Ливенский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Научно-исследовательская работа на тему:

«Математическая модель погрешности при точении детали из труднообрабатываемых сплавов»

выполнила студентка гр. А-22

Добрикова Анастасия

научный руководитель:

Брусова Вера Ивановна

Ливны, 2021

**Актуально работы:** в настоящее время основным возможным методом обеспечения требований по точности изготовления является обработка резанием. Однако реализация такой обработки затруднена из-за практически полного отсутствия рекомендаций по выбору режимов резания, инструмента и оборудования, и большой трудоемкости по подбору таких рекомендаций.

**Цель работы:** создание и отработка математической модели образования погрешности на примере токарной обработки партии заготовок и разработка экспериментальной установки для определения с ее помощью коэффициентов модели и, в конечном итоге, управления точностью.

**Задачи работы:** создать математическую модель образования погрешности в зависимости от параметров технологического процесса.

**Введение**

Точность обработки размеров деталей зависит от большого числа воздействующих технологических факторов во время обработки. Они приводят к образованию составляющих погрешности обработки, которые, суммируясь по определенным законам, смещают уровень настройки инструмента. Суммарная погрешность обработки образуется из следующих составляющих:

* из-за упругих деформаций технологической системы;
* из-за размерного износа режущего инструмента;
* из-за ошибки настройки инструмента на размер;
* из-за геометрических погрешностей станка

Для исследования точности механической обработки необходимо создать математическую модель образования погрешности в зависимости от параметров технологического процесса. В дальнейшем на основе этой модели возможен выбор рациональных режимов резания, обеспечивающих минимальную погрешность обработки.

**Создание математической модели погрешности обработки**

Общий вид математической модели, описывающей погрешность токарной обработки, следующий:

 Yi=f1(x1,x2…)+f2(x1,x2)+…+*Є*i  (1)

где f1, f2, ... — составляющие погрешности (тепловые и силовые деформации технологической системы, износ режущего инструмента и т. д.); x1, x2, ... — входные параметры и возмущающие воздействия, которые характеризуют состояние обрабатываемых заготовок, режущего инструмента и станка, режимы резания и т. д.

Формула, описывающая изменения отклонения диаметральных размеров при чистовом точении партии деталей, имеет вид:

 Δyi = 2[Δ(i) + u(i,t) - Ep(i,t,u,t) - Eд(Ep)+ Δy(t,u)] + ni ,мкм, (2)

где Δ(i), мкм, — суммарная погрешность позиционирования; и u(i,t), мкм, — износ режущего инструмента; Ep(i,t,u,t) мкм, — тепловая деформация режущего инструмента; Eд(Ep)— тепловая деформация детали; Δy(t,u), мкм, — упругие деформации технологической системы; ni = ±3ст, мкм, — неучтенная часть случайной составляющей погрешности обработки; i —номер детали в партии; t — время обработки i-й детали; t — глубина резания; tохл — время охлаждения режущего инструмента перед обработкой i-й детали.

Далее определяются все составляющие погрешности в зависимости от параметров технологического процесса.

Суммарная погрешность позиционирования в зависимости от номера детали рассчитывается по формуле:

 Δ(i) = K1 × (i-1) + K2  (3)

Износ инструмента находится по формуле:

 u(i,t) = K3 t + K3(i-1) + K4(1-e-(li-1+t)/K) (4)

Тепловая деформация режущего инструмента определяется из выражения:

 Ep(i,t,u,t) = K6t0,85(1 + K7u)(1-e-t/K) + e tохл/SEp(i-1)e-t/K (5)

Тепловая деформация детали равна:

 Eд(Ep) = K8Ep ,мкм (6)

Упругие деформации технологической системы определяются из следующей зависимости:

 Δy(t,u) = K9t(1 + K10u)(1 + K11t) (7)

Подстановка зависимостей (3)-(7) в формулу (2) позволяет получить модель образования погрешности при токарной обработке. Во всех приведенных выше формулах К1, К2,... К11 — коэффициенты, зависящие от параметров обработки (материала детали и инструмента, характеристик станка и т. п.).

Для определения конкретных коэффициентов этой модели была создана экспериментальная установка, на которой и проводились дальнейшие исследования.

**Экспериментальная установка для исследования образования погрешности обработки**

Была спроектирована экспериментальная установка для одновременного контроля различных параметров, влияющих на точность обработки.



рис.1 Схема экспериментальной установки

На основании уравнения (2), описывающего изменение размеров обрабатываемых заготовок, была разработана программа, позволяющая по экспериментальным результатам, полученным при изготовлении партии деталей, подбирать коэффициенты математической модели таким образом, чтобы расхождения между точечными диаграммами изменения диаметральных размеров, полученных экспериментально и рассчитанных с помощью модели, были бы минимальными.

Деталь 4 закрепляется на специальной оправке или в патроне. Измерительная скоба 6 контролирует диаметр детали до и после обработки. Тепловизор 7 измеряет температуру в зоне резания. Устройство 8, расположенное в задней балке, измеряет положения режущей кромки резца, а устройство 9 — положения державки резца. Вся информация обрабатывается контроллером 10и передается на компьютер 11, который предварительно обрабатывает информацию и записывает ее. Компьютер соединен по сети с другим компьютером, на который передается информация после проведения эксперимента.

Размеры и форма обработанной заготовки после снятия со станка измерялась на координатно-измерительной машине, погрешность измерений которой составляет 1,8 мкм.

Мгновенные значения сил резания в диапазоне частот от 0 до 500 Гц можно измерять с погрешностью не более 10 %, регистрируя показания динамометра на устройстве вывода.

Для проведения экспериментов была проведена глубокая модернизация динамометра: ламповый тензоусилитель заменен тензоусилителем на интегральной схеме; использован микроконтроллер для аналого-цифрового преобразования сигналов и передачи данных на компьютер в реальном масштабе времени; разработана программа хранения и обработки результатов эксперимента на компьютере, а также программа вывода данных на дисплей в реальном масштабе времени; изготовлен резцедержатель, позволяющий устанавливать специальную конструкцию резца с устройством для измерения температурной деформации в процессе резания; модернизирована механическая часть динамометра; встроен кронштейн для крепления первичного преобразователя для измерения температурной деформации резца.

В ходе проведения эксперимента полученные аналоговые сигналы по трем координатам поступали в блок сбора и обработки первичной информации. Затем они усиливались и преобразовывались в цифровую форму и с дискретностью 0,02 с передавались на ЭВМ, где записывались в файл и одновременно выводились на дисплей в виде трех графиков и таблиц, содержащих в себе численные значения сил, измеренные с заданным интервалом времени.

Для измерения температурного поля на верхней поверхности стружки и передней поверхности резца был применен тепловизор.

Определение коэффициентов излучения проводили при одновременном нагреве стружки титанового сплава и резца. Резец и стружку выдерживали в муфельной печи, нагретой до определенной температуры, до полного прогрева. Температура прогрева измеряли двумя образцовыми термопарами. Проводили съемку и устанавливали коэффициенты излучения передней поверхности резца и верхней поверхности стружки.

В процессе резания записывали также и температурную деформацию державки резца, измерение которой производили с помощью специально разработанного приспособления (см. схему на рис. 2). . В процессе обработки резец нагревается, удлиняется, изменяется положение вершины резца относительно места его крепления, что приводит к перемещению стержня, которое фиксируется датчиком . Обладая коэффициентом линейного расширения приблизительно в двадцать раз меньше, чем у стали, стержень из инвара практически не меняет своей длины, что дает возможность следить за тепловыми деформациями резца. Информация, получаемая при измерении, фиксируется индуктивной измерительной системой и записывается с помощью контроллера в память компьютера.

 Система измерения размерного износа позволяет непосредственно на станке измерить размерный износ резца без предварительной температурной стабилизации державки резца.

Измерения положения резца происходит со стороны заготовки с помощью индуктивных измерительных датчиков.

рис. 2 Устройство для измерения температурного удлинения резца

Датчики измерения положения реперной точки на державке резца и положения его вершины расположены практически в одной плоскости, что дало возможность исключить влияние температурной деформации резца. Данные измерений размерного износа записывает ЭВМ после каждого рабочего хода.

**Проведение экспериментов**

Подбор коэффициентов модели осуществляется в диалоговом режиме с использованием дополнительной информации о ходе технологического процесса обработки. Например, возможен учет влияния изменения глубины резания при изготовлении конкретной детали в партии и тепловой деформации резца, связанной с этим изменением, а также учет влияния этих факторов на размер следующей детали.

Чем больше дополнительной информации вводится при определении коэффициентов модели, тем с большей точностью описывается процесс изменения диаметральных размеров в партии.

Качество подбора коэффициентов математической модели в процессе точения было оценено с помощью статистических характеристик, приведенных в таблице.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Экспериментальные данные | Данные, полученные по модели |
| Наибольший разброс в партии ymax-ymin, мкм | 85 | 83 |
| Среднее значение рассеяния деталей в партии, мкм | 53 | 52 |
| Среднее квадратическое отклонение рассеяния деталей в партии, мкм | 22,5 | 22 |
| Коэффициент корреляции между колебанием глубины резания и колебанием размеров в начале обработки | 0,7 | 0,85 |
| Коэффициент корреляции между колебанием глубины резания и колебанием размеров в конце обработки | 0,81 | 0,9 |

Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет сделать заключение о совпадении результатов моделирования с экспериментом не только по внешнему виду, основным статистическим характеристикам, но и по параметрам, отражающим внутренние взаимосвязи процесса формообразования.

Результаты работы программы, полученные в графической форме, представлены на рис. 3, где по вертикальной оси отложены отклонения диаметров деталей у1 в мкм в зависимости от номера детали в партии I.



рис.3 Точенные диаграммы изменения диаметральных деталей

График изменения диаметральных размеров в партии деталей был получен при точении колец диаметром 140 мм и длиной 40 мм со следующими режимами резания: скорость резания V = 200 м/мин, подача £ = 0,03 мм/об. Глубина резания при изготовлении партии деталей изменялась от 0,12 до 0,24 мм.

На рис. 3 представлены точечные диаграммы изменения диаметральных размеров партии проточенных колец при выбранных режимах резания, а также смоделированные точечные диаграммы изменения размеров колец.

График 1 относится к размерам колец у правого торца, что соответствует началу обработки, а график 2 — к размерам колец у левого торца, то есть в конце обработки. Графики 3 и 4 относятся к смоделированным размерам колец соответственно у правого и левого торца. При моделировании учитывалось колебание глубины резания, которое происходило при изготовлении данной партии деталей. Полученные соотношения дают возможность заключить, что при чистовом точении действуют, по крайней мере, пять факторов, которые соизмеримы по влиянию на точность обработки. Устранение или компенсация одного из них не только не гарантирует уменьшение суммарной погрешности обработки, но может, напротив, привести к ее увеличению.

Сравнение результатов чистовой обработки нескольких партий заготовок с результатами моделирования показало хорошее качественное и количественное их совпадение. Погрешности моделирования составили:

* по изменению диаметра детали по длине обработки — в среднем10%
* по отличию величины тренда на одну деталь — примерно 5 %;

**Вывод**

Для обеспечения точности токарной обработки партии заготовок возможны достоверное моделирование процесса образования суммарной погрешности. Созданная математическая модель колебания диаметральных размеров деталей в партии при чистовом точении дает возможность прогнозировать результаты применения возможных способов компенсации погрешностей обработки. Имитация обработки резанием при различных режимах с помощью модели позволяет получить результаты по точности обработки и таким образом изучить влияние на нее режимов резания.

Модель позволяет проводить анализ причин развития погрешностей на этапе отладки технологического процесса изготовления партии деталей.

В модели нашли отражение наиболее существенной закономерности, свойственные токарной обработке, она может быть применена при анализе любых других видов лезвийной обработки.

**Список литературы**

1. Мухин В.С. Основы технологии машиностроения. Уфа: Изд-во УГАТУ, 2007. 148 с.
2. Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки. Киев.: Техника, 1976. 200 с.
3. Любомудров С.А. Технологическое обеспечение качества: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 195 с.
4. Жуков Э.Л., Козарь И.И., Мурашкин С.Л. [и др.]. Технология машиностроения: в двух кн. Кн.1. Основы технологии машиностроения. Учебное пособие для вузов / Под ред. С. Л. Мурашкина. 3-е изд., доп. М.: Высш. шк., 2008. 278 с.
5. http://www renishaw.ru. Контактные измерительные системы для станков с ЧПУ, 2010.