоновки инструмента с относительно ограниченным комплектом модулей, позволяет создать без серьезных дополнительных затрат широкую номенклатуру систем инструмента, наиболее приспособленных к конкретным требованиям производства.

Модульный принцип компоновки инструмента наиболее эффективен на тяжелых станках, где в основном применяются инструменты, имеющие большие габариты и массу более 15 кг, что делает трудоемким смену и переналадку на новую операцию.

В настоящее время Украина является одним из ведущих производителей в Европе прокатного и металлургического оборудования и комплектующих изделий к нему. Механическая обработка основных изделий производится на тяжелых токарных станках. Поэтому снижение трудоемкости и повышение эффективности обработки на этих станках является актуальной задачей, отвечающей тенденции широкого внедрения высокопроизводительного агрегатно-модульного инструмента.

Связь с научными программами, планами, темами. Работа выполнена на кафедре «Компьютеризированные мехатронные системы, инструменты и технологии» Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА) и является составной частью научных исследований, проведенных кафедрой в рамках комплексного плана исследований Министерства образования Украины по проблеме разработки прогрессивных конструкций станков. Результаты магистерской работы использованы при исполнении госбюджетной темы.

Работы по теме магистерского дипломного проекта:

1. Підвищення надійності та продуктивності комп'ютеризованих верстатів та інструментальних систем важкого машинобудування.
2. Повышение энерго-эффективности процессов механообработки на основе много критериальной оптимизации параметров технологической системы тяжелого машиностроения.

Исследования, которые выполнены в магистерской работе, связаны с государственными бюджетными темами кафедры компьютеризированные мехатронные системы, инструмент и технологии Донбасской государственной машиностроительной академии.

Цель работы: расширение технологических возможностей системы ЧПУ для обеспечения точностных характеристик изделия.

Задачи исследования. Для достижения цели в работе были поставлены следующие задачи:

- Проанализировать решения в области контроля состояния режущего инструмента.

- Построить модель функционирования инструментария диагностирования состояния режущего инструмента в реальном времени.

Методы исследования. Теоретические исследования в работе базировались на методах системного анализа, теории автоматического управления, теории резания.

Научная новизна. В магистерской работе получены следующие научные результаты:

Установлена взаимосвязь между диагностическими признаками процесса резания инструментом и параметрами управления процессом токарной обработки в системе ЧПУ, основанная на использовании эталонных значений диагностических признаков для пары «инструмент – обрабатываемый материал».

На основе установленных взаимосвязей построена модель функционирования инструментария, в реальном времени диагностирующего режущий инструмент для выявления момента своевременной замены инструмента при выполнении технологического перехода.

Разработан работающий в реальном времени алгоритм оценки поломки инструмента (на основе анализа силы резания и сравнения с базой данных эталонных значений) при принятии решения о дальнейшем использовании инструмента.

Практическая значимость работы заключается в:

- разработанной методике построения инструментария диагностирования инструмента и прогнозирования его состояния в процессе обработки;

- разработанных программных модулях, позволяющих реализовывать как встраиваемые в систему ЧПУ решения, так и решения, реализуемые в виде автономных устройства на базе внешнего вычислителя.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах научно-технического центра «Инструмент», кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ДГМА, всеукраинских студенческих конференциях и олимпиадах, где показали высокую заинтересованность участников в решении данной проблемы.

Публикации. Основные положения и результаты работы опубликованы в изданиях :

1. Мироненко Е. В., Миранцов С.Л., Гузенко Д.Е. (асп), Сытник М.Ю. (магистр), Штогрин Д. Г. (магистр) Влияние динамических характеристик сборных резцов на энергоэффективность процесса резания[42].

Так же доклад на тему : . Разработка инструментальной системы для тяжелых токарных станков с функцией диагностики износа и поломки инструмента [43].Заведующий кафедрой М, д-р техн. наук, профессор Мироненко Е.В.Магистр гр. МС-11 Штогрин Д.Г.

Структура и объем работы. Магистерская работа состоит из страниц, рисунков, таблиц, введения, разделов основной части, общих выводов, списка использованных источников (наименований) и приложений.

Основное содержание работы

В **введении** обоснована актуальность темы магистерской работы, сформулирована цель и задачи, определена научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В **первом** разделе выполнен детальный анализ существующих конструкций сборных резцов для тяжелых станков и систем сборного

модульного инструмента, описаны способы исследований жесткости инструмента.

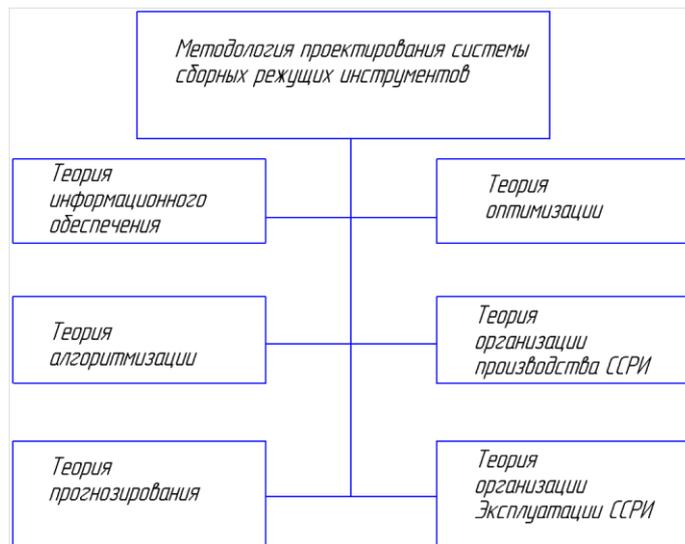
Проведенный анализ существующих систем сборного модульного инструмента позволяет сделать вывод, что еще не разработаны системы агрегатно-модульного инструмента для тяжелых станков с $D_c=1250$ мм, способных выдерживать нагрузки до 100 000 Н и обладающих повышенной жесткостью и прочностью.

Изучение прочностной и динамической жесткости модульного инструмента важно тем, что позволяет с одной стороны дать конкретные рекомендации конструктору, а с другой – получить модели для последующей оптимизации параметров инструмента, его типоразмерных рядов, а также режимов эксплуатации.

В целях повышения универсальности инструмента и одновременного упрощения конструкции разработаны сборно-модульные системы инструмента для станков разных типов, которые обеспечивают большой эффект благодаря технологии группового изготовления инструмента.

Традиционный инструмент заменяется комплектами, составленными из унифицированных агрегатов и узлов, с их частичной или полной разборкой для последующей сборки в другом сочетании. Такая конструкция позволяет заказать не просто инструмент определенного типа, а систему инструмента с необходимыми сменными устройствами.

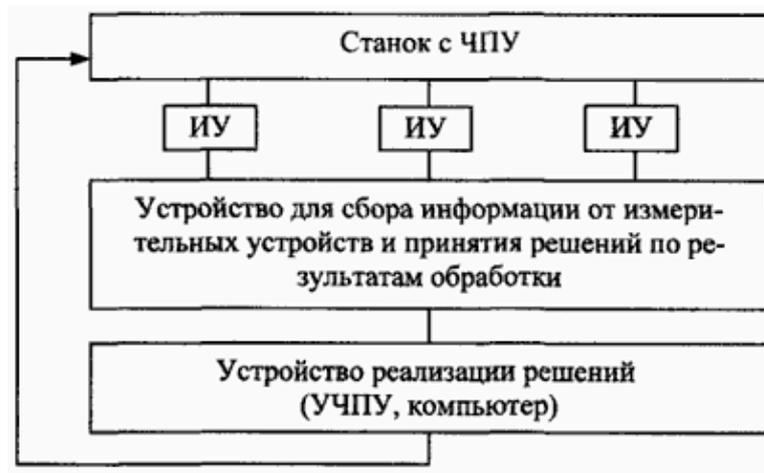
Во **втором** разделе рассмотрены вопросы научного (системного) подхода к формулировке методологий создания и исследования модульных резцов и систем инструмента; общие условия, оборудование и приборы, использованные в экспериментальных исследованиях; представлены используемые методики, рассмотрены результаты разработки оригинальных методик. Проведен синтез и анализ на технологичность спроектированных сборных модульных резцов.



Методология построения систем сборного инструмента базируется на следующих основных теориях

В настоящей работе также были спроектированы для дальнейших исследований сборные резцы для тяжелых токарных станков блочной конструкции. Блочная компоновка системы модульных резцов построена по принципу, разработанной в ДГМА.

Рассмотрена методика эксплуатации технологических систем, созданных на основе автоматизированных станков. Исходным является измерение отклонений основных входящих параметров, наиболее существенно влияющих на изменение выходного параметра. Измерения могут выполняться периодически после завершения технологической операции или перехода и непрерывно в течение процесса обработки. Так как системы диагностирования [29] устанавливаются на автоматизированном технологическом оборудовании, то и диагностирование должно осуществляться в автоматическом режиме. Достигается автоматическое определение состояния технологической системы (ее элементов) и автоматическое определение выходных параметров.



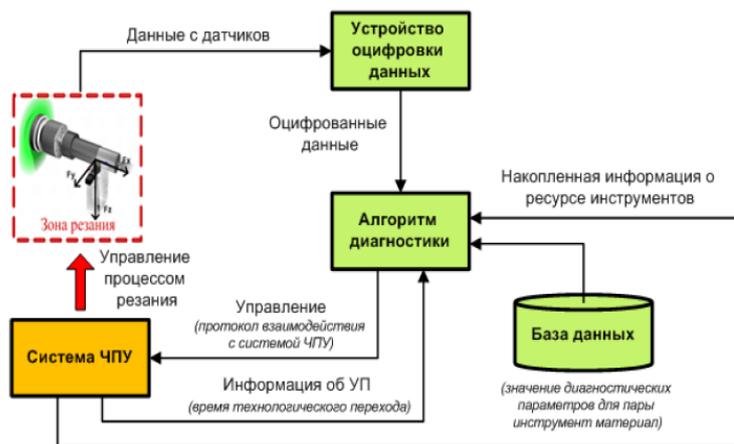
Средства достижения в общем виде

В **третьем** разделе рассмотрены вопросы диагностики износа и поломки инструмента. Произведен анализ - напряженно деформированного состояния. Установлен датчик контроля обработки детали.

Рассмотрен процесс токарной обработки при котором целесообразно использовать:

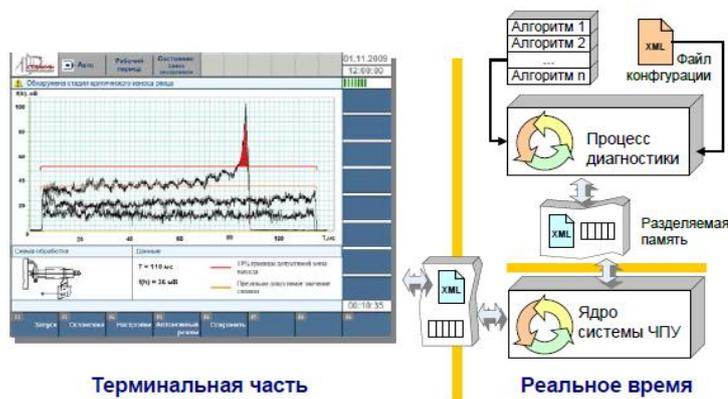
- функциональные связи между моментом сопротивления резанию, возникающим на заготовке под воздействием составляющей P_z , и моментом на валу электродвигателя;
- функциональные связи между составляющими силы и деформациями в подшипниках опоры шпинделя;
- функциональные связи между составляющей силы резания P_x и крутящим моментом на валу двигателя продольной подачи (или в опорах ходового винта суппорта продольной подачи).

Модель функционирования инструментария (рис.3.1) отражает архитектурные компоненты и последовательность действий, необходимых для правильного сбора и обработки информации с датчиков, и последующего использования ее в алгоритмах диагностирования режущего инструмента.



Модель функционирования инструментария диагностирования и прогнозирования

Приведена система диагностирования встроена в состав окружения запуска и исполнения автономных алгоритмов диагностирования. В xml-файле конфигурации прописаны возможные алгоритмы и определены параметры их запуска. Алгоритм диагностирования получает необходимую информацию от датчиков и выдает управляющие команды в ядро системы ЧПУ по протоколу взаимодействия.



Обобщенная архитектурная модель

Графическая часть модуля диагностирования реализована в виде компонента, интегрируемого в интерфейс оператора. Графический компонент интерпретирует данные от подсистемы диагностирования и отображает их на экран в графическом и текстовом видах.

Так же произведен анализ напряженно-деформированного состояния режущей пластины который производится по величине нормальных напряжений. В качестве примера на рисунке представлено распределение напряжений G_x, G_y, G_z , действующих в плоскости, параллельной главной передней поверхности. Напряжения рассматривались в трех секущих плоскостях, параллельных режущему лезвию, на расстояниях 3, 10, 16.5 мм от него.

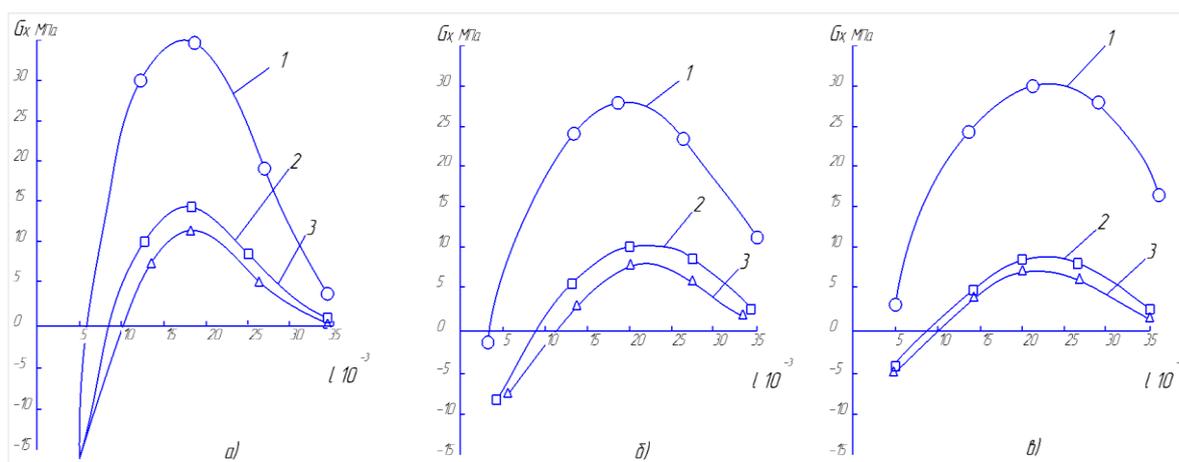


График распределения напряжений

Рассмотрены некоторые методы, используемые в алгоритмах распознавания для удовлетворения перечисленных выше требований. Для повышения надежности контроля на участках врезания и выхода применяются два варианта алгоритмов.

Вариантом алгоритма распознавания поломок инструмента является алгоритм двухпараметрического контроля по времени в силе резания.

Суть этого алгоритма заключается [38] в том, что одновременно с включением рабочей подачи начинается отсчет времени и измерение силы резания; отсчет времени $t_{\text{врез}}$ продолжается до момента, когда сила резания окажется равной некоторой установке $A_{\text{врез}}$, определяющей нагрузку в момент касания инструментом детали.

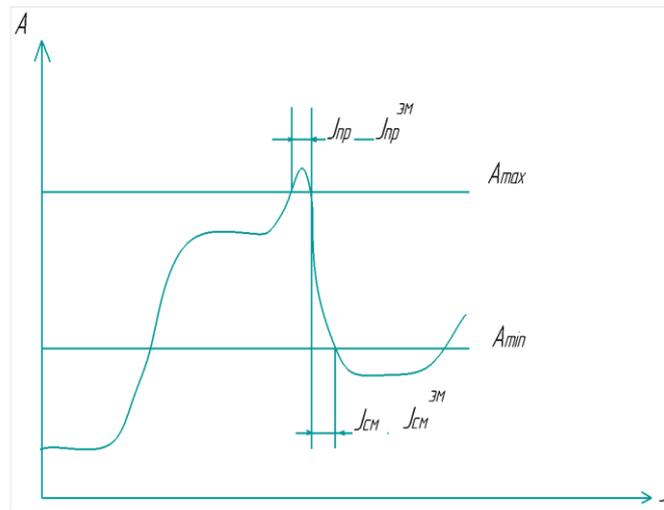


График поломки инструмента

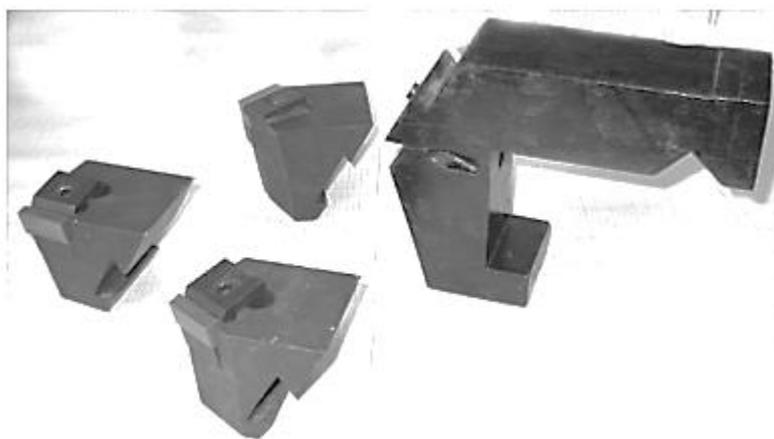
Приведен принцип контроля детали измерительной головкой Heidenhain.

Сенсор TS 2xx, TS 44x, TS 64x В основе работы 3D-щупов производства HEIDENHAIN лежит оптический сенсор (чувствительный элемент). Световой пучок, генерируемый светодиодом (LED) фокусируется системой линз в точку на дифференциальный фотоэлемент. При отклонении стержня дифференциальный фотоэлемент генерирует коммутационный сигнал. Измерительный стержень жестко соединен с переключателем (рисунок 3.8), который базируется в корпусе на трех точечной опоре. Опора в трех точках с физической точки зрения обеспечивает идеальные условия для положения покоя. Благодаря бесконтактному оптическому принципу сенсор не изнашивается. Таким образом, измерительные щупы HEIDENHAIN гарантируют долговременную стабильность при высокой повторяемости результатов измерений даже после многочисленных измерений.



Проверка поверхности детали

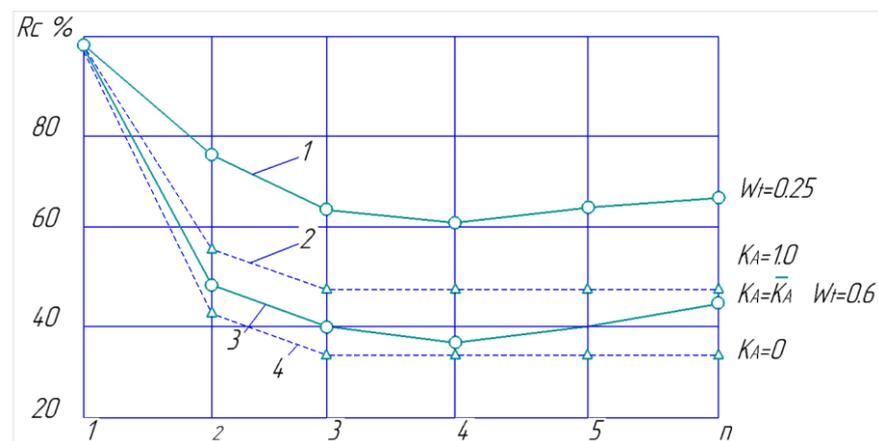
В **четвертом** разделе произведена разработка конструкций модульных резцов для тяжелых токарных станков. Приведены результаты исследований конструкций модульного инструмента, их жесткости и виброустойчивости, а также результаты аналитических расчетов были использованы для разработки системы модульных резцов для станков токарной группы.



Модульный инструмент

Возможность быстрой замены модуля или режущей пластины позволяет выбирать ее длину, точно соответствующую снимаемому припуску. Это обуславливает сокращение расхода твердого сплава в 1,5 раза.

Так же проведена оптимизация типоразмерного ряда пластин. Конструкция блока, резца и пластины. Следует учесть, что с ростом числа пластин в ряду возрастает диапазон их неадекватности использования. Несмотря на это, расход твердого сплава с увеличением числа пластин 2...3х резко падает. Затем снижение расхода замедляется и при $n=4$ имеет место минимум. Для оптимального числа пластин и их оптимальных длин расхода твердого сплава уменьшается в 2,5 раза по сравнению с использованием резцов, оснащенных пластиной с максимальной длиной режущей кромки .



Распределение глубин резания

Анализ разработанной системы инструмента для оснащения тяжелых токарных станков с $D_c=1250$ мм показывает высокую их эффективность при работе на конкретных производственных операциях, возможность быстрого и удовлетворительного инструментального обеспечения уникальных станков, станков с ЧПУ, тяжелых станков. Создание систем модульного инструмента является эффективным средством удовлетворения требований потребителей к комплексному оснащению тяжелых токарных станков с ЧПУ.

Системой модульного инструмента оснащаются тяжелые токарные станки новой гаммы с пластинчатыми суппортами мод 1К660ФЗ, 1К670ФЗ, 1К665ФЗ выпускаемые ОАО «Краматорский завод тяжелого станкостроения».

Разработка модульного принципа компоновки инструмента для тяжелых токарных станков с ЧПУ позволила создать единую систему инструментального обеспечения, включающую в себя: проектирование, изготовление, подготовку и транспортировку на рабочее место, эксплуатацию и сервисное обслуживание.

ВЫВОДЫ

1. В работе решена задача, имеющая существенное значение для автоматизированного машиностроения и заключающаяся в обеспечении точностных характеристик изделия посредством диагностирования состояния и прогнозирования износа и поломки режущего инструмента в реальном времени.

2. Проведенный анализ позволил выявить отсутствие системных решений, осуществляющих диагностирование металлорежущего инструмента и прогноз его износа в реальном времени.

3. Установлена взаимосвязь между диагностическими признаками износа режущего инструмента и параметрами управления процессом токарной обработки в системе ЧПУ, основанная на эталонных значениях диагностических признаков для пары «инструмент – обрабатываемый материал», определяющих зоны приработки, устойчивого износа и катастрофического износа режущего инструмента.

4. На основе установленных взаимосвязей построена модель функционирования инструментария, диагностирующего в реальном времени режущий инструмент и прогнозирующего его остаточную стойкость, для выявления момента своевременной замены инструмента с целью избежания поломки инструмента при выполнении технологического перехода.

5. Классические пути понижения износа и поломки инструмента в большинстве случаев имеют предел, обусловленный технологическими, экономическими и другими факторами.

Анотация

Модульный принцип компоновки инструмента с относительно ограниченным комплектом модулей, позволяет создать без серьезных дополнительных затрат широкую номенклатуру систем инструмента, наиболее приспособленных к конкретным требованиям производства. Модульный принцип компоновки инструмента наиболее эффективен на тяжелых станках, где в основном применяются инструменты, имеющие большие габариты и массу более 15 кг, что делает трудоемким смену и переналадку на новую операцию.

Магистерская работа содержит страниц, 33 рисунка, 2 таблицы и состоит из введения, 4 раздела основной части, общих выводов, списка использованных источников – 28 наименований и 2 приложений.

Целью настоящей работы является расширение технологических возможностей инструментальной системы станков с ЧПУ для повышения точностных характеристик деталей.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Проанализировать решения в области контроля состояния режущего инструмента.
- Построить модель диагностирования состояния режущего инструмента в реальном времени.

Методы исследования. Теоретические исследования в работе базировались на методах системного анализа, теории автоматического управления, теории резания.

Научная новизна. В магистерской работе получены следующие научные результаты:

Установлена взаимосвязь между диагностическими признаками процесса резания инструментом и параметрами управления процессом токарной обработки в системе ЧПУ, основанная на использовании эталонных

значений диагностических признаков для пары «инструмент – обрабатываемый материал».

На основе установленных взаимосвязей построена модель функционирования инструментария, в реальном времени диагностирующего режущий инструмент для выявления момента своевременной замены инструмента при выполнении технологического перехода.

Разработан работающий в реальном времени алгоритм оценки поломки инструмента (на основе анализа силы резания и сравнения с базой данных эталонных значений) при принятии решения о дальнейшем использовании инструмента.

Практическая значимость работы заключается в:

- разработанной методике построения инструментария диагностирования инструмента и прогнозирования его состояния в процессе обработки;

- разработанных программных модулях, позволяющих реализовывать как встраиваемые в систему ЧПУ решения, так и решения, реализуемые в виде автономных устройства на базе внешнего вычислителя.

СИСТЕМА, , СБОРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, ТЯЖЕЛЫЕ ТОКАРНЫЕ СТАНКИ, ЖЕСТКОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, ИЗНОС, ПОЛОМКА, ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Модульний принцип компонування інструменту з відносно обмеженим комплектом модулів, дозволяє створити без серйозних додаткових витрат широку номенклатуру систем інструменту, найбільш пристосованих до конкретних потреб виробництва. Модульний принцип компонування інструменту найбільш ефективний на важких верстатах, де в основному застосовуються інструменти, які мають великі габарити і масу понад 15 кг, що робить трудомістким зміну і переналагодження на нову операцію.

Магістерська робота містить сторінок, 33 рисунка, 2 таблиці і складається зі вступу, 4 розділи основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел - 28 найменувань і 2 додатків.

Метою цієї роботи є розширення технологічних можливостей інструментальної системи верстатів з ЧПУ для підвищення точностних характеристик деталей.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- Проаналізувати рішення в галузі контролю стану різального інструменту.
- Побудувати модель діагностування стану ріжучого інструменту в реальному часі.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження в роботі базувалися на методах системного аналізу, теорія автоматичного управління, теорії різання.

Наукова новизна. У магістерській роботі отримані наступні наукові результати:

Встановлено взаємозв'язок між діагностичними ознаками процесу різання інструментом і параметрами управління процесом токарної обробки в системі ЧПУ, заснована на використанні еталонних значень діагностичних ознак для пари «інструмент - опрацьований матеріал».

На основі встановлених взаємозв'язків побудована модель функціонування інструментарію, в реальному часі діагностуючого ріжучий інструмент для виявлення моменту своєчасної заміни інструменту при виконанні технологічного переходу.

Розроблено працює в реальному часі алгоритм оцінки поломки інструменту (на основі аналізу сили різання і порівняння з базою даних еталонних значень) при прийнятті рішення про подальше використання інструменту.

Практична значимість роботи полягає в:

- розробленою методикою побудови інструментарію діагностування інструменту і прогнозування його стану в процесі обробки;
- розроблених програмних модулях, що дозволяють реалізовувати як вбудовані в систему ЧПУ рішення, так і рішення, реалізовані у вигляді автономних пристроїв на базі зовнішнього обчислювача.

СИСТЕМА,, ЗБІРНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ВАЖКІ ТОКАРСЬКІ СТАНКИ,
ЖОРСТКІСТЬ, МІЦНІСТЬ, ЗНОС, ПОЛОМКА, ВІБРОСТІЙКІСТЬ,
НАДІЙНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

The modular layout of the instrument with a relatively limited set of modules that allows you to create without major additional cost wide range of instrument systems, the most adapted to the specific requirements of production. The modular layout tool is most effective on heavy machines, which are mainly used tools with large dimensions and weight over 15 kg, which makes the time-consuming change and changeover to the new operation.

Master's thesis contains pages, 33 drawings, 2 tables, and consists of an introduction, main body section 4, general conclusions, list of references - 28 titles and 2 applications.

The aim of this work is to expand the technological capabilities of machine tool numerical control system to improve the accuracy characteristics of the parts.

To achieve the goal you need to solve the following problems:

- To analyze the solutions in the field of monitoring the state of the cutting tool.
- Build a model of diagnosing the state of the cutting tool in real time.

Research methods. Theoretical research work based on the methods of system analysis, automatic control theory, theory of cutting.

Scientific novelty. In the master's work the following scientific results were obtained:

The relationship between the diagnostic features of the process of cutting tool parameters and process control turning the CNC system based on the use of reference values of diagnostic features for couples "tool - material to be treated."

On the basis of established relationships, a model of functioning instruments, diagnose the cutting tool to identify the moment of the timely replacement of the tool when the transition process in real time.

The algorithm works in real-time evaluation tool breakage (based on analysis of cutting force and comparison with the base reference data values) when deciding on the further use of the tool.

The practical significance of the work is to:

- Develop the method of construction tools of diagnosis tools and forecasting its condition during processing;
- developed software modules that allow to implement a built-in solutions CNC system and solutions implemented as a stand-alone device on the basis of an external evaluator.

SYSTEM, MODULAR TOOL, HEAVY LATHE, STIFFNESS, STRENGTH,
WEAR, BREAKAGE, VIBRATION RESISTANCE, RELIABILITY,
EFFICIENCY