
ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(EASC)

EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(EASC)



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
ISO 230-3 —
202
*(Проект,
окончательная
редакция)*

НОРМЫ И ПРАВИЛА ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Часть 3

Определение термического воздействия

(ISO 230-3:2020, IDT)

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его принятия

Минск

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации

202

Предисловие

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ) и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 070 «Станки»

3 ПРИНЯТ Евразийским Советом по стандартизации, метрологии и сертификации по результатам голосования в АИС МГС (протокол от №)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004–97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004–97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 230-3:2020 «Нормы и правила испытаний металлорежущих станков. Часть 3. Определение термического воздействия» («Test code for machine tools – Part 3: Determination of thermal effects», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации ISO/TC 39 «Станки», подкомитетом SC 2 «Условия испытаний металлорежущих станков».

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

Исключительное право официального опубликования настоящего стандарта на территории указанных выше государств принадлежит национальным органам по стандартизации этих государств

Содержание

1	Область применения	
2	Нормативные ссылки	
3	Термины и определения	
4	Предварительные замечания	
4.1	Единицы измерения	
4.2	Ссылка на ISO 230-1	
4.3	Рекомендуемые средства измерений и испытательное оборудование	
4.4	Состояние станка перед испытанием	
4.5	Последовательность испытаний	
4.6	Температура испытательной среды	
4.7	Неопределенность из-за воздействия температуры	
5	Испытание на погрешность изменения температуры окружающей среды	
5.1	Общие сведения	
5.2	Методы испытаний	
5.3	Интерпретация результатов	
5.4	Представление результатов	
6	Тепловая деформация, вызванная вращающимся шпинделем	
6.1	Общие сведения	
6.2	Методы испытаний	
6.3	Интерпретация результатов	
6.4	Представление результатов	
7	Тепловая деформация, вызванная линейным движением компонентов	
7.1	Общие сведения	
7.2	Методы испытаний	
7.3	Представление результатов	
8	Тепловая деформация, вызванная вращательным движением компонентов	
8.1	Общие сведения	
8.2	Методы испытаний	
	Приложение А	
	Приложение В	
	Приложение С	
	Приложение D	
	Приложение ДА	
	Библиография	

Введение

Целью стандартов серии ISO 230 является стандартизация методов проверки точности станков, за исключением портативных электроинструментов.

В настоящем стандарте приведены методы испытаний для определения термических воздействий, вызванных различными источниками тепла, приводящими к деформации конструкции станка или системы позиционирования. Общеизвестным фактом является то, что конечная термоупругая деформация станка тесно связана с условиями эксплуатации. Условия испытаний, описанные в настоящем стандарте, не предназначены для имитации нормальных условий эксплуатации, а предназначены для облегчения оценки производительности и определения влияния окружающей среды на производительность станка. Например, использование охлаждающих жидкостей может значительно повлиять на фактическое тепловое поведение станка. Поэтому эти испытания рассматриваются только как предварительные, предназначенные для определения фактического термоупругого поведения станка, если такое определение требуется для его характеристики. Испытания предназначены для измерения относительных смещений между компонентом, который удерживает инструмент, и компонентом, который удерживает заготовку, в результате теплового расширения, сжатия или деформации соответствующих структурных элементов.

Испытания, описанные в настоящем стандарте, могут использоваться как для испытаний различных типов станков (испытаний типа), так и для приемочных испытаний отдельных станков. Если испытания требуются для целей приемки, пользователь имеет возможность по согласованию с поставщиком/изготовителем выбрать те испытания, которые касаются свойств компонентов станка, представляющих интерес. Простая ссылка на приведенные в настоящем стандарте испытания для проведения приемочных испытаний не может считаться обязательной для любой договаривающейся стороны, если отсутствует соглашение о применяемых испытаниях и соответствующих расходах. Одной из важных особенностей настоящего стандарта является его акцент на термическом воздействии окружающей среды на все испытания производительности, описанные в других частях серии ISO 230, связанных с измерениями линейных перемещений (таких как точность линейного позиционирования, повторяемость и круговые испытания). Поставщики/производители должны предоставить тепловые характеристики среды, в которой станок может работать с указанной точностью. Пользователь станка несет ответственность за обеспечение подходящих условий испытаний, соблюдая термические рекомендации поставщика/производителя или иным образом соглашаясь на снижение производитель-

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

ности. Пример рекомендаций по тепловому режиму окружающей среды приведен в приложении С.

Если тепловая среда вызывает чрезмерную неопределенность или вариации в производительности станка и не соответствует термическим рекомендациям поставщика/производителя, потребуется снижение ожидаемой точности. Если станок не соответствует спецификациям производительности, анализ суммарной стандартной неопределенности из-за термических воздействий помогает определить источники проблем. Термин «суммарная стандартная неопределенность из-за термического воздействия» приведен в пункте 3.13, а также в ISO/TR 16015.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ**НОРМЫ И ПРАВИЛА ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ****Часть 3****Определение термического воздействия**

Test code for machine tools. Part 3. Determination of thermal effects

Дата введения – 20 – –

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит описание четырех испытаний:

- испытание на погрешность изменения температуры окружающей среды;
- испытания на тепловые деформации, вызванные вращением шпинделей;
- испытания на тепловые деформации, вызванные перемещением линейных осей;
- испытания на тепловые деформации, вызванные вращательным движением компонентов.

Испытания на тепловые деформации, вызванные перемещением линейных осей (см. раздел 7), применимы только к станкам с числовым программным управлением (ЧПУ) и предназначены для количественной оценки эффектов теплового расширения и сжатия, а также угловой деформации конструкции. По практическим соображениям методы испытаний, описанные в разделе 7, применяются к станкам с линейными осями длиной до 2000 мм. Если они используются для станков с осями длиной более 2000 мм, то для испытаний выбирается стандартная длина 2000 мм в нормальном диапазоне для каждой оси.

Испытания соответствуют процедуре испытания на дрейф, описанной в ISO/TR 16015:2003, A.4.2, применяемой для станков с особым учетом тепловой деформации движущихся вращающихся компонентов. На станках, оснащенных компенсацией теплового воздействия, эти испытания демонстрируют любую неопределенность номинального теплового расширения из-за неопределенности коэффициента теплового расширения и любую неопределенность длины, связанную с измерением температуры.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных – последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 230-1:2012, Test code for machine tools – Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions (Нормы и правила испытаний металлорежущих станков. Часть 1. Геометрическая точность станков, работающих в режиме холостого хода или в квазистатических условиях)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ISO 230-1, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Международные организации ISO и IEC поддерживают терминологические базы данных для использования в области стандартизации, доступные по следующим адресам:

— Платформа онлайн-просмотра ISO: доступна по адресу <https://www.iso.org/obp>;

— Электропедия IEC: доступно по адресу <http://www.electropedia.org>.

3.1 машинная шкала (machine scale): Измерительная система, интегрированная в станок, показывающая линейное или поворотное положение оси станка.

Пример — Линейные и поворотные энкодеры являются типичными представителями машинных шкал.

3.2 коэффициент теплового расширения α (coefficient of thermal expansion): Отношение дробного изменения длины к изменению температуры.

Примечание — Для целей настоящего стандарта рассматривается диапазон температур от 20 °C до любой температуры T . Используется формула 1:

$$\alpha(20, T) = \frac{L_T - L_{20}}{L_{20} \times (T - 20)}, \quad (1)$$

где T – температура объекта, °C;

L_{20} – длина измеряемого объекта или части шкалы испытательного оборудования для определения длины при температуре $T = 20$ °C;

L_T – длина измеряемого объекта или части шкалы испытательного оборудования для определения длины при температуре T .

[ИСТОЧНИК: ISO/TR 16015:2003, 3.1.1, изменено — Примечание было изменено и добавлен пункт «где».]

3.3 номинальный коэффициент теплового расширения α_n (nominal coefficient of thermal expansion): Приблизительное значение *коэффициента теплового расширения* (3.2) в диапазоне температур от 20 °С до T .

3.4 неопределенность коэффициента теплового расширения u_α (uncertainty coefficient of thermal expansion): Параметр, характеризующий дисперсию значений, которые можно обоснованно отнести к коэффициенту *теплового расширения* (3.2).

3.5 тепловое расширение Δ_E (thermal expansion): Изменения длины измеряемого объекта или части длины шкалы испытательного оборудования в соответствии с изменением температуры.

3.6 номинальное тепловое расширение Δ_{NE} (nominal thermal expansion): Оценка *теплового расширения* (3.5) измеряемого объекта или части шкалы испытательного оборудования длины от 20 °С до их средних температур во время измерения.

Примечание — Оценка основана на номинальных коэффициентах теплового расширения (см. формулу 2):

$$\Delta_{NE} = \alpha_n \times L \times (T - 20), \quad (2)$$

где α_n – *номинальный коэффициент теплового расширения* (3.3) материала объекта;

L – длина объекта;

T – средняя температура объекта (°С).

3.7 неопределенность номинального теплового расширения из-за неопределенности α , $u_{\Delta,NE}$ (uncertainty in nominal thermal expansion due to uncertainty in α): *Неопределенность номинального теплового расширения* (3.6), возникающая из-за *неопределенности коэффициента теплового расширения* (3.4).

Примечание — Неопределенность может быть рассчитана по формуле 3:

$$u_{\Delta,NE} = L \times (T - 20) \times u_\alpha, \quad (3)$$

где L – длина объекта;

T – температура объекта (°С);

u_α – неопределенность коэффициента теплового расширения (3.4).

3.8 неопределенность длины из-за измерения температуры u_{TM} (uncertainty of length due to temperature measurement): Неопределенность измеренной длины из-за неопределенности температуры, при которой проводилось измерение длины.

3.9 номинальное дифференциальное тепловое расширение НДР (nominal differential thermal expansion): Разница между расчетным расширением измеряемого объекта и испытательного оборудования из-за отклонения их температур от 20 °С.

3.10 неопределенность номинального дифференциального теплового расширения u_{NDE} (uncertainty of nominal differential thermal expansion): Суммарная неопределенность, вызванная неопределенностями *теплового расширения* (3.5) измеряемого объекта и испытательного оборудования.

Примечание 1 — Ее можно рассчитать как квадратный корень из суммы квадратов неопределенностей номинального расширения измеряемого объекта и испытательного оборудования (см. формулу 4).

$$u_{NDE} = \sqrt{u_{EM}^2 + u_{ET}^2}, \quad (4)$$

где u_{EM} – неопределенность номинального расширения измеряемого объекта;

u_{ET} – неопределенность номинального расширения испытательного оборудования.

Примечание 2 — Для оценки неопределенности см. ISO/TC 16015:2003, 5.3.

3.11 погрешность при изменении температуры окружающей среды E_{TVE} (environmental temperature variation error): Оценка максимально возможного отклонения измерения, вызванного исключительно изменением температуры окружающей среды в течение любого периода времени, во время которого проводятся измерения производительности станка.

Пример — Обозначение $E_{TVE}(Z, 8\text{ °C})$ указывает, что E_{TVE} получается вдоль направления Z и соответствует изменению температуры окружающей среды на 8 °С.

3.12 неопределенность погрешности при изменении температуры окружающей среды u_{ETVE} (uncertainty due to environmental temperature variation error):

Стандартный вклад неопределенности измерения в измерения производительности, проводимые на станке, вызванный влиянием изменений температуры окружающей среды.

Примечание 1 — Ее можно рассчитать как квадратный корень из квадрата E_{TVE} , деленного на 12 (см. формулу 5 и ISO/TC 230-9):

$$u_{ETVE} = \sqrt{\frac{E_{TVE}^2}{12}}. \quad (5)$$

Примечание 2 — Основой для оценки этой неопределенности для станка является испытание окружающей среды в соответствии с разделом 5.

3.13 суммарная стандартная неопределенность из-за термических воздействий u_{CT} (combined standard thermal uncertainty): Суммарная неопределенность измерений длины, вызванная окружающей средой с температурой, отличной от постоянной и однородной 20 °С.

Примечание 1 — Этот термин эквивалентен суммарной стандартной размерной неопределенности из-за термических воздействий, как определено в ISO/TR 16015.

Примечание 2 — Это квадратный корень из суммы квадратов *неопределенности погрешности при изменении температуры окружающей среды* (3.12), u_{ETVE} , неопределенности длины из-за неопределенности измерений температуры, u_{TM} , и *неопределенности номинального дифференциального теплового расширения* (3.10), u_{NDE} [см. формулу (6)]:

$$u_{CT} = \sqrt{u_{ETVE}^2 + u_{TM}^2 + u_{NDE}^2}. \quad (6)$$

Примечание 3 — Подробное описание оценки суммарной стандартной термической неопределенности приведено в ISO/TR 16015.

3.14 тепловая деформация движущегося вращающегося компонента $d(E_{\alpha\beta})_{xx,t}$ (thermal distortion of moving rotary component): Диапазон линейного или углового перемещения движущегося вращающегося компонента вдоль поворотной оси β или оси средней линии шпинделя β в направлении α в течение (первых) t мин испытаний (в положении xx).

Пример — Обозначение $d(E_{XOC})_{P1,60}$ указывает на то, что тепловая деформа-

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

ция в пределах первых 60 мин от оси средней линии оси C в направлении X в положении P1 (вдали от носовой части шпинделя).

Примечание 1 — Возможные обозначения для α : X, Y, Z, A, B, C. Возможные обозначения для β : C, C1, A, B или любая ось шпинделя. Возможные обозначения для xx: P1 (положение P1, вдали от носовой части шпинделя) и P2 (положение P2, близко к носовой части шпинделя); позиционная привязка xx опущена для значений линейного смещения в направлении Z и угловых смещений (A, B и C).

Примечание 2 — Обозначение $E_{\alpha\beta}$, см. в ISO 230-7.

Примечание 3 — $d(E_{ROT})$ является частным случаем тепловой деформации, указывающей на радиальное расширение вращающегося компонента T. Аналогично, $d(E_{ZOT})$ представляет собой термический рост компонента, вращающегося вокруг C в осевом направлении.

3.15 тепловая деформация движущегося линейного компонента $d(E_{\alpha\gamma})_{xx,t}$ (thermal distortion of moving linear component): Диапазон линейного или углового смещения в направлении α перемещаемого компонента станка вдоль линейной оси γ в течение (первой) t мин испытаний на тепловую деформацию, вызванным перемещением линейной оси (в положении xx).

Пример — Обозначение $d(E_{BX})_{P1,60}$ указывает на то, что тепловая деформация в течение первых 60 мин линейной оси X в направлении B (вращение вокруг Y) в целевой позиции P1 (например, правое положение на рисунке 8) ссылается на него.

Примечание 1 — Возможные обозначения для α : X, Y, Z, A, B, C. Возможные обозначения для γ : X, X1, Y, Z, W или любая линейная ось. Возможные обозначения для xx: P1 и P2, xx также может быть выражено словами, например, левый и правый.

4 Предварительные замечания

4.1 Единицы измерения

В настоящем стандарте все линейные размеры и отклонения выражены в миллиметрах. Все угловые размеры выражены в градусах. Угловые отклонения, в принципе, выражаются в соотношениях, но в некоторых случаях для уточнения могут использоваться микро радианы или угловые секунды. Всегда следует учитывать формулу (7):

$$0,010/1\ 000 = 10\ \mu\text{rad} \approx 2'' \quad (7)$$

Температура выражается в градусах Цельсия (°C).

4.2 Ссылка на ISO 230-1

Следует ссылаться на ISO 230-1, особенно в отношении установки станка перед испытанием и рекомендуемой точности испытательного оборудования.

4.3 Рекомендуемые средства измерений и испытательное оборудование

Средства измерений, рекомендуемые в данном подпункте, являются примерами. Могут использоваться другие средства измерений, способные измерять те же величины и имеющие ту же или меньшую погрешность (неопределенность) измерения. Для разделов 5, 6, 7 и 8 рекомендуются следующие средства измерений (оборудование, оснастка).

4.3.1 Система измерения смещения с достаточным диапазоном, разрешением, температурной стабильностью и погрешностью (неопределенностью) измерения (например, лазерный интерферометр для тепловых деформаций, вызванных перемещением линейных осей, емкостные, индуктивные или выдвижные контактные датчики смещения для испытаний на воздействие окружающей среды и тепловой деформации, вызванных вращающимися шпинделями и вращающимися компонентами).

4.3.2 Датчики температуры (например, термopара, термометр сопротивления или полупроводниковый термометр) с достаточным разрешением и погрешностью (неопределенностью) измерения.

4.3.3 Оборудование для сбора данных, например, многоканальный самописец, который непрерывно отслеживает и отображает все каналы, или компьютерная система, в которой все каналы проверяются не реже одного раза в 5 мин¹⁾, а данные сохраняются для последующего анализа.

Примечание — Ручная обработка данных возможна, если компьютерная система недоступна.

¹⁾ Некоторые системы температурной компенсации демонстрируют время цикла менее 5 минут. В таких случаях частоту мониторинга можно увеличить до пяти показаний за цикл, если это возможно.

(Проект, RU, окончательная редакция)

4.3.4 Испытательная оправка, прецизионная сфера для вращающихся деталей, предпочтительно изготовленная из стали, конструкция которой должна быть указана в соответствующих стандартах для конкретного станка или согласована между поставщиком/производителем и пользователем (см. ISO/TC 230-11:2018, 6.3 и 6.4).

Торцевая поверхность испытательной оправки должна быть достаточно плоской и перпендикулярной оси оправки, поскольку эти отклонения напрямую влияют на погрешность измерений. Чтобы минимизировать такую погрешность (неопределенность), можно использовать сферическую оправку или прецизионные сферы.

При выборе испытательной оправки необходимо учитывать максимальную безопасную скорость вращения.

4.3.5 Приспособление для установки датчиков перемещения, предпочтительно изготовленное из стали, конструкция которого должна быть указана в соответствующих стандартах для конкретного оборудования или согласована между поставщиком/производителем и пользователем.

Конструкция должна минимизировать локальные деформации, вызванные температурными градиентами в приспособлении.

При оценке угловых отклонений расстояние между датчиками смещения должно быть выбрано для достижения достаточного диапазона, разрешения и погрешности (неопределенности) измерения.

При необходимости и возможности датчик осевого смещения (см. рисунки 1, 2 и 3) можно разместить непосредственно напротив передней части шпинделя, чтобы исключить эффект теплового расширения испытательной оправки.

Долговременная точность испытательного оборудования должна быть проверена, например, путем испытания на температурную стабильность преобразователя (испытание колпачком, см. А.5).

Средства измерений должны быть термически стабилизированы перед началом испытаний.

4.4 Состояние станка перед испытанием

Станок должен быть полностью собран и полностью работоспособен в соответствии с инструкциями поставщика/изготовителя, которые должны быть зарегистрированы. Перед началом испытаний все необходимые операции по выравниванию, геометрическому выравниванию и функциональным проверкам должны быть

выполнены надлежащим образом.

Станок должен быть включен с работающими вспомогательными устройствами и осями в положении «Стоп», без вращения шпинделя, на период, достаточный для стабилизации воздействия внутренних источников тепла, как указано поставщиком/изготовителем или как указано в требованиях к средствам измерений и испытательному оборудованию. Станок и средства измерений должны быть защищены от сквозняков и внешнего излучения, например, от обогревателей, солнечного света и т.д.

Все испытания должны проводиться на станке в ненагруженном состоянии. В тех случаях, когда на станке требуется вращать как обрабатываемую деталь, так и режущий инструмент на отдельных шпинделях, испытания, описанные в пунктах 5 и 6, должны проводиться для каждого шпинделя относительно общего фиксированного положения на конструкции станка. Если на станке имеются какие-либо аппаратные или программные возможности компенсации или средства для минимизации термических воздействий, такие как воздушные или масляные спринклеры, они должны использоваться во время испытаний, и использование этих средств должно быть зафиксировано.

4.5 Последовательность испытаний

Испытания, описанные в пунктах 5, 6, 7 и 8, могут использоваться как по отдельности, так и в любой комбинации.

4.6 Температура испытательной среды

Согласно ISO 1, если не указано иное, все размерные измерения должны проводиться, когда средства измерений и измеряемые объекты (например, станок) находятся в равновесии с окружающей средой, где температура поддерживается на уровне 20 °С. Если окружающая среда имеет температуру, отличную от 20 °С, необходимо выполнить коррекцию номинального дифференциального теплового расширения (НДР) между измерительной системой и измеряемым объектом (станком), чтобы скорректировать результаты так, чтобы они соответствовали 20 °С (или заданной температуре контроля). Например, при типовом измерении линейного смещения с использованием лазерного интерферометра, температура окружающей среды вокруг лазерного луча и температура шкалы станка должны регистрироваться во время измерений. Ожидаемое изменение длины лазерного интерферометра (из-

(Проект, RU, окончательная редакция)

за изменения длины волны лазера в зависимости от температуры и давления окружающей среды) и шкалы станка (в ответ на ее температуру) должно быть рассчитано. Разница между этими двумя расширениями длины рассчитывается как НДР и используется для коррекции необработанных данных измерений с лазерного интерферометра для определения отклонений линейного смещения при 20 °С. Однако в настоящем стандарте, поскольку целью является определение поведения станка в возможных изменяющихся условиях температуры окружающей среды, требования к коррекциям НДР смягчены. Коррекция НДР допускается только между испытательным оборудованием и той частью станка, где обычно находится заготовка. Должна использоваться встроенная коррекция НДР, используемая для нормальной работы станка. Дополнительная коррекция НДР только для измерений не должна использоваться для коррекции тепловых деформаций машинных шкал.

4.7 Неопределенность из-за воздействия температуры

Испытания на погрешность при изменении температуры окружающей среды (пункт 5), а также на неопределенность, вызванную неопределенностью изменения температуры окружающей среды, u_{ETVE} , и испытания (пункты 6–8) на тепловые деформации $[d(E_{\alpha\beta})_{xx,t}, d(E_{\alpha\gamma})_{xx,t}]$, оказывают термические воздействия, которые вносят вклад в неопределенность производительности и/или оценки производительности станков.

В дополнение к этим результатам испытаний, другими факторами, влияющими на неопределенность, являются неопределенность номинального теплового расширения из-за неопределенности коэффициента теплового расширения (u_{α} , $u_{\Delta,NE}$) и неопределенность длины из-за измерения температуры, u_{TM} . Все факторы следует учитывать при оценке суммарной стандартной неопределенности из-за термических воздействий u_{CT} или любых других суммарных термических неопределенностей.

5 Испытание на погрешность изменения температуры окружающей среды

5.1 Общие сведения

Испытания на погрешность изменения температуры окружающей среды (ПТОС) предназначены для выявления влияния изменений температуры окружающей среды на станок и оценки термически вызванной погрешности во время других

измерений производительности. Они не должны использоваться для сравнения станков. ПТОС должна определяться с использованием процедуры, описанной в 5.2. Если для правильной работы испытательного оборудования требуется компенсация факторов окружающей среды, таких как температура и давление воздуха, то они должны использоваться. Если испытательное оборудование включает в себя средства для коррекции НДР, то эти средства должны использоваться, при условии, что датчик температуры материала размещен на той части станка, где обычно находится заготовка. Использование таких средств должно быть зафиксировано.

Рекомендуется, чтобы поставщик/производитель предоставил рекомендации относительно тепловой среды, которые можно считать приемлемыми для работы станка с указанной точностью. Такие общие рекомендации могут содержать, например, спецификацию средней комнатной температуры, максимальной амплитуды и частотного диапазона отклонений от этой средней температуры и температурных градиентов окружающей среды (см. приложение С). Пользователь несет ответственность за обеспечение приемлемой тепловой среды для работы и оценки производительности станка на месте установки. Однако, если пользователь следует рекомендациям, предоставленным поставщиком/производителем станка, ответственность за работу станка в соответствии со спецификациями несет поставщик/производитель.

Общая неопределенность в измерениях производительности станка, вызванная термическими воздействиями, определяется как суммарная стандартная неопределенность из-за термических воздействий. Суммарная стандартная неопределенность из-за термических воздействий (см. 3.13) может быть оценена с помощью описанного испытания, когда условия окружающей среды во время измерения производительности и испытания ПТОС сопоставимы. Она не должна превышать значение, которое взаимно согласовано между пользователем и поставщиком/производителем.

Согласно пункту 4.4 оси станка должны быть включены и находиться в положении «Стоп». В некоторых конструкциях станков, особенно с вертикальной или наклонной осью, ось может нагреваться в положении «Стоп». В этом случае испытание ПТОС может проводиться при полностью выключенном станке. По взаимному соглашению между производителем/поставщиком и пользователем испытанию ПТОС может также предшествовать соответствующий период прогрева. Это условие должно быть указано в отчете об испытаниях.

5.2 Методы испытаний

На рисунках 1, 2 и 3 показаны примеры типовых измерительных установок для обрабатывающего центра с вертикальным и горизонтальным шпинделем и токарного центра. Приспособление, в котором установлены датчики линейного перемещения, должно быть надежно закреплено на невращающемся рабочем держателе или инструментальном компоненте станка для измерения:

а) относительные смещения между компонентом, который удерживает режущий инструмент, и компонентом, который удерживает заготовку вдоль трех ортогональных осей, параллельных осям перемещения станка. Точное положение измерительной установки должно быть записано вместе с результатами испытаний;

б) наклон или вращение вокруг осей X и Y станка.

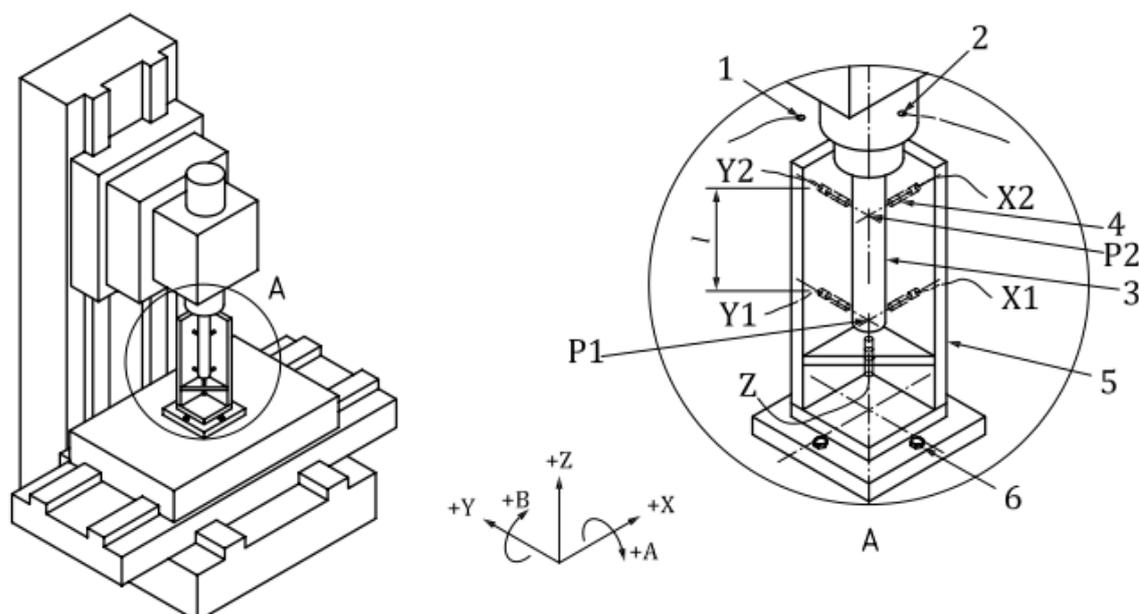
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ — На рисунках 1–3 показаны испытательные оправки, которые должны иметь торцевые поверхности с надлежащей плоскостностью и перпендикулярностью к оси оправки, поскольку эти отклонения напрямую влияют на неопределенность измерений. Чтобы минимизировать такую неопределенность, можно использовать оправку со сферическими концами или прецизионные сферы.

Температура конструкции станка, в точке, максимально приближенной к переднему подшипнику шпинделя или в точке, согласованной между поставщиком/производителем и пользователем, а также температура окружающего воздуха в непосредственной близости от станка (если станок закрыт, то датчик температуры следует разместить снаружи этого корпуса) и на той же высоте, что и передняя часть шпинделя, должны контролироваться не реже одного раза в 5 мин²⁾. Важно измерять температуру окружающего воздуха на подходящем расстоянии от станка, чтобы избежать любого влияния нагрева станка (например, гидравлическими компонентами) на температуру окружающего воздуха. Несмотря на отсутствие точной корреляции между измеренными температурами и смещениями, эти данные являются показателями тепловых изменений в окружающей среде и конструкции станка.

Примечание — Для обеспечения согласованности результатов ПТОС процесс испытания ПТОС контролируется таким образом, чтобы можно было распознать существенные изменения условий измерения, включая условия окружающей среды.

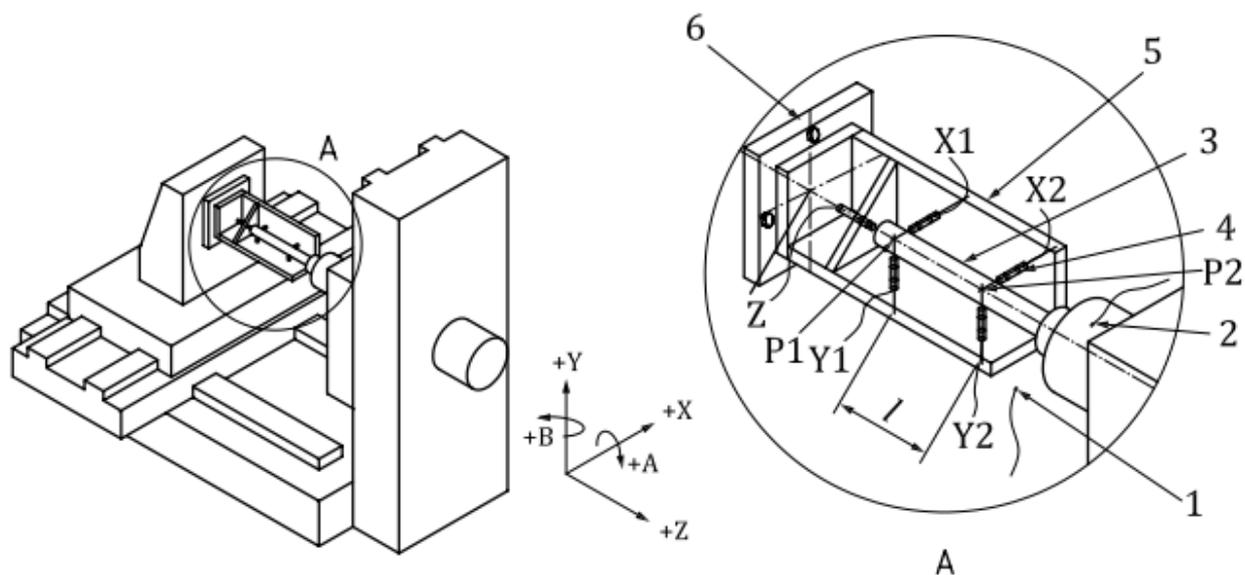
²⁾ Некоторые системы температурной компенсации демонстрируют время цикла менее 5 мин. В таких случаях частота мониторинга может быть увеличена до пяти показаний за цикл, если это возможно.

После установки испытание ПТОС должно продолжаться как можно дольше с минимальным отклонением от нормальных условий измерения производительности. В ситуациях, когда наблюдается периодический режим работы (например, периодическая переустановка испытательного оборудования относительно эталона измерения), продолжительность испытания должна превышать некоторый период времени, в течение которого повторяется большинство событий, или любую другую продолжительность, согласованную поставщиком/производителем и пользователем.



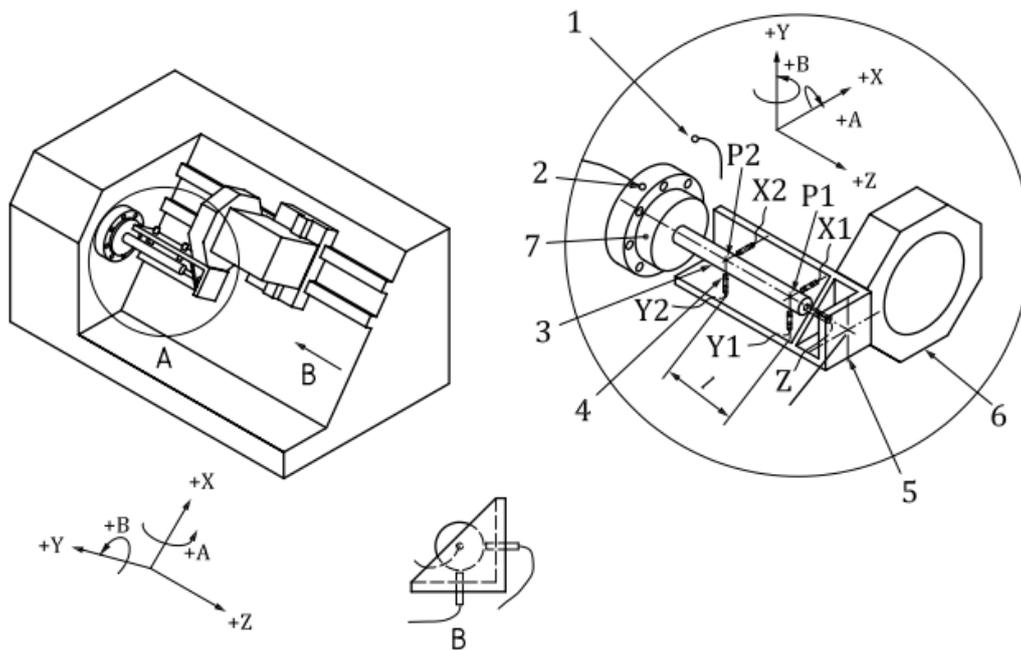
1 – датчик температуры окружающего воздуха; 2 – датчик температуры подшипника шпинделя; 3 – испытательная оправка; 4 – датчики линейного перемещения; 5 – приспособление; 6 – приспособление, прикрученное к столу; $P1$ – позиция измерения 1; $P2$ – позиция измерения 2; l – расстояние между позициями измерения $P1$ и $P2$; $X1$ – датчик измерения перемещения по направлению X в позиции измерения 1; $X2$ – датчик измерения перемещения по направлению X в позиции измерения 2; $Y1$ – датчик измерения перемещения по направлению Y в позиции измерения 1; $Y2$ – датчик измерения перемещения по направлению Y в позиции измерения 2; Z – датчик измерения перемещения по направлению Z

Рисунок 1 — Типовая установка для испытаний ПТОС и тепловой деформации конструкции, вызванной вращающимся шпинделем и тепловой деформации, возникающей в результате перемещения линейной оси на вертикальном обрабатывающем центре



1 – датчик температуры окружающего воздуха; 2 – датчик температуры подшипника шпинделя; 3 – испытательная оправка; 4 – датчики линейного перемещения; 5 – приспособление; 6 – приспособление, прикрученное к поддону для крепления заготовки; $P1$ – позиция измерения 1; $P2$ – позиция измерения 2; l – расстояние между позициями измерения $P1$ и $P2$; $X1$ – датчик измерения перемещения по направлению X в позиции измерения 1; $X2$ – датчик измерения перемещения по направлению X в позиции измерения 2; $Y1$ – датчик измерения перемещения по направлению Y в позиции измерения 1; $Y2$ – датчик измерения перемещения по направлению Y в позиции измерения 2; Z – датчик измерения перемещения по направлению Z

Рисунок 2 — Типовая установка для испытаний ПТОС и тепловой деформации конструкции, вызванной вращающимся шпинделем и тепловой деформации, возникающей в результате перемещения линейной оси на горизонтальном обрабатывающем центре



1 – датчик температуры окружающего воздуха; 2 – датчик температуры подшипника шпинделя; 3 – испытательная оправка; 4 – датчики линейного перемещения; 5 – приспособление; 6 – приспособление, прикрученное к поддону для крепления заготовки; 7 – патрон; $P1$ – позиция измерения 1; $P2$ – позиция измерения 2; l – расстояние между позициями измерения $P1$ и $P2$; $X1$ – датчик измерения перемещения по направлению X в позиции измерения 1; $Y1$ – датчик измерения перемещения по направлению Y в позиции измерения 1; $X2$ – датчик измерения перемещения по направлению X в позиции измерения 2; $Y2$ – датчик измерения перемещения по направлению Y в позиции измерения 2; Z – датчик измерения перемещения по направлению Z

Рисунок 3 — Типовая установка для испытаний ПТОС и тепловой деформации конструкции, вызванной вращающимся шпинделем и тепловой деформации, возникающей в результате перемещения линейной оси на наклонной станине токарного центра

5.3 Интерпретация результатов

Как правило, результаты представляются в виде графиков тепловой деформации и температуры в зависимости от времени, как показано в примерах, приведенных на рисунке 4. Однако этот результирующий график не должен использоваться для целей сравнения станков. Значения ПТОС, полученные на основе такого графика, используются для рассмотрения суммарной стандартной неопределенности из-за термических воздействий в таких измерениях, как линейная погрешность

(Проект, RU, окончательная редакция)

позиционирования вдоль каждой оси станка или круговые измерения в трех ортогональных плоскостях рабочей зоны станка. Чтобы применить суммарную стандартную неопределенность из-за термических воздействий к любому измерению производительности, температура окружающей среды должна непрерывно регистрироваться во время этого конкретного процесса измерения производительности. Если запись показывает значительное изменение условий по сравнению с условиями, в которых были получены значения E_{TVE} , то результаты испытаний ПТОС являются недействительными для этого процесса измерения. В этих случаях следует провести повторную оценку E_{TVE} или скорректировать условия в которых применяется E_{TVE} ³⁾. Кроме того, средства измерения должны быть термостабилизированы.

При измерениях в разных направлениях следует использовать разные значения E_{TVE} , полученные из одного и того же графика. Например, при измерении погрешности позиционирования вдоль оси Z станка следует использовать максимальный диапазон тепловой деформации в направлении Z за период времени, необходимый для выполнения измерений погрешности позиционирования, в качестве значения $E_{TVE}(Z)$. Значения $E_{TVE}(Y)$ и $E_{TVE}(X)$ можно определить таким же образом для двух других направлений. В случае измерений, включающих движение более чем по одной оси, например, круговых измерений в плоскости XY, максимальное значение $E_{TVE}(X)$ и $E_{TVE}(Y)$ обычно принимается в качестве значения E_{TVE} .

Для измерений углового отклонения значения ПТОС получаются путем расчета максимального диапазона наклонов вокруг осей X и Y за период времени, необходимый для выполнения измерений данного отклонения. Согласно ISO 841, углы наклона A и B в любой момент времени рассчитываются путем деления разницы между двумя показаниями датчика смещения вдоль оси, деленной на расстояние l между этими двумя датчиками, измеряющими в одном направлении. Для этих расчетов используются формулы (8)–(11):

$$A = (Y1 - Y2)/l, \tag{8}$$

$$B = (X1 - X2)/l, \tag{9}$$

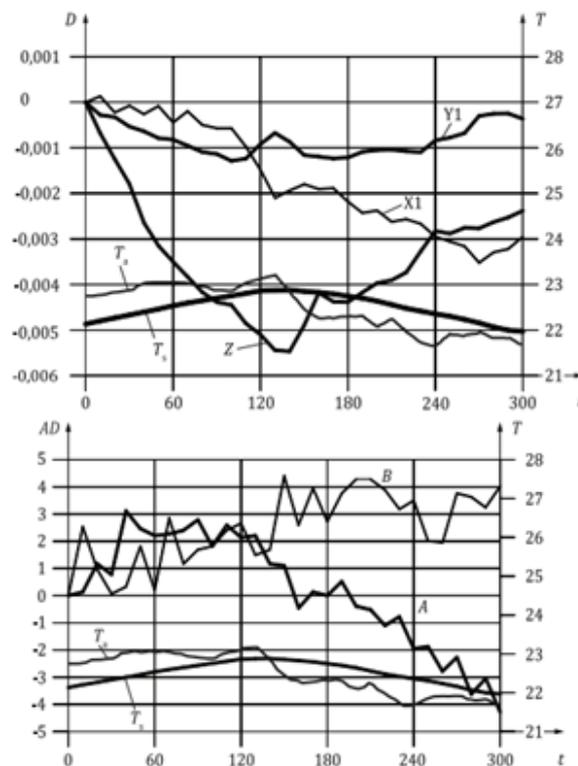
$$E_{TVE}(A) = \text{max диапазон } A, \tag{10}$$

$$E_{TVE}(B) = \text{max диапазон } B. \tag{11}$$

³⁾ Максимальные изменения температуры окружающей среды, измеренные во время испытаний производительности станка, будут меньше или равны изменению температуры окружающей среды, измеренному во время испытаний ПТОС (пункт 5).

Примечание — Полученные значения представлены в соответствии с соглашением о знаках ISO 841.

Чтобы определить E_{TVE} для заданной оценки производительности (например, для заданного направления измерения) на станке, нужно найти интервал на графике E_{TVE} , который имеет такую же длину, как и период времени, соответствующий этой оценке производительности, и который имеет максимальный наклон. Максимальное изменение, наблюдаемое в течение этого интервала времени, становится эффективным значением E_{TVE} для этой оценки. Например, ссылаясь на Рисунок 4, $E_{TVE}(X)$ для оценки линейной погрешности позиционирования станка, который длится около 1 часа, определяется временным интервалом от 90 мин до 150 мин на шкале времени. Значение E_{TVE} для этой оценки, полученное из графика в этом интервале, составляет 0,001 5 мм.



t – время в мин; T – температура в °C; D – линейная деформация в мм; AD – угловая деформация в угловых секундах; T_{α} – температура окружающей среды в °C; $T_{с}$ – температура шпинделя в °C; $X1$ – линейное перемещение по оси X в положении P1 в мм; $Y1$ – линейное перемещение по оси Y в положении P1 в мм; Z – линейное перемещение по оси Z в мм; A – вращение вокруг X в угловых секундах; B – вращение вокруг Y в угловых секундах

Рисунок 4 — Зависимость температуры и деформации от времени для испытания ПТОС

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

Пример — Для испытания, который занимает 1 час, следующие значения ПТОС получены из приведенных выше графиков (см. рисунок 4):

$E_{TVE}(X; 1,1 \text{ } ^\circ\text{C})=0,001 \text{ 5 мм (от 90 мин до 150 мин)}$;

$E_{TVE}(Y; 0,6 \text{ } ^\circ\text{C})=0,000 \text{ 8 мм (от 230 мин до 290 мин)}$;

$E_{TVE}(Z; 0,4 \text{ } ^\circ\text{C})=0,003 \text{ 5 мм (от 0 мин до 60 мин)}$;

$E_{TVE}(A; 1,1 \text{ } ^\circ\text{C})=3 \text{ arcsec (от 110 мин до 170 мин)}$;

$E_{TVE}(B; 1,1 \text{ } ^\circ\text{C})=3 \text{ arcsec (от 110 мин до 170 мин)}$.

5.4 Представление результатов

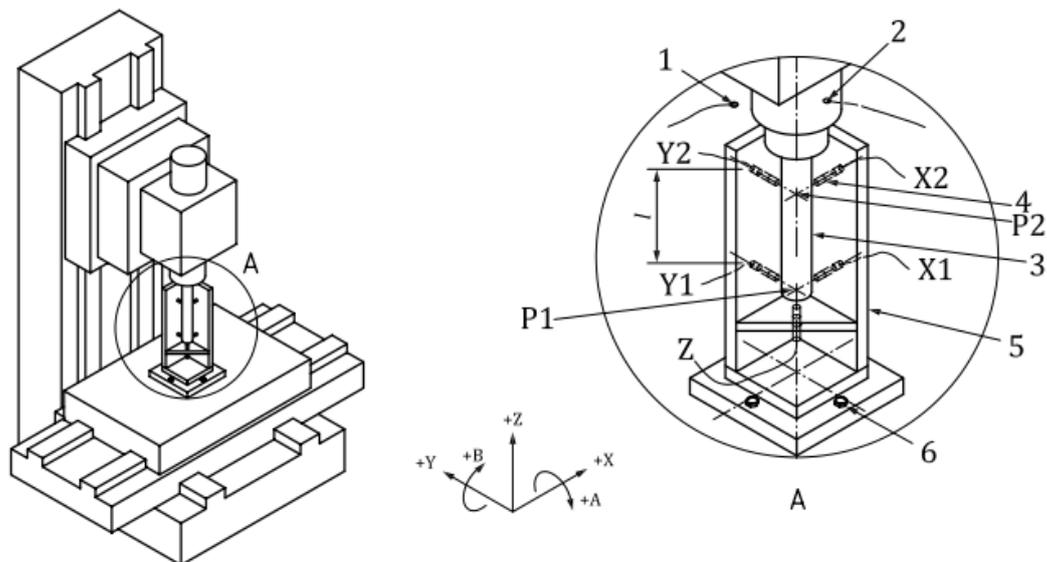
Как правило, данные измерений представляются в виде графиков деформаций и температуры в зависимости от времени, как показано на рисунке 4. Для каждого из направлений следует зафиксировать значения E_{TVE} , которые указывают на величину изменения температуры в течение наблюдаемого периода, например, $E_{TVE}(Z; 1,2 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0,005 \text{ 5 мм}$.

Следующая информация также должна быть представлена вместе с результатами испытания (см. рисунки 4 и 5):

- a) местоположение измерительной установки (координаты положения P1, см. рисунок 5);
- b) расстояние между торцом шпинделя и P1;
- c) местоположение датчиков температуры;
- d) типы датчиков;
- e) конструкция и материал испытательных оправок и приспособлений;
- f) используемые процедуры/средства термокомпенсации;
- g) любые согласованные специальные процедуры испытаний;
- h) время и дата испытания;
- i) процедура подготовки станка перед испытанием (включая период времени для работы вспомогательных служб перед испытанием);
- j) положительное направление отклонений по осям X, Y, Z, A, B, если они отличаются от систем координат, показанных на рисунках 1, 2, 3 и 5;
- k) режим управления для оси станка (удержание или выключение);

l) состояние любых систем подачи, например, смазки, гидравлики, подачи воздуха, охладителей, если применимо.

Дата испытания: Станок:	ГГ/ММ/ДД AAA, вертикальный обрабатывающий центр/ X = 1 000, Y = 600, Z = 800
Датчик температуры/положение (окружающая среда):	Термопара/от оси вращения шпинделя Y = 300 (спереди), X = 200 (справа)
Испытательная оправка: Приспособление:	сталь, $11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, диаметр: 60 мм, длина: 200 мм конус №40 сталь, $11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 100 мм×100 мм×400 мм, закреплена в центре стола
Используемая тепловая компенсация: Процедура прогрева: Положение скольжения осей: Положение измерения P1: Расстояние между торцом шпинделя и P1: Расстояние датчика, I (P1, P2):	масляный радиатор с датчиком температуры шпинделя холодный пуск X = 500 мм, Y = 300 мм, Z = 400 мм, C = 0 X = 500 мм, Y = 300 мм, Z = 220 мм (высота от поверхности стола) 175 мм 150 мм



1 – датчик температуры окружающего воздуха; 2 – датчик температуры подшипника шпинделя; 3 – испытательная оправка; 4 – датчики линейного перемещения; 5 – приспособление; 6 – приспособление, прикрученное к столу; P1 – позиция измерения 1; P2 – позиция измерения 2; l – расстояние между позициями измерения P1 и P2; X1 – датчик измерения перемещения по направлению X в позиции измерения 1; X2 – датчик измерения перемещения по направлению X в позиции измерения 2; Y1 – датчик измерения перемещения по направлению Y в позиции измерения 1; Y2 – датчик измерения перемещения по направлению Y в позиции измерения 2; Z – датчик измерения перемещения по направлению Z

Примечание — Размеры испытательной оправки и приспособления приведены только для примера.

Рисунок 5 — Типовое представление информации о установке для испытаний ПТОС и тепловой деформации, вызванной вращающимся шпинделем, и тепловой деформации, вызванной движущейся линейной осью

6 Тепловая деформация, вызванная вращающимся шпинделем

6.1 Общие сведения

Это испытание проводится для выявления влияния внутреннего тепла, генерируемого вращением шпинделя, и результирующего градиента температуры вдоль конструкции на искажение конструкции станка, наблюдаемое между заготовкой и ре-

жущим инструментом. Учитывая, что данное испытание связано с выделением тепла шпинделем, оно проводится только на станках с вращающимися шпинделями.

6.2 Методы испытаний

На рисунках 1, 2 и 3 показаны типовые измерительные установки для обрабатывающих центров с вертикальным и горизонтальным шпинделем и токарного центра. Приспособление, в котором установлены датчики линейных перемещений, должно быть надежно закреплено на невращающейся держателе заготовки или инструментальном компоненте станка для измерения:

а) относительные смещения между компонентом, который удерживает режущий инструмент, и компонентом, который удерживает заготовку вдоль трех ортогональных осей, параллельных осям перемещения станка [например, для оси C, $d(E_{XOC})$, $d(E_{YOC})$, и $d(E_{ZOC})$.]; точное положение измерительной установки должно быть записано вместе с результатами испытаний.

Примечание — Конкретное расположение измерительной установки в рабочей зоне указано в соответствующих стандартах, характерных для станка.

б) наклон или поворот станка вокруг осей X и Y станка [например, для оси C, $d(E_{AOC})$ и $d(E_{BOC})$].

Температура конструкции станка, максимально приближенная к переднему подшипнику шпинделя или в точке, согласованной между поставщиком/производителем и пользователем, а также температура окружающего воздуха в непосредственной близости от станка (если станок закрыт, то датчик температуры следует разместить снаружи этого корпуса) и на той же высоте, что и передняя часть шпинделя, должны контролироваться не реже одного раза в 5 мин⁴⁾. Важно измерять температуру окружающего воздуха на подходящем расстоянии от станка, чтобы избежать любого влияния нагрева станка (например, гидравлическими компонентами) на температуру окружающего воздуха. Несмотря на отсутствие точной корреляции между измеренными температурами и смещениями, эти данные являются показателями тепловых изменений в окружающей среде и конструкции станка.

⁴⁾ Некоторые системы температурной компенсации демонстрируют время цикла короче 5 мин. В таких случаях частота мониторинга может быть соответственно увеличена.

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

Процедура испытания должна проводиться в соответствии с одним из двух указанных режимов вращения шпинделя, описанных ниже:

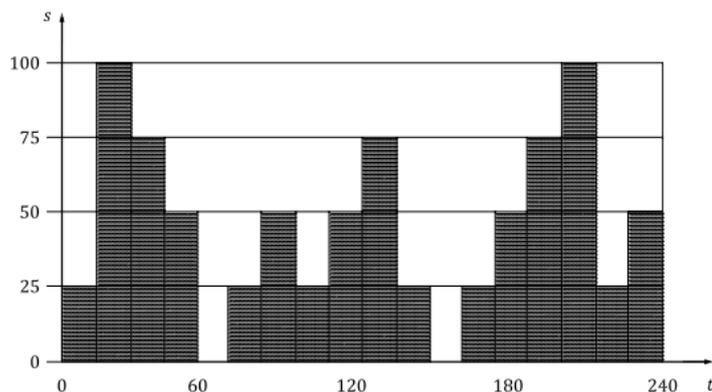
- переменный спектр скорости, например, как показано на рисунке 6;
- постоянная скорость в процентах от максимальной скорости.

Выбор процедуры испытания с учетом спектра скорости вращения шпинделя и процентных соотношений должен быть указан в стандартах для конкретного станка. При необходимости поставщик/производитель и пользователь могут договориться о другом, специальном графике испытаний (например, определенный цикл прогрева перед испытанием), соответствующем их собственным особым требованиям. Выбранные спектры скорости вращения шпинделя, как правило, отражают практическое использование станка. Например, для обрабатывающих центров можно выбрать спектр скоростей вращения шпинделя, состоящий из различных значений от 2 до 30 мин для каждой скорости вращения шпинделя с периодическими остановками от 1 до 30 мин между ними, чтобы соответствовать типичным условиям обработки.

Все выходы датчиков должны контролироваться в течение 4 ч. В качестве альтернативы допускается сокращение или продление периода измерения до тех пор, пока изменение деформации в течение последних 60 мин не составит менее 15 % максимальной деформации, зарегистрированной в течение первого часа испытания. Другие условия могут быть согласованы между пользователем и поставщиком/производителем. Затем шпиндель останавливается на минимальный период 1 ч, при этом мониторинг датчиков продолжается.

Влияние биения испытательной оправки должно быть устранено⁵⁾ во время испытаний, когда шпиндель вращается.

⁵⁾ Устранение последствий биения испытательной оправки может быть достигнуто с помощью фильтров нижних частот, усреднения или синхронизации сбора данных с ориентацией шпинделя (см. ISO 230-7).



t – время в сек; S – скорость шпинделя в % от максимальной скорости шпинделя

Рисунок 6 — Образец спектра скорости вращения шпинделя для испытаний на тепловую деформацию

6.3 Интерпретация результатов

Результаты измерений следует нанести на графики тепловой деформации и температур (окружающей среды и подшипников шпинделя) в зависимости от времени, как показано на рисунке 7.

Влияние нагрева конструкции станка на способность поддерживать положение режущего инструмента относительно заготовки можно оценить по этим графикам. Следует отметить, что запуск и остановка шпинделя могут вызвать смещения на графиках из-за последствий биения испытательной оправки. Эти последствия следует игнорировать при оценке тепловой деформации.

График угловой деформации (см. рисунок 7) формируется путем расчета углов наклона A и B, как описано в 5.3.

6.4 Представление результатов

Диапазон перемещений вдоль каждой оси станка в течение первых 60 мин $[d(E_{XOC})_{P1,60}, d(E_{YOC})_{P1,60}, d(E_{ZOC})_{60}, d(E_{AOC})_{60}, d(E_{BOC})_{60}]$ и в течение всего периода работы шпинделя $[d(E_{XOC})_{P1,t}, d(E_{YOC})_{P1,t}, d(E_{ZOC})_t, d(E_{AOC})_t, d(E_{BOC})_t]$, где t — время в конце периода работы шпинделя], должен быть записан вместе с расстоянием l между двумя линейными датчиками перемещения, считывающими в одном направлении (см. рисунки 1, 2 и 3). Эти значения, как показано в таблице 1, должны быть представлены с графиками температуры и тепловой деформации в зависимости от времени, как показано в примере, приведенном на рисунке 7. Следующие парамет-

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

ры также должны быть указаны с результатами испытания, как показано на рисунке 5:

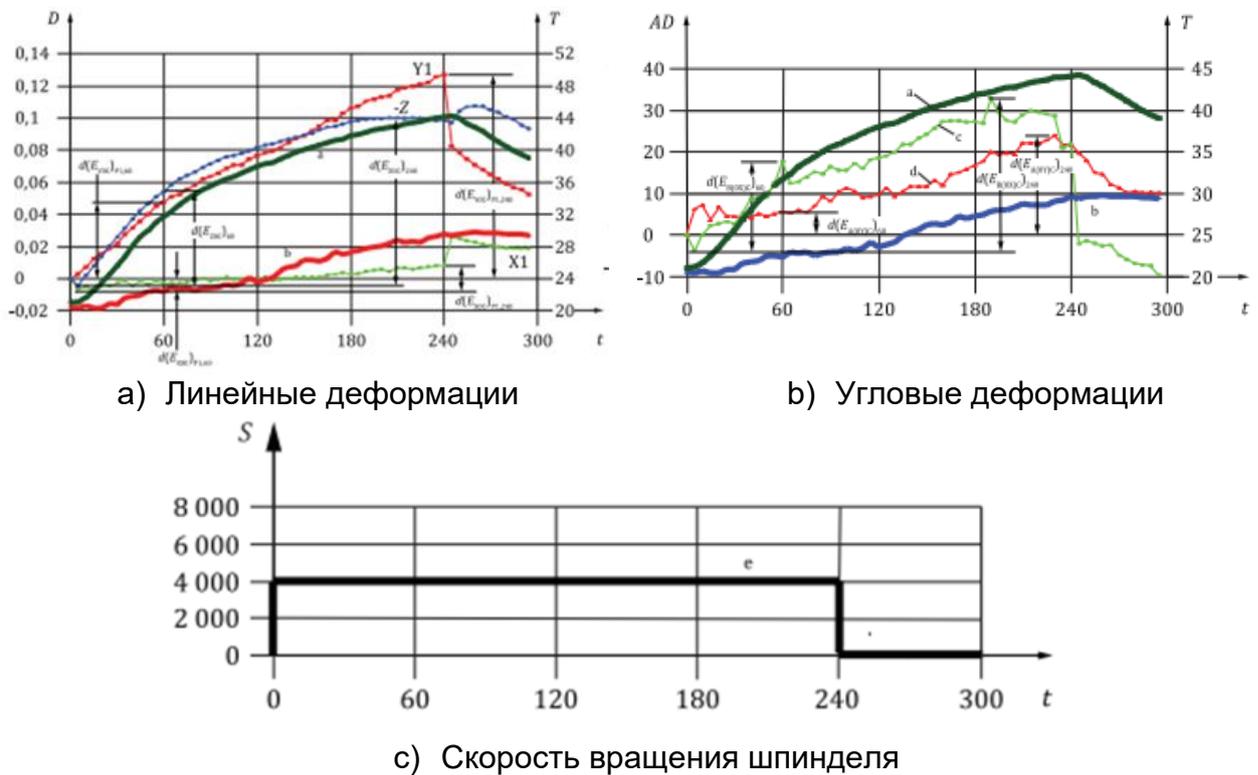
- a) расположение измерительной установки (координаты положения P1, см. рисунок 1);
- b) расстояние между торцом шпинделя и P1;
- c) расположение датчиков температуры;
- d) тип датчиков;
- e) конструкция и материал испытательной оправки и приспособления;
- f) используемые процедуры/средства для термокомпенсации;
- g) режим скорости вращения шпинделя;
- h) любые согласованные специальные процедуры испытаний;
- i) время и дата испытания;
- j) процедура подготовки станка перед испытанием (включая период времени для работы);
- k) положительные направления отклонений X, Y, Z, A, B, если они отличаются от системы координат, показанной на рисунках 1, 2, 3 и 5;
- l) состояние любых систем снабжения, например, смазки, гидравлики, подачи воздуха, охладителей, если применимо.

Таблица 1 — Типовое представление результатов испытаний тепловой деформации, вызванной вращающимся шпинделем

	X1	Y1	Z	A	B
В течение первых 60 мин	$d(E_{XOC})_{P1,60}$	$d(E_{YOC})_{P1,60}$	$d(E_{ZOC})_{60}$	$d(E_{AOC})_{60}$	$d(E_{B(OX)C})_{60}$
В течение периода работы шпинделя, t	$d(E_{XOC})_{P1,t}$	$d(E_{YOC})_{P1,t}$	$d(E_{ZOC})_t$	$d(E_{AOC})_t$	$d(E_{BOC})_t$
Расстояние, l	Значение приведено в примере на рисунке 7.				

Пример — Для испытания, который занимает 5 часов, из рисунка 7 получены следующие значения.

	X1 (мм)	Y1 (мм)	Z (мм)	A (arcsec)	B (arcsec)
Первые 60 мин	$d(E_{XOC})_{P1,60}$ = 0,008	$d(E_{YOC})_{P1,60}$ = 0,048	$d(E_{ZOC})_{P1,60}$ = 0,061	$d(E_{AOC})_{60}$ = 6	$d(E_{BOC})_{60}$ = 22
Весь период работы (t = 240 мин)	$d(E_{XOC})_{P1,240}$ = 0,020	$d(E_{YOC})_{P1,240}$ = 0,124	$d(E_{ZOC})_{P1,240}$ = 0,108	$d(E_{AOC})_{240}$ = 24	$d(E_{BOC})_{240}$ = 38
Расстояние, l	150 мм				



a – температура конструкции станка в $^{\circ}\text{C}$; b – температура окружающей среды в $^{\circ}\text{C}$;
 c – вращение вокруг оси $Y(E_{B(OX)C})$ в угловых секундах; d – вращение вокруг оси $X(E_{A(OY)C})$ в угловых секундах; e – скорость вращения шпинделя (максимальная скорость вращения шпинделя = $6\,000\text{ мин}^{-1}$; S – скорость вращения шпинделя в мин^{-1} ; t – время в мин;
 T – температура в $^{\circ}\text{C}$; $X1$ – показания датчика P1 по направлению X в мм; $Y1$ – показания датчика P1 по направлению Y в мм; Z – показания датчика по направлению Z в мм; D – тепловая деформация в мм; AD – тепловая угловая деформация в угловых секундах

Примечание — Отрицательные данные Z, показанные в (а), приведены для наглядности.

Рисунок 7 — Пример тепловых линейных и угловых деформаций, вызванных вращающимся шпинделем обрабатывающего центра в зависимости от времени

7 Тепловая деформация, вызванная линейным движением компонентов

7.1 Общие сведения

Это испытание проводится для определения влияния внутреннего тепла, генерируемого линейной системой позиционирования станка и трением направляю-

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

щих на искажение конструкции станка, наблюдаемое между заготовкой и режущим инструментом. Испытание показывает величину изменения положения и ориентации движущегося компонента в двух положениях вдоль линейной оси станка из-за теплового удлинения шкал станка и деформаций (скручивания и изгиба) конструкции станка, вызванных локальным выделением тепла во время периода прогрева. Это испытание проводится только на станках с числовым программным управлением (ЧПУ).

Детали станка способны сохранять свою форму при нагревании только в том случае, если тепловое расширение может быть точно одинаковым во всех точках его конструкции, то есть если бы были только температурные градиенты во времени, а не в пространстве, и, если коэффициент теплового расширения одинаков. Но на практике в конструкции станка всегда есть температурный градиент при наличии локальных источников тепла, таких как электродвигатели, а также трение в подшипниках, муфтах и в гидравлике.

Из-за температурных градиентов различные компоненты станка расширяются в разной степени, создавая напряжения и угловые деформации в виде скручивания и изгиба конструкции.

Измерения, описанные в этом пункте, выявляют влияние всех тепловых деформаций, упомянутых выше.

7.2 Методы испытаний

7.2.1 Позиции измерения

Целевые позиции следует выбирать близко к конечным точкам перемещения, где это применимо, и, как правило, не далее 2 м друг от друга. К каждой целевой позиции можно приблизиться только из другой целевой позиции, что включает в измерения погрешность реверсирования линейного перемещения. Предполагается, что изменения в погрешности реверсирования незначительны.

Для систем типа шарико-винтовой передачи/вращательного энкодера значение изменения направления (как линейного, так и углового) может изменяться в зависимости от температуры. В этих случаях, по возможности, следует проводить измерения в обоих направлениях.

7.2.2 Настройка инструментов

Ниже показаны три примера типовых измерительных установок. Первая состоит из двух приспособлений, каждое из которых оснащено пятью датчиками линейных перемещений, и испытательной оправки. Испытательная оправка должна быть установлена на шпинделе, а две оснастки должны быть надежно закреплены на столе на каждом конце выбранного хода (см. рисунок 8).

Датчики линейного смещения должны быть настроены на измерение изменений положения и ориентации испытательной оправки в каждой целевой позиции (P1 и P2). Из соответствующих показаний датчика смещения в каждой целевой позиции рассчитывается изменение расстояния, пройденного движущимся компонентом при испытании, а также два ортогональных линейных отклонения и два угловых отклонения в каждой целевой позиции (все они соответствуют относительному движению между режущим инструментом и рабочими сторонами станка). Эти расчеты выполняются с использованием формул (12) – (21) (с использованием установок и номенклатуры, показанных на рисунке 8):

$$d(E_{XX})_{P1,t} = (P_{x11})_t - (P_{x11})_{t0}, \quad (12)$$

$$d(E_{XX})_{P2,t} = (P_{x21})_t - (P_{x21})_{t0}, \quad (13)$$

$$d(E_{YX})_{P1,t} = (P_{y11})_t - (P_{y11})_{t0}, \quad (14)$$

$$d(E_{YX})_{P2,t} = (P_{y21})_t - (P_{y21})_{t0}, \quad (15)$$

$$d(E_{ZX})_{P1,t} = -[(P_{z1})_t - (P_{z1})_{t0}], \quad (16)$$

$$d(E_{ZX})_{P2,t} = -[(P_{z2})_t - (P_{z2})_{t0}], \quad (17)$$

$$d(E_{AX})_{P1,t} = [(P_{y11} - P_{y12})_t - (P_{y11} - P_{y12})_{t0}]/l_1, \quad (18)$$

$$d(E_{AX})_{P2,t} = -[(P_{y21} - P_{y22})_t - (P_{y21} - P_{y22})_{t0}]/l_2, \quad (19)$$

$$d(E_{BX})_{P1,t} = [(P_{x12} - P_{x11})_t - (P_{x12} - P_{x11})_{t0}]/l_3, \quad (20)$$

$$d(E_{BX})_{P2,t} = -[(P_{x22} - P_{x21})_t - (P_{x22} - P_{x21})_{t0}]/l_4. \quad (21)$$

где $l_1 - l_4$ – расстояния между двумя датчиками смещения, измеряющими в одном направлении;

t_0 – начало испытательного периода;

t – конец периода времени циклического изменения оси;

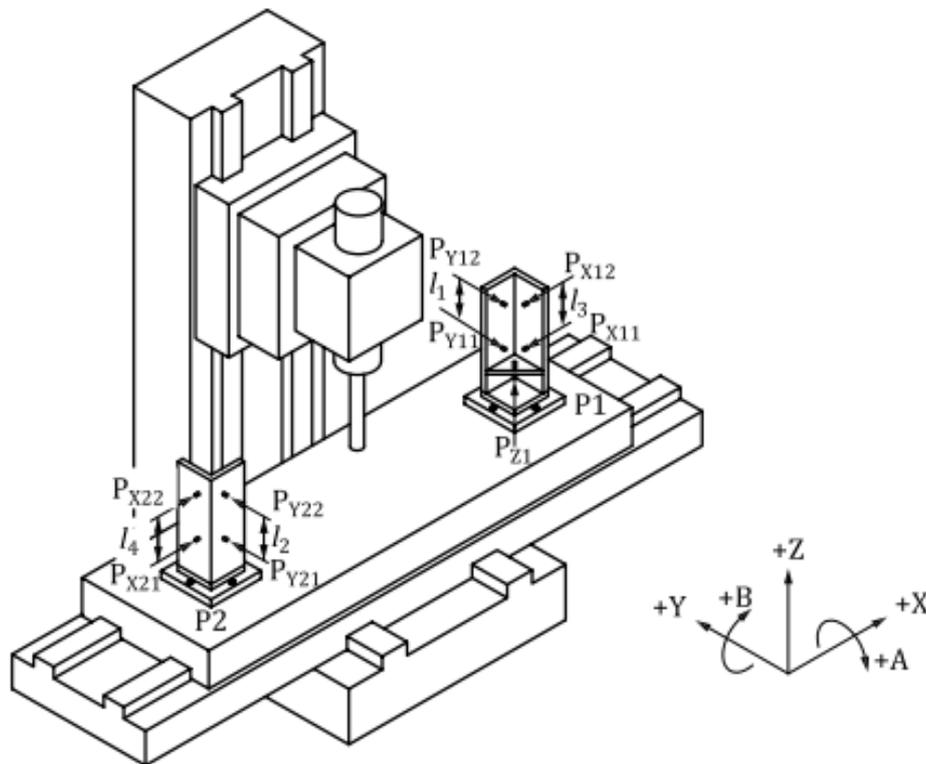
ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

P_{x21} – показания первого датчика смещения в направлении оси X, расположенного в позиции P2.

Примечание 1 — $d(E_{CX})_{P1}$ и $d(E_{CX})_{P2}$ невозможно рассчитать с помощью измерительной установки, показанной на рисунке 8.

Примечание 2 — Условное обозначение в формулах (12) – (21) таково, что движение шпинделя относительно заготовки в положительном направлении вызывает положительное считывание датчика линейного перемещения.



l_1, l_2, l_3, l_4 – расстояния между датчиками, используемые для расчета угловых деформаций

Рисунок 8 — Типовая установка для измерения тепловых деформаций из-за перемещения стола по оси X обрабатывающего центра

Второй пример состоит из одного приспособления с семью датчиками смещения и двумя направляющими блоками, как показано на рисунке 9. При такой настройке на шпинделе устанавливается сенсорное приспособление. Два направляющих блока устанавливается на каждом конце хода. Эта установка позволяет одновременно измерять шесть компонентов тепловой деформации: одну в направлении движения, два в ортогональном направлении и три угловые компоненты вокруг трех линейных осей с использованием формул (22) – (33) (с использованием установок и номенклатуры, показанных на рисунке 9).

$$d(E_{XX})_{P1,t} = (P_{x1})_t - (P_{x1})_{t0}, \quad (22)$$

$$d(E_{XX})_{P2,t} = -[(P_{x2})_t - (P_{x2})_{t0}], \quad (23)$$

$$d(E_{YX})_{P1,t} = (P_{y11})_t - (P_{y11})_{t0}, \quad (24)$$

$$d(E_{YX})_{P2,t} = (P_{y21})_t - (P_{y21})_{t0}, \quad (25)$$

$$d(E_{ZX})_{P1,t} = -[(P_{z13})_t - (P_{z13})_{t0}], \quad (26)$$

$$d(E_{ZX})_{P2,t} = -[(P_{z23})_t - (P_{z23})_{t0}], \quad (27)$$

$$d(E_{AX})_{P1,t} = [((P_{z11} + P_{z12})/2 - P_{z23})_t - ((P_{z11} + P_{z12})/2 - P_{z13})_{t0}]/l_1, \quad (28)$$

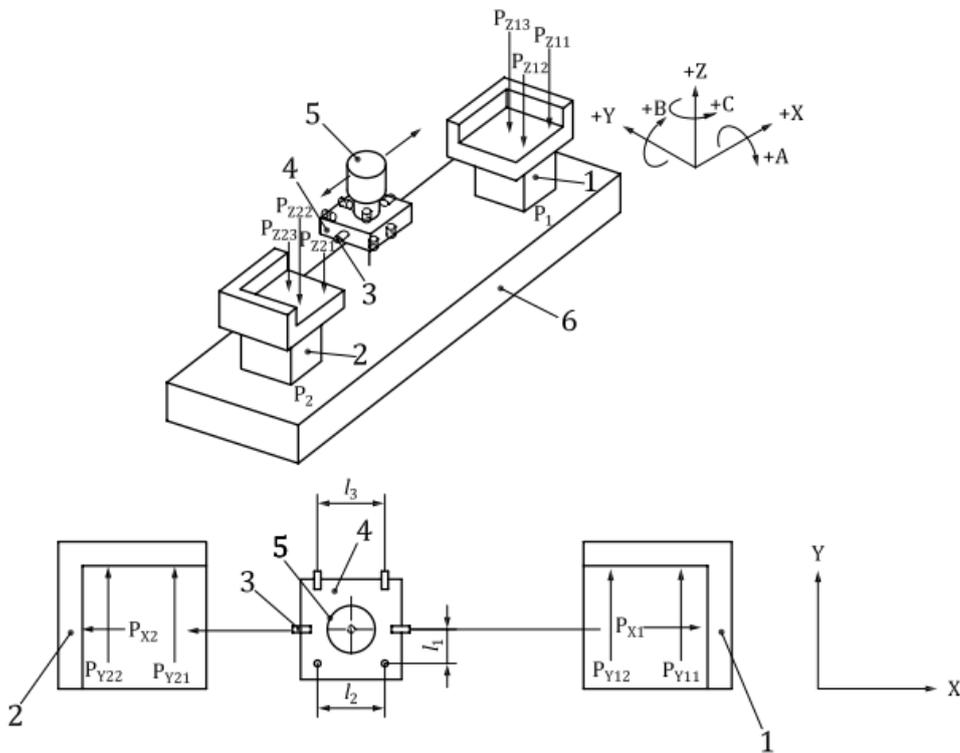
$$d(E_{AX})_{P2,t} = [((P_{z21} + P_{z22})/2 - P_{z23})_t - ((P_{z21} + P_{z22})/2 - P_{z23})_{t0}]/l_2, \quad (29)$$

$$d(E_{BX})_{P1,t} = [(P_{z11} + P_{z12})_t - (P_{z11} + P_{z12})_{t0}]/l_2, \quad (30)$$

$$d(E_{BX})_{P2,t} = [(P_{z21} - P_{z22})_t - (P_{z21} - P_{z22})_{t0}]/l_2, \quad (31)$$

$$d(E_{CX})_{P1,t} = [(P_{y11} + P_{y12})_t - (P_{y11} + P_{y12})_{t0}]/l_3, \quad (32)$$

$$d(E_{CX})_{P2,t} = [(P_{y21} - P_{y22})_t - (P_{y21} - P_{y22})_{t0}]/l_3. \quad (33)$$



1 – цель справа; 2 – цель слева; 3 – датчик зазора; 4 – крепление датчика; 5 – шпиндель; 6 – станок; l_1, l_2, l_3 – расстояния между датчиками, используемые для расчета угловых деформаций

Рисунок 9 — Альтернативная установка для измерения тепловой деформации, вызванной перемещением ползуна оси X обрабатывающего центра

Для большинства токарных центров приспособление с датчиками (с 6 преобразователями) монтируется на инструментальной части станка, а специальный артефакт с опорными поверхностями, выровненными по этим датчикам, монтируется на шпинделе зажима заготовки, как показано на рисунке 10. Для такой установки тепловая деформация может быть рассчитана с использованием формул (33) – (42) (с использованием настроек и номенклатуры, показанных на рисунке 10).

$$d(E_{ZZ})_{P1,t} = (P_{z1})_t - (P_{z1})_{t0}, \tag{33}$$

$$d(E_{ZZ})_{P2,t} = -[(P_{z2})_t - (P_{z2})_{t0}], \tag{34}$$

$$d(E_{ZX})_{P1,t} = [(P_{x11})_t - (P_{x11})_{t0}], \tag{35}$$

$$d(E_{XZ})_{P2,t} = -[(P_{x21})_t - (P_{x21})_{t0}], \tag{36}$$

$$d(E_{YZ})_{P1,t} = -[(P_{y11})_t - (P_{y11})_{t0}], \quad (37)$$

$$d(E_{YZ})_{P2,t} = -[(P_{y21})_t - (P_{y21})_{t0}], \quad (38)$$

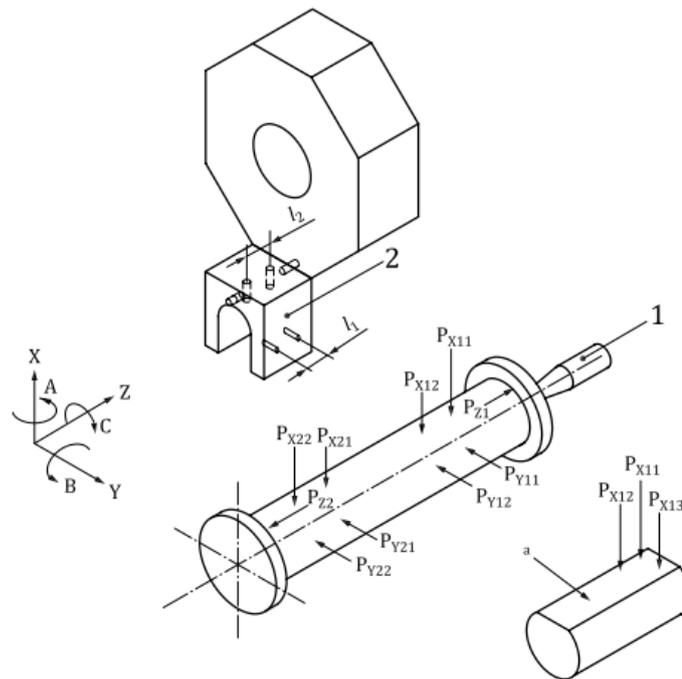
$$d(E_{AZ})_{P1,t} = [(P_{y11} - P_{y12})_t - (P_{y11} - P_{y12})_{t0}]/l_1, \quad (39)$$

$$d(E_{AZ})_{P2,t} = [(P_{y21} - P_{y22})_t - (P_{y21} - P_{y22})_{t0}]/l_1, \quad (40)$$

$$d(E_{BZ})_{P1,t} = [(P_{x12} - P_{x11})_t - (P_{x12} - P_{x11})_{t0}]/l_2, \quad (41)$$

$$d(E_{BZ})_{P2,t} = [(P_{x22} - P_{x21})_t - (P_{x22} - P_{x21})_{t0}]/l_2. \quad (42)$$

Примечание 3 — $d(E_{CZ})$ невозможно рассчитать с помощью измерительной установки, показанной на рисунке 10.



- 1 – хвостовая бабка станка; 2 – кронштейн для крепления датчика;
 l_1, l_2 – расстояния между датчиками для расчета угловых деформаций;
 a – дополнительная плоская поверхность для расчета $d(E_{CZ})$

Примечание — Координатные оси повернуты для ясности.

Рисунок 10 — Типовая установка для измерения тепловых деформаций, вызванных перемещением каретки оси Z токарного центра

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

Третий пример состоит из контактного триггерного датчика станка (если имеется) и двух направляющих блока. Два направляющих блока устанавливаются на каждом конце хода, как показано на рисунке 11. В идеале, путем касания шести точек на каждом артефакте (как показано на рисунке 11) и регистрации положений станка X, Y и Z, соответствующих этим точкам, все шесть компонентов тепловой деформации можно рассчитать, используя формулы (43) – (54) (с использованием настроек и номенклатуры, показанных на рисунке 11).

$$d(E_{XX})_{P1,t} = (P_{x11})_t - (P_{x11})_{t0}, \quad (43)$$

$$d(E_{XX})_{P2,t} = -[(P_{x21})_t - (P_{x21})_{t0}], \quad (44)$$

$$d(E_{YX})_{P1,t} = (P_{y11})_t - (P_{y11})_{t0}, \quad (45)$$

$$d(E_{YX})_{P2,t} = (P_{y21})_t - (P_{y21})_{t0}, \quad (46)$$

$$d(E_{ZX})_{P1,t} = (P_{z11})_t - (P_{z11})_{t0}, \quad (47)$$

$$d(E_{ZX})_{P2,t} = (P_{z21})_t - (P_{z21})_{t0}, \quad (48)$$

$$dd(E_{AX})_{P1,t} = [(P_{y11} - P_{y12})_t - (P_{y11} - P_{y12})_{t0}]/l_1, \quad (49)$$

$$d(E_{AX})_{P2,t} = [(P_{y21} - P_{y22})_t - (P_{y21} - P_{y22})_{t0}]/l_1, \quad (50)$$

$$d(E_{BX})_{P1,t} = [(P_{x11} - (P_{x12} + P_{x13})/2)_t - (P_{x11} - (P_{x12} + P_{x13})/2)_{t0}]/l_2, \quad (51)$$

$$d(E_{BX})_{P2,t} = -[(P_{x21} - (P_{x22} + P_{x23})/2)_t - (P_{x21} - (P_{x12} + P_{x23})/3)_{t0}]/l_2, \quad (52)$$

$$d(E_{CX})_{P1,t} = [(P_{x12} - P_{x13})_t - (P_{x12} + P_{x13})_{t0}]/l_3, \quad (53)$$

$$d(E_{CX})_{P2,t} = [(P_{x22} - P_{x23})_t - (P_{x22} - P_{x23})_{t0}]/l_3. \quad (54)$$

где l_1, l_2 и l_3 – расстояния между двумя точками зондирования в одном направлении;

t_0 – указывает на начало периода цикличности оси;

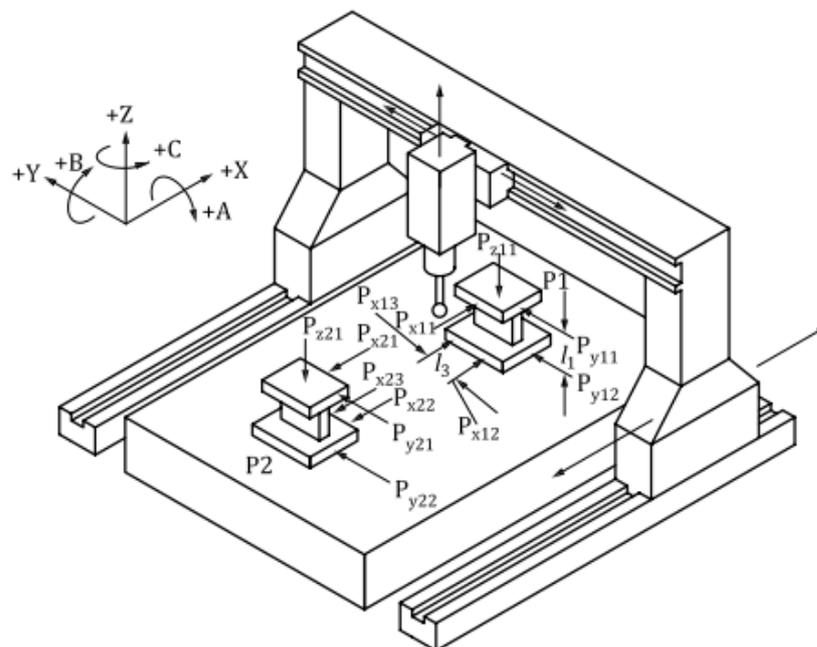
t – указывает на окончание периода цикличности оси.

Следует отметить, что угловая деформация компонента станка можно оценить только в том случае, если она вызывает разницу в измеренной тепловой деформации в двух точках зондирования. Следует проявлять осторожность при выборе точек

зондирования, чтобы гарантировать, что все интересующие угловые деформации дадут такую разницу. Например, только угловое отклонение скольжения по оси X фиксируется расчетами $d(E_{CX})$, угловые отклонения скольжения по оси Y (часть E_{CY}) и скольжения по оси Z (часть E_{CZ}) не включены в определение общих деформаций, представленных точками зондирования, показанными на рисунке 11. Таким образом, если эти точки зондирования используются для испытаний по оси Y или оси Z, может возникнуть некоторая несогласованность относительно других альтернативных установок измерения, упомянутых ранее.

Примечание 4 — Для определения некоторых угловых деформаций могут потребоваться измерения с двумя различными смещениями зонда для достижения этого условия.

Следует также отметить, что использование вышеперечисленных установок требует обнуления всех показаний на начальном этапе и, таким образом, не обеспечивает абсолютных измерений отклонений, а только их изменение во времени.



l_1, l_2, l_3 – расстояния между точками зондирования для расчета угловых деформаций

Примечание — Те же расстояния l_1, l_2 и l_3 применяются к артефакту P2.

Рисунок 11 — Типовая установка для измерения тепловой деформации, вызванной перемещением моста по оси X обрабатывающего центра с использованием контактного триггерного датчика

7.2.3 Цикл испытаний

Цикл испытаний состоит из двух периодов времени: 4 часа циклирования оси и 1 час охлаждения. Измерения могут быть прерваны, когда изменение деформации, отмеченное в течение последних 60 минут, составляет менее 15 % деформации, зарегистрированной в течение первого часа испытания. В ситуациях, когда наблюдается установленная схема деятельности (например, периодическая настройка инструмента), испытания должны проводиться в течение периода времени, в течение которого повторяются соответствующие события, или в течение любого другого периода времени, согласованного поставщиком/производителем и пользователем. После каждого испытания должно быть выделено достаточное время, чтобы позволить станку остыть.

Начиная с одного из целевых позиций 1, где станок остается в состоянии покоя достаточно долго (время выдержки) для записи показаний датчиков смещения, салазки станка должны быть запрограммированы на перемещение в целевую позицию 2, где снимается второй набор показаний. Затем движение меняется на обратное, и показания в целевой позиции 1 должны быть измерены и записаны снова. Эта последовательность испытаний должна затем повторяться до конца периода цикла оси, записывая данные в двух целевых позициях. Запрограммированная скорость перемещения должна быть процентом от максимальной программируемой скорости подачи. Время выдержки в каждой целевой позиции должно быть минимально необходимым для снятия показаний. Процент и время выдержки должны быть указаны в стандартах, специфичных для станка. Разное время выдержки и скорости перемещения имеют разную теплоотдачу и, следовательно, могут вызвать разное количество тепловой деформации. Время выдержки и скорость перемещения в этих испытаниях могут быть изменены на основе соглашений, достигнутых между пользователем и поставщиком/производителем.

Если измерительная система может записывать только ограниченное количество данных, то измерения в двух целевых позициях могут проводиться с заданными интервалами, например, через каждые 5 двунаправленных перемещений салазок станка. Точная процедура измерений должна быть указана.

По окончании периода цикла вращения оси салазки станка должны быть остановлены в середине своего хода; каждые 5 минут его следует перемещать в обе целевые позиции для снятия показаний, а затем снова останавливать в середине до окончания периода охлаждения.

7.2.4 Измерения температуры

Полезные позиции для датчиков температуры можно выбрать следующим образом:

- датчик положения (если возможно);
- область вблизи источников трения (обычно между подвижным элементом и соответствующей неподвижной частью, например, столом/станиной, головкой/колонной, температура растет из-за трения в направляющих, в опорных подшипниках шарико-винтовой передачи, в гайке шарико-винтовой передачи);
- область в противоположной стороне конструкции станка (например, дно станины);
- стол;
- шпиндельная головка.

Во время этих испытаний следует контролировать температуру окружающей среды не реже одного раза в 5 мин⁶⁾.

7.2.5 Компенсации

Если для правильной работы испытательного оборудования требуется компенсация факторов окружающей среды, таких как температура и давление воздуха, то их следует использовать.

Если испытательное оборудование включает в себя средства для коррекции неразрушающего контроля, то эти средства не должны использоваться, поскольку они скрывают вклад в общую тепловую деформацию, обусловленную удлинением шкалы оси.

7.3 Представление результатов

Для каждой оси станка должны быть представлены следующие графики зависимости от времени:

- два графика положения целевых позиций;
- четыре графика ортогональной линейной деформации целевых позиций;
- четыре или шесть графиков угловой деформации целевых позиций (количество зависит от типа установки измерения);

⁶⁾ Некоторые системы температурной компенсации показывают время цикла менее 5 мин. В таких случаях частота мониторинга может быть увеличена соответственно.

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

-на каждом из этих графиков должны быть указаны величины отклонений от начальных значений в отличие от абсолютных значений.

Кроме того, следует предоставить графики температуры окружающей среды и температуры станка, измеренные во время испытания в зависимости от времени. Следует отметить, что на результаты влияет повторяемость позиционирования оси станка при испытании.

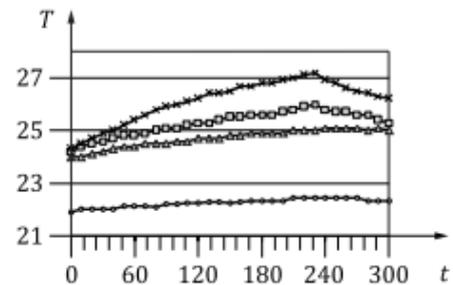
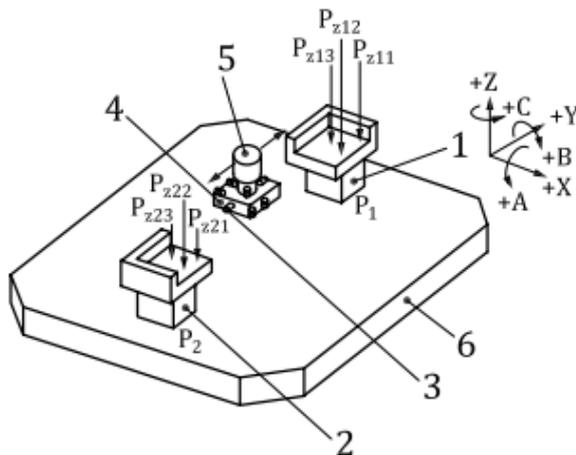
Пример набора таких графиков показан на рисунках 12 и 13.

Следующие параметры должны быть представлены вместе с графиками, как показано на рисунках 12 и 13:

- a) скорость перемещения;
- b) время выдержки;
- c) начальные и конечные положения точек;
- d) компенсационные возможности и используемые средства;
- e) используемые средства измерений и установка;
- f) расположение датчика температуры;
- g) используемый коэффициент теплового расширения;
- h) расположение измерительной линии;
- i) время и дата испытания;
- j) процедуры прогрева (включая период времени процедур прогрева);
- k) температура измеряемого объекта в начале и в конце испытания;
- l) положительное направление дрейфа позиции, если оно отличается от систем координат, показанных на рисунках 1, 2, 3, 8 и 9;
- m) состояние любых систем подачи, например, смазки, гидравлики, подачи воздуха, охладителей, если применимо.

Дата испытания:	ГГ/ММ/ДД
Станок:	AAA, вертикальный обрабатывающий центр/X = 500, Y = 350, Z = 400
Средство измерений и серийный номер:	BBB, 6 зондов, перемещаемых шпинделем, 2 целевые фиксаторы
Проверенная ось и ее расположение:	Y, X = 250, Z = 200
Тип шкалы позиционирования:	Стеклянная шкала
Коэффициент теплового расширения шкалы:	$8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Используемая тепловая компенсация:	Нисколько
Процедуры разогрева:	станок удерживается в положении удержания в течение последних 6 часов

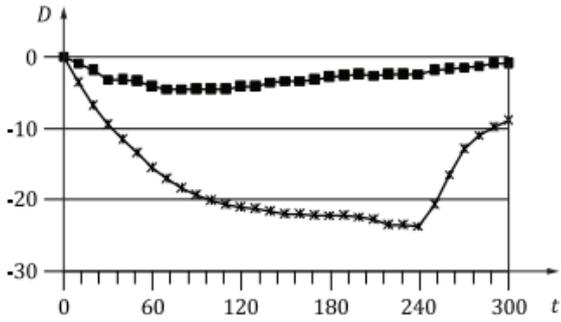
Расположение осей, не подлежащих испытанию:	X = 250 мм; Z = 200 мм; C = 0	
Скорость подачи:	500 мм/мин	
Начальная и конечная точка:	Y, 0, 300 мм	
Время пребывания в каждой целевой позиции:	5 сек	
Интервальные круги для полученных данных	5	
Датчик температуры/положение	(окружающая среда): спереди, 200 мм X, 300 мм Y от головки шпинделя (станок): стол, X = 50 мм; линейная шкала; салазки	
	Температура в начале °C	Температура в конце °C
— Температура станка	24	25
— Температура окружающей среды	21,9	22,3



- 1 – правая цель; 2 – левая цель; 3 – датчик зазора; 4 – крепление датчика;
 5 – шпиндель станка; 6 – стол станка; \circ – температура окружающей среды в °C;
 \square – температура по шкале Y в °C; \triangle – температура станка в °C;
 \times – температура салазок Y в °C; t – время в мин; T – температура °C

Рисунок 12 — Типовое представление информации о установке для испытаний тепловой деформации, вызванной движущимися линейными салазками

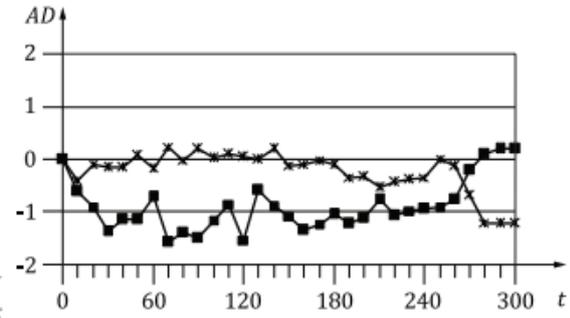
(Проект, RU, окончательная редакция)



$$d(E_{YY})_{P1,60} = 16 \quad d(E_{YY})_{P1,240} = 23$$

$$d(E_{YY})_{P2,60} = 4 \quad d(E_{YY})_{P2,240} = 4$$

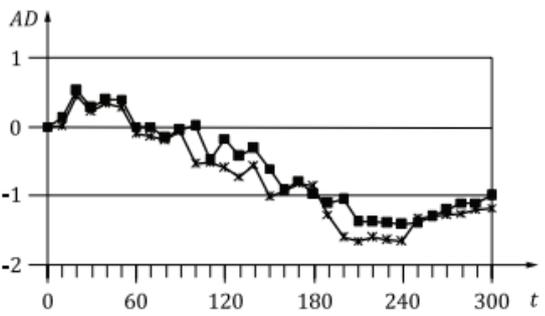
а) E_{YY} график



$$d(E_{CY})_{1,60} = 0,3 \quad d(E_{CY})_{1,240} = 0,6$$

$$d(E_{CY})_{2,60} = 1,3 \quad d(E_{CY})_{2,240} = 1,5$$

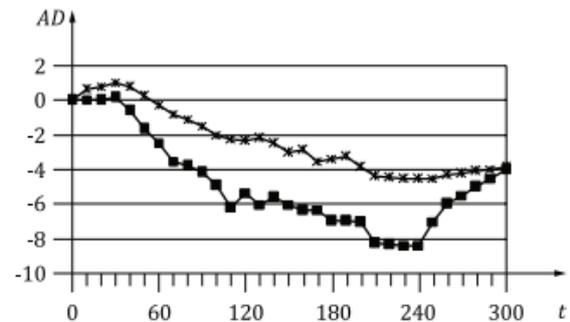
б) E_{CY} график



$$d(E_{BY})_{P1,60} = 0,5 \quad d(E_{BY})_{P1,240} = 1,6$$

$$d(E_{BY})_{P2,60} = 0,5 \quad d(E_{BY})_{P2,240} = 1,4$$

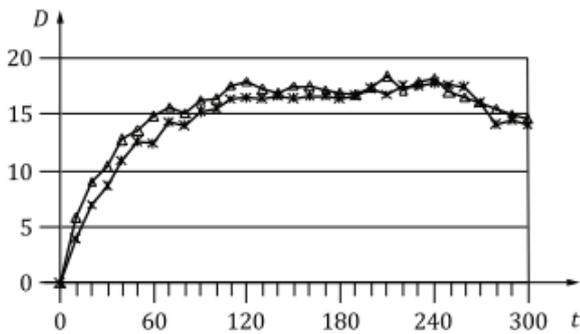
с) E_{BY} график



$$d(E_{AY})_{P1,60} = 1,9 \quad d(E_{AY})_{P1,240} = 5$$

$$d(E_{AY})_{P2,60} = 2,1 \quad d(E_{AY})_{P2,240} = 8,2$$

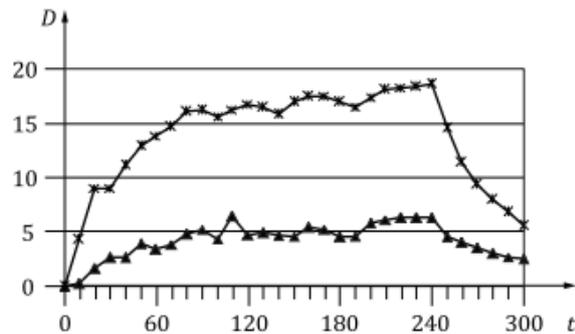
д) E_{AY} график



$$d(E_{XY})_{P1,60} = 12 \quad d(E_{XY})_{P1,240} = 16,5$$

$$d(E_{XY})_{P2,60} = 15 \quad d(E_{XY})_{P2,240} = 17$$

е) E_{XY} график



$$d(E_{ZY})_{P1,60} = 15 \quad d(E_{ZY})_{P1,240} = 18$$

$$d(E_{ZY})_{P2,60} = 4 \quad d(E_{ZY})_{P2,240} = 7$$

ф) E_{ZY} график

—△— P1; —×— P2; AD – угловая деформация в угловой секунде;

D – линейная деформация в мкм; t – время в минутах

Рисунок 13 — Пример результатов измерений для измерения тепловой деформации, вызванной перемещением линейных направляющих

8 Тепловая деформация, вызванная вращательным движением компонентов

8.1 Общие сведения

Это испытание проводится для определения тепловой деформации, создаваемой вращающейся системой позиционирования станка, наблюдаемой между заготовкой и режущим инструментом. Испытание показывает величину изменения положения и ориентации вращающегося компонента в двух угловых положениях, из-за термических воздействий на шкалы станка и деформаций (скручивание и изгиб) конструкции станка, вызванных локальным выделением тепла во время периода прогрева. Это испытание проводится только на станках с числовым программным управлением (ЧПУ).

Детали станка способны сохранять свою форму при нагревании только в том случае, если тепловое расширение может быть точно одинаковым во всех точках его конструкции, то есть если бы были только температурные градиенты во времени, а не в пространстве, и, если коэффициент теплового расширения одинаков. Но на практике в конструкции станка всегда есть температурный градиент при наличии локальных источников тепла, таких как электродвигатели, а также трение в подшипниках, муфтах и в гидравлике.

Из-за температурных градиентов различные компоненты станка расширяются в разной степени, создавая напряжения и угловые деформации в виде скручивания и изгиба конструкции станка.

Измерения, описанные в этом пункте, выявляют влияние всех тепловых деформаций, упомянутых выше в указанном положении(ях) в рабочем объеме. Эти воздействия количественно определяются как изменение положения прецизионной сферы, установленной с радиальным смещением относительно средней линии оси вращающегося компонента.

8.2 Методы испытаний

8.2.1 Целевые позиции

Для поворотных головок и поворотных столов с диапазоном вращения менее 360° выбираются три (на равном расстоянии друг от друга) целевые позиции, две из которых находятся вблизи конечных точек вращательного движения. Если диапазон

ГОСТ ISO 230-3–202

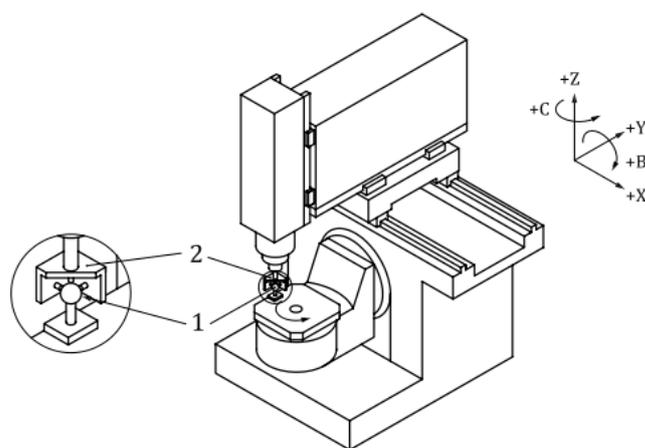
(Проект, RU, окончательная редакция)

перемещения более 360° , выбираются четыре целевые позиции на расстоянии 90° друг от друга для обнаружения:

- 1) линейных тепловых деформаций в направлениях X, Y, Z;
- 2) угловых тепловых деформаций в направлениях A, B, C;
- 3) радиальных тепловых деформаций.

8.2.2 Испытательная установка

Прецизионная сфера должна быть установлена на вращающемся компоненте с радиальным смещением от оси вращения. Гнездо датчика линейного смещения, содержащее три датчика (выровненных вдоль осей координат станка), должно быть установлено на противоположном конце конструктивного контура для измерения смещения между режущим инструментом и стороной заготовки станка в центре сферы. Пример установки поворотных столов представлен на рисунке 14. Другие установки, предоставляющие аналогичную информацию, также приемлемы (см. ISO 230-7).



1 – прецизионная сфера; 2 – специальное приспособление с гнездом датчика

Рисунок 14 — Типовая установка для измерения тепловой деформации, вызванной поворотным столом

Должны быть проведены измерения изменений в положениях сферы, соответствующих целевым позициям оси вращения, с диапазоном перемещения, равным или превышающим 360° (P1, P2, P3, P4) (см. рисунок 15). Из соответствующих показаний датчика в каждой целевой позиции рассчитываются изменение местоположения, ориентации, а также радиальная и осевая деформация вращающегося компонента. Для расчета этих деформаций вдоль оси вращения в направлении C следует

использовать формулы (55) – (62). Следует отметить, что аналогичные результаты можно получить с использованием данных измерений, соответствующих другим комбинациям целевых позиций.

$$d(E_{XOC})_t = [(P_{x1} + P_{x2})/2]_t - [(P_{x1} + P_{x2})/2]_{t0}, \quad (55)$$

$$d(E_{YOC})_t = [(P_{y1} + P_{y2})/2]_t - [(P_{y1} + P_{y2})/2]_{t0}, \quad (56)$$

$$d(E_{ZOT})_t = [(P_{z1} + P_{z2})/2]_t - [(P_{z1} + P_{z2})/2]_{t0}, \quad (57)$$

$$d(E_{ROT})_t = [(P_{x1} + P_{x2})/2]_t - [(P_{x1} + P_{x2})/2]_{t0}, \quad (58)$$

$$d(E_{AOC})_t = [(P_{z3} - P_{z4})_t - (P_{z3} - P_{z4})/2]_{t0}/l, \quad (59)$$

$$\text{or } d(E_{AOC})_t = [(P_{z3} - (P_{z1} + P_{z2})/2)_t - (P_{z3} - (P_{z1} + P_{z2})/2)_{t0}]/l', \quad (60)$$

$$d(E_{BOC})_t = -[(P_{z1} - P_{z2})_t - (P_{z1} - P_{z2})/2]_{t0}/l, \quad (61)$$

$$d(E_{COC})_{P1,t} = [(P_{y1} - P_{y2})_t - (P_{y1} - P_{y2})/2]_{t0}/l. \quad (62)$$

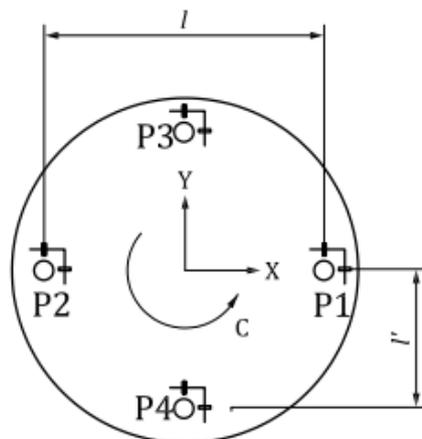
где l и l' – расстояния между целевыми позициями, используемыми для расчета углов (например, P1 и P2);

t_0 – начало испытательного периода;

t – конец периода цикличности оси;

P_{x1} – показание датчика перемещения в направлении оси X, расположенного в целевой позиции P1.

Примечание — Для перемещения прецизионной сферы в гнездо датчика необходимы перемещения других линейных осей станка, поэтому повторяемость этих линейных перемещений влияет на результаты измерений.



$P1, P2, P3, P4$ – целевые позиции измерения; l, l' – расстояния между целевыми позициями, используемые для расчета угловых деформаций

Рисунок 15 — Пример установки поворотного стола с поворотом на 360° с четырьмя целевыми позициями $P1$ – $P4$ (для гнезда датчиков показаны только два датчика)

8.2.3 Испытательный цикл

Испытательный цикл состоит из двух периодов времени: 4 часа вращения оси и 1 час охлаждения. Измерения могут быть прерваны, когда изменение деформации, отмеченное в течение последних 60 минут, составляет менее 15 % деформаций, зарегистрированной в течение первого часа испытания. В случаях, когда наблюдается установленный порядок действий (например, периодическая настройка инструмента), испытания должны проводиться в течение периода времени, в течение которого повторяются соответствующие события, или в любой другой срок, согласованный между поставщиком/производителем и пользователем. После каждого испытания должно быть выделено достаточное время, чтобы станок мог остыть.

Начиная с целевой позиции $P1$, где станок остается в состоянии покоя достаточно долго (время ожидания) для записи показаний датчиков смещения, поворотный компонент должен быть запрограммирован на перемещение в целевые позиции $P2$ и $P3$ (и $P4$, если применимо), где соответствующий набор показаний смещения снимается после перемещения гнезда датчика в эти позиции посредством движения линейных осей. После регистрации измерений в $P1$ гнездо датчика отсоединяется от целевой сферы, а поворотный стол перемещается в целевую позицию $P2$. Затем гнездо датчика перемещается в эту позицию посредством движения линейных осей. Вслед поворотный компонент непрерывно вращается в течение определенного периода времени, после которого снимаются показания смещения в целевых позициях.

Период непрерывного вращения основан на соглашении между поставщиком/производителем и пользователем. Затем эта последовательность испытаний должна повторяться до конца периода цикла оси, записывая данные в целевых позициях. Запрограммированная скорость вращения должна быть процентом от максимальной программируемой скорости вращения. Время выдержки в каждой целевой позиции должно быть минимальным и необходимым для снятия показаний. Процент и время выдержки должны быть указаны в стандартах, специфичных для станка. Разное время выдержки и скорость вращения имеют разное тепловложение и, следовательно, могут вызвать разное количество тепловой деформации. Время выдержки и скорость вращения в этих испытаниях могут быть изменены на основе соглашений, достигнутых между поставщиком/производителем и пользователем.

Точная процедура измерений должна быть указана.

По окончании периода цикла оси вращающийся компонент должен быть остановлен в первом целевом позиции; каждые 5 минут он должен перемещаться во все остальные целевые позиции для снятия показаний, а затем снова остановиться в первом положении до окончания периода охлаждения.

8.2.4 Измерения температуры

Измерения температуры в некоторых точках станка могут быть полезны для правильной интерпретации результатов. Например, повышение температуры вращающегося компонента может быть главным образом причиной линейного расширения, тогда как повышение температуры поверхностей подшипников и последующий температурный градиент внутри неподвижной части (станины или колонны) могут быть причиной изгибных деформаций.

Полезные позиции для датчиков температуры могут быть выбраны следующим образом:

- датчик углового положения (если возможно);
- область, близкая к источникам трения (обычно температура повышается между ротором и статором из-за трения в подшипниках);
- область на противоположной стороне конструкции станка (например, дно станины);
- стол;
- шпиндельная головка.

Во время этих испытаний следует контролировать температуру окружающей среды не реже одного раза в 5 мин⁷⁾.

8.2.5 Представление результатов

Для каждой оси вращения станка должны быть представлены графики трех линейных и угловых деформаций (X, Y, Z, A, B, C) и радиальной деформации в зависимости от времени (соответствующие осям X, Y и Z станка).

На каждом из этих графиков должны быть указаны величины отклонений от начальных значений, а не абсолютные значения.

Кроме того, должны быть предоставлены графики температуры окружающей среды и температуры станка, измеренные во время испытания в зависимости от времени. Результаты зависят от повторяемости позиционирования оси станка, подвергаемой испытанию, и осей станка, перемещаемых для проведения измерений.

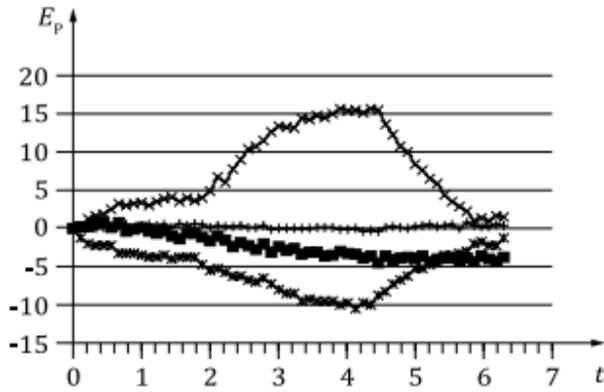
Пример набора таких графиков показан на рисунке 16.

Вместе с графиками должны быть представлены следующие параметры:

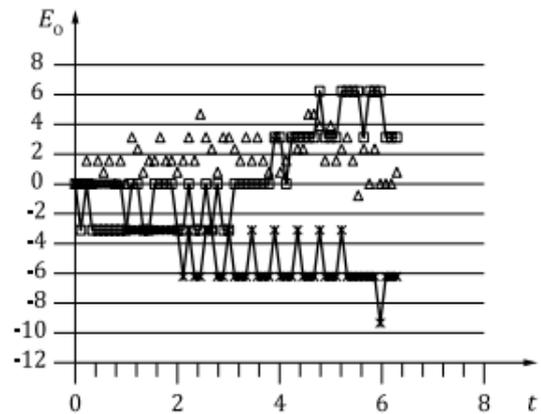
- a) скорость поворотного перемещения;
- b) время выдержки;
- c) начальное и конечное положение точек;
- d) радиальное смещение целевой сферы;
- e) осевое смещение целевой сферы (если применимо);
- f) возможности и используемые средства компенсации;
- g) средства измерений и установка;
- h) расположение датчика температуры;
- i) используемый коэффициент теплового расширения (если применимо);
- j) время и дата проведения испытания;
- k) процедуры прогрева (включая период времени процедур прогрева);
- l) температура измеряемого объекта в начале и в конце испытания;
- m) положительное направление отклонения положения, если оно отличается от систем координат, показанных на рисунках 1, 2, 3, 8 и 9;
- n) состояние любых систем подачи, например, смазки, гидравлики, подачи воздуха, охладителей, если применимо.

⁷⁾ Некоторые системы компенсации температуры показывают время цикла короче 5 мин. В таких случаях частота мониторинга может быть соответственно увеличена.

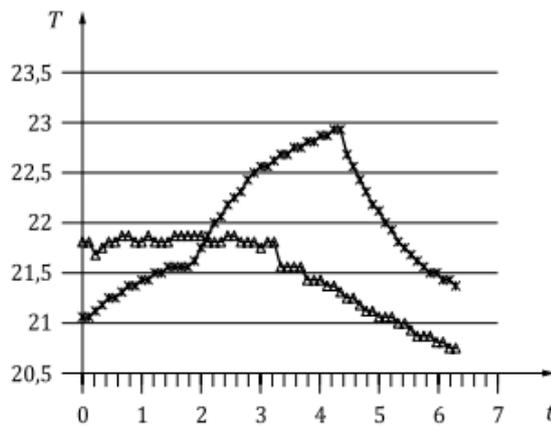
(Проект, RU, окончательная редакция)



а) Погрешность положения и размера, вызванной тепловой деформацией



б) Погрешность ориентации, вызванной тепловой деформацией



в) Изменение температуры во время испытания

t – время в ч; T – температура в °C; \triangle – температура окружающей среды в °C; \times – температура рабочего пространства в °C; E_p – погрешность положения в мкм; E_0 – погрешность ориентации в мкм/м; $\text{---}\text{---}$ – E_{XOC} погрешность положения оси С в направлении X; $\text{---}\text{---}$ – E_{YOC} погрешность положения оси С в направлении Y; $\text{---}\text{---}$ – E_{ZOT} смещение поворотного стола в осевом направлении; $\text{---}\text{---}$ – E_{ROT} расширение поворотного стола в радиальном направлении; $\text{---}\text{---}$ – E_{AOC} погрешность ориентации оси С вокруг оси X; $\text{---}\text{---}$ – E_{BOC} погрешность ориентации оси С вокруг оси Y; $\text{---}\text{---}$ – E_{COC} погрешность ориентации оси С вокруг оси С

Рисунок 16 — Примеры результатов измерений тепловой деформации, вызванной вращающимися компонентами станка

Приложение А (справочное)

Информация о датчиках линейного перемещения

А.1 Общие сведения

Существует три категории датчиков линейного перемещения, которые обычно используются для выполнения измерений, описанных в настоящем стандарте: механические, электронные и оптические датчики.

А.2 Механические датчики

А.2.1 Общие сведения

Механические датчики состоят из корпуса с круговой градуированной шкалой и контактной точки, соединенной со спиралью или зубчатой передачей, так что стрелка на циферблате указывает величину перемещения контактной точки. Обычные испытания можно проводить с помощью механических датчиков с разрешением 0,01 мм, но для более точных испытаний следует использовать механические датчики с разрешением 0,001 мм.

А.2.2 Меры предосторожности при использовании

Подчеркивается, что основными характеристиками этих средств измерений являются:

- а) нелинейность;
- б) большой гистерезис;
- в) экстремальные значения измерительного усилия в начале и в конце хода щупа;
- г) максимальное локальное изменение измерительной силы (эта сила обычно имеет разные значения для движений плунжера внутрь и наружу в каждой позиции хода);
- д) повторяемость при использовании в перевернутом положении.

Рекомендуются индикаторы часового типа с коротким ходом и, в частности, с низким гистерезисом и небольшим усилием контакта.

Если механические датчики используются для проверки тепловой деформации, вызванной вращающимся шпинделем, то испытательную оправку необходимо центрировать или снимать показания при постоянном угловом положении шпинделя.

А.3 Электронные датчики

А.3.1 Общие сведения

Электронные датчики контактного или бесконтактного типа выдают цифровой или аналоговый выходной сигнал, который пропорционален величине перемещения его измери-

тельной головки или цели. Три распространенных типа электронных датчиков — это линейные переменные дифференциальные трансформаторы (ЛПДТ), вихретоковые датчики и емкостные датчики. Для испытаний, описанных в настоящем стандарте, используются электронные датчики с разрешением 0,001 мм или лучше.

А.3.2 Контактные электронные датчики

А.3.2.1 Общие сведения

Датчики контактного типа требуют, чтобы щуп датчика касался целевой поверхности, смещение которой необходимо измерить. Примерами таких датчиков являются ЛПДТ и инкрементальные датчики длины. ЛПДТ обеспечивают аналоговый выходной сигнал, пропорциональный смещению его щупа. Инкрементальный датчик длины использует линейный энкодер (магнитный или оптический) для измерения смещения щупа и обеспечивает цифровой выходной сигнал.

А.3.2.2 Меры предосторожности при использовании

Опоры для механических и электронных зондов имеют достаточную жесткость, чтобы предотвратить нежелательные ошибки. Стальной щуп электронного зонда плунжерного типа устанавливается перпендикулярно проверяемой поверхности, чтобы избежать неточностей.

А.3.3 Бесконтактные электронные датчики

А.3.3.1 Вихретоковые датчики

А.3.3.1.1 Общие сведения

Принцип вихревых токов занимает особое место в группе индуктивных методов измерения. Принцип основан на потере энергии в колебательном контуре, вызванной генерацией вихревых токов в электропроводящей мишени. Если катушка, встроенная в датчик, питается переменным током высокой частоты, а датчик расположен в непосредственной близости от металлической пластины, то электромагнитное поле катушки датчика создает вихревые токи в этой мишени.

А.3.3.1.2 Меры предосторожности при использовании

Выходной сигнал и линейность зависят от электрических и магнитных свойств испытательного шпинделя и состояния его поверхности.

Требуется индивидуальная линеаризация и калибровка.

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

Из-за высокой частоты генератора максимальная длина кабеля датчика ограничена примерно 12–18 м.

A.3.3.2 Емкостные датчики

A.3.3.2.1 Общие сведения

Системы измерения емкостного смещения основаны на функционировании идеальных пластинчатых конденсаторов. Если расстояние между двумя электродами конденсатора изменяется, то изменяется и значение напряжения конденсатора. В бесконтактном измерении смещения два пластинчатых электрода состоят из датчика и мишени. Если электрод конденсатора датчика питается переменным током постоянной частоты, то амплитуда этого переменного тока пропорциональна расстоянию от электрода датчика до мишени. Мишень функционирует как заземляющий электрод.

A.3.3.2.2 Меры предосторожности при использовании

Эта система чувствительна к изменениям диэлектрика в измерительном зазоре и поэтому может использоваться только в чистой и сухой среде.

Максимальная длина кабеля датчика ограничена влиянием кабеля на колебательный контур.

Расстояние измерения увеличивается пропорционально диаметру датчика, что, в свою очередь, приводит к увеличению диаметра точки измерения.

A.4 Оптические датчики

A.4.1 Лазерные оптические триангуляционные измерительные датчики

A.4.1.1 Общие сведения

Импульсный лазерный луч проецируется на поверхность мишени и оттуда отражается обратно на приемник, находящийся в том же корпусе, что и передатчик.

A.4.1.2 Меры предосторожности при использовании

Эта система в некоторой степени зависит от текстуры поверхности объекта испытаний.

Для передачи и отражения луча требуется чистая среда.

Размеры датчика важны (по сравнению с вихретоковыми и емкостными датчиками).

A.4.2 Лазерный сканирующий микрометр

A.4.2.1 Общие сведения

Это средство измерений изначально было разработано для измерения диаметров проволоки и труб. Система состоит из лазерного источника света, призмы сканирования луча, системы измерения угла поворота, временной развертки и двух связанных матриц CCD, которые определяют положение луча. Диаметр мишени и ее центральное положение рассчитываются из положения луча и скорости вращения призмы. Одна система может измерять как центральное положение оправки, так и ее диаметр, так что можно обнаружить любое изменение положения средней линии оси шпинделя станка.

A.4.2.2 Меры предосторожности при использовании

Точность и ее повторяемость зависят от усредняющих чисел. Если требуется точность лучше, чем 0,001 мм, то требуется более 100 измерений. Источнику лазера требуется время на разогрев, поэтому для получения точных измерений также необходимо предварительно провести нагрев.

A.5 Испытание температурной стабильности датчиков линейного перемещения

Температурная стабильность датчиков для тепловых испытаний важна. Некоторые датчики смещения состоят из различных видов материалов. Эта смесь создает сложную тепловую деформацию датчиков. Перед использованием системы датчиков для тепловых испытаний, описанных в настоящем стандарте, проверяется тепловое поведение самой системы датчиков.

Основная процедура испытания (так называемое испытание на герметичность) выглядит следующим образом:

а) рекомендуется подготовить специальные приспособления, которые жестко удерживают корпус датчика и его мишень. Материал приспособлений должен быть двух типов. Первое приспособление, изготовленное из стали, используется для проверки деформации датчика относительно стальных компонентов, которые обычно используются для изготовления станков и измерительных приспособлений. Второе приспособление, изготовленное из материала с низким коэффициентом расширения, используется для обнаружения абсолютной деформации датчика;

б) необходимо прикрепить проверяемый датчик к специальному приспособлению. Расстояние L между точкой крепления и целевой поверхностью должно быть таким же, как в измерительной установке, которая будет использоваться в реальных процедурах испытаний

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

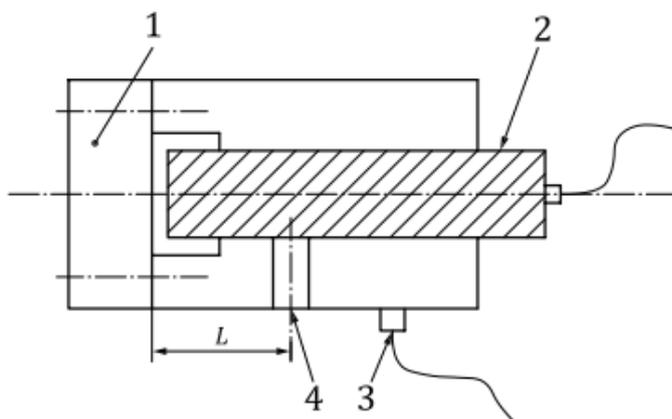
(см. рисунок А.1). Это расстояние напрямую влияет на тепловую деформацию измерительной системы;

с) необходимо прикрепить датчик температуры к поверхности приспособления для измерения изменения его температуры;

d) необходимо поместить испытательную систему в климатическую камеру (камеру с регулируемой температурой) или любую другую среду с изменяемой температурой;

е) искусственно изменить температуру и проверить выход датчика и температуру. Скорость изменения температуры устанавливается медленно, чтобы позволить всем компонентам испытательной системы достичь одной температуры. Можно выполнить несколько циклов изменения температуры, чтобы определить коэффициент расширения датчика, нелинейность и задержку по времени;

f) в некоторых случаях усилительный блок датчиков также может иметь некоторое температурное влияние. Поэтому полезно проверить производительность усилителя, применив ту же процедуру испытания.



1 – мишень (САР); 2 – датчик линейного перемещения; 3 – датчик температуры; 4 – крепежный болт;
L – расстояние между точкой крепления датчика линейного перемещения и целевой поверхностью

Рисунок А.1 — Типовая установка для проверки крышки датчика

Приложение В (справочное)

Рекомендации по необходимому количеству датчиков линейных перемещений

В настоящем стандарте описывается использование пяти датчиков линейного перемещения для измерения линейных тепловых деформаций вдоль осей X, Y и Z, а также угловых тепловых деформаций вокруг осей X и Y. Некоторые станки с числовым программным управлением (ЧПУ), такие как токарные станки с числовым программным управлением и плоскошлифовальные станки, не требуют измерений смещения во всех трех направлениях. В этих случаях количество датчиков линейного перемещения, необходимых для проведения измерений тепловых деформаций, может быть уменьшено. В таблице В.1 приведены некоторые примеры необходимого количества датчиков линейного перемещения для различных типов станков. Эта таблица служит только в качестве примера для пояснения конфигурации датчиков линейного перемещения. Аналогичные конструкции станков могут использовать аналогичные конфигурации датчиков смещения.

Для станков небольшого размера может быть сложно установить датчики. В этом случае измерения углового отклонения можно не проводить.

Количество датчиков линейного перемещения может быть увеличено для получения более точных измерений. Для компенсации теплового расширения испытательной оправки и крепления датчика используются девять датчиков перемещения, как показано на рисунке В.1.

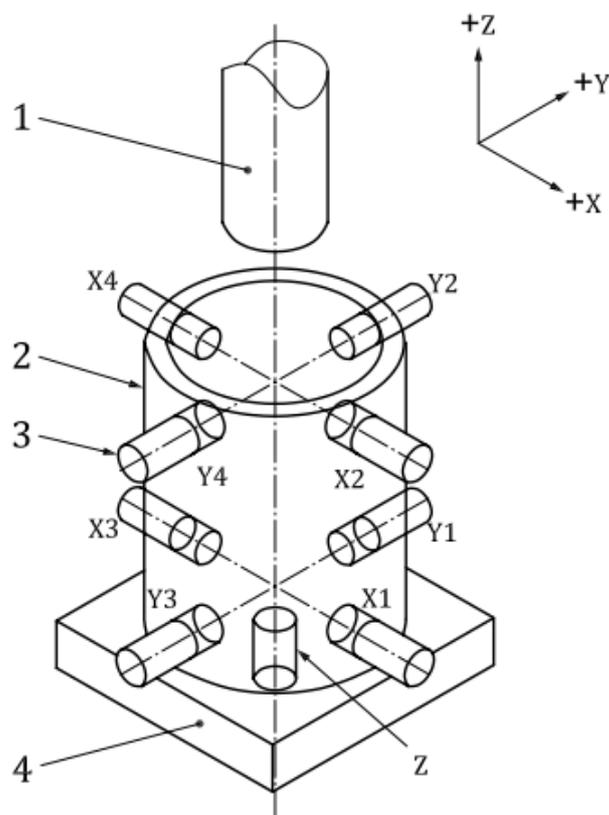
Таблица В.1 — Количество датчиков перемещения для различных станков с числовым программным управлением

	X1	X2	Y1	Y2	Z	Общий
Горизонтальный обрабатывающий центр	*	*	*	*	*	5
Вертикальный обрабатывающий центр	*	*	*	*	*	5
Токарный станок с числовым программным управлением	*	*			*	3
Токарный центр	*	*	*	*	*	5
Плоскошлифовальный станок (согласно ISO 1986-1)			*	*	(*)	2(3)
Профильный плоскошлифовальный станок	*	*	*	*	*	5
Сверлильный станок	*		*			2
Расточный станок	*	*	*	*	(*)	4(5)
Внутренний шлифовальный станок	*	*	*	*	*	5
Цилиндрический шлифовальный станок	*	*			*	3
Лобзиковый шлифовальный станок	*	*	*	*		4

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

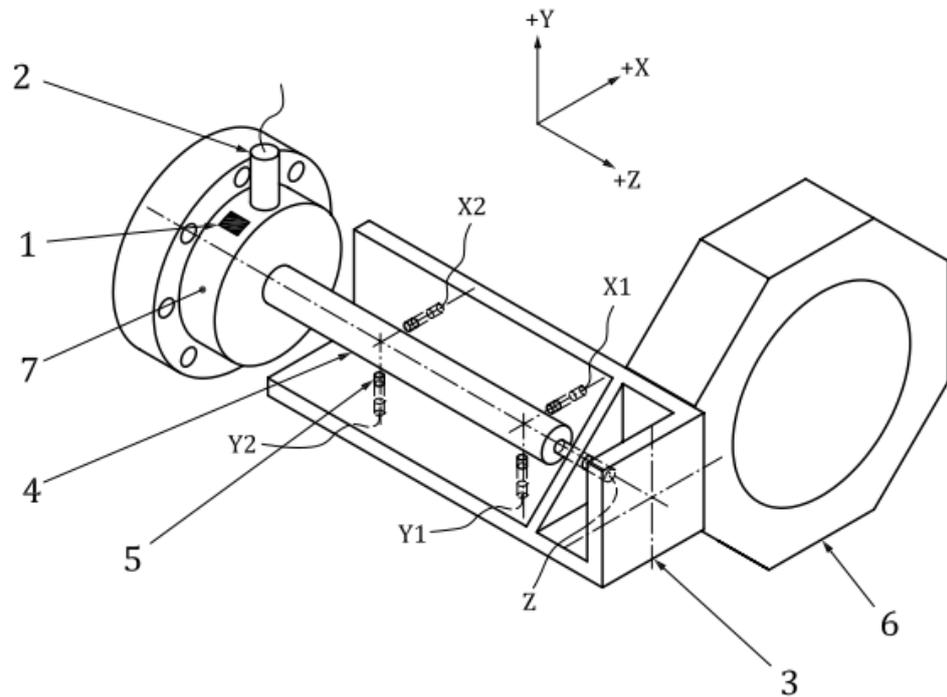
Некоторые типы линейных датчиков смещения, такие как вихретоковые датчики или волоконно-оптические датчики, подвержены влиянию неоднородности материала. В таких случаях детектор углового положения или вращательный триггер с соответствующим программным обеспечением для сбора/анализа данных полезен для предотвращения этого эффекта. На рисунке В.2 показан пример крепления вращательного триггера к измерительной установке.



1 – испытательный стержень; 2 – основная рама;

3 – датчик линейного перемещения (см. X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4 и Z); 4 – база

Рисунок В.1 — Конфигурация из девяти датчиков для компенсации теплового расширения оправки и приспособления



- 1 – метка триггера; 2 – оптический датчик; 3 – приспособление;
 4 – испытательная оправка; 5 – датчик линейного перемещения (см. X1, X2, Y1, Y2 и Z);
 6 – турель (устройство для крепления приспособлений); 7 – зажимной патрон

Рисунок В.2 — Оптический спусковой крючок для определения угла поворота шпинделя

Приложение С
(справочное)

Рекомендации по тепловому режиму станков

С.1 Общие сведения

Станки имеют множество внутренних источников тепла, которые создают неравномерное распределение температуры внутри их конструкций. Некоторые из этих источников тепла — шпиндели, двигатели шпинделей, приводные двигатели, гидравлические и пневматические приводы и т. д. Температурные градиенты вызывают структурные деформации и, следовательно, влияют на производительность станка. На производительность также сильно влияют тепловые характеристики окружающей среды. (Некоторые современные станки поставляются с собственными терморегулируемыми кожухами. В этих случаях влияние окружающей среды не так существенно.) Хотя окружающая среда может оказывать благотворное влияние на распределение температуры в конструкции станка, удаляя тепло, выделяемое внутренними источниками тепла, она также может вызывать дополнительные повышения температуры из-за конвективного и радиационного нагрева конструкции станка. Кроме того, температура охлаждающей жидкости и вспомогательного воздуха может оказывать значительное влияние на общую производительность станка.

Тепловые характеристики среды, в которой, как ожидается, будет работать станок, должны быть указаны поставщиком/производителем станка, чтобы обеспечить соответствие указанной точности. Важные параметры, определяющие эти тепловые характеристики, включают скорость, частоту и амплитуду колебаний температуры окружающей среды, среднюю температуру окружающей среды, а также горизонтальные и вертикальные градиенты температуры в окружающей среде.

С.2 Расход и скорость

Расход и скорость окружающего воздуха имеют первостепенное значение в контроле температурных изменений и градиентов компонентов станка. При более высоких расходах и скоростях требуются меньшие разности температур воздуха для отвода тепла с поверхности компонентов станка. Это означает, что компоненты с внутренними источниками тепла (например, двигатели внутри рам станка) или получающие тепло за счет излучения (например, от электрических ламп) имеют температуру, близкую к средней температуре окружающего воздуха. С другой стороны, высокие расходы воздуха и скорости имеют тенденцию вызывать дискомфорт у персонала.

С.3 Частота и амплитуда колебаний температуры

Размерный отклик объекта на изменение температуры окружающей среды зависит от его размера, коэффициента расширения и постоянной времени. Постоянную времени объекта можно оценить по его площади поверхности, коэффициенту пленки и теплоемкости. Например, стальной калибровочный блок с площадью поперечного сечения 25 мм × 25 мм и длиной 250 мм имеет постоянную времени 0,5 ч при естественной конвекции. Постоянная времени — это время, которое потребуется калибровочному блоку, чтобы достичь 63,2 % от его общего изменения после ступенчатого изменения температуры окружающей среды. Медленность реакции, или тепловая инерция, важна для спецификации сред. Высокая инерция означает, что высокочастотное изменение температуры окружающего воздуха допустимо.

Хотя различные компоненты станков могут иметь разные постоянные времени, большинство из них, как правило, характеризуются значительными тепловыми постоянными времени. Хорошие результаты часто достигаются в среде с частотой изменения температуры (в воздухе) (от 15 до 30) циклов в час и амплитудой до 0,5 °С.

С.4 Средняя температура

Выбор средней температуры окружающей среды влияет на стоимость холодильного и отопительного оборудования, изоляции и распределения потока. Эксплуатация при температуре, отличной от стандартной нормальной температуры 20 °С, приводит к потенциальным ошибкам в измерениях производительности станка, а также в обработанных деталях. Оценка последствий температур, отличных от 20 °С, на измерения длины может быть получена путем расчета разницы между расчетным расширением шкалы станка и расширением детали или испытательного оборудования. Однако неопределенности, связанные с измерениями температуры и фактическим коэффициентом теплового расширения используемых материалов, приводят к неопределенности этой оценки. Кроме того, эта процедура не всегда проста в случаях, отличных от измерений длины. Например, рассмотрим случай чугунной станины станка, где отливка может иметь как толстостенные, так и тонкостенные секции, физический состав материала может быть неоднородным, что приводит к неоднородному коэффициенту теплового расширения. Величина такого изменения коэффициента расширения может достигать 5 %. Если неравномерность распределена как вертикальный градиент, то повышение и понижение средней температуры приводит к изгибу, аналогичному тому, который вызывается вертикальным градиентом температуры. Этого можно избежать только путем строгого контроля температуры на уровне 20 °С, что может быть очень трудно реализовать в типичной среде механического цеха.

С.5 Температурные градиенты

Существование градиентов подразумевает, что разные части среды имеют разные средние температуры, и что последствия отклонений средних температур от 20 °С варьируются в зависимости от расположения в помещении. Дополнительная сложность возникает, когда эти температурные градиенты изменяются во времени. Перемещение компонентов станка или заготовок из одной области в другую приводит к изменению геометрической картины отклонения.

Температурные градиенты оказывают разнообразное влияние на станки. Например, станок с высокой вертикальной колонной (движение Z) имеет прогрессирующее позиционное отклонение вдоль оси Z на единицу движения, если есть вертикальный температурный градиент. Кроме того, если вертикальный суппорт несет длинную консольную пиноль, то она претерпевает кратковременное изменение длины при подъеме или опускании. Вертикальные градиенты также вызывают изгиб горизонтальных направляющих, что приводит к угловым и прямолинейным движениям.

Температурные градиенты возникают из-за источников тепла, которые существуют в границах окружающей среды. Основными источниками тепла являются солнце, электрические осветительные приборы, приводные двигатели для салазок и шпинделей, электрическое и электронное оборудование, а также люди. Типовое помещение, в котором присутствуют и работают только электрические осветительные приборы, номинально имеет градиент менее 0,2 °С на метр в любом направлении. Однако то же самое помещение с установленным оборудованием может иметь температурные градиенты в 10 – 20 раз выше вблизи поверхностей станка, электрических шкафов и т. д. Увеличение расхода охлаждающей среды снижает температурные градиенты.

Пользователи станков должны учитывать вышеупомянутые экологические воздействия при испытании и использовании этих станков. Для того чтобы гарантировать, что станок работает в пределах указанных допусков, поставщик/производитель станков должен предоставить рекомендуемые экологические характеристики, в которых должен работать станок. Пример (не предлагаемый и не типичный) такой экологической тепловой спецификации приведен в таблице С.1.

Т а б л и ц а С.1 — Пример требований к температуре окружающей среды

Диапазон температур, в котором может быть достигнута указанная точность:	От 17 °С до 23 °С
Диапазон безопасных рабочих температур:	От 10 °С до 40 °С
Изменение температуры в час:	1 °С

Окончание таблицы С.1

Изменение температуры за 24-часовой период:	5 °С
Изменение температуры в машинном пространстве:	0,5 °С/м
Диапазон температур охлаждающей жидкости:	От 18 °С до 22 °С
Диапазон температур воздуха в системе водоснабжения:	От 18 °С до 25 °С

Приложение D
(справочное)

Альтернативные средства измерений и устройства

D.1 Устройство для измерения ПТОС и тепловой деформации конструкции, вызванной вращающимся шпинделем

Измерительное устройство состоит из короткой испытательной оправки, шести бесконтактных датчиков линейного перемещения и крепления для датчиков. Установка измерительного устройства и расположение датчиков показаны на рисунке D.1. Три датчика S_a , S_b и S_c , расположенные в радиальном направлении, используются для обнаружения тепловых отклонений $d(E_{XOC})$ и $d(E_{YOC})$ в направлениях X и Y. Отклонения можно рассчитать по выходным сигналам трех датчиков без учета теплового и центробежного расширения испытательной оправки, а также теплового расширения приспособления в радиальном направлении. Тепловые отклонения $d(E_{XOC})$ и $d(E_{YOC})$ и радиальное расширение ΔR выражаются формулой (D.1), где знак сигналов датчиков положительный, когда датчики удаляются от испытательной оправки. Для устранения влияния погрешности круглости и биения испытательной оправки до обработки выходного сигнала датчика рекомендуется использовать усреднение по времени или фильтр нижних частот.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & -1 \\ -\sin \beta & \cos \beta & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} d(E_{XOC}) \\ d(E_{YOC}) \\ \Delta R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{pmatrix} \quad (D.1)$$

$d(E_{XOC})$, $d(E_{YOC})$ и ΔR в формулах (D.2) – (D.4) выводятся из формулы (D.1) следующим образом.

$$d(E_{XOC}) = \frac{S_a(\cos \alpha - \cos \beta) + S_b(\cos \beta - 1) + S_c(1 - \cos \alpha)}{(\cos \beta - 1) \sin \alpha + (\cos \alpha - 1) \sin \beta}, \quad (D.2)$$

$$d(E_{YOC}) = \frac{-S_a(\sin \alpha + \sin \beta) + S_b \sin \beta + S_c \sin \alpha}{(\cos \beta - 1) \sin \alpha + (\cos \alpha - 1) \sin \beta}, \quad (D.3)$$

$$\Delta R = \frac{-S_a \sin(\alpha + \beta) + S_b \sin \alpha + S_c \sin \beta}{(\cos \beta - 1) \sin \alpha + (\cos \alpha - 1) \sin \beta}. \quad (D.4)$$

Три датчика S_d , S_e и S_f , расположенные напротив торцевой поверхности испытательной оправки, используются для обнаружения линейного отклонения $d(E_{ZOC})$ в осевом направлении (направление Z) и угловых отклонений $d(E_{AOC})$ и $d(E_{BOC})$. Торцевая поверхность испытательной оправки должна быть плоскостной и перпендикулярной оси оправки,

(Проект, RU, окончательная редакция)

поскольку эти отклонения напрямую влияют на неопределенность измерения. Чтобы минимизировать такую неопределенность, можно использовать оправку со сферическими концами или прецизионные сферы. Если знаки выходных сигналов датчиков такие же, как и радиальное направление, то линейное отклонение $d(E_{ZOC})$ и угловые отклонения $d(E_{AOC})$ и $d(E_{BOC})$ вокруг осей X и Y определяются формулой (D.5).

$$\begin{bmatrix} 1 & -R_0 & 0 \\ 1 & -R_0 \cos \theta & -R_0 \sin \theta \\ 1 & -R_0 \cos \varphi & -R_0 \sin \varphi \end{bmatrix} \begin{pmatrix} d(E_{ZOC}) \\ d(E_{AOC}) \\ d(E_{BOC}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_d \\ S_e \\ S_f \end{pmatrix} \quad (D.5)$$

где R_0 это расстояние между датчиком и осью шпинделя в начале измерения.

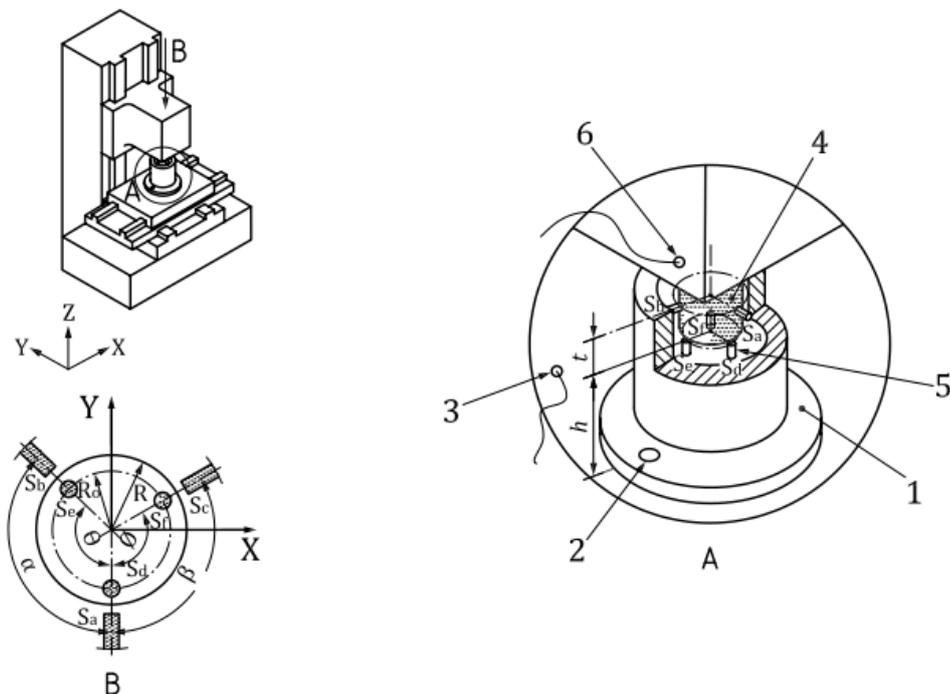
Отклонения $d(E_{ZOC})$, (E_{AOC}) и $d(E_{BOC})$ выражаются формулами (D.6) – (D.8).

$$d(E_{ZOC}) = \frac{S_d \sin(\theta + \phi) - S_e \sin \phi + S_f \sin \theta}{(\cos \phi - 1) \sin \theta + (\cos \theta - 1) \sin \phi} \quad (D.6)$$

$$d(E_{AOC}) = \frac{S_d(\cos \alpha - \cos \beta) - S_e \sin \phi + S_f \sin \theta}{R_0\{(\phi - 1) \sin \theta + (\cos \theta - 1) \sin \phi\}} \quad (D.7)$$

$$d(E_{BOC}) = \frac{S_d(\cos \alpha - \cos \beta) + S_e(\cos \phi - 1) + S_f(1 - \cos \theta)}{R_0\{(\cos \phi - 1) \sin \theta + (\cos \theta - 1) \sin \phi\}} \quad (D.8)$$

Рекомендуется, чтобы углы α , β , θ и ϕ , радиусы R_0 и R , а также высоты h и t (см. рисунок D.1) были записаны в листе данных.



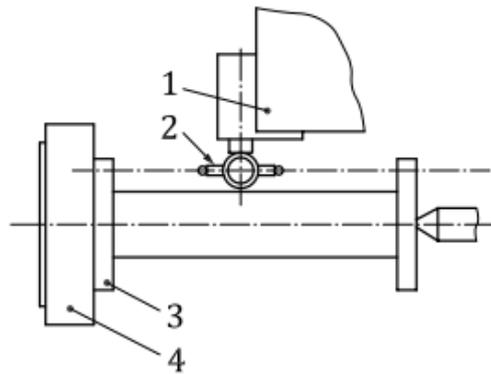
- 1 – крепление для датчика; 2 – приспособление, прикрученное к столу;
 3 – датчик температуры окружающего воздуха; 4 – испытательная оправка; 5 – датчики смещения;
 6 – датчик температуры подшипника шпинделя; S_a , S_b , S_c – датчики радиального смещения;
 S_d , S_e , S_f – датчики осевого смещения

Рисунок D.1 — Альтернативная установка для испытаний ПТОС и тепловой деформации конструкции, вызванной вращающимся шпинделем, а также тепловой деформации, вызванной перемещением линейной оси на вертикальном обрабатывающем центре

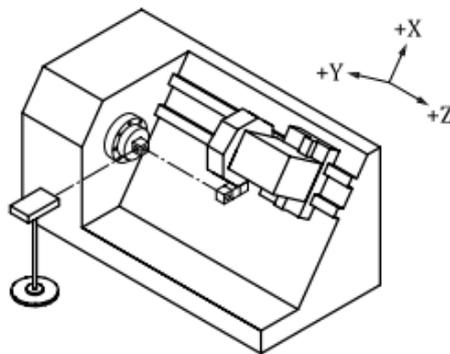
Это измерительное устройство может измерять тепловое смещение оси шпинделя, не отражая влияния теплового и центробежного расширения испытательной оправки, а также теплового расширения крепления для датчиков в направлениях X и Y. Однако влияние теплового расширения испытательной оправки в направлении Z можно уменьшить, укоротив испытательную оправку настолько это возможно, хотя небольшое влияние все еще остается. При выборе испытательной оправки необходимо учитывать максимальную безопасную скорость вращения.

D.2 Альтернативные установки для измерения тепловой деформации, вызванной линейным движением компонентов

Некоторые станки, такие как токарные станки и круглошлифовальные станки, могут не нуждаться в угловых измерениях для проверки тепловой деформации из-за движущихся компонентов. В таких случаях альтернативные установки измерения, представленные на рисунке D.2, являются достаточными для проверки лишь удлинения линейного хода.



а) Установка с двумя циферблатными индикаторами



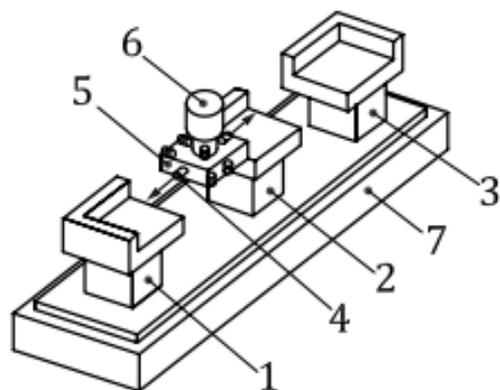
б) Установка с лазерным интерферометром

1 – стойка для инструмента; 2 – калибр; 3 – испытательный предмет; 4 – зажимной патрон

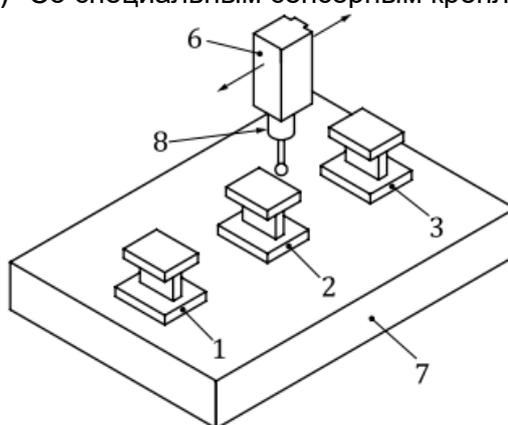
Рисунок D.2 — Типовые установки для измерения тепловой деформации, вызванной перемещением салазки по оси Z токарного станка с ЧПУ

Примечание — Для установки может потребоваться подпружиненная задняя бабка, чтобы компенсировать расширение станины станка или артефакта

В некоторых случаях измерения, проводимые в середине диапазона перемещения, наряду с данными, полученными на обоих концах, могут выявить интересные тепловые характеристики. Для получения данных в середине диапазона перемещения можно установить центральный целевой блок, как показано на рисунке D.3.



а) Со специальным сенсорным креплением



б) С контактным триггерным зондом

1 – левая цель; 2 – центральная цель; 3 – правая цель; 4 – датчик зазора;
5 – сенсорное приспособление; 6 – шпиндель станка; 7 – машинный стол;
8 – сенсорный датчик запуска

Рисунок D.3 — Альтернативные установки с использованием центрального целевого блока

Приложение ДА
(справочное)**Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам**

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 230-1:2012	IDT	ГОСТ ISO 230-1–2018 «Нормы и правила испытаний станков. Часть 1. Геометрическая точность станков, работающих на холостом ходу или в квазистатических условиях»
Примечание – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: IDT – идентичный стандарт.		

Библиография

- [1] ISO 1:2016 Geometrical product specifications (GPS) — Standard reference temperature for the specification of geometrical and dimensional properties (Геометрические свойства продукта (GPS). Стандартная эталонная температура для определения геометрических и размерных свойств)
- [2] ISO 230-7:2015 Test code for machine tools — Part 7: Geometric accuracy of axes of rotation (Нормы и правила испытаний металлорежущих станков — Часть 7: Геометрическая точность осей вращения)
- [3] ISO/TR 230-11:2018 Test code for machine tools — Part 11: Measuring instruments suitable for machine tool geometry tests (Нормы и правила испытаний металлорежущих станков — Часть 11: Измерительные инструменты, применяемые при геометрических испытаниях станков)
- [4] ISO 841 Industrial automation systems and integration — Numerical control of machines — Coordinate system and motion nomenclature (Системы промышленной автоматизации и интеграция — Числовое программное управление станками — Система координат и обозначение перемещений)
- [5] ISO 1986-1 Test conditions for surface grinding machines with horizontal grinding wheel spindle and reciprocating table — Testing of the accuracy — Part 1: Machines with table length of up to 1 600 mm (Условия испытаний плоскошлифовальных станков с горизонтальным шлифовальным шпинделем и возвратно-поступательным движением стола — Проверка точности — Часть 1: Станки со столом длиной до 1600 мм)
- [6] ISO/TR 16015 Geometrical product specifications (GPS) Systematic errors and contributions to measurement uncertainty of length measurement due to thermal influences (Геометрические

характеристики изделий — Систематические погрешности и их составляющие при оценке неопределенности измерений длины из-за термических воздействий)

- [7] ANSI B89.6.2:1988 Temperature and Humidity Environment for Dimensional Measurement (Температура и влажность окружающей среды для измерения размеров)

- [8] Mayr J. et al. 2012) “Thermal issues in machine tools”, Annals of the CIRP, v61(2):771-791 (Майр Дж. и др., 2012) “Тепловые проблемы в станкостроении”, Летописи CIRP, v61(2): 771-791)

- [9] Meck M. et al. 2002) “Reduction and compensation of thermal error in machine tools”, Annals of the CIRP, v44(2):589-598 (Мек М. и др., 2002) “Уменьшение и компенсация температурных погрешностей в станках”, Летописи CIRP, v44(2): 589-598)

- [10] Bryan J. 1990) “International status of thermal error research”, Annals of the CIRP, v39(2):645-656 (Брайан Дж., 1990) “Международный статус исследований тепловых погрешностей”, Летописи CIRP, v39(2): 645-656)

- [11] Bryan J. 1969) “International status of thermal error research”, Annals of the CIRP, v16(2):203-215 (Брайан Дж., 1969) “Международный статус исследований тепловых погрешностей”, Летописи CIRP, т. 16(2): 203-215)

ГОСТ ISO 230-3–202

(Проект, RU, окончательная редакция)

УДК 621.9.08:006.354

МКС 25.080.01

IDT

Ключевые слова: металлорежущие станки, испытание, термическое воздействие, тепловое расширение

Руководитель

организации-разработчика:

Проректор по инновационной деятельности

УУНиТ

Г.К. Агеев

Руководитель разработки:

Заведующий кафедрой

стандартизации и метрологии

Э.В. Сафин

Заведующий кафедрой

автоматизации технологических процессов

Р.А. Мунасыпов

Доцент кафедры

автоматизации технологических процессов

С.И. Фецак

Инженер кафедры

автоматизации технологических процессов

Е.А. Козлов

Инженер кафедры

стандартизации и метрологии

А.И. Нигматуллина

Ответственный секретарь ТК 070 «Станки»

Д.С. Шуткова

Начальник отдела нефтегазового,

теплогенерирующего оборудования и

станкостроения Департамента машиностроения и

цифровых технологий

ФГБУ «Институт стандартизации»

И.А. Щипаков