

ТРОФИМОВ Константин Геннадьевич

ТОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНЫХ РЕЗЦОВ, ОСНАЩЕННЫХ СПЕЦИАЛЬНЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Специальность 05.02.08 – технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2002

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном техническом университете.

Научный руководитель: к.т.н., проф. Соловейчик А.М.

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Васильков Д.В.

к.т.н., доц. Чижевский А.Б.

Ведущая организация: ЗАО «Станкостроительный завод "Свердлов», г. Санкт-Петербург.

Защита состоится 18 июня 2002 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.26 Санкт-Петербургского государственного технического университета, 195251 Спб ул. Политехническая д.29, в ауд. 41, I учебного корпуса.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГТУ.

Автореферат разослан 17 мая 2002 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.229.26, д.т.н., проф.

Тисенко В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Важнейшими условиями повышения конкурентоспособности выпускаемых изделий являются повышение производительности, снижение затрат и повышение качества при их производстве. Успешное освоение любых технологических процессов невозможно также без обеспечения надежности операций по параметрам точности обработки.

Известно, что применение систем адаптивного управления технологическими процессами является эффективным методом обеспечения требуемого качества изделий. Одними из наиболее рациональных решений является применение механических адаптивных систем, обладающих высоким быстродействием, не требующих измерительных и усилительно-преобразовательных устройств.

Реализация с высокой надёжностью проектных технологических решений затруднена в условиях образования сливной стружки, особенно при обработке закрытых поверхностей, например при растачивании отверстий на токарных станках. Поэтому необходимо обеспечить формирование стружки, удовлетворяющей технологическим требованиям на изготовление детали, стойкости инструмента и условиям автоматизации. Формирование стружки может быть обеспечено различными методами. Наиболее прост в реализации метод некинематического дробления стружки, основанный на применении твёрдосплавных неперетачиваемых пластин со стружколомающими элементами на передней поверхности. В настоящее время недостаточно полно рассмотрены условия дробления стружки при резании с такими пластинами.

Необходимым условием обеспечения реализации расчётных технологических параметров процесса является также отсутствие колебаний в технологической системе.

Поэтому разработка методов и средств, обеспечивающих надёжную реализацию запрограммированных технологических решений по точности и устойчивости процесса резания, а также обеспечивающих устойчивое формирование удовлетворительной стружки при токарной обработке отверстий является актуальной задачей и представляет значительный практический интерес.

Цель работы. Разработка мероприятий по надёжному обеспечению требуемой точности обработки и устойчивости движения технологической системы с формированием стружки требуемых размеров и формы при токарной обработке отверстий.

Методика исследований. Определение параметров адаптивного резца производилось с помощью метода перемещений, согласно которому составлялась и решалась система линейных уравнений шестого порядка.

Исследование условий стружкодробления выполнялось на основе положений теории резания, в частности с учетом величины зоны пластической деформации и угла схода стружки. Силовые зависимости определялись с использованием многофакторного планирования экспериментов.

Параметры расчетных математических моделей исследуемой ТС определялись с использованием общепринятых методов исследования динамики станков.

Исследование нелинейных колебаний выполнялось аналитическим методом, а также графическим методом с использованием фазовой плоскости. Экспериментальная проверка полученных результатов и расчетных данных проводилась в лабораторных и цеховых условиях.

Научную новизну работы составляют:

- математическая модель комплекса "технологическая система станка – адаптивный резец", представляющая систему с одной степенью свободы в направлении оси X ;
- методика расчета адаптивного резца, позволяющая оптимизировать его конструкцию для получения максимально возможного повышения точности обработки по всем ее параметрам;
- теоретические зависимости, позволяющие определять параметры стружколомающих элементов для различных типов многогранных неперетачиваемых пластин (МНП), которые обеспечивают устойчивое дробление стружки;
- методика определения областей устойчивого движения технологической системы в зависимости от параметров процесса растачивания отверстий с использованием МНП.

3. Практическая ценность:

- разработан и создан адаптивный резец, позволяющий управлять упругими перемещениями технологической системы токарного станка при превалирующем влиянии осевой составляющей силы резания P_x ;
- разработаны алгоритм и программа расчета адаптивного резца по выбору конкретных его параметров для различных условий обработки;
- определены области устойчивого стружкодробления при обработке заготовок из различных материалов;
- определены области устойчивого движения технологической системы в для наиболее характерных параметров процесса растачивания отверстий.

Промышленная реализация работы. Адаптивные резцы, оснащенные многогранными неперетачиваемыми пластинами внедрены в производство при расточке отверстий в литых и

штампованных заготовках на ОАО «Ленполиграфмаш» и ряде других предприятий Северо-западного региона РФ.

Апробация работы. Диссертационная работа и её отдельные разделы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Технология машиностроения» СПбГТУ, научно-технических совещаниях ОАО "Ленполиграфмаш", на международных электронных научно-технических конференциях в Тульском государственном университете, на Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы в СПбГТУ.

Публикации. Основные результаты работы изложены в шести печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, общих выводов и заключения, изложена на 177 страницах, включая: 18 таблиц, 65 рисунков, список литературы из 122 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована необходимость проведения исследований, направленных на повышение эффективности процесса растачивания отверстий в литых и штампованных заготовках на токарных станках путем применения адаптивных резцов, оснащенных МНП со сферическими выступами на передней поверхности и обеспечения при этом устойчивости движения ТС.

В первом разделе проведен анализ методов и средств повышения точности деталей и надежности процесса растачивания на станках токарной группы. Изучение проблем производства типовых деталей из литых и штампованных заготовок показал, что для заготовок этого класса деталей характерны достаточно большие погрешности взаимного расположения, значительные колебания припуска и твердости. Наиболее эффективно исправление этих погрешностей возможно при обработке отверстий на первых операциях однолезвийным инструментом с жестким направлением – растачиванием резцом. Однако одной из основных проблем этих процессов является обеспечение надежности операций по параметрам точности обработки.

Необходимо подчеркнуть, что проблему обеспечения точности, а следовательно и качества можно успешно решать только при условии, если качество изделий будет обеспечиваться самим технологическим процессом. При проведении статистических исследований работы металлорежущего оборудования определялись основные характерные показатели надежности и точности технологических операций. К ним относятся вероятность качественного выполнения операции и запас точности.

Исследования показали, что существующие технологии обладают на настоящий момент низкой точностью (средний запас точности 0,75 против принятого для автоматизированного техпроцесса 1, 2...1, 3); в среднем вероятность качественного выполнения токарных операций не более 65 %; повышенный разброс размеров после точения приводит к повышенным припускам при шлифовании и вследствие этого к снижению производительности шлифовальных операций (до 30...35%); основными причинами низкой надежности являются нестабильность входных параметров заготовок (припусков и твердости); существует достаточно тесная связь между точностью заготовок и точностью токарных операций (коэффициент корреляции $r > 0,7$).

Проведенный литературный обзор по методам повышения точности и обеспечения надежности технологических процессов показал, что традиционные пути достижения и повышения точности (повышение точности и жесткости технологической системы (ТС), обработка на заниженных режимах и др.) требуют больших затрат, снижают производительность труда. Компенсация погрешностей обработки будет тем эффективнее, чем ближе момент получения информации о возмущающем факторе к моменту осуществления коррекции. Из этого следует, что использование самого возмущающего фактора в качестве управляющего процессом поднастройки ТС на выполнение заданных требований повышает эффективность компенсации погрешностей обработки. Механические адаптивные системы (адаптивные резцы) обладают перечисленными свойствами. Кроме того, они просты по конструкции и не требуют специальных дополнительных устройств.

Для обеспечения эффективной работы адаптивных резцов, наряду с другими вопросами, необходимо решить задачу устойчивого стружкообразования в процессе резания. Наиболее прост и надежен в реализации метод дробления стружки, основанный на применении твердосплавных пластин со стружколомающими элементами на передней поверхности резцов. Однако, в настоящее время недостаточно полно известны параметры резцов и условия стружкообразования при их использовании.

Особенностью адаптивных резцов, обеспечивающей их функциональное назначение является некоторое управляемое снижение жесткости в определенных направлениях. Кроме того, наличие стружколомающих элементов на передней поверхности резцов обуславливает повышение силы резания. Всё это вызывает необходимость обратить особое внимание на обеспечение устойчивости ТС.

Устойчивость движения технологической системы токарной расточной обработки можно изучать как аналитическим так и графическим путем. Графический анализ полностью учитывает нелинейные свойства, присущие данной системе. Его использование связано с

применением фазовой плоскости. Ход интегральных кривых позволяет судить о возможном положении равновесия при различных внешних воздействиях. На фазовой плоскости стационарному положению равновесия отвечает устойчивая особая точка, а колебательному – предельный цикл.

При аналитическом исследовании устойчивости нелинейных систем, имеющих непрерывные координаты и их производные в окрестности рассматриваемого состояния, по А.М.Ляпунову необходима и достаточна устойчивость первого линейного приближения. Наиболее широко алгебраический критерий использовался для анализа устойчивости и нахождения областей устойчивого резания при линеаризации нелинейных систем токарной обработки с несколькими степенями свободы.

На основании выполненного анализа и в соответствии с поставленной целью настоящей работы сформулированы основные задачи.

1. Разработка и исследование адаптивного резца, позволяющего управлять точностью механообработки.

2. Исследование процесса формирования и определение условий дробления стружки при использовании твердосплавных непоретачиваемых пластин со стружколомающими элементами на передней поверхности.

3. Исследовать вопросы устойчивости движения технологической системы в условиях пониженной жесткости адаптивного резца и увеличения сил резания за счет применения стружколомов, что потенциально может способствовать повышению вероятности появления автоколебаний.

4. Разработать мероприятия по повышению виброустойчивости технологической системы.

Второй раздел посвящен разработке и исследованию адаптивного резца для растачивания.

В процессе обработки сила резания изменяется из-за переменных условий обработки, влияние которых на точность обработки рассмотрены в первом разделе. В частности, к изменению силы приводят колебание припуска на обработку, колебание механических свойств материала обрабатываемых заготовок и другие факторы. Технологическая система, обладающая определенной податливостью вследствие нежесткости ее деталей и узлов, под действием непостоянных составляющих сил резания P_x , P_y и P_z упруго деформируется по всем трем координатам. Величина этих упругих деформаций зависит как от мгновенных значений силы резания, так и от жесткости упругой системы, т.е. ее способности противостоять силе. Неравномерность уп-

ругих деформаций приводит к возникновению погрешности размеров и формы обработанной поверхности. Однако податливость не всегда является вредной и ею можно управлять. Исходя из этого, для повышения точности размеров и формы в продольном сечении внутренних поверхностей деталей типа втулки при их обработке на токарных станках, создан механический адаптивный резец с упругими связями. Конструкция резца позволяет управлять процессом обработки, обеспечивая повышение точности механической обработки путем динамической настройки станка в процессе резания путем применения механизма коррекции упругих перемещений технологической системы. Механизм коррекции представляет собой упругие пружины 1, расположенные в вертикальной плоскости под некоторым углом α относительно перпендикуляра к продольной оси обрабатываемой заготовки. Такое расположение упругих пружин придает системе пониженную жесткость в направлении X и некоторую податливость в направлении Y (Рис. 1).

Поскольку силы P_y и P_x действуют одновременно и на державку 2 которая отожмется в направлении $-Y$ и на головку 3, которая отжимается в направлении X , и на деталь в направлении Y , то вершина режущей пластины будет скользить по геометрическому месту точек, описываемому линией OO_2 , то есть по обрабатываемой поверхности заданного размера, вследствие чего точность формы и размера повышается.

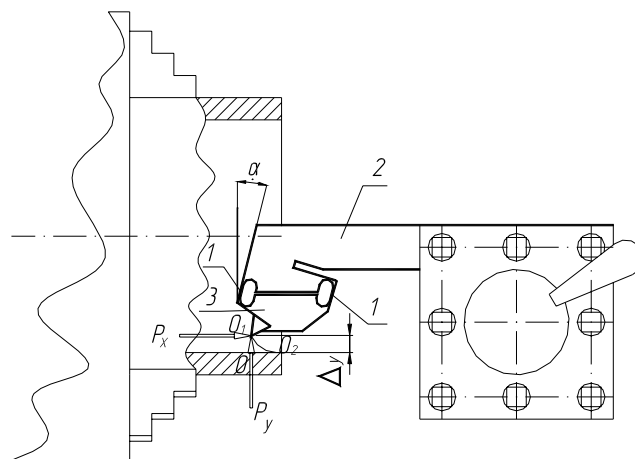


Рис. 1. Схема перемещения вершины резца под действием составляющих силы резания

Для определения конструктивных параметров адаптивного резца, обеспечивающих эффективную его работу необходимо найти зависимости упругих перемещений вершины режущей кромки инструмента от сил, возникающих в процессе резания. Решение этой задачи производится методом перемещений, согласно которому в данном случае в качестве неизвестных рассматривается шесть компонентов малых перемещений (кинематических парамет-

ров); три из них – U, V, W выражают поступательные перемещения некоторой точки, принимаемой за полюс, вдоль координатных осей X, Y, Z соответственно, а три других – $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ характеризуют поворот относительно полюса в виде составляющих по тем же осям.

Общая идея расчета сводится к составлению системы линейных алгебраических уравнений шестого порядка путем рассмотрения условий равновесия для пространственно закрепленного жесткого тела (носителя) с упругими связями, выполненными в виде плоских пружин. Решая систему уравнений, определялись внутренние силовые факторы, посредством которых вычислялись составляющие искомого перемещения режущей кромки. При разработке алгоритма расчета вышеизложенные стадии расчета разделялись на несколько этапов.

На первом этапе составлялась расчетная схема в новых рабочих осях, повернутых относительно исходных осей на угол наклона α упругих элементов. Затем вводились кинематические параметры носителя. На следующем этапе перемещения на концах всех упругих элементов выражались в зависимости от внутренних силовых факторов.

На рис. 2 внутренние силовые факторы обозначены x_{ij} : где $i=1, 2, 3, 4$ – это номер пластины (упругого элемента); $j=1, 2, 3, \dots, 6$ – номер усилия на пластине, причем в каждом случае индекс j соответствует одному и тому же виду деформации: 1 – соответствует растяжению (либо сжатию); 2 и 3 – сдвигу в плоскости и из плоскости соответственно; 4 – кручению; 5 и 6 – изгибу в главных плоскостях жесткости. На этом рисунке, кроме постоянных пружин, показанных на рис. 1, изображены также регулируемые пружины с изменяемым углом наклона по отношению к постоянным пружинам (на рис. 2 они повернуты).

Рассматривая условия равновесия для системы сил, приложенных к носителю со стороны обрабатываемой заготовки (на верхней кромке) и со стороны упругих связей получены условия равновесия для носителя под действием составляющих силы резания P_1, P_2, P_3 и реакций в упругих связях, в виде системы из 6-ти линейных уравнений.

Затем в рассмотрение вводились шесть новых неизвестных (кинематические параметры) и после преобразования вышеприведенной системы уравнений они решались методом Гауса. Обработка результатов расчета осуществлялась с помощью программы, разработанной на языке Паскаль. Программа позволила еще на стадии разработки адаптивного резца варьировать все возможные комбинации параметров системы и выяснять их влияние на жесткость системы в продольном и поперечном направлениях.

$$\begin{aligned}
x_{13} + x_{23} + x_{33} \cos \psi_1 + x_{32} \sin \psi_1 + x_{43} \cos \psi_2 + x_{42} \sin \psi_2 &= P; \\
x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} &= -P_2; \\
x_{15}x_{12} + x_{22} + x_{32} \cos \psi_1 - x_{33} \sin \psi_1 + x_{42} \cos \psi_2 - x_{43} \sin \psi_2 &= -P_3; \\
x_{16} + x_{26} + x_{35} \sin \psi_1 + x_{36} \cos \psi_1 + x_{45} \sin \psi_2 + x_{46} \cos \psi_2 - x_{22}n + x_{31}k - x_{32}m \cos \psi_1 + \\
+ x_{33}m \sin \psi_1 - x_{41}k - x_{42}m \cos \psi_2 + x_{43} \sin \psi_2 &= P_2e - P_3c \\
x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} - x_{22}a - x_{32}b \cos \psi_1 - x_{33}k \sin \psi_1 + x_{33}b \sin \psi_1 - x_{33}k \cos \psi_1 - x_{42}b \cos \psi_2 \\
+ x_{42} \sin \psi_2 + x_{43}b \sin \psi_2 + x_{43}k \cos \psi_2 &= P_1e + P_3d; \\
x_{15} + x_{25} + x_{35} \cos \psi_1 - x_{36} \sin \psi_1 + x_{45} \cos \psi_2 - x_{46} \sin \psi_2 + x_{21}a + x_{23}n + x_{31}b + x_{32}m \sin \psi_1 + \\
+ x_{33}m \cos \psi_1 + x_{41}b + x_{42}m \sin \psi_2 + x_{43}m \cos \psi_2 &= -P_1c - P_2d.
\end{aligned}$$

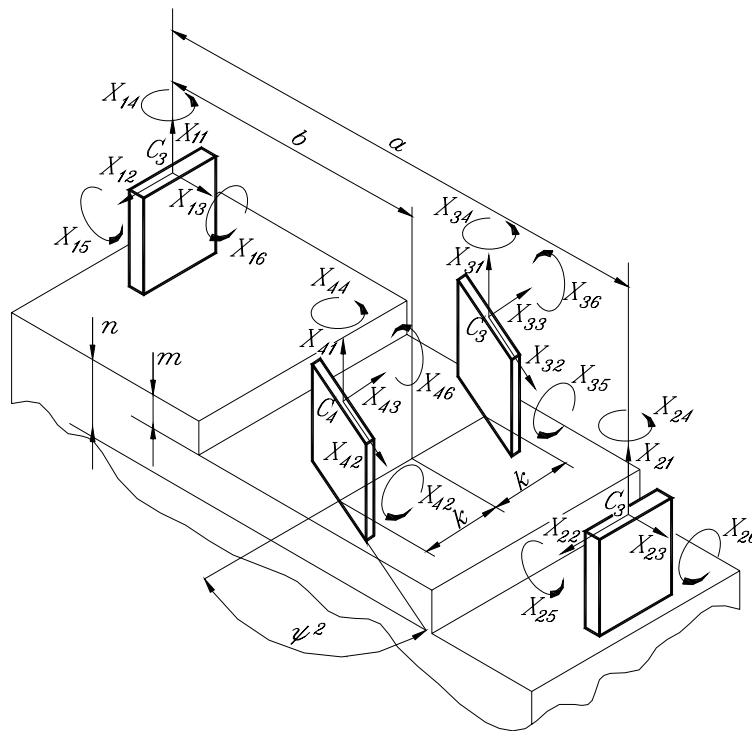


Рис. 2. Схема действия внутренних силовых факторов

Расчеты показали, что наибольшее влияние на жесткость реза оказывают два параметра – угол поворота регулируемых пружин и толщина пружин, как регулируемых, так и постоянных. Наличие упругих регулируемых пружин может повысить жесткость реза в направлении оси X , от $698,5 \cdot 10^4$ Н/м до $9320 \cdot 10^4$ Н/м. Экспериментальное определение перемещений носителя в направлении оси X , показывает хорошее совпадение их с результатами расчета (отклонения не превышают 10%).

Обеспечение надежности процесса растачивания отверстий, и особенно при использовании адаптивных устройств, затруднено образующейся сливной стружкой. Поэтому, как отмечено в первом разделе, вопросы стружкодробления являются актуальными.

В третьем разделе исследованы процессы стружкообразования при использовании МНП. Процесс дробления стружки исследовался на токарно - винторезном станке мод. 1К62 при обработке заготовок из сталей 45, 40Х, 12Х18Н9Т – типичных представителей конструкционных и нержавеющей сталей. Определялись области дробления стружки, обусловленные размерами стружколомающих элементов. На основании полученных соотношений режимов резания, обеспечивающих дробление стружки, строились диаграммы в координатах $t - S$ (t - глубина резания, S - подача), на которых отмечалось начало дробления стружки при данных режимах резания.

В результате исследований были сделаны следующие заключения. Из характеристик режимов резания на процесс дробления стружки основное влияние оказывает подача. Влияние глубины резания сказывается двояко. Она может и ухудшать стружкодробление и улучшать его, что зависит от места упора стружки в препятствие. Скорость резания практически не влияет на стружкодробление. Из исследованных видов стружколомов наиболее эффективными оказались стружколомы в виде сферических выступов. Свойства обрабатываемого материала влияют на стружкодробление незначительно. Для сталей, при обработке которых образуется сливная стружка, этим влиянием можно пренебречь.

Однако полученные таким образом диаграммы имеют, в известной степени, частный характер. Поэтому, на базе работ Н.Н. Зорева, были получены теоретическая зависимость между подачей, обеспечивающей устойчивое стружкодробление и параметрами стружколомающих элементов МНП.

$$S_{0H} = \frac{-(t \cos \lambda - S_0 \cos \varphi \sin \varphi - S_0 \sin^2 \varphi) + \sqrt{(t \cos \lambda - S_0 \cos \varphi \sin \varphi - S_0 \sin^2 \varphi)^2 + 4(\cos \varphi \sin \varphi \cos \lambda + \sin^2 \varphi \sin \lambda) S_0 t}}{2(\cos \varphi \sin \varphi \cos \lambda + \sin^2 \varphi \sin \lambda)}$$

Подача S_0 , входящая в это уравнение, определяется по следующей формуле:

$$S_0 = \frac{2B_y \varepsilon_b K}{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sin \varphi K_a (2K - 1) + \varepsilon_b K \sin \varphi [K_a (1 - \operatorname{tg} \gamma) + \sec \gamma]}$$

где B_y - ширина стружколома в виде уступа; ε_b - предельно - допустимая деформация стружки для различных сталей; K - отношение радиусов закругления стружки, R_b'/R_b ; θ - угол наклона уступа; φ - главный угол в плане; K_a - коэффициент утолщения (усадки) стружки. У

пластин со сферическими выступами за ширину стружколома B_y принималось расстояние от режущей кромки до центра сфер. Смысл остальных параметров понятен из рис. 3.

По этим зависимостям были определены зоны устойчивого стружкодробления. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными показало, что их расхождение не превышает 20 %. Установлено также, что износ стружколомающих элементов в виде сферических выступов оказывает малое влияние на изменение процесса стружкодробления во времени (в течение всего периода стойкости).

Одновременно, по методу многофакторного планирования экспериментов, были получены эмпирические зависимости для расчета сил резания при использовании МНП со стружколомами в виде сферических выступов. При этом отмечено некоторое увеличение (до 15 %) сил резания по сравнению с резцами без стружколомов.

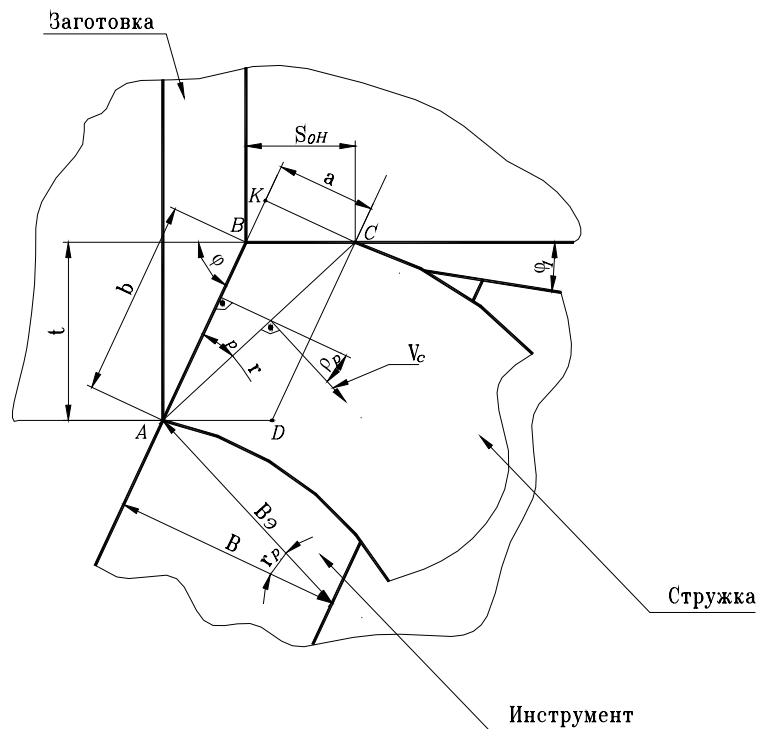


Рис.3. Схема для определения необходимой ширины стружколома

Четвертый раздел посвящен вопросам устойчивости технологической системы при растачивании с использованием адаптивных резцов. Как отмечалось выше, работа адаптивного резца основана на некотором управляемом снижении его жесткости. Кроме того, применение МНП со стружколомами приводит к некоторому увеличению силы резания. Все это вызвало необходимость оценки устойчивости технологической системы.

В соответствии с проведенным анализом и принятыми допущениями, реальная адаптивная технологическая система расточной токарной обработки была представлена в виде модели, имеющей двенадцать степеней свободы. На основании анализа результатов экспериментальных исследований параметров этой модели было сделано заключение, что доминирующей системой является подсистема носителя в направлении X (рис. 4).

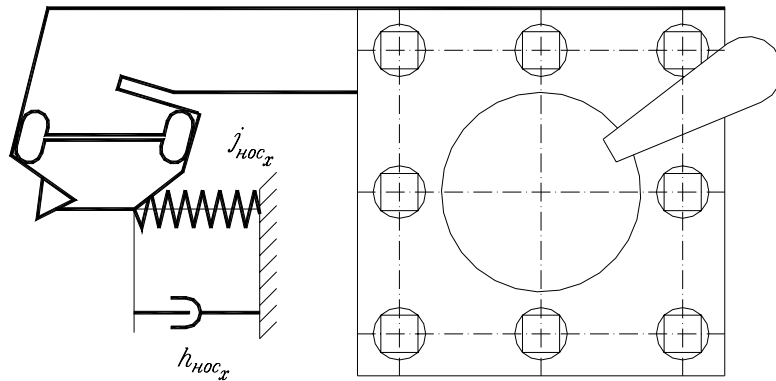


Рис. 4. Доминирующая колебательная система

Объясняется это тем, что носитель имеет самые низкие параметры и определяет виброустойчивость колебательной технологической системы:

- коэффициент пропорциональности (h) сил сопротивления скорости носителя в направлении X в 4,7... 23,4 раз ниже, чем значение этих же коэффициентов для остальных элементов технологической системы;

- жесткость носителя в направлении X в 3,6...7 раз ниже жесткости остальных элементов технологической системы в направлениях X , Y , Z и жесткости носителя в направлении X и Z ;

- квадрат частоты собственных колебаний f^2 носителя в направлении X значительно отличается от квадрата частоты собственных колебаний других узлов станка.

Уравнение движения такой системы имеет вид:

$$M \ddot{x} + j\dot{x} = P(x)$$

где M - приведенная масса системы; j - жесткость системы; $P(x)$ обобщенная характеристика силы.

Для выбора рациональных режимов резания, при которых обеспечивается устойчивое движение технологической системы используются как аналитические, так и графические методы.

Графические методы анализа являются одним из важных способов исследования различных явлений, связанных с нелинейными колебаниями. С помощью графических методов, решения дифференциальных уравнений находились в виде интегральных кривых на фазовой плоскости. Один из фазовых портретов в качестве примера приведен на рис. 5.

Интегральные кривые на фазовой плоскости дают наглядное представление о характере движения системы при конкретных значениях параметров системы. Для оценки всей совокупности явлений, связанных с изменением того или иного параметра, использовался аналитический метод. Переход системы от стационарного положения равновесия к колебательному и наоборот рассматривался с помощью построения так называемой бифуркационной диаграммы. Определяя бифуркационные параметры в направлении действия осевой составляющей силы резания P_x для различных фиксированных значений глубины резания и подачи были получены диаграммы устойчивого резания с применением адаптивного резца. При определении границы устойчивости, отвечающей критическим параметрам режима резания автономных систем, считались величины:

- при мягком возбуждении автоколебания $h=|H|$, то есть

$$h = n_p C_p t^{x_p} S^{y_p} V^{-(1+n_p)} K_p$$

- при жестком возбуждении автоколебания граница устойчивости имеет вид

$$h = 0.041 * H,$$

где H - крутизна характеристики силы резания P_x ; h - коэффициент пропорциональности силы сопротивления скорости.

Используя данные выражения, путем варьирования параметров режимов резания были установлены области устойчивой работы технологической системы.

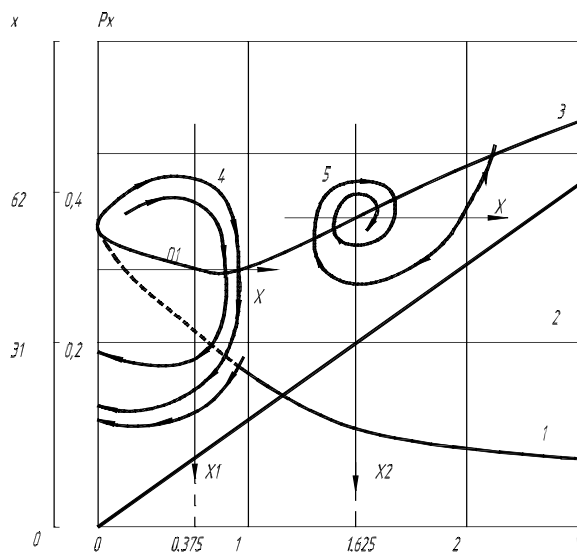


Рис. 5. Фазовый портрет при растачивании стали 12Х18Н9Т со скоростями 0,375 и 1,625 м/с ($S = 0,14$ мм/об, $t = 0,5$ мм).

1- характеристика силы резания; 2 - характеристика силы сопротивления; 3 - обобщенная характеристика; 4 - устойчивый предельный цикл; 5 - интегральная кривая

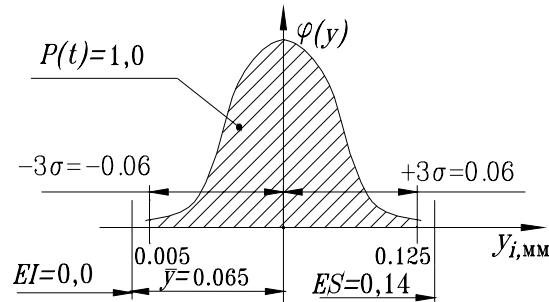
В пятом разделе приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований работы обычного и адаптивного резцов. Для обоих резцов производилась оценка обеспечиваемой точности формы в продольном и поперечном сечениях, а также размерной точности. Эксперименты проводились на токарно-винторезном станке модели 1К62.

При оценке погрешности формы в продольном сечении в качестве заготовок использовались втулки с коническими отверстиями, изготовленными из стали 45. Обрабатывались две группы образцов; первые - обычным расточным токарным резцом с МНП, имевшим главный угол в плане $\varphi=93^\circ$; вторые - с использованием адаптивного резца без дополнительных упругих элементов, оснащенного пластинами со сферическими выступами. В обоих случаях обработка производилась на режимах, обеспечивающих устойчивое резание: скорость резания $V=2$ м/с; подача $S=0.14$ мм/об.; глубина резания (t) достигала максимальных значений 1.5 мм. Измерение конической части каждого образца производилось через каждые 5 мм длины до и после обработки нутромером с измерительной головкой, имеющей цену деления 0.001 мм. Установлено, что адаптивный резец обеспечивает точность профиля в продольном сечении в диапазоне 6...7 степеней, а обычный резец – 8...10 степеней. Для выявления характера влияния колебания припуска на точность обработки в поперечном сечении проводился эксперимент по обработке заготовок, имеющих различные глубины резания на отдельных участках. Сравнительный коэффициент повышения точности формы в поперечном сечении, определявшийся как отношение среднего отклонения формы при обработке обычным резцом к тому же при обработке адаптивным резцом составил 2,92.

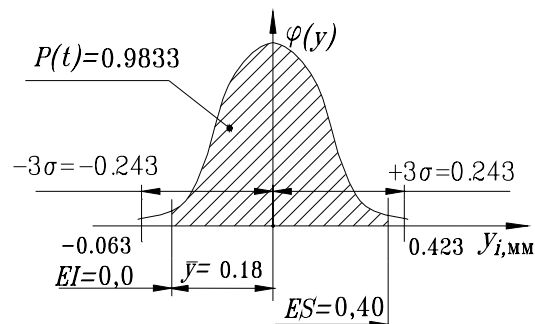
Исследование точности размеров производилось при обработке партий штампованных и литых заготовок. После измерения расточенных отверстий рассчитывались средние арифметические значения погрешностей \bar{y} среднеквадратические отклонения σ , коэффициент запаса точности $K_{зт}$ и вероятность выполнения операций без брака $P(t)$.

Как показали расчёты, коэффициент корреляции между колебанием припусков и погрешностью размеров партий деталей составил 0,78, что показывает тесную связь между этими параметрами.

На рис. 6,а показана кривая распределения размеров отверстий деталей, обработанных у штампованных заготовок адаптивным резцом. Точность размеров отверстий, полученных растачиванием адаптивным резцом составила $-85H10$, при этом коэффициент запаса точности составил 1,16.



а)



б)

Рис. 6. Кривые распределения размеров отверстий:

а) – адаптивным резцом; б) – обычным резцом

На рис. 6,б показана кривая распределения размеров отверстий деталей, обработанных у штампованных заготовок обычным резцом. Как видно точность обработки тех же заготовок ниже на два качества, чем при использовании адаптивного резца. При этом коэффициент запаса точности составил 0,911.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненной работы позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Разработан и создан адаптивный резец, позволяющий управлять упругими перемещениями технологической системы токарного станка при превалирующем влиянии осевой составляющей силы резания P_x .

2. Разработана методика расчета адаптивного резца, позволяющая оптимизировать его конструкцию для получения максимально возможного повышения точности обработки по всем ее параметрам.

Адаптивный резец при наличии дополнительных регулируемых упругих пружин рекомендуется применять при обработке на черновых операциях на токарных станках с высотой центров свыше 200 мм и на станках повышенной жесткости.

3. Проведены исследования процесса дробления стружки при помощи многогранных неперетачиваемых пластин со стружколомающими элементами в виде канавок и сферических выступов. Эти исследования позволили определить эффективность дробления стружки при резании пластинами с разными видами стружколомов. Определено, что лучшими стружколомающими свойствами обладают стружколомы в виде сферических выступов, но даже они не обеспечивают дробление стружки на чистовых режимах резания.

4. Определены условия, при которых обеспечивается дробление стружки. Эти условия получены с учётом величины зоны пластической деформации и угла схода стружки ρ . Проведены расчёты величины подачи, характеризующей начало процесса дробления стружки. Эти расчёты совпадают (разница не более 20%) с экспериментальными результатами.

5. Установлено, что износ стружколомающих элементов в виде сферических выступов оказывает малое влияние на изменение процесса стружкодробления.

6. Проведённые эксперименты показали некоторое возрастание сил резания (на 10...15%) для пластин со сферическими выступами в сравнениями со стандартными (без стружколомов) пластинами.

7. В результате изучения динамических характеристик узлов технологической системы токарного станка получена математическая модель комплекса "технологическая система станка – адаптивный резец", представляющая систему с одной степенью свободы в направлении оси X .

8. Произведено графо-аналитическое исследование поведения адаптивного резца при механической обработке резанием на токарном станке заготовок из стали, определены зоны устойчивой безвибрационной обработки.

9. Экспериментальные исследования точности расточки отверстий показали:

- точность обработки на черновых операциях обычным резцом составила 12-й квалитет, при коэффициентах запаса точности $K_{ЗТ}$ менее единицы;

- точность обработки на черновых операциях адаптивным резцом составила 10-й квалитет, при $K_{ЗТ}=1,15...1,16$;

- точность обработки образцов втулок из стали 45 и стали 7ХЗ на получистовых и чистовых операциях с применением адаптивного резца выше, чем при использовании обычного резца на 1...2 квалитета и 2...3 степени точности по точности формы.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Трофимов К.Г. и др. Управление устойчивостью и точностью технологических систем при обработке материалов резанием. В кн. "Автоматизация и информатизация в машиностроении" (АИМ 2000). - Тула: ТулГУ, 2000. с.21-22.

2. Трофимов К.Г. и др. Управление точностью процесса растачивания путем применения адаптивных резцов. В кн. "Автоматизация и информатизация в машиностроении 2000" (АИМ 2000). - Тула: ТулГУ, 2000. с.21-23.

3. Мурашкин С.Л., Трофимов К.Г., Кырлиг А.С. Влияние жесткости металлорежущих станков на качество изготовления деталей. В кн.: "Фундаментальные исследования в технических университетах". - СПб: СПбГТУ, 2001. с. 189-190.

4. Мурашкин С.Л., Трофимов К.Г., Жуков Э.Л. Управление качеством изделий при обработке материалов резанием. В кн.: "Управление качеством: проблемы, исследования, опыт". Вып.1 СПб. ИНЖЭКОН, 2001. с. 113-117.

5. Мурашкин С.Л., Трофимов К.Г., Козарь И.И. Управление процессом стружкообразования при использовании многогранных неперетачиваемых твердосплавных. В кн. "Автоматизация и информатизация в машиностроении" (АИМ 2001). - Тула: ТулГУ, 2001. с.302-304.

6. Соловейчик А.М., Козарь И.И., Трофимов К.Г. Повышение точности токарной обработки отверстий за счет применения адаптивного расточного резца (в печати). В кн.: "Научно-технические ведомости СПбГТУ", № 1 СПб, изд-во СПбГТУ, 2002.

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Подписано к печати Формат 60 84/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,25. Уч.-изд.л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Издательство СПбГТУ

Адрес университета и издательства:

195251, Санкт-Петербург, Политехническая 29

