Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

Самарский государственный технический университет

На правах рукописи

КАЗАКОВА Ольга Юрьевна

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ

ФРЕЗЕРНО-СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНОИ ГРУППЫ ЗА СЧЕТ

МИНИМИЗАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ

СИСТЕМ

05.02.08 -Технология машиностроения

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель

д.т.н., профессор Денисенко А.Ф.

Самара- 2013

/\

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 4

1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА 9

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНОЙ

ИНСТРУМЕНТА

1.1. Формирование погрешностей обработки на станках с 9 автоматической сменой инструмента

1.2. Структура, компоновка и конструкция систем автоматической 26 смены инструментов

1.3. Инструментальная оснастка для станков с автоматической сменой 39 инструментов

1.4. Точностной анализ инструментальной оснастки с конусом 7:24.... 46

1.5. Состояние вопроса и задач исследования 51

2. ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ 53

АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЕ ИНСТРУМЕНТОВ И ОЦЕНКА ИХ

ВЛИЯНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

2.1.Влияние погрешностей, возникающих при автоматической смене 57

инструментов, на точность обработки

2.2. Определение точности осевого расположения инструментальной 65

оправки, имеющей погрешности формы базирующего конуса

2.3. Погрешности инструментальной системы, определяемые 77

динамикой процесса автоматического закрепления инструмента

2.4. Влияние погрешностей ориентации инструментальной оправки в 82 процессе установки на эксплуатационные характеристики подсистемы шпиндель-инструмент

2.5. Выводы 90

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОСЕВОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОПРАВКИ И УГЛОВОЙ ЖЕСТКОСТИ

2

ПОДСИСТЕМЬІ ШПИНДЕЛЬ-ИНСТРУМЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 92

КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ

3.1. Разработка конечноэлементной модели и алгоритма расчета 94

3.2. Определение точности осевого расположения оправки 99

3.3. Исследование влияния радиальной составляющей силы резания на 108 положение оправки в шпинделе станка

3.4. Выводы 113

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, 115

ПРОИСХОДЯЩИХ В ПОДСИСТЕМЕ ШПИНДЕЛЬ-ИНСТРУМЕНТ

4.1. Стенд, моделирующий работу системы АСИ 116

4.2. Исследование точности расположения инструментальной оправки 126 при закреплении

4.2.1. Исследование точности установки инструментальной 126 оправки

4.2.2. Исследование влияния величины силы затяжки на точность 128 расположения правки

4.2.3. Исследование влияния радиальной составляющей силы 131 резания на упругие деформации подсистемы шпиндель-инструмент

4.2.4. Влияние отклонения от круглости поперечного сечения 140 конической части оправки на расположение в шпинделе координатно-расточного станка

4.3.Упругая деформация шпинделя 144

4.4. Выводы 146

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 147

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 150

ПРИЛОЖЕНИЯ 165

3

ВВЕДЕНИЕ

На точность механической обработки наряду с погрешностями станка, ус¬тановки заготовок, упругими силовыми и температурными деформациями технологической системы влияют погрешности установки инструмента. Осо¬бое значение эта составляющая приобретает при использовании системы ав¬томатической смены инструмента, предусматривающей многократное ис¬пользование инструмента. В этом случае погрешности установки будут оп¬ределяться условиями сопряжения конических поверхностей шпинделя и оп¬равки, которые во многом связаны с отклонениями указанных конических поверхностей от идеальных. И если погрешности конической поверхности шпинделя, проявляющиеся в одинаковой мере для всех используемых инст¬рументов, могут быть предварительно оценены экспериментально, учтены и компенсированы при обработке с использованием возможностей современ¬ных систем ЧПУ, то учесть погрешности конусов оправок применительно к значительному числу инструментов не представляется возможным.

Проблемой является также и то, что погрешности конусов оправок не ос¬таются неизменными, формируемыми при их изготовлении. В процессе их многократного использования вследствие неточностей механизмов смены инструмента и действующих при этом динамических процессов существенно проявляются износовые явления, определенным образом влияющие на мак¬рогеометрию конического соединения.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы: «Повышение точности обработки на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы за счет минимизации погрешностей инструментальных систем» является акту¬альной.

Целью данной работы является повышение точности обработки на ме¬

таллорежущих станках путем обеспечения конструкторско-

технологическими методами эксплуатационных характеристик систем смены

инструмента.

4

Методы и средства исследований. Реализация поставленной цели осуще¬ствлялась теоретическими и экспериментальными методами. Теоретические исследования базируются на основе методов технологии машиностроения. В обработке полученных экспериментальных данных применены методы мате¬матической статистики. Эксперименты проводились на специально изготов¬ленном стенде и на сверлильно-фрезерном координатно-расточном станке. Экспериментальные данные подкреплялись расчетами, проведенными с ис¬пользованием программного комплекса Ansys.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- выявлены закономерности влияния точности расположения инстру¬

ментальной оправки в шпинделе станка на точность обработки при различ¬

ных видах выполняемых операций на станках фрезерно-сверлильно-

расточной группы;

- установлены зависимости по определению степени влияния погрешно¬стей конической части оправки на осевые перемещения при установке в шпинделе станка;

- установлено влияние погрешностей формы и конструктивных особен¬ностей конических поверхностей на точностные и жесткостные характери¬стики инструментальной системы;

- теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены требова¬ния к изготовлению конических поверхностей инструментальных оправок;

- разработана конечноэлементная модель контактирующих поверхно¬

стей, учитывающая погрешности базирующего конуса инструментальных

оправок и конструктивные особенности.

Практическая ценность и реализация результатов работы:

- разработаны конструкторско-технологические рекомендации по повы¬

шению точности инструментальной системы за счет обоснования допусти¬

мых отклонений погрешности формы конических поверхностей, возможно¬

сти использования (в случае технологической необходимости) пояска на ко¬

нической части оправки, изготовления конической части оправки с микро-

5

рельефом, имеющем переменный уровень шероховатости (патент №2426627 «Стержневой инструмент с коническим хвостовиком»);

- экспериментально обоснована возможность повышения точности ин¬струментальной системы за счет выбора одного из двух возможных положе¬ний оправки при закреплении;

- разработан стенд для экспериментальных исследований, который реа¬лизует возможность моделирования работы отдельных элементов и механиз¬мов шпиндельной сборочной единицы многооперационного станка в момент смены инструмента при широком варьировании конструктивных и эксплуа¬тационных характеристик;

- разработан алгоритм расчета с использованием метода конечных эле¬ментов, позволяющий моделировать процесс взаимодействия контактируе-мых конических поверхностей шпинделя и оправки, имеющей погрешности базирующего конуса;

- по результатам работы изданы методические указания к лабораторным работам: «Исследование эксплуатационных характеристик механизмов сме¬ны инструмента», используемые в лабораторном практикуме по дисциплине «Испытание и исследование станков». Данное методическое указание ис¬пользуется в учебном процессе при подготовке студентов, обучающихся по специальностям 050501, 151002;

- рекомендации по минимизации осевой погрешности и угловой жестко¬сти, являющиеся значительным резервом повышения точности обработки, внедрены на станкостроительном предприятии ЗАО «СТАН-САМАРА»

(г. Самара).

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на 5 научно-технических конференциях, а именно: на Междуна¬родной научно-технической конференции «Повышение качества продукции и эффективности производства» (г. Курган, 2006 г.); на Международной кон¬ференции «Стратегия качества в промышленности и образовании» (г. Варна,

2010г.); на Всероссийской научно-технической конференции с международ-

6

ным участием «Высокие технологии в машиностроении» (г. Самара, 2009-2010 гг.); на Международной конференции «Актуальные проблемы триболо¬гии» (г. Самара, 2011г.).

Публикации. По теме работы опубликовано 20 печатных работ, в том числе: 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикаций мате¬риалов докторских и кандидатских диссертаций; 4 статьи в сборниках науч¬ных трудов; 8 тезисов докладов в материалах научно-технических конферен¬ций; патент на изобретение №: 2426627. Положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности влияния точности расположения инструментальной оправки на точность обработки при различных видах выполняемых операций на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы.

2. Зависимости по определению степени влияния погрешностей кониче¬ской части оправки на осевые перемещения при установке в шпинделе станка.

3. Конечноэлементная модель и алгоритм расчета влияния погрешностей формы и конструктивных особенностей конических поверхностей на точно¬стные и жесткостные характеристики инструментальной системы.

4. Результаты экспериментальных исследований на стенде, моделирую¬щем шпиндельную сборочную единицу многооперационного станка и про¬цесс смены инструмента.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов, списка использованной литературы из 164 наименований и 2 при¬ложений. Работа содержит 182 страницы, в том числе 149 страниц основного текста, 92 рисунка, 23 таблицы.

Во введении обоснована актуальность работы, показана ее научная но¬визна и практическая ценность, сформулирована цель диссертационной ра¬боты.

В первом разделе Проведен анализ работ, посвященных теоретическим и экспериментальным исследованиям в области точности обработки. Постав¬лены задачи и сформулирована цель исследования.

7

Во втором разделе оценено влияние погрешностей инструментальных систем на точность обработки при различных видах выполняемых операций на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы; рассмотрен процесс формирования погрешностей, возникающих при автоматической смене инст¬рументов. Определены зависимости, которые позволяют оценивать осевое положение инструмента при установке в шпинделе станка.

Определено пространственное положение оправки при закреплении (пу¬тем нахождения упругих контактных деформаций в подсистеме шпиндель-инструмент). Выявлены участки конических поверхностей, подвергающихся наиболее интенсивному износу. Проанализированы динамические процессы при автоматическом закреплении инструмента.

В третьем разделе представлены результаты исследования точности осе¬вого расположения инструментальной оправки и угловой жесткости подсис¬темы шпиндель-инструмент с использованием конечноэлементной модели. Разработан алгоритм проведения расчета.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных иссле¬дований процессов, происходящих в подсистеме шпиндель-инструмент на специально изготовленном стенде и координатно-расточном станке. Оценена степень влияния силы затяжки на точность расположения инструментальной оправки в модели шпиндельного отверстия. Определена степень влияния макрогеометрических погрешностей на точность установки инструменталь¬ной оправки.

Проанализировано влияние радиальной составляющей силы резания на упругие деформации подсистемы шпиндель-инструмент.

В заключении даны основные выводы по диссертационной работе.

8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Порезультатамисследованийделаютсяследующиевыводы

 Оцененовлияниепогрешностейинструментальныхсистемнаточность

обработкиприразличныхвидахвыполняемыхоперацийнастанках

фрезерносверлильнорасточнойгруппыНаличиеэкспериментально

установленныхугловыхпогрешностейосиоправкиприведеткувеличению

диаметраотверстияприсверленииувеличениюилиуменьшениюдиаметра

прирастачиваниидомкмвзависимостиотвидавыполняемойоперации

ипогрешностямформыповерхностейкакпараллельныхтаки

перпендикулярныхосиинструментаприфрезерованииконцевойфрезой

Прифрезерованиипазафрезамидиаметркоторыхварьируетсяотммдо

ммвеличинапогрешностисоставитмкммкм

 Анализформированияпогрешностейподсистемышпиндель

инструментсформированныхприизготовлениипоказалчтоданные

погрешностимогутменятьсяиприэксплуатациивпроцессесмены

инструментаУстановленызависимостиопределяющиеосевоеположение

оправкиприбазированиикотороебудетзависетьотсоотношения

отклоненийугловконусаоправкиишпинделяиотвзаимногорасположения

формыторцовконусов

 Выполненанализинструментальныхсистемпокритериямточностии

жесткостиРезультатыанализапоказаличтоугловаяжесткостьвозрастаети

имеетнелинейныйхарактеризмененияприувеличениирадиальной

составляющейсилырезаниявпределахдоНПридальнейшем

увеличениисилыугловаяжесткостьподсистемышпиндельинструмент

увеличиваетсяполинейномузакону

ПроведенныеисследованияподтвердиличтооправкибезпоясканаконическойчастиимеютбольшуюугловуюжесткостьВслучае

технологическойнеобходимостиизготовленияпояскаегоширинанедолжна





превышатьммионможетрасполагатьсявсреднейчастиконическойповерхностиилисмещенвсторонубольшегодиаметра

ПолученныеаналитическиезависимостиипроведенныенатурныеэкспериментыпооценкестепенивлиянияпогрешностейконусаоправкинаосевыеперемещенияупругиеугловыедеформациииугловуюжесткостьпоказаличтодоминирующуюрольоказываюттакиепогрешностиконусаоправкикаквогнутостьобразующейконусаиугловыепогрешностивызванныеуменьшениемкакбольшоготакималогодиаметровУстановленочтоприналичииугловыхпогрешностейжесткостьподсистемышпиндельинструментснижаетсявразаПредпочтениеследуетотдатьоправкамсплюсовымдопускомнауголконусаоправкинезависимоотпараметраегоформированияотклонениебольшегоилименьшегодиаметраПринеобходимостииспользованияоправоксминусовымиугловымипогрешностямиконусауменьшениебольшегоилименьшегодиаметраследуетповышатьстепеньточностиизготовления

 Разработанаконечноэлементнаямодельподсистемышпиндель

инструментпозволяющаямоделироватьпроцессвзаимодействия

контактируемыхконическихповерхностейшпинделяиоправкиимеющей

погрешностибазирующегоконуса

 Разработанстенддляэкспериментальныхисследованийкоторый

реализуетвозможностьмоделированияработыотдельныхэлементови

механизмовшпиндельнойсборочнойединицымногооперационногостанкав

моментсменыинструментаприширокомварьированииконструктивныхи

эксплуатационныххарактеристик

 Проведенныеэкспериментальныеисследованияпоказаличто

существуетвозможностьзначительногоповышенияточности

инструментальнойсистемызасчетвыбораодногоиздвухвозможных

положенийоправкипризакреплении

 Полученпатентнаизобретение№Стержневойинструментс

коническимхвостовикомвсоответствиискоторымпредлагаетсяобработка





коническойповерхностиоправкиспеременнойшероховатостьюподлинеобразующейчтопозволитнаэтапеизготовленияинструментадобиватьсяповышенияжесткостибезужесточениядопусковнамакроотклонения