

Министерство образования и науки Российской Федерации

Московский Государственный Технический Университет
имени Н.Э.Баумана

Кафедра Технологии обработки материалов

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА
ПО ПАРАМЕТРАМ ТЕПЛОВОГО
СОСТОЯНИЯ

(на примере координатно-расточного станка)

Методические указания
к лабораторной работе по курсу
«Оценка остаточного ресурса»

Составил доцент, к.т.н. Самойлов В.Б.

Москва

2019

1. Краткие теоретические сведения

При работе металлорежущего станка его тепловой режим постоянно изменяется, в результате чего происходит неравномерный нагрев узлов и базовых деталей (колонны, станины, столы и другие корпусные детали), вызывающий изменение их геометрических форм и отклонение в пространстве (линейное и угловое). Это приводит к смещению инструмента относительно заготовки и, следовательно, к снижению точности обработки.

Источники тепла, вызывающие тепловые деформации в станках, можно разделить на три основные группы:

- внутренние (собственные) источники тепла в станках;
- процесс резания;
- окружающая среда.

Наибольшее влияние на тепловые деформации оказывают собственные источники тепла станка, выделяющие тепло за счет:

- превращения электрической энергии в тепло (электродвигатели, электросхемы, электроосвещение, электронные схемы и др.);
- превращения механической энергии в тепло (потери на трение в подшипниках шпинделя, в зубчатых и червячных передачах, в передаче винт-гайка, в фрикционных муфтах и тормозах, направляющих, в местах уплотнения валов и др.);
- потери энергии в гидроустройствах станка.

Тепло, выделяемое в процессе резания, приводит к нагреву и деформации инструмента и обрабатываемой заготовки. Часть тепла аккумулируется стружкой и смазочно-охлаждающей жидкостью и передается отдельным узлам станка (станине, столу, суппорту), что может приводить к их тепловым деформациям.

Источниками тепловыделения окружающей среды являются: системы отопления помещения, фундамент, солнечные лучи, теплый воздух от соседних станков или других устройств, осветительные приборы и др.

При исследовании тепловых деформаций в станках первой задачей является установление температурного поля станка, т. е. сово-

купности значений температуры в данный момент времени для всех точек исследуемого пространства станка.

При работе станка его температурное поле будет нестационарным, т. е. зависящим от времени работы станка. При стабилизации теплообмена (через 6...10 часов работы) температурное поле станка становится стационарным.

Аналитический расчет температурных полей и тепловых деформаций станка очень сложен, поэтому наиболее достоверные результаты получаются пока, в основном, экспериментальным путем.

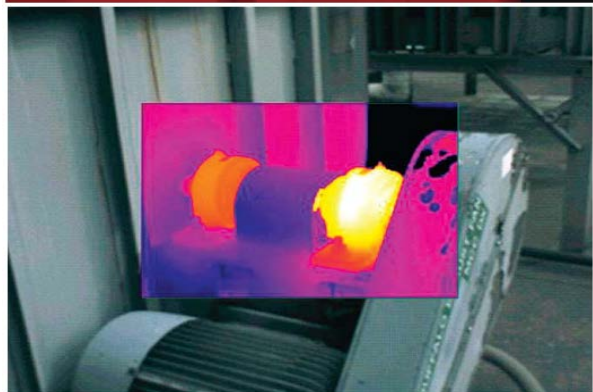
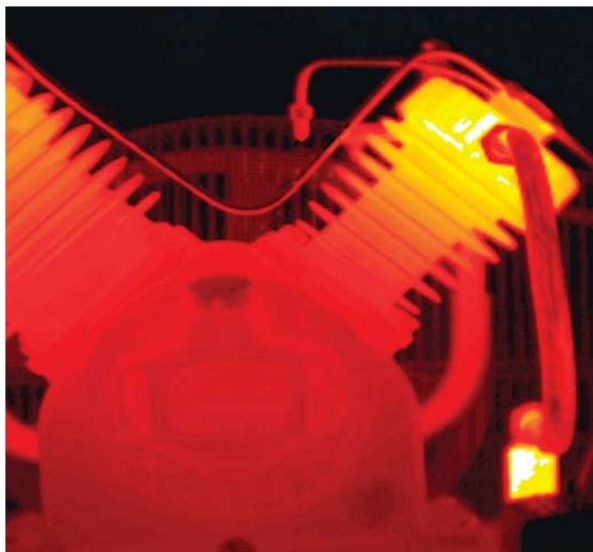
Измерение температурного поля станка производится термопарами или термометрами, устанавливаемыми в измеряемых точках. Для записи температуры могут приниматься многоточечные самопишущие приборы, регистрирующие температуру в каждой точке.

Для диагностики теплового состояния технологического оборудования широко применяются бесконтактные пирометры и тепловизоры, однако их правильное использование должно сопровождаться знанием основ термографии.

Инфракрасная термография – это наука использования электронно-оптических устройств для регистрации и измерения излучения и сопоставления его с температурой поверхностей. Излучение – это передача тепла в виде лучистой энергии (электромагнитных волн) без промежуточной среды, используемой для передачи. Современная инфракрасная термография использует электронно-оптические устройства для измерения потока излучения и вычисления температуры поверхности обследуемых конструкций или оборудования.

Рассмотрим основные принципы работы тепловизоров. Тепловизоры предназначены для регистрации инфракрасного излучения, которое испускается объектами. Инфракрасное излучение поверхности объекта фокусируется с помощью оптики тепловизора на приемнике излучения, который выдает сигнал, обычно в виде изменения напряжения или электрического сопротивления. Полученный сигнал системы регистрируется электроникой тепловизионной системы. Сигнал, который дает тепловизор, превращается в электронное изображение (термограмму), которое отображается на экране дис-

поя. Термограмма – это изображение объекта, обработанное электроникой для отображения на дисплее таким образом, что различные градации цвета соответствуют распределению инфракрасного излучения по поверхности объекта. Таким образом, оператор может просто увидеть термограмму, которая соответствует тепловому излучению, приходящему с поверхности объекта.



Горячая крышка подшипника является признаком возможных проблем с соосностью, смазкой, или проблем с двигателем или с оборудованием, с которым он соединен.



Линейные и угловые смещения шпинделя и других деталей или узлов станка измеряются измерительными головками с ценой деления 0,001 мм (для неподвижных деталей) – индуктивными или пневматическими датчиками (для вращающихся деталей).

Из-за тепловых деформаций шпиндель станка может смещаться в вертикальной и в горизонтальной плоскостях, а также может менять свое угловое положение. При проведении исследований принимается, что станок является термосимметричным относительно плоскости YOZ (см. рис. 1).

2. Цель работы

Ознакомиться с существующими нормами по тепловому состоянию металлообрабатывающего оборудования, методами выполнения проверок, наиболее распространенными контрольно-измерительными устройствами и установить остаточный ресурс по уровню тепла в станке путем сравнения фактических замеров с заданными в НТД. В задачу работы входит определение температурного поля и тепловых деформаций станка в зависимости от времени его работы.

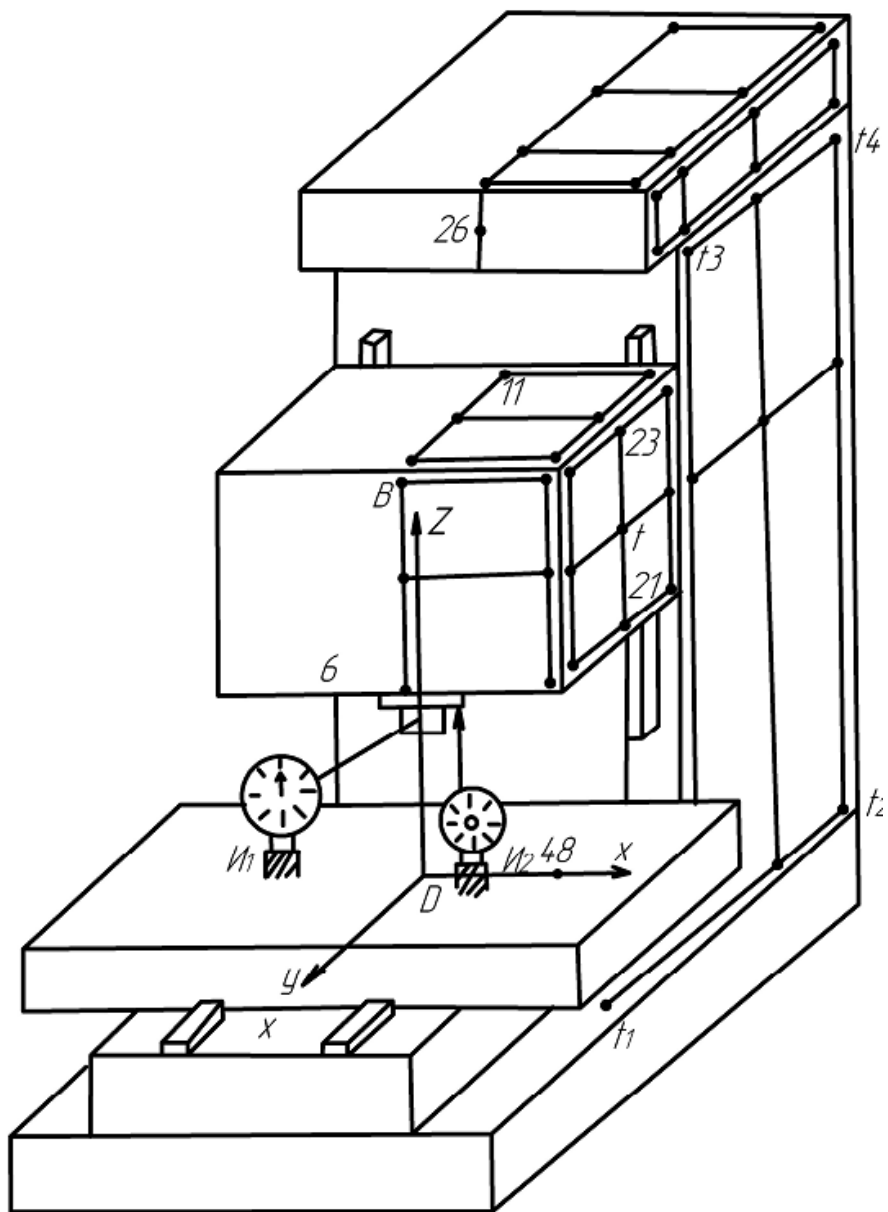


Рис. 1. Схема измерения температуры и деформаций

3. Оборудование и оснастка

За объект для экспериментальных исследований в лабораторной работе принят вертикальный одностоечный расточной станок с координатным столом модели 2У430. Станок предназначен для обработки отверстий с высокой точностью (до 0,004 мм), с повышенной точностью расположения (до 0,02 мм). Максимальный диаметр отверстия при сверлении – до 16 мм, при растачивании – до 70 мм, вес заготовки – до 110 кг. Размер стола – 250x450 мм, длины ходов 250x400 мм, цена деления – 0,005 мм, шпиндель – длина хода – 150 мм, цена деления – 0,05 мм, частота вращения – от 96 до 2800 об/мин, мощность – до 2 кВт.

Для автоматизации измерений и обработки данных может быть использована диагностическая измерительная система (ДИС) на платформе CompactDAQ/myDAQ/LabVIEW компании NI. В этом случае удобно применить модуль ввода сигнала с акселерометра, что позволит повысить точность измерений, ускорит вывод протоколов измерений и позволит избежать ошибок, связанных с человеческим фактором:

4. Порядок выполнения измерений

Определяется в соответствии с исследуемым оборудованием, на основе соответствующих НТД.

4.1. Изучить общую конструкцию станка, выявить и зарисовать на схеме все источники тепловыделения при его работе.

4.2. Изучить и зарисовать на контуре станка местоположение всех собственных источников тепловыделения. Дать предварительную оценку их влияния на температурное поле и тепловые деформации станка.

4.3. Установить термодатчики в места, рядом с предполагаемыми источниками тепловыделений, и в местах наибольших линейных деформаций, а также для контроля температуры окружающей среды.

4.4. В соответствии со схемой (рис. 1) установить на столе станка магнитные штативы с измерительными головками для измерения от-

клонения шпинделя станка из-за тепловых деформаций по координатам Y и Z .



Рис. 2 Объект исследований – расточной станок 2У430

4.5. Настроить привод главного движения станка на частоту вращения шпинделя $n_{шп} = 2800$ об/мин (значения частоты вращения задаются преподавателем 1600, 1200, 1000, 800, 600, 400...об/мин) и провести при работе станка «вхолостую» замеры температуры в выбранных точках и величин тепловых деформаций шпинделя.

Замеры проводить через каждые 5 минут работы станка в течение 2 часов. Результаты измерений температуры занести в табл. 1, а тепловых деформаций в табл. 2.

4.6. Отключить станок и в течение 2 часов провести измерения температур в выбранных точках и тепловых деформаций при остывании станка. Замеры проводить каждые 5 минут. Результаты замеров занести в таблицы 1 и 2.

Таблица 1

Результаты измерений температуры

T° С	τ, мин						
	0	5	10	15	85	90
1							
2							
3							
...							
12							

Таблица 2

Результаты измерения тепловых деформаций

Δ, мкм	τ, мин						
	0	5	10	15	85	90
Координата Y							
Координата Z							

4.7. На основании полученных экспериментальных данных построить графики зависимости температуры во всех измеряемых точках и тепловых деформаций по координатам Y и Z в функции времени при нагревании и (или остывании) станка.

4.8. Дать оценку характера влияния тепловых деформаций узлов станка на точность обработки.

Примечание: в лабораторной работе может выполняться один из пунктов 4.5 или 4.6.

При использовании диагностической системы данные автоматически сохраняются и возможен их экспорт в EXCEL.

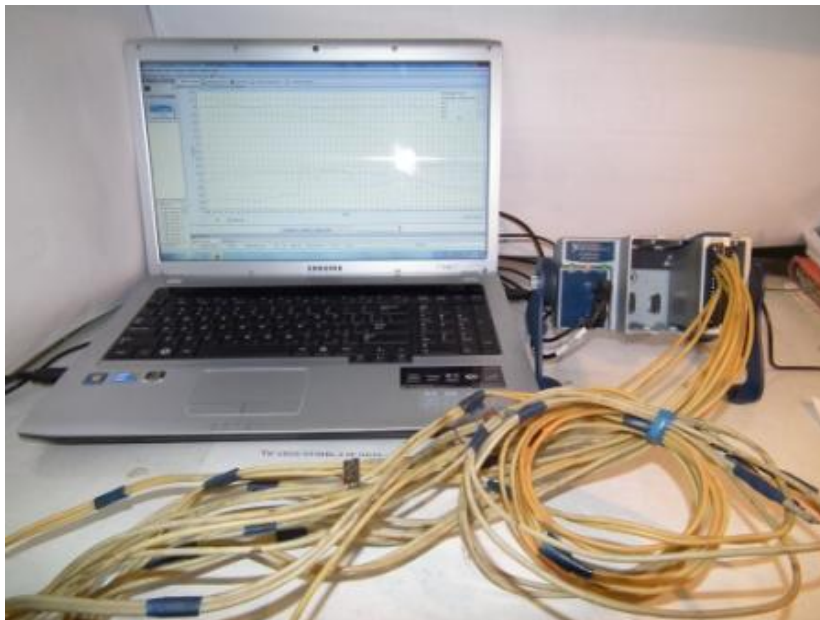


Рис. Система сбора данных NI CompactDAQ с термопарным модулем.

5. Порядок выполнения и оформления работ

1. Ознакомиться с теоретической частью работы, станком и контрольно-измерительными устройствами. Изучить методы и порядок выполнения проверок.

2. Провести испытание станка на вибрации по требуемой совокупности параметров, результаты измерений занести в бланк отчета.

3. Сравнить полученные отклонения с допустимыми значениями по НТД и проанализировать результаты испытаний.

4. Сделать заключение о техническом состоянии станка и остаточном ресурсе путем сравнения норм для нового станка и данного.

5. Предложить практические рекомендации по повышению ресурса станка по параметру теплоустойчивости путем его модернизации или реновации.

6. Оформление работы

Отчет оформляется в соответствии с требованиями к текстовым документам и должен содержать:

- экспериментальные данные измерений температур и тепловых деформаций (табл. 1 и 2);
- графики зависимости температур во всех измеряемых точках и тепловых деформаций по координатам Y и Z в функции времени;
- контур станка с указанием источников тепловыделения при его работе;
- контур станка с указанием всех собственных источников тепловыделения.

7. Техника безопасности

7.1. Включать станок только в присутствии и по разрешению преподавателя или учебного мастера.

7.2. Немедленно ставить в известность преподавателя или учебного мастера при неисправности станка.

8. Контрольные вопросы

1. На какие группы подразделяются источники тепла, вызывающие деформации станка? Дайте характеристику каждой группе.

2. Как и с какой целью исследуются температурные поля станков?

3. Дайте анализ полученных смещений оси шпинделя исследуемого станка из-за тепловых деформаций и характер влияния этого смещения на точность обработки.

4. Предложите методы и средства уменьшения тепловых деформаций при эксплуатации станка, его ремонте или модернизации.

9. Литература.

1. ГОСТ ИСО 7919-3-2002 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Промышленные машинные комплексы.

10. Приложения

Приложение 1.

Основы термодинамики.

Теория термодинамики основывается на различиях теплопроводящих свойств различных материалов. Тепловизоры производят измерения на основе законов термодинамики. Специалисты должны понимать ограничения термографии и тепловизоров при обследовании различных конструкций, оборудования и материалов.

Термодинамика – это наука о том, как тепловая энергия (тепло) передается, преобразуется и влияет на любое вещество. Для использования современного инфракрасного оборудования важно понимать основные принципы, как передачи тепла, так и физики излучения. Несмотря на все возможности современного оборудования, оно все еще не способно мыслить. Ценность современного оборудования определяется способностью специалиста по тепловидению интерпретировать данные, что требует практического понимания основ термодинамики и физики излучения.

Энергия – это способность выполнять работу. Энергия может принимать различные формы. Например, угольные электростанции преобразуют химическую энергию ископаемого топлива в тепловую энергию путем сжигания. Она, в свою очередь, производит механическую энергию, или движение в турбине генератора, которая затем преобразуется в электрическую энергию. При всех таких превращениях, хотя энергию становится все труднее использовать, никакая ее часть не теряется.

Первый закон термодинамики утверждает, что когда механическая работа преобразуется в тепло, или когда тепло преобразуется в работу, количество работы и теплоты всегда равны. Для термографистов преимуществом является тот факт, что побочным продуктом практически всех превращений энергии, является тепло, или тепло-

вая энергия. Энергию невозможно создать или уничтожить, ее можно только преобразовать. Температура – это мера относительного нагрева тела по сравнению с другими телами. Мы неосознанно делаем сравнения с температурой нашего тела, или с температурой воздуха, или с точками кипения или замерзания воды.

Второй закон термодинамики утверждает, что если существует разность температур между двумя объектами, то теплота передается от более теплых участков (имеющих большее количество тепловой энергии) к более холодным участкам (имеющим меньшее количество тепловой энергии) до тех пор, пока не будет достигнуто состояние термодинамического равновесия. Передача тепла может приводить либо к переходу электронов, либо к увеличению вибрации атомов или молекул. Это важно, поскольку именно эти эффекты используются при измерении температуры.

Способы передачи теплоты.

Тепловая энергия может передаваться любым из трех способов: теплопроводность, конвекция или излучение. Каждый способ может наблюдаться как в стационарном, так и в нестационарном процессе. При стационарном процессе, скорость передачи остается постоянной и направление не изменяется со временем. Например, полностью прогретая машина, работающая с постоянной нагрузкой, передает тепло окружающим объектам с постоянной скоростью. В действительности, не существует идеальных стационарных тепловых потоков. Всегда существуют небольшие нестационарные процессы или флуктуации, однако для практических целей ими обычно можно пренебречь.

Теплопроводность – это передача тепловой энергии от одного объекта к другому при их прямом контакте. Конвекция – это передача теплоты, которая наблюдается при перемещении молекул и/или потоков, циркулирующих между теплыми и холодными областями в воздухе, газе или жидкости. Излучение – это передача тепла в виде лучистой энергии (электромагнитных волн) без промежуточной среды.

Когда машина нагревается или остывает, происходит нестационарная передача теплоты. Понимание этих соотношений является

важным для термографистов, потому что передача тепла часто связана с температурой объекта.

Понятие теплоемкости

Теплоемкость – это способность материала поглощать и сохранять теплоту. Когда теплота передается с различной скоростью, или изменяется направление передачи, то говорят о нестационарном процессе.

Кроме того, когда различные материалы находятся в нестационарном состоянии, происходит обмен различным количеством теплоты, поскольку изменяется температура. Например, для изменения температуры воздуха в комнате требуется очень небольшое количество энергии, по сравнению с количеством энергии, которое требуется для изменения температуры аналогичного объема воды в бассейне. Теплоемкость описывает, сколько энергии необходимо передать или отнять у вещества для изменения температуры. Как быстро или медленно происходят такие изменения, так же зависит от перемещения тепла.

Хотя теплоемкость, то, что мы называем связью между количеством теплоты и температурой, может вызвать затруднения, для термографиста она может быть полезной. Например, обнаружение уровня жидкости в емкостях возможно благодаря разности между теплоемкостью воздуха и жидкости. Когда емкость находится в нестационарном состоянии, два вещества часто могут находиться при различных температурах.

Теплопроводность

Теплопроводность – это передача тепловой энергии от одного объекта к другому при непосредственном контакте. Передача теплоты посредством теплопроводности в основном наблюдается в твердых телах и в некоторой степени в жидкостях, поскольку более теплые молекулы передают свою энергию непосредственно более холодным соседним молекулам. Например, теплопроводность наблюдается, если прикоснуться к теплой чашке кофе или к холодной банке с безалкогольным напитком.

Скорость, с которой происходит передача тепла, зависит от коэффициента теплопроводности вещества и разности температур (ΔT или разность температур) между объектами. Эти простые соотношения более строго описываются законом Фурье. Например, если взять горячую чашку кофе в перчатках, происходит слабый обмен теплом по сравнению с тем, если взять ее голой рукой. Теплая чашка кофе не передает так много энергии, как горячая, поскольку разность температур не настолько велика. Подобным образом, когда энергия передается с одинаковой скоростью, но через большую площадь, то передается большее количество энергии.

Теплопроводящие материалы – это материалы, которые быстро передают тепло. Обычно металлы имеют высокую теплопроводность. Но даже теплопроводность металлов может зависеть от типа металла. Например, железо имеет меньшую теплопроводность, чем алюминий. Изоляторы – это материалы, которые передают тепло неэффективно. Материалы, которые плохо проводят тепло, называются теплоизоляционными. Обычно это простые материалы, такие как изоляционная пена или многослойная ткань, которые содержат маленькие полости с воздухом и замедляют распространение энергии. пример, железо имеет меньшую теплопроводность, чем алю-