

---

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ  
(EASC)

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

---



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТАНДАРТ

ГОСТ  
**ISO 10791-10**—  
(проект, RU, оконча-  
тельная редакция)

---

## ЦЕНТРЫ ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ

### Условия испытаний

### Часть 10

### Оценка тепловых деформаций

(ISO 10791-10:2022, Test conditions for machining centres Part 10: Evaluation of thermal distortions, IDT)

*Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его принятия*

Минск  
Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации

## **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 учреждением «Российский институт стандартизации» на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 70 «Станки»

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (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 10791-10:2022 «Условия испытаний обрабатывающих центров. Часть 10. Оценка тепловых деформаций» («Test conditions for machining centres Part 10: Evaluation of thermal distortions», IDT).

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

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6).

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 Общие требования .....	
4.1 Единицы измерения .....	
4.2 Ссылка на ISO 230-3 .....	
4.3 Средства измерений .....	
4.4 Последовательность проведения испытаний .....	
4.5 Проводимые испытания .....	
4.6 Схемы испытаний .....	
4.7 Допуски .....	
4.8 Коррекция с помощью программного обеспечения .....	
5 Тепловые испытания.....	
Приложение А (справочное) Испытания на обрабатываемость для оценки тепловых деформаций.....	
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам .....	
Библиография.....	

## **Введение**

Настоящий стандарт входит в серию стандартов ГОСТ ISO 10791 «Центры обрабатывающие. Условия испытаний», состоящую из следующих частей:

- часть 2. Контроль геометрической точности обрабатывающих центров с вертикальным шпинделем и дополнительными шпиндельными головками (вертикальная ось Z);
- часть 4. Точность и повторяемость позиционирования линейных осей и осей вращения;
- часть 5. Точность и повторяемость позиционирования палетосменного стола-спутника, несущего обрабатываемую деталь;
- часть 6. Точность скоростей и интерполяций;
- часть 7. Точность обработки испытательных образцов;
- часть 8. Оценка производительности контурной обработки в трех координатных плоскостях;
- часть 9. Оценка операционного времени смены инструмента и смены приспособления-спутника (палеты);
- часть 10. Оценка тепловых деформаций.

Обрабатывающий центр является станком с числовым программным управлением, способным выполнять различные операции механической обработки, включая фрезерование, расточку, сверление и нарезание резьбы, а также автоматическую смену инструмента из магазина или подобного накопителя в соответствии с установленной на станке программой.

Предметом серии стандартов ГОСТ ISO 10791 является максимально широкая и полная информация о методах контроля обрабатывающих центров, которые могут быть применены во время их проверки, приемки, технического обслуживания.

Нормы и правила проведения контроля обрабатывающих центров с горизонтальным или вертикальным шпинделем, или с дополнительными шпиндельными головками различных типов, распространяются как на обрабатывающие центры, работающие автономно, так и на интегрированные в гибкие производственные системы. Стандарты серии ГОСТ ISO 10791 устанавливают также допуски, т. е. максимально допустимые значения для результатов контроля, соответствующие основному назначению и нормативной точности обрабатывающих центров.

Требования стандартов серии ГОСТ ISO 10791 допускается применять также, в целом или частично, к фрезерным и расточным станкам, если их компоновка, основ-

**ГОСТ ISO 10791-10–202**

*(проект, RU, окончательная редакция)*

ные узлы и их перемещения совместимы с методами контроля, описанными в настоящем стандарте.

**ЦЕНТРЫ ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ****Условия испытаний****Часть 10****Оценка тепловых деформаций**

Machining centres. Test conditions. Part 10. Evaluation of thermal distortions

Дата введения –

**1 Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает требования к испытаниям для оценки тепловых деформаций конструкции станка и системы позиционирования для обрабатывающих центров с числовым программным управлением с вертикальным шпинделем и линейными осями длиной по оси X до 5000 мм и по осям Y и Z до 2000 мм. Это также относится к обрабатывающим центрам с числовым программным управлением с горизонтальным шпинделем и линейными осями длиной по оси X до 5000 мм, по оси Y до 3200 мм и по оси Z до 2000 мм.

В настоящем стандарте приведены четыре вида испытаний:

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

Настоящий стандарт предназначен для использования совместно с ISO 230-3.

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для тиражированных – 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 (Методы испытаний металлопе-

## **ГОСТ ISO 10791-10–202**

*(проект, RU, окончательная редакция)*

жущих станков. Часть 1. Точность геометрических параметров станков, работающих на холостом ходу или на чистовых режимах)

ISO 230-3:2020 Test code for machine tools – Part 3: Determination of thermal effects (Методы испытаний металлорежущих станков. Часть 3. Определение теплового воздействия)

### **3 Термины и определения**

В настоящем стандарте применяются термины и определения, приведенные в ISO 230-1:2012 и ISO 230-3:2020.

ИСО и МЭК поддерживают терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- онлайн платформа для просмотра ISO – доступна по адресу <https://www.iso.org/obp>

- электопедия IEC – доступна по адресу <https://www.electropedia.org/>

### **4 Общие положения**

#### **4.1 Единицы измерения**

В настоящем стандарте все линейные размеры, отклонения и соответствующие допуски выражены в миллиметрах. Все угловые размеры даны в градусах. Угловые отклонения и соответствующие допуски выражены в отношениях (например 0,00х/1000), но в некоторых случаях для наглядности применены микро радианы или угловые секунды. Для преобразования угловых отклонений или допусков следует использовать равенство:

$$0,010/1000 = 10 \text{ мкрад } (\mu\text{rad} - \text{микро радиан}) \approx 2''.$$

Значения температур выражены в градусах Цельсия (°C).

#### **4.2 Ссылка на ISO 230-3**

При применении настоящего стандарта следует руководствоваться требованиями ISO 230-3:2020, подраздел 4.4, особенно при установке станка перед испытаниями, при описании методов измерения и представления результатов – требованиями ISO 230-3:2020, разделы 5–8.

#### **4.3 Средства измерений**

Средства измерений, рекомендуемые в настоящем стандарте приведены только в качестве примеров. Допускается использовать другие средства измерений, аналогичного качества, имеющих такие же или меньшие погрешности измерений, обеспечивающие требуемую точность измерения. См. ISO 230-3:2020, подраздел 4.3.

#### **4.4 Последовательность проведения испытаний**

Последовательность проведения испытаний, указанная в настоящем стандарте, не является обязательной. Для упрощения установки и настройки средств измерения допускается проводить испытания в любой последовательности, удобной для исполнителя и согласованной с изготовителем. Перед каждым испытанием станок должен находиться в тепловом равновесии с окружающей средой. Необходимо планировать и соблюдать достаточное время для охлаждения станка между испытаниями, как правило, не меньшее, чем время теплового испытания, при котором детали станка нагревались.

#### **4.5 Проводимые испытания**

При испытании станка не всегда необходимо или возможно провести все испытания, описанные в настоящем стандарте. Если испытания требуются для целей приемки, пользователь должен выбрать, по согласованию с поставщиком/изготовителем, те испытания, относящиеся к компонентам и/или свойствам станка, которые представляют для него интерес. Эти испытания должны быть четко указаны при заказе станка. Простая ссылка на настоящий стандарт при проведении приемно-сдаточных испытаний без указания на то, какие испытания должны быть проведены, и без согласования соответствующих расходов не может считаться обязательной для какой-либо договаривающейся стороны.

В приложении А представлены три испытания на механическую обработку для оценки тепловых деформаций обрабатывающих центров, которые могут быть выполнены в качестве дополнительных испытаний к тепловым испытаниям, указанным в разделе 5.

#### **4.6 Схемы испытаний**

С целью упрощения схем испытаний с T1 по T4, в настоящем стандарте в каждом приложении приведен только один тип станка.

#### **4.7 Допуски**

Настоящий стандарт не устанавливает каких-либо величин допусков, связанных с указанными испытаниями. Величины допусков для каждого параметра должны быть согласованы между изготовителем/поставщиком и пользователем.

#### **4.8 Коррекция с помощью программного обеспечения**

Если программные средства, основанные на соглашении между производителем/поставщиком и пользователем, доступны для коррекции некоторых геометрических погрешностей, соответствующее испытание может быть проведено с учетом

## ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

этих коррекций. Если используется коррекция программного обеспечения, то ее следует указать в протоколе испытаний.

### 5 Тепловые испытания

<b>Цель испытания</b>		<b>T1</b>				
Проверка погрешности изменения температуры окружающей среды (ETVE)						
<b>Схема</b>						
<p>1 – датчик температуры окружающего воздуха; 2 – датчик температуры подшипника шпинделя; 3 – контрольная оправка; 4 – датчики линейных перемещений; 5 – крепежное приспособление; 6 – болт для крепления крепежного приспособления; <math>l</math> – расстояние между точками измерения P1 и P2; P1 – точка измерения 1; P2 – точка измерения 2; X1, X2, Y1, Y2, Z – датчики линейных перемещений.</p>						
<b>Допуск</b>						
<b>Измеренные отклонения</b>						
Параметр	Время	$E_{TVE}(X)$	$E_{TVE}(Y)$	$E_{TVE}(Z)$	$E_{TVE}(A)$	$E_{TVE}(B)$
	мин	мм	мм	мм	мм/мм	мм/мм
<b>Средства измерений</b>						
Датчики температуры, датчики линейных перемещений и контрольная оправка						
<b>Замечания и ссылки на ISO 230-3:2020, пункты 5.2 и 5.3</b>						
<p>Данные испытания (ETVE) предназначены для выявления влияния изменений температуры окружающей среды на станок в отношении прогиба или деформации станка, или его деталей. Они не должны использоваться для сравнения станков.</p> <p>Изготовитель/поставщик должен предоставить рекомендации относительно типа теп-</p>						

ловой среды, которая должна быть приемлемой для работы станка с заданной точностью. Пользователь несет ответственность за обеспечение приемлемой тепловой среды для работы. Однако, если пользователь следует рекомендациям производителя/поставщика станка, ответственность за работоспособность станка в соответствии со спецификацией переходит к производителю/поставщику станка.

Торцевая поверхность контрольной оправки должна быть надлежащей плоскостности и перпендикулярности к оси оправки, поскольку эти отклонения непосредственно влияют на погрешность измерений.

Оси могут нагреваться, когда оси станка находятся в режиме «УДЕРЖАНИЕ» (сервопривод включен), особенно если они расположены в вертикальном направлении. В таких случаях испытание  $E_{TVE}$  следует проводить при всех выключенных элементах управления. Это должно быть указано в протоколе испытаний.

$E_{TVE}(Z)$  – это максимальный диапазон тепловых деформаций в направлении  $Z$  за время испытания.  $E_{TVE}(Y)$  и  $(X)$  могут быть определены аналогичным образом для двух других направлений. Информацию о  $E_{TVE}(A)$  и  $E_{TVE}(B)$  см. в ISO 230-3:2020.

В дополнение к числовым значениям измеренных погрешностей следует предоставить графическое представление результатов в соответствии с ISO 230-3:2020, пункт 5.4.

Необходимо записать следующую информацию:

- a) марку и модель станка;
- b) год выпуска станка, при наличии;
- c) серийный номер станка;
- d) дату и время испытания;
- e) расположение измерительной установки;
- f) расположение датчиков температуры;
- g) тип датчиков;
- h) конструкция и материал испытательной оправки и приспособления;
- i) процедура термокомпенсации;
- j) наличие специальных процедур испытаний;
- k) процедура подготовки станка перед испытаниями;
- l) включение или выключение электропитания;
- m) положительное направление тепловой деформации (если оно отличается от системы координат).

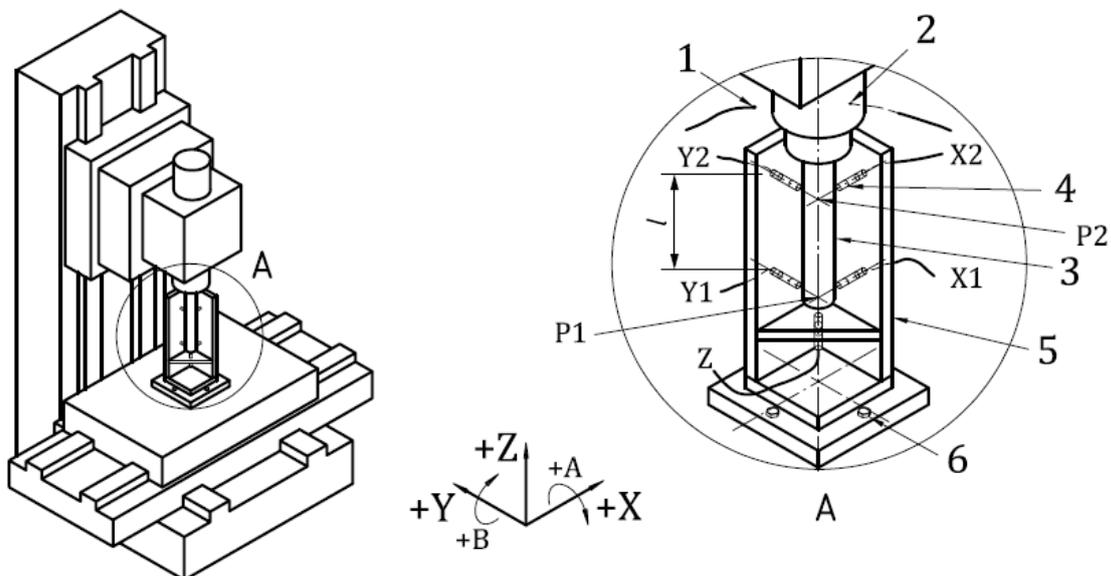
**ГОСТ ISO 10791-10–202**  
(проект, RU, окончательная редакция)

**Цель испытания**

**T2**

Проверка тепловой деформации, вызванной вращением шпинделей.  
Для каждого шпинделя необходимо провести одно испытание.

**Схема**



1 – датчик температуры окружающего воздуха; 2 – датчик температуры подшипника шпинделя; 3 – контрольная оправка; 4 – датчики линейных перемещений; 5 – крепежное приспособление; 6 – болт для крепления крепежного приспособления;  $l$  – расстояние между точками измерения P1 и P2; P1 – точка измерения 1; P2 – точка измерения 2; X1, X2, Y1, Y2, Z – датчики линейных перемещений

**Допуск**

**Измеренные отклонения**

	X1, мм	Y1, мм	Z, мм	A, мм/мм	B, мм/мм
В течение первых 60 минут	$d(E_{X0(C)})_{P1,60}$ = ...	$d(E_{Y0(C)})_{P1,60}$ = ...	$d(E_{Z0(C)})_{60}$ = ...	$d(E_{A0(C)})_{60}$ = ...	$d(E_{B0(C)})_{60}$ = ...
После окончания периода $t = \dots$	$d(E_{X0(C)})_{P1,t}$ = ...	$d(E_{Y0(C)})_{P1,t}$ = ...	$d(E_{Z0(C)})_t$ = ...	$d(E_{A0(C)})_t$ = ...	$d(E_{B0(C)})_t$ = ...
Расстояние, $l = \dots$					

**Средства измерений**

Датчики температуры, датчики линейных перемещений и контрольная оправка

**Замечания и ссылки на ISO 230-3:2020, пункт 6.2**

Пользователь и производитель/поставщик должны договориться о том, используется ли постоянная частота вращения шпинделя или диапазон изменения частоты вращения. В случае постоянной частоты вращения шпинделя они также должны согласовать используемую частоту вращения шпинделя. Для диапазона частот вращения с переменной частотой вращения они должны согласовать частоту вращения шпинделя и продолжительность

временных интервалов.

**Примечание** – Возможный диапазон изменения частоты вращения – это процент от максимальной частоты вращения шпинделя за заданный период времени, за которым следует остановка шпинделя на другой фиксированный период времени (например, максимальная частота вращения шпинделя остановкой). Затем этот цикл повторяется для полного тестирования. Точные параметры диапазона скоростей могут быть согласованы между пользователем и производителем/поставщиком.

Продолжительность испытания – 4 ч плюс 1 ч при остановленном шпинделе.

В дополнение к числовым значениям погрешностей измерений следует предоставить графическое представление результатов в соответствии со стандартом ISO 230-3:2020, пункт 6.4.

Необходимо записать следующую информацию:

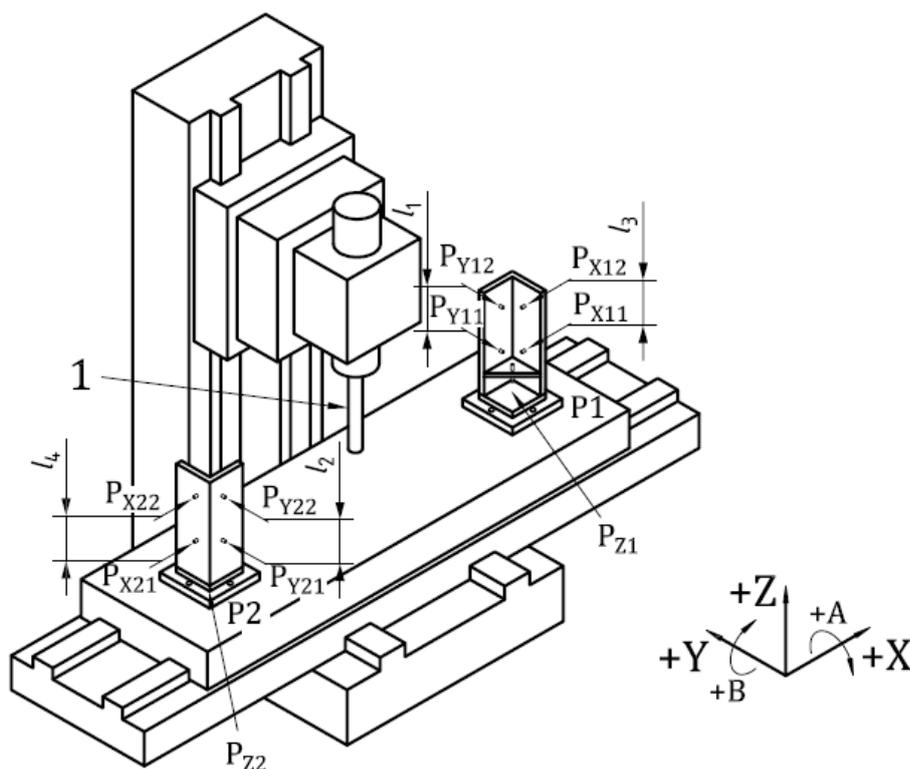
- a) марку и модель станка;
- b) год выпуска станка, при наличии;
- c) серийный номер станка;
- d) дату и время испытания;
- e) расположение измерительной установки;
- f) расположение датчиков температуры;
- g) тип датчиков;
- h) конструкция и материал контрольной оправки и приспособления;
- i) процедура термокомпенсации;
- j) наличие специальных процедур испытаний;
- k) процедура подготовки станка перед испытаниями;
- l) режим частоты вращения шпинделя, например, постоянная частота вращения шпинделя или диапазон изменения частоты вращения (см. ISO 230-3:2020, пункт 6.2);
- m) положительное направление тепловой деформации (если оно отличается от системы координат);
- n) относительное положение шпинделя во время измерения.

Цель испытания

T3

Проверка тепловых деформаций, вызванных перемещением линейных осей

Схема



1 – контрольная оправка;  $l_1, l_2, l_3, l_4$  – расстояние между датчиками, используемыми для расчета угловых искажений на оправке;  $P_{X11}, P_{X12}, P_{Y11}, P_{Y12}, P_{Z1}$  – датчики линейных перемещений в положении P1;  $P_{X21}, P_{X22}, P_{Y21}, P_{Y22}, P_{Z2}$  – датчики линейного перемещения в положении P2.

Допуск

Измеренные отклонения

	$d(E_{XX})_{P1}$ , мм	$d(E_{YX})_{P1}$ , мм	$d(E_{ZX})_{P1}$ , мм	$d(E_{XX})_{P2}$ , мм	$d(E_{YX})_{P2}$ , мм	$d(E_{ZX})_{P2}$ , мм
Измеренные значения при $t = \dots$						
Измеренные значения при $t = \dots$						

	$d(E_{BX})_{P1}$ , мм	$d(E_{AX})_{P1}$ , мм	$d(E_{BX})_{P2}$ , мм	$d(E_{AX})_{P2}$ , мм
Измеренные значения при $t = \dots$				
Измеренные значения при $t = \dots$				

Средства измерений

Датчики температуры, датчики линейных перемещений и контрольная оправка

**Замечания и ссылки на ISO 230-3:2020, пункты 7.2 и 7.2.2**

На практике скорости подачи для основных и вспомогательных осей должны быть разными.

**Пример – Скорость подачи для главных осей устанавливается на 50 %, а для вспомогательных осей – на 20 % от максимальной скорости подачи.**

Цикл испытания должен состоять из двух периодов времени: 4 ч на прогрев оси и 1 ч на ее охлаждение. Измерения могут быть прерваны, если изменение деформации, отмеченное в течение последних 60 мин, составляет менее 15 % от деформации, зарегистрированной в течение первых 60 мин испытания.

Для каждой оси станка должны быть представлены следующие графики зависимости от времени (например, установки, показанной на диаграмме выше):

- два графика заданных координат по оси X, один с  $d(E_{XX})_{P1}$ ,  $d(E_{YX})_{P1}$ ,  $d(E_{ZX})_{P1}$ , другой с  $d(E_{XX})_{P2}$ ,  $d(E_{YX})_{P2}$ ,  $d(E_{ZX})_{P2}$ ;

- два графика вращения заданных координат, для графиков угла наклона по оси X, один с  $d(E_{BX})_{P1}$ , другой с  $d(E_{BX})_{P2}$ ;

- два графика вращения заданных координат, для графиков крена по оси X, один с  $d(E_{AX})_{P1}$ , другой с  $d(E_{AX})_{P2}$ ;

- графики зависимости температуры окружающей среды и станка во время испытаний от времени.

Расчет графиков положения и вращения по показаниям датчиков линейных перемещений см. в ISO 230-3:2020, пункт 7.2.2.

Следует отметить, что на результаты влияет повторяемость позиционирования испытуемой оси станка и осей станка, перемещаемых для проведения измерений.

Необходимо записать следующую информацию:

- a) марка и модель станка;
- b) год выпуска станка, при наличии;
- c) серийный номер станка;
- d) дата и время испытания;
- e) местоположение измерительной установки;
- f) расположение датчиков температуры;
- g) скорость подачи;
- h) время запаздывания;
- i) начальная и конечная точки;
- j) возможности и средства компенсации;
- k) использованные приборы;
- l) используемый коэффициент теплового расширения;

## ГОСТ ISO 10791-10–202

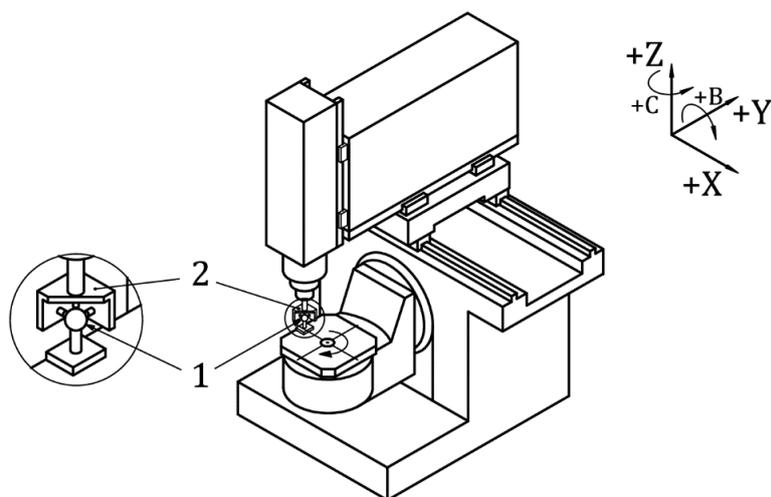
(проект, RU, окончательная редакция)

- m) процедуры разогрева;
- n) температура измеряемых объектов (например, датчика положения, направляющей, станины, стола, шпиндельной бабки и проверочной оправки. См. ISO 230-3, пункт 7.2.4);
- o) положительное направление тепловой деформации при позиционировании и вращении (если оно отличается от системы координат);
- p) конструкция и материал проверочной оправки и крепления;
- q) если необходимо, состояние любых систем подачи, например, смазки, гидравлики, подачи воздуха, охладителей.

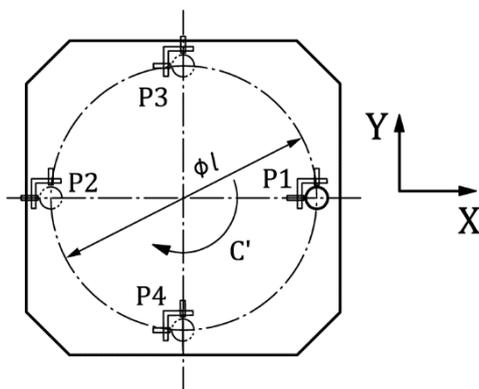
**Цель испытания**

Проверка тепловых деформаций, вызванных движением поворотной оси

**Схема**



Четыре заданных координаты P1 – P4 (только два датчика показаны для гнезда для датчиков):



1 – высокоточная сфера; 2 – специальное крепление с гнездом для датчиков; 3 – диаметр номинальной траектории центра сферы-мишени; P1, P2, P3, P4 – целевые точки измерения

Примечание – Пример установки поворотного стола с вращением на 360°.

**Допуск**

**Измеренные отклонения**

	X, мм	Y, мм	Z, мм	R, мм	A, мм/мм	B, мм/мм	C, мм/мм
Измеренные значения при $t = 0$	$d(E_{X0C})_t$	$d(E_{Y0C})_t$	$d(E_{Z0T})_t$	$d(E_{R0T})_t$	$d(E_{A0C})_t$	$d(E_{B0C})_t$	$d(E_{C0C})_t$
Измеренные значения при $t = \dots$							
Диаметр номинальной траектории центра сферы-мишени, $l = \dots$							

**Средства измерений**

Специальное приспособление с гнездом для датчиков, высокоточной сферой и датчиками температуры

**Замечания и ссылки на ISO 230-3:2020, пункт 8.2**

Данное испытание проводится для определения тепловых деформаций, возникающих в системе поворотного позиционирования станка, наблюдаемых между заготовкой и инструментом. Испытание определяет величину изменения положения и ориентации поворотного элемента в четырех угловых положениях, вызванную тепловым воздействием на шкалы станка и деформациями (скручиванием и изгибом) конструкции станка, вызванными локальным выделением тепла в период прогрева.

Для поворотных головок и поворотных столов с диапазоном поворота менее  $360^\circ$  выбираются три (равноудаленные) целевые позиции, две из которых находятся вблизи конечных точек вращательного движения. Для головок с диапазоном движения  $360^\circ$  и более выбираются четыре целевые позиции, расположенные на расстоянии  $90^\circ$  друг от друга.

Высокоточную сферу устанавливают на вращающемся компоненте с радиальным смещением от оси вращения. На противоположном конце конструктивного контура устанавливают гнездо датчиков линейных перемещений с тремя датчиками (выровненными по координатным осям станка) для измерения смещения между инструментом и заготовкой со стороны станка в центре сферы. Пример установки для поворотных столов см. на схеме выше. Допускаются и другие установки, дающие аналогичную информацию (см. ISO 230-7:2015, раздел 6).

Аналогичное испытание может быть проведено со сферой, расположенной на номинальной оси вращения. Такая установка исключает перемещение линейных осей, поэтому на результаты испытаний не влияет тепловое воздействие на погрешность линейных перемещений с отклонениями. Также исключается влияние углового отклонения позиционирования оси  $C$ ,  $E_{CC}$ . Когда сфера находится на номинальной оси вращения, она может наблюдать только  $E_{XOC}$ ,  $E_{YOC}$ , и  $E_{ZOC}$ .

Цикл испытания должен состоять из двух периодов времени: 4 ч циклического вращения оси вращения и 1 ч охлаждения. Измерения могут быть прерваны, если изменение деформации, отмеченное в течение последних 60 мин, составляет менее 15 % от деформации, зарегистрированной в течение первого часа испытания. В ситуациях, когда наблюдается шаблонная операция (например, периодическая настройка инструмента), испытания должны проводиться в течение периода времени, в течение которого повторяются соответствующие операции, или в течение любого другого периода времени, согласованного изготовителем/поставщиком и пользователем. После каждого испытания должно быть выделено достаточное время для охлаждения станка.

Начиная с одного из целевых положений, целевой точки P1, в которой станок будет находиться в состоянии покоя достаточно долго (время запаздывания) для регистрации показаний датчиков перемещения, поворотный элемент должен быть запрограммирован на перемещение в целевые точки P2 и P3 (и P4, если применимо), где будет снят соответ-

ствующий набор показаний перемещения после перемещения гнезда датчика в эти положения посредством линейного перемещения оси. Затем поворотный элемент непрерывно вращается в течение определенного периода времени, после чего снимают показания смещения в целевых точках. Период непрерывного вращения определяется по договоренности между пользователем и изготовителем/поставщиком. Эта последовательность испытаний должна повторяться до конца периода циклического вращения оси с регистрацией данных в заданных точках. Запрограммированная скорость вращения и время пребывания в каждой целевой точке определяются по договоренности между пользователем и изготовителем /поставщиком.

Точная процедура измерений должна быть зарегистрирована.

В конце периода циклического вращения оси вращающийся компонент должен быть остановлен в первой целевой точке; каждые 5 мин он должен перемещаться во все остальные целевые точки для снятия показаний, а затем снова останавливаться в первой точке до конца периода остывания.

Измерения температуры в некоторых точках станка могут быть полезны для правильной интерпретации результатов. Примеры расположения датчиков температуры см. в ISO 230-3:2020.

На основании соответствующих показаний датчиков в каждой заданной точке рассчитывают изменение положения, ориентации, а также радиальную и осевую деформацию поворотного элемента. Для оси вращения вдоль направления C (см. диаграмму выше) для расчета этих деформаций можно использовать следующие формулы.

$$d(E_{X0C})_t = [(P_{x1} + P_{x2} + P_{x3} + P_{x4})/4]_t - [(P_{x1} + P_{x2} + P_{x3} + P_{x4})/4]_{t_0}$$

$$d(E_{Y0C})_t = [(P_{y1} + P_{y2} + P_{y3} + P_{y4})/4]_t - [(P_{y1} + P_{y2} + P_{y3} + P_{y4})/4]_{t_0}$$

$$d(E_{Z0T})_t = [(P_{z1} + P_{z2} + P_{z3} + P_{z4})/4]_t - [(P_{z1} + P_{z2} + P_{z3} + P_{z4})/4]_{t_0}$$

$$d(E_{R0T})_t = [(P_{x1} - P_{x2} + P_{y3} - P_{y4})/4]_t - [(P_{x1} - P_{x2} + P_{y3} - P_{y4})/4]_{t_0}$$

$$d(E_{A0C})_t = [(P_{z3} - P_{z4})_t - (P_{z3} - P_{z4})_{t_0}]/l \text{ или } d(E_{A0C})_t = [(P_{z3} - (P_{z1} + P_{z2})/2)_t - (P_{z3} - (P_{z1} + P_{z2})/2)_{t_0}]/(l/2)$$

$$d(E_{B0C})_t = -[(P_{z1} - P_{z2})_t - (P_{z1} - P_{z2})_{t_0}]/l \text{ или } d(E_{B0C})_t = [(P_{z1} - (P_{z3} + P_{z4})/2)_t - (P_{z1} - (P_{z3} + P_{z4})/2)_{t_0}]/(l/2)$$

$$d(E_{C0C})_t = [(P_{y1} - P_{y2} - P_{x3} + P_{x4})_t - (P_{y1} - P_{y2} - P_{x3} + P_{x4})_{t_0}]/(2 \cdot l)$$

где  $l$  – это диаметр номинальной траектории центра сферы-мишени;

$t_0$  – это начало периода испытания;

$t$  – это конец периода циклического движения оси;

$P_{x1}$  – это показания датчика перемещения в направлении оси X, расположенного в целевой точке P1.

Следует отметить, что на результаты влияет повторяемость позиционирования испытуемой оси станка и осей станка, перемещаемых для проведения измерений.

Примечание – Приведенные выше формулы отличаются от формул (55) – (62) в ISO 230-3:2020, пункт 8.2. Например в ISO 230-3:2020, формула (55) рассчитывает  $d(E_{XOC})_t$ , принимая измеренное смещение  $X$  только в точках P1 и P2. В приведенных выше формулах  $d(E_{XOC})_t$  рассчитывается по всем точкам от P1 до P4. Эти формулы позволяют уменьшить влияние, например, погрешности измерения за счет эффекта усреднения.

Для каждой поворотной оси станка должны быть представлены графики трех линейных и угловых деформаций ( $X, Y, Z, A, B, C$ ), а также радиальных деформаций 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 представлены графики зависимости температуры окружающей среды и температуры станка, измеренной во время испытания, от времени.

Вместе с графиками регистрируют следующие параметры:

- a) скорость вращения;
- b) время запаздывания;
- c) точка P1 относительно оси вращения в плоскости, перпендикулярной оси вращения;
- d) радиальное смещение целевой сферы;
- e) осевое смещение целевой сферы (если применимо);
- f) использованные возможности и средства компенсации;
- g) использованные приборы и установки;
- h) расположение датчика температуры;
- i) используемый коэффициент теплового расширения (если применимо);
- j) время и дата проведения испытания;
- k) процедуры прогрева (включая время процедур разогрева);
- l) температура измеряемых объектов в начале и конце испытания;
- m) положительное направление тепловой деформации;

если необходимо, состояние любых систем подачи, например, смазки, гидравлики, подачи воздуха, охладителей.

## Приложение А (справочное)

### Испытания на обрабатываемость для оценки тепловых деформаций

#### А.1 Общие положения

ISO 10791-7:2020 устанавливает испытания на обрабатываемость при финишной обработке. Повторяя обработку детали одной и той же геометрии с постоянным интервалом времени и сравнивая геометрическую погрешность готовых деталей, можно наблюдать за изменением влияния погрешности перемещений станка на готовые испытываемые детали. В настоящем приложении приведены такие испытания на обрабатываемость. Температурные деформации станка, вызванные внутренними и/или внешними источниками тепла, обычно вносят основной вклад в результат испытания, хотя на него могут влиять и другие факторы. Испытания в А.4 и А.5 предназначены для пятикоординатных обрабатывающих центров с двумя поворотными осями, а испытание в А.3 – для всех обрабатывающих центров.

Испытание в А.5 можно рассматривать как альтернативу испытанию в А.4. Испытание по А.5 может иметь большую продолжительность, а также более длительные фазы прогрева и охлаждения (например, 4 ч фаза прогрева и 4 ч фаза охлаждения). Измерения в испытании А.5 проще; их можно проводить с помощью ручного манометра.

Испытание по А.5 обычно проводится для одной поворотной оси. Если необходимо разделить погрешности между двумя поворотными осями, то следует провести испытание по А.4. Испытание по А.5 оценивает положение готовых поверхностей в направлениях X, Y и Z, ориентацию вокруг оси X или Y, а также расширение испытываемого образца. Испытание в А.4 оценивает положение и ориентацию двух средних линий поворотной оси по отдельности.

#### А.2 Ссылка на ISO 10791-7

Для применения настоящего приложения необходимо сделать ссылку на ISO 10791-7:2020, раздел 4, особенно в отношении расположения испытываемых образцов, крепления испытываемых образцов, материала испытываемых образцов, оснастки и параметров резки, размеров испытываемых образцов.

#### А.3 Испытание на обрабатываемость для оценки деформации станка в осевом направлении инструмента

##### А.3.1 Цели испытания

Цель испытания – проверить относительное смещение центральной точки инструмента относительно испытываемого образца в осевом направлении инструмента, когда тепло непрерывно выделяется при вращении шпинделя.

Если тепловая деформация при испытании на погрешность изменения под влиянием условий окружающей среды (испытание EVE) или при испытании на тепловую деформацию, вызванную линейным или вращательным движением компонентов, имеет примерно такую

## ГОСТ ISO 10791-10-202

(проект, RU, окончательная редакция)

же амплитуду, как и при испытании на тепловую деформацию, вызванную вращением шпинделя, то данное испытание является комбинированным испытанием всех этих воздействий. В этом случае относительное смещение не может быть отнесено только к шпинделю, например, для шпинделей с термокомпенсацией.

### А.3.2 Проведение испытания и геометрическое определение испытуемого образца

На рисунке А.1 показаны номинальные геометрические размеры заготовки детали. Для достижения достаточной устойчивости и минимизации деформации можно использовать четыре болта или другие способы зажима.

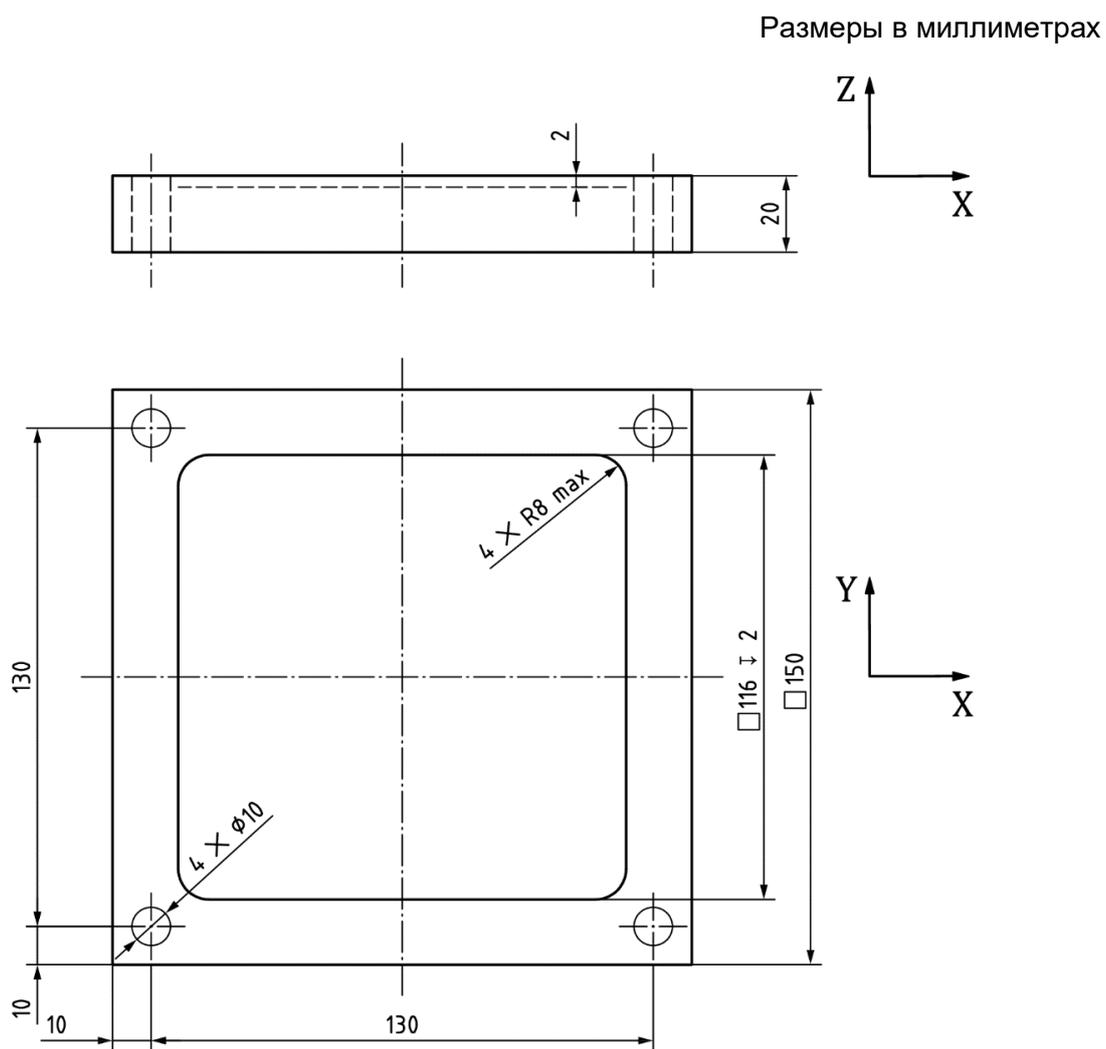


Рисунок А.1 — Заготовка для испытуемого образца

Для целей приемки изготовитель/поставщик и пользователь могут договориться об определенном цикле прогрева перед испытанием, соответствующем конкретным требованиям. Если это согласовано, испытание может быть начато без какого-либо цикла прогрева (холодный старт).



## ГОСТ ISO 10791-10–202

*(проект, RU, окончательная редакция)*

Применяемая смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) должна соответствовать типовому применению испытываемого станка. Если для испытываемого станка не определено типовое применение, все испытания на обрабатываемость должны проводиться без смазочно-охлаждающей жидкости (сухая обработка) или с минимальным количеством смазки (MQL), хотя СОЖ может быть использована по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем.

Сначала паз S1 обрабатывается методом прорезания пазов (ширина паза равна диаметру инструмента). Инструмент подается только в горизонтальном направлении, т. е. в направлении Z подачи нет. Осевая глубина резания может быть такой же, как и глубина паза (минимум 1 мм), или может быть разделена на несколько траекторий по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем. Подают инструмент во внутренний предварительно обработанный карман.

Затем во внутреннем кармане вращают шпиндель с постоянной или переменной скоростью в течение 15 мин. В течение всего испытания инструмент не должен перемещаться в направлении Z, чтобы избежать влияния погрешности линейного позиционирования по оси Z.

Затем обрабатывают паз S2, подав инструмент из внутреннего кармана во внешний. Повторяют обработку каждого паза после каждого цикла вращения шпинделя в течение 15 мин. Время начала обработки каждого кармана должно быть указано в протоколе испытаний. Шпиндель не должен останавливаться в течение всего испытания. Всего обрабатывается 16 пазов, от S1 до S16 на рисунке А.2 (около 4 ч).

Геометрические размеры образца и условия испытания могут быть изменены по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем. Номинальная глубина пазов должна быть больше, чем ожидаемая максимальная тепловая деформация станка в положительном направлении Z. Количество обрабатываемых пазов может быть уменьшено по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем.

В зависимости от времени, требуемого для достижения устойчивой тепловой деформации, время ожидания может быть изменено. Если изменение глубины паза, как описано в А.3.3, незначительное после первых 5 пазов, то испытание можно повторить с временем ожидания менее 15 мин.

Измерения температуры в некоторых точках станка могут быть полезны для правильной интерпретации результатов. Примеры расположения датчиков температуры см. в ISO 230-3:2020, 6.2. Необходимо периодически измерять и регистрировать температуру испытываемого образца на протяжении всего испытания.

Ориентация испытываемого образца должна быть отмечена на его верхней поверхности для распознавания ориентации при измерении.

### **А.3.3 Измерение**

Изменение глубины готовых пазов S2–S16 по сравнению с глубиной первого паза S1 измеряют с помощью датчика линейных перемещений, установленного на шпинделе того же станка. Измерения следует проводить после достаточного охлаждения станка. Испытуемый образец не снимают с зажима станка или крепления. Датчик линейных перемещений должен быть установлен вблизи оси шпинделя, чтобы минимизировать влияние угловой погрешности линейных перемещений.

Исследуют готовую нижнюю поверхность первого паза S1 в направлении Z. По крайней мере, четыре точки должны быть прозондированы на осевой линии, первая точка – на расстоянии 5 мм от края, остальные – на расстоянии 3 мм. Берут их среднее значение в качестве исходного положения Z (точка A на рисунке A.2). Оценивают диапазон измеренных значений Z первого паза. Аналогичным образом измеряют глубину (как среднее значение положения Z каждого паза) готовых пазов, с S2 по S16, и отмечают изменение по сравнению с глубиной первого паза, S1, а также диапазон значений Z каждого паза. Измерение S1 повторяют сразу после завершения измерения S16. Можно использовать другие средства измерения, например, контактный датчик (см. ISO 230-10:2022, 7.1).

### **А.3.4 Факторы, влияющие на неопределенность измерений**

Факторы, которые могут повлиять на неопределенность измерения, включают:

- неопределенность средства измерения,
- повторяемость измерений (выражается как максимальный диапазон значений Z всех пазов),
- шероховатость обработанных поверхностей,
- тепловые деформации испытуемого образца,
- тепловое воздействие на позиционирование станка во время измерения.

### **А.3.5 Протокол испытаний**

Пример протокола испытаний приведен в таблице А.1.

Таблица А.1 — Пример протокола испытаний

Условия резания	<ul style="list-style-type: none"><li>- обрабатываемый центр:</li><li>- дата проведения испытания:</li><li>- испытуемый образец:<ul style="list-style-type: none"><li>- материал:</li><li>- номинальные размеры пазов:</li></ul></li><li>- цикл прогрева:</li><li>- скорость вращения шпинделя:</li><li>- режущий инструмент:<ul style="list-style-type: none"><li>- диаметр:</li><li>- длина:</li><li>- количество зубьев:</li><li>- материал, покрытие:</li><li>- радиус закругления вершины:</li></ul></li><li>- параметры обработки резанием:<ul style="list-style-type: none"><li>- скорость подачи:</li></ul></li></ul>
-----------------	---

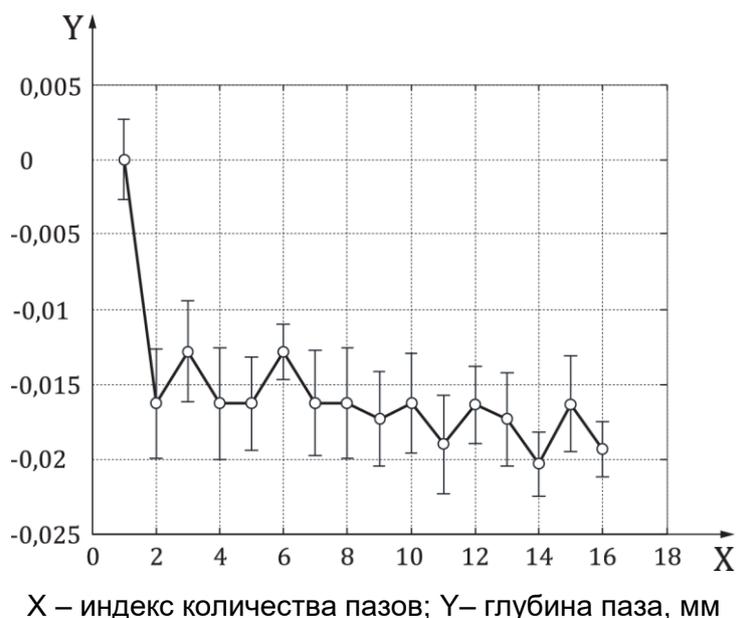
# ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

Окончание таблицы А.1

Измеренные значения	Средство измерения:				
	Номер паза	Время начала обработки, с (минимум)	Среднее значение измеренной разницы в глубине от первого паза, мм	Диапазон измеренных значений Z, мм	Температура испытуемого образца, °С
	S1	0	–		
	S2				
	S3				
	...	...	...		
	...	...	...		
	S15				
	S16				

Измеренная разница глубины паза от первого паза в зависимости от номера паза или времени обработки должна быть представлена графически. На рисунке А.3 приведен пример.



Примечание – Планки погрешностей представляют собой диапазон измеренных значений Z в каждом слоте.

Рисунок А.3 – Пример графического представления результатов испытаний

## А.4 Испытание на обрабатываемость для оценки тепловой деформации пятикоординатных обрабатывающих центров

### А.4.1 Цель испытания

Данное испытание применимо ко всем пятикоординатным обрабатывающим центрам с тремя линейными и двумя поворотными осями. Цель испытания – проверить изменение точности углового позиционирования, а также положения и ориентации средних линий поворотной оси при температурном воздействии. Испытание является расширением испытания М4 в ISO 10791-7:2020, раздел 5.

#### А.4.2 Предварительная обработка

На рисунке А.4 показаны номинальные геометрические размеры заготовки детали. Глубина резания при чистовой обработке должна быть номинально постоянной как в осевом, так и в радиальном направлениях. Радиальная и осевая глубины резания при чистовой обработке должны быть согласованы между изготовителем/поставщиком и пользователем. На рисунке А.4 показан лишь пример с припуском на чистовую обработку 0,1 мм.

Размеры в миллиметрах

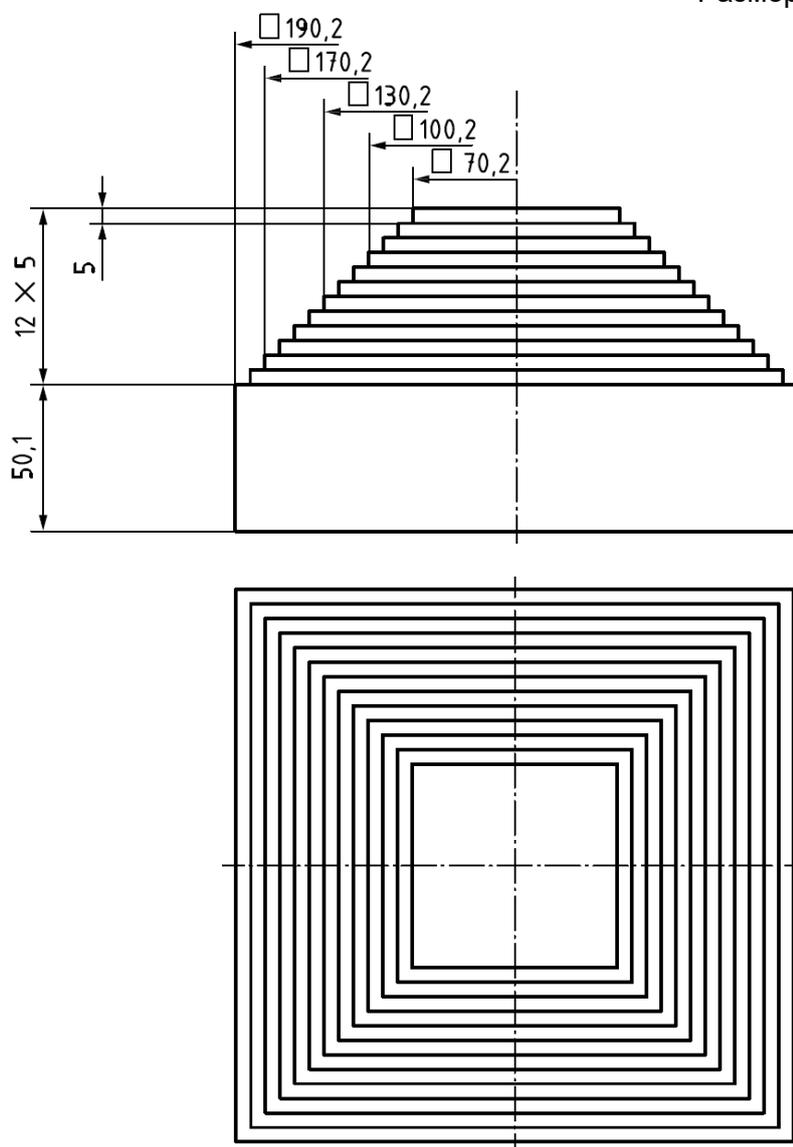


Рисунок А.4 — Форма и размеры заготовки детали с припуском на чистовую обработку

Испытуемый образец должен быть предварительно обработан только по подающим линейным осям, например, при  $B' = C' = 0^\circ$  для конфигурации станка, изображенной на рисунке А.6.

Система координат заготовки для чистовой обработки показана на рисунке А.5, должна быть определена с началом координат в положении Z на 0,1 мм ниже нижней поверхности

# ГОСТ ISO 10791-10-202

(проект, RU, окончательная редакция)

первой ступеньки на заготовке детали, так чтобы траектория чистовой обработки подчинялась осевой глубине резания 0,1 мм при  $B' = 0^\circ$ .

Чистовая обработка должна проводиться без разжимания предварительно обработанной заготовки.

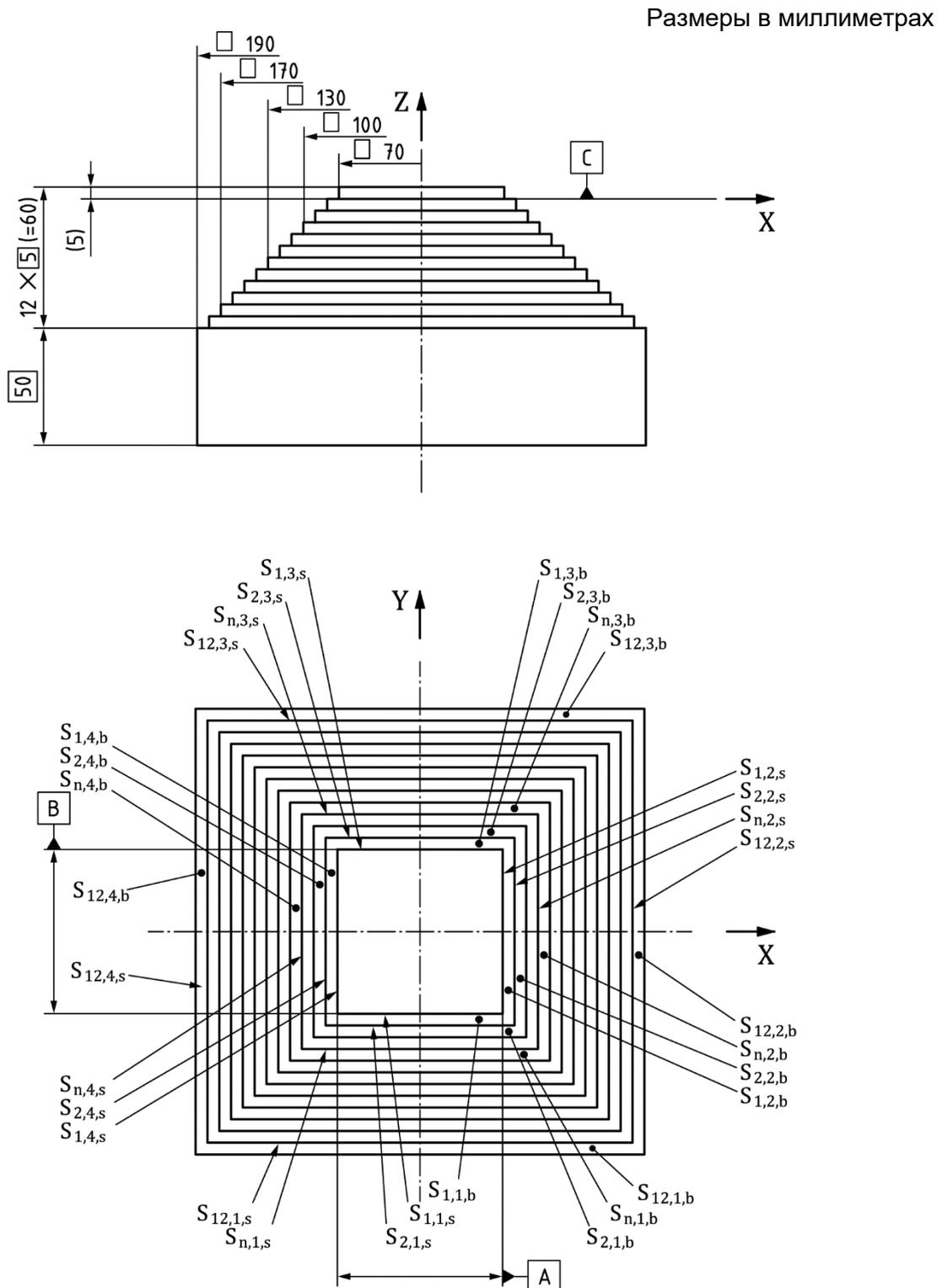
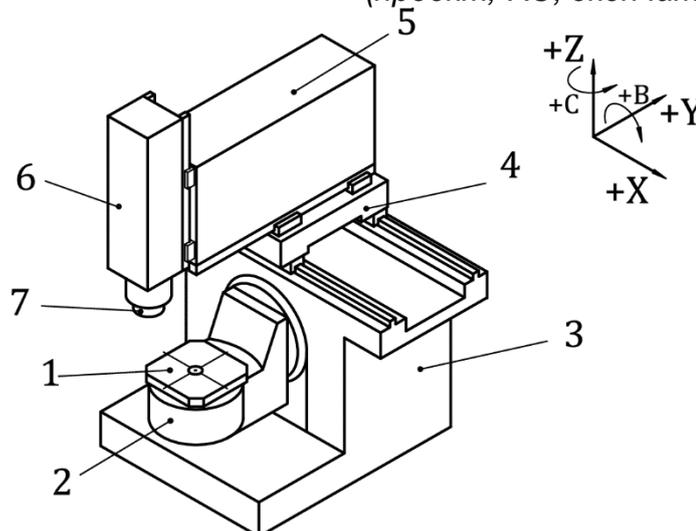


Рисунок А.5 – Геометрические размеры готового испытуемого образца



1 – поворотный стол (ось C'); 2 – наклонная подставка (ось B'); 3 – станина; 4 – седло стойки (ось X); 5 – стойка (ось Y); 6 – шпиндельная бабка (ось Z); 7 – шпиндель [ось (C1)]

Рисунок А.6 — Пример вертикального пятикоординатного обрабатывающего центра с наклонным поворотным столом [w C' B' b X Y Z (C1) f].

#### А.4.3 Геометрическое определение испытуемой детали

На рисунке А.5 показана номинальные геометрические размеры готовой испытуемой детали.

Геометрические размеры, приведенные на рисунке А.5, являются только примером. Они могут быть изменены по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем. Количество этапов (всего 12, или четыре набора, по умолчанию) может быть увеличено по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем, что может облегчить наблюдение за скоростью изменений температурных условий или приближением к устойчивому тепловому состоянию.

В зависимости от размера или формы испытуемого образца, он может быстрее реагировать на изменения окружающей среды, например, на изменения температуры, вызванные открытием или закрытием защитной дверцы станка. Это влияние может привести к различным результатам испытаний, если испытуемый образец намного больше, чем на рисунке А.5.

Тепловое воздействие на геометрические размеры готового образца может существенно зависеть от конфигурации станка. Количество этапов и интервал времени прогрева (по умолчанию 15 мин) могут быть изменены в зависимости от конфигурации станка.

На рисунке А.5,  $S_{n,m,*}$  представляет собой название каждой обработанной грани, где:

-  $n = 1, \dots, 12$ : номер этапа (самый верхний: 1)

-  $m = 1, \dots, 4$ : 1 – для боковой поверхности  $-Y$ , 2 – для боковой поверхности  $+X$ , 3 – для боковой поверхности  $+Y$  и 4 – для боковой поверхности  $-X$ .

- \*: s – для боковой поверхности, b – для нижней поверхности.

## ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

На станках с поворотной осью со стороны заготовки, она должна быть расположена соосно оси поворотного стола.

Ориентация испытуемой детали должна быть отмечена на верхней поверхности для распознавания ее ориентации при измерении.

### **A.4.4 Проведение испытания**

#### A.4.4.1 Общие сведения

Изготовитель/поставщик и пользователь могут договориться об определенном цикле прогрева перед испытанием, соответствующем конкретным требованиям. Если это согласовано, испытание может быть начато без какого-либо цикла прогрева (холодный старт).

Должна использоваться цилиндрическая торцевая фреза диаметром 10 мм или торцевая фреза для скругления углов того же диаметра, но по договоренности между изготовителем/поставщиком и пользователем может быть использован другой инструмент.

Применяемая СОЖ должна соответствовать типовому применению испытуемого станка. Если для испытуемого станка не определено типовое применение, все испытания на обрабатываемость должны проводиться без СОЖ (сухая обработка) или с минимальным количеством смазки (MQL), хотя СОЖ может быть использована по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем.

Сначала обрабатывают группу первых трех этапов, от  $S_{1,m,*}$  до  $S_{3,m,*}$  ( $m = 1, \dots, 4$  и  $* = s/b$ ), как описано в A.4.4.2 (для станков с двумя поворотными осями со стороны заготовки) или A.4.4.3 (для станков с двумя поворотными осями со стороны инструмента). Эта группа из трех этапов называется первой группой.

Затем, при убранном положении Z, выполняют цикл прогрева в течение 15 мин. Цикл прогрева должен быть согласован между изготовителем/поставщиком и пользователем. Например, вращают шпиндель с постоянной или переменной скоростью в течение 15 мин. В случае постоянной скорости вращения шпинделя они также должны договориться об используемой скорости вращения шпинделя (например, 70 % от максимальной скорости вращения шпинделя). Для диапазона переменных скоростей они должны согласовать скорости вращения шпинделя и длительность временных интервалов. Это может быть возвратно-поступательное движение линейной оси (осей) или поворотной оси, или погрешность изменения температуры окружающей среды (ETVE).

Затем повторяют описанную ниже «Последовательность обработки» для следующей группы из трех этапов, от  $S_{4,m,*}$  до  $S_{6,m,*}$  ( $m = 1, \dots, 4$  и  $* = s/b$ ). Необходимо зарегистрировать время окончания обработки для каждой группы. Это повторяется до тех пор, пока не будут обработаны все четыре группы (12 этапов).

Все грани должны быть обработаны путем повторения одного и того же пути обработки дважды (т. е. с нулевой номинальной глубиной резания). Параметры резания должны быть согласованы между изготовителем/поставщиком и пользователем станка.

А.4.4.2 Последовательность обработки (для станков с двумя поворотными осями со стороны заготовки)

Ниже показана последовательность обработки для пятикоординатного обрабатывающего центра с поворотным столом (ось С') на поворотной оси (ось В') (см. рисунок А.6). Для других конфигураций осей (например, ось С' на оси А') должна применяться аналогичная процедура.

а) Этап 1. Первый квадрат, состоящий из граней  $S_{1,m,*}$  ( $m = 1, \dots, 4$  и  $*$  = s/b), обрабатывают торцевой фрезой с использованием двух линейных перемещений (по осям X и Y). См. рисунок А.7 а).

Направление резания может быть согласовано между изготовителем/поставщиком и пользователем. Оно должно быть одинаковым на всех этапах с 1 по 3. Направление резания, изображенное на рисунке А.7 (вверх), является лишь примером.

б) Этап 2. Второй квадрат обрабатывают торцевой фрезой со следующей последовательностью обработки:

- при  $B' = 0^\circ$  и  $C' = 0^\circ$  обрабатывают поверхность  $S_{2,1,s/b}$  подачей в направлении X, а затем обрабатывают поверхность  $S_{2,2,s/b}$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7 б);

- поворачивают испытуемый образец по оси С' на  $180^\circ$ . Аналогично обрабатывают грани  $S_{2,3,s/b}$  и  $S_{2,4,s/b}$ , подавая материал в направлении X, а затем Y. См. рисунок А.7, с).

с) Этап 3 для поворотной оси (ось В'-), которую можно индексировать на  $\pm 90^\circ$ , третий квадрат обрабатывают следующим образом:

- грани  $S_{3,4,s/b}$  обрабатывают под углами  $B' = -90^\circ$  и  $C' = 0^\circ$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7 d);

- грани  $S_{3,2,s/b}$  обрабатывают под углами  $B' = -90^\circ$  и  $C' = 180^\circ$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7 d);

- грани  $S_{3,1,s/b}$  обрабатывают под углами  $B' = +90^\circ$  и  $C' = 270^\circ$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7 е);

- грани  $S_{3,3,s/b}$  обрабатывают под углами  $B' = +90^\circ$  и  $C' = 90^\circ$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7 е).

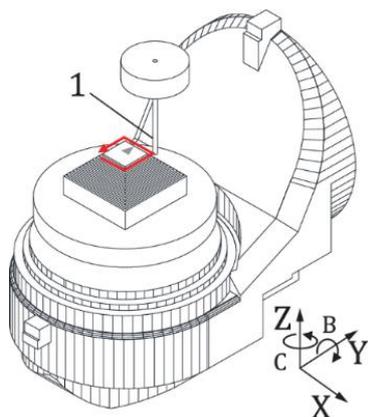
д) Этап 3 для поворотной оси, которая не может индексироваться на  $\pm 90^\circ$  (только на  $-90^\circ$ ), третий квадрат обрабатывают следующим образом:

- грани  $S_{3,4,s/b}$  обрабатывают под углами  $B' = -90^\circ$  и  $C' = 0^\circ$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7d);

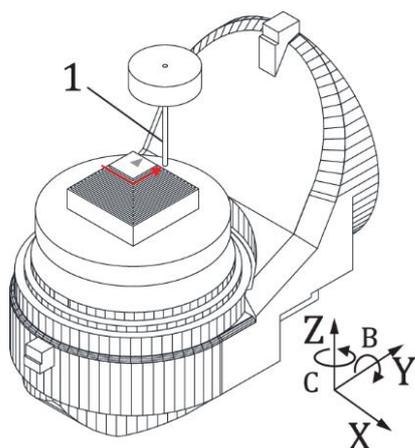
- грани  $S_{3,2,s/b}$  обрабатывают под углами  $B' = -90^\circ$  и  $C' = 180^\circ$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7d);

- грани  $S_{3,1,s/b}$  обрабатывают под углами  $B' = -90^\circ$  и  $C' = 90^\circ$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7 d);

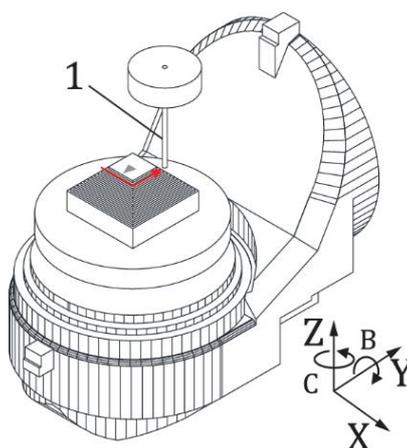
- грани  $S_{3,3,s/b}$  обрабатывают под углами  $B' = -90^\circ$  и  $C' = 270^\circ$  подачей в направлении Y. См. рисунок А.7d).



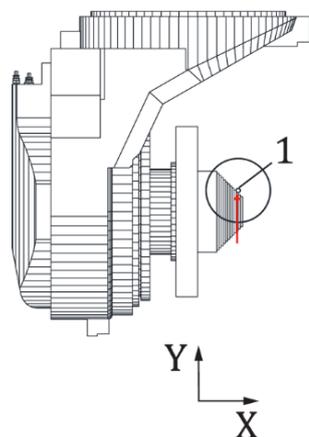
а) Обработка  $S_{1,1,s/b}$ ,  $S_{1,2,s/b}$ ,  $S_{1,3,s/b}$ , и  $S_{1,4,s/b}$  под углом  $B' = 0^\circ$  и  $C' = 0^\circ$



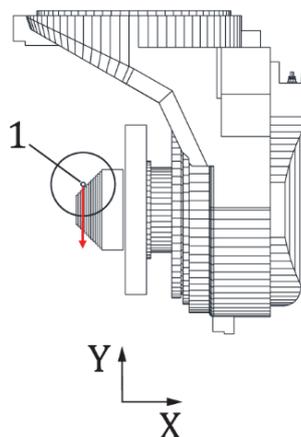
б) Обработка  $S_{2,1,s/b}$  и  $S_{2,2,s/b}$  под углом  $B' = 0^\circ$  and  $C' = 0^\circ$



в) Обработка  $S_{2,3,s/b}$  и  $S_{2,4,s/b}$  под углом  $B' = 0^\circ$  and  $C' = 180^\circ$



г) Обработка  $S_{3,4,s/b}$   $B' = -90^\circ$  и  $C' = 0^\circ$



д) Обработка  $S_{3,1,s/b}$   $B' = 90^\circ$  и  $C' = 270^\circ$

1 – инструмент

Рисунок А.7 — Процедура обработки на станках с двумя поворотными осями со стороны заготовки

А.4.4.3 Последовательность обработки (для станков с двумя поворотными осями со стороны инструмента)

Ниже показана последовательность обработки для пятикоординатного обрабатывающего центра с поворотной шпиндельной бабкой (ось В), установленной на поворотной головке (ось С) (см. рисунок А.8). Для других конфигураций осей (например, ось А на оси С) должна применяться аналогичная процедура.

а) Этап 1. Первый квадрат, состоящий из граней  $S_{1,m,*}$  ( $m = 1, \dots, 4$  и  $*$  = s/b), обрабатывают торцевой фрезой с использованием двух линейных перемещений (по осям X и Y).

б) Этап 2. Второй квадрат обрабатывают следующим образом:

- под углом  $B = 0^\circ$  и  $C = 0^\circ$  обрабатывают грани  $S_{2,1,s/b}$  торцевым фрезерованием в направлении X, а затем обрабатывают грани  $S_{2,2,s/b}$  подачей в направлении Y;

- поворачивают ось C на  $180^\circ$ . Обрабатывают грани  $S_{2,3,s/b}$  в направлении X, а затем обрабатывают грани  $S_{2,4,s/b}$  подачей в направлении Y.

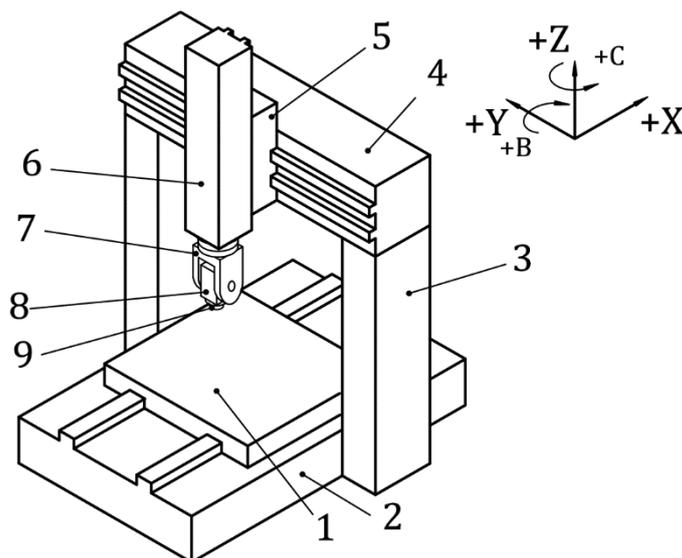
с) Этап 3. Третий квадрат обрабатывают следующим образом:

- грани  $S_{3,2,s/b}$  обрабатывают под углами  $B = +90^\circ$  и  $C = 0^\circ$  подачей в направлении Y;

- грани  $S_{3,4,s/b}$  обрабатывают под углами  $B = -90^\circ$  и  $C = 0^\circ$  подачей в направлении Y;

- грани  $S_{3,1,s/b}$  обрабатывают под углами  $B = +90^\circ$  и  $C = 270^\circ$  подачей в направлении X;

- грани  $S_{3,3,s/b}$  обрабатывают под углами  $B = -90^\circ$  и  $C = 270^\circ$  подачей в направлении X.



1 – стол (ось X'); 2 – станина; 3 – стойка; 4 – поперечина; 5 – седло стойки (ось Y);  
6 – салазки (ось Z); 7 – поворотная головка (ось C); 8 – поворотная шпиндельная бабка  
(ось В); 9 – шпиндель [ось (C1)]

Рисунок А.8 – Пример вертикального пятикоординатного обрабатывающего центра с двумя поворотными осями в шпиндельной бабке [w X' b Y Z C B (C1) t].

## ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

### А.4.5 Измерение

См. таблицу А.2. Все характеристики должны быть измерены с помощью координатно-измерительной машины (КИМ).

В качестве альтернативы возможно измерение на станке с помощью измерительного щупа, например, контактного датчика, на том же станке. Все точки должны быть измерены в одинаковых угловых положениях двух поворотных осей, например,  $B = C = 0^\circ$  для конфигурации станка, изображенной на рисунке А.6. Это исключает влияние геометрических погрешностей поворотных осей, хотя погрешности линейных перемещений могут вносить значительный вклад в погрешность измерений. Измерения на станке должны проводиться в термически стабильном состоянии.

На каждом торце должно быть прощупано четыре или более точек. На рисунке А.9 показаны рекомендуемые положения точек зондирования (на примере готовых поверхностей  $S_{1,2,s}$  и  $S_{1,2,b}$ ):

- высота зондирования на боковой поверхности: 3 мм;
- расстояние от края для боковой и нижней поверхности: 5 мм;
- расстояние между точками: 20 мм.

Все обработанные поверхности должны быть исследованы одинаково.

Систему координат измерений определяют следующим образом:

- отмечают 16 точек на базовой плоскости С (см. рисунок А.5), чтобы определить направление оси Z;

- зондируют 8 точек на каждой из граней  $S_{1,1,s}$  и  $S_{1,3,s}$ , чтобы определить плоскости, и берут их линии пересечения с базовой плоскостью С, или прощупывают 4 точки на линии, параллельной базовой плоскости С, на каждой из  $S_{1,1,s}$  и  $S_{1,3,s}$  и берут их проекции на базовую плоскость С. Базовая плоскость В содержит их линию симметрии и перпендикулярна базовой плоскости С. Ось X параллельна базовой плоскости В;

- аналогично определяют базовую плоскость А через измеряемые точки  $S_{1,2,s}$  и  $S_{1,4,s}$ . Начало системы координат измерений определяется на пересечении базовых плоскостей А, В и С.

В таблице А.2 погрешность положения одной поверхности относительно другой определяется следующим образом. В качестве примера взята погрешность положения по оси Y поверхности  $S_{n,3,s}$  относительно поверхности  $S_{n,1,s}$  ( $n = 2, 5, 8, 11$ ) (№ 7 в таблице А.2) (см. рисунок А.10 а):

- рассчитывают базовую прямую линию из точек зондирования на  $S_{n,3,s}$ , например, методом наименьших квадратов (см. ISO 230-1:2012, 3.4.14). Другие варианты см. ISO 230-1:2012, 3.4.12;

- берут точку пересечения этой прямой с плоскостью YZ измерительной системы координат;

- аналогично, берут точку пересечения этой базовой прямой с точками зондирования  $S_{n,1,s}$  и плоскостью YZ измерительной системы координат;

- погрешность положения по оси Y между  $S_{n,3,s}$  и  $S_{n,1,s}$  равна расстоянию между этими двумя точками, спроецированному на плоскость XY измерительной системы координат, минус номинальное расстояние между  $S_{n,3,s}$  и  $S_{n,1,s}$ ;

Аналогично, отклонение от параллельности  $S_{n,1,b} - S_{1,1,b}$  ( $n = 1, 4, 7, 10$ ) в плоскости ZX (поворот B) (№ 5 в таблице A.2 в качестве примера угловых погрешностей) вычисляют следующим образом (см. рисунок A.10 b):

- рассчитывают базовую прямую для точек зондирования  $S_{n,3,b}$  и  $S_{1,1,b}$ ;

- угол между двумя базовыми прямыми, спроецированными на плоскость ZX, является отклонением от параллельности в плоскости ZX (поворот B) точек зондирования  $S_{n,1,b} - S_{1,1,b}$ . Отклонение от параллельности выражается в смещении на 70 мм (наименьшая длина детали).

Размеры в миллиметрах

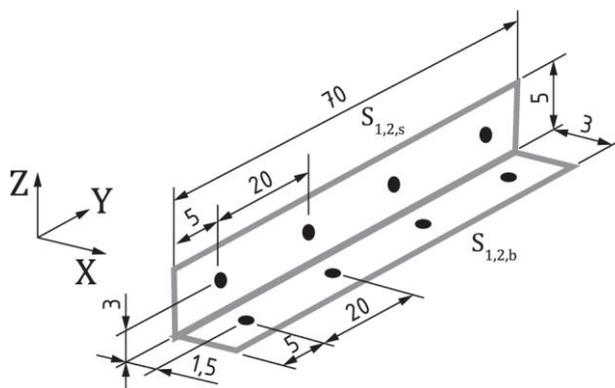
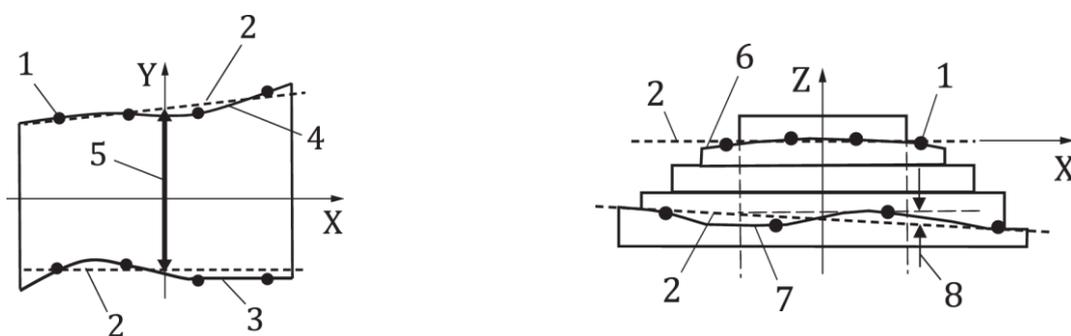


Рисунок A.9 — Рекомендуемые положения точек зондирования (на примере готовых поверхностей  $S_{1,2,s}$  и  $S_{1,2,b}$ )



а) Погрешность положения в направлении оси Y  $S_{n,3,s}$  относительно  $S_{n,1,s}$

б) Отклонение от параллельности в плоскости ZX  $S_{n,1,b}$  относительно  $S_{1,1,b}$

1 – зондируемая точка, 2 – базовая линия, 3 – обработанная поверхность  $S_{n,1,s}$ ,  
4 – обработанная поверхность  $S_{n,3,s}$ , 5 – погрешность положения  $S_{n,3,s} - S_{n,1,s}$  в Y,  
6 – обработанная поверхность,  $S_{1,1,b}$ , 7 – обработанная поверхность  $S_{n,1,b}$ ,  
8 – отклонение от параллельности  $S_{n,1,b} - S_{1,1,b}$  в плоскости ZX (для 70 мм)

Рисунок A.10 – Расчет а) погрешности положения по оси Y  $S_{n,3,s}$  относительно  $S_{n,1,s}$  и б) отклонения параллельности в плоскости ZX  $S_{n,1,b}$  относительно  $S_{1,1,b}$

# ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

## А.4.6 Факторы, влияющие на неопределенность измерений

Факторы, которые могут влиять на неопределенность измерения, включают:

Для измерений на одном и том же станке:

- погрешность средства измерения;
- точность позиционирования осей станка по линейным осям;
- шероховатость обрабатываемых поверхностей;
- температурные деформации испытуемого образца;
- тепловое воздействие на позиционирование станка во время измерения.

Для измерений на КИМ:

- погрешность измерения КИМ;
- шероховатость обработанных поверхностей;
- температурные деформации испытуемого образца;
- деформация испытуемого образца вследствие разжима.

## 4.7 Протокол испытаний

Пример протокола испытаний приведен в таблице А.2.

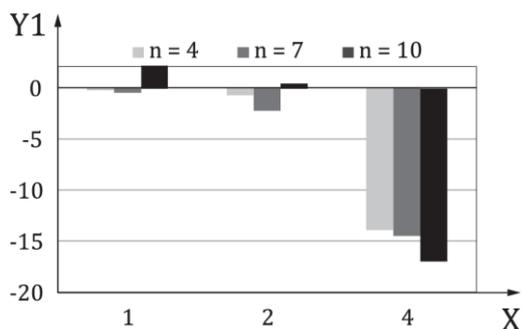
Таблица А.2 — Пример протокола испытаний

Условия резания		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Обрабатывающий центр:</li> <li>- Дата проведения испытания:</li> <li>- Испытуемый образец:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- материал:</li> <li>- номинальные размеры верхнего квадрата:</li> <li>- количество групп (по умолчанию: 4):</li> </ul> </li> <li>- Цикл прогрева:</li> <li>- Режущий инструмент:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- диаметр:</li> <li>- длина:</li> <li>- количество зубьев:</li> <li>- материал, покрытие:</li> <li>- радиус закругления вершины:</li> </ul> </li> <li>- Параметры обработки резанием:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- скорость подачи:</li> <li>- скорость вращения шпинделя:</li> </ul> </li> </ul>					
Геометрические погрешности готового испытуемого образца							
Объект и ссылки на чертеж		Измеренные значения (погрешности положения в мм, угловые погрешности в соотношении (мм/1 000 мм))				Основные причины погрешностей (для станков с осями В' и С' со стороны заготовки, см. рисунок А.6)	
		Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4		
		Время окончания (мин)					
			0	60	120	180	
Первый этап каждой группы	1	Погрешность положения в Y $S_{n,1,s} - S_{1,1,s}$	--	(n = 4)	(n = 7)	(n = 10)	Смещение в положении Y
	2	Погрешность положения в X $S_{n,4,s} - S_{1,4,s}$	--	(n = 4)	(n = 7)	(n = 10)	Смещение в положении X
	3	Перпендикулярность $S_{n,4,s} - S_{n,1,s}$	(n = 1)	(n = 4)	(n = 7)	(n = 10)	Перпендикулярность осей Y- X
	4	Погрешность положения в Z $S_{n,1,b} - S_{1,1,b}$	--	(n = 4)	(n = 7)	(n = 10)	Смещение в положении Z
	5	Параллельность в плоскости ZX $S_{n,1,b} - S_{1,1,b}$ (поворот В)	--	(n = 4)	(n = 7)	(n = 10)	Изменение в направлении оси X вокруг оси Y
	6	Параллельность в плоскости YZ $S_{n,2,b} - S_{1,2,b}$ (поворот А)	--	(n = 4)	(n = 7)	(n = 10)	Изменение в направлении оси Y вокруг оси X

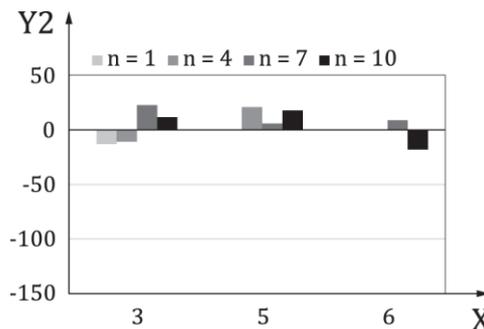
Окончание таблицы А.2

Объект и ссылки на чертеж		Измеренные значения (погрешности положения в мм, угловые погрешности в соотношении (мм/1 000 мм))				Основные причины погрешностей (для станков с осями В' и С' со стороны заготовки, см. рисунок А.6)	
		Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4		
		Время окончания (мин)					
		0	60	120	180		
Второй этап каждой группы	7	Погрешность положения в Y $S_{n,3,s} - S_{n,1,s}$	(n = 2)	(n = 5)	(n = 8)	(n = 11)	Погрешность положения оси С' в Y
	8	Погрешность положения в X $S_{n,4,s} - S_{n,2,s}$	(n = 2)	(n = 5)	(n = 8)	(n = 11)	Погрешность положения оси С' в X
	9	Параллельность в плоскости XY $S_{n,3,s} - S_{n,1,s}$ (поворот С)	(n = 2)	(n = 5)	(n = 8)	(n = 11)	Погрешность углового позиционирования оси С' при температуре С180° – С0°
	10	Параллельность в плоскости ZX $S_{n,3,b} - S_{n,1,b}$ (поворот В)	(n = 2)	(n = 5)	(n = 8)	(n = 11)	Погрешность перпендикулярности оси С' относительно оси X
	11	Параллельность в плоскости ZX $S_{n,4,b} - S_{n,2,b}$ (поворот В)	(n = 2)	(n = 5)	(n = 8)	(n = 11)	Погрешность перпендикулярности оси С' относительно оси Y
Третий этап каждой группы	12	Погрешность положения в Y $S_{n,3,s} - S_{n,1,s}$	(n = 3)	(n = 6)	(n = 9)	(n = 12)	Погрешность положения оси В' в Z и погрешность пересечения осей С' – В'
	13	Погрешность положения в X $S_{n,4,s} - S_{n,2,s}$	(n = 3)	(n = 6)	(n = 9)	(n = 12)	Погрешность положения оси В' в Z и погрешность пересечения осей С' – В'
	14	Перпендикулярность $S_{n,4,s} - S_{n,3,s}$	(n = 3)	(n = 6)	(n = 9)	(n = 12)	Погрешность параллельности осей В' – Y вокруг X
	15	Погрешность положения в Z $S_{n,4,b} - S_{n,1,b}$	(n = 3)	(n = 6)	(n = 9)	(n = 12)	Погрешность положения оси В' в X
	16	Параллельность в плоскости YZ $S_{n,4,b} - S_{n,2,b}$ (поворот А)	(n = 3)	(n = 6)	(n = 9)	(n = 12)	Погрешность параллельности осей В' – Y вокруг Z погрешность перпендикулярности осей С' – В'

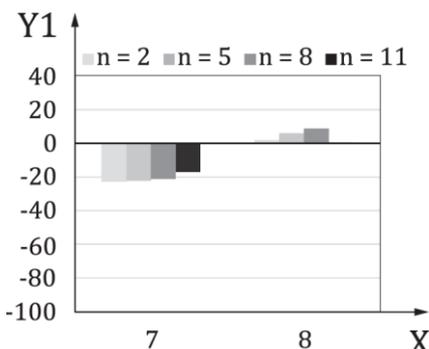
Изменение каждой измеренной величины должно быть представлено в графическом виде. На рисунке А.11 показан пример.



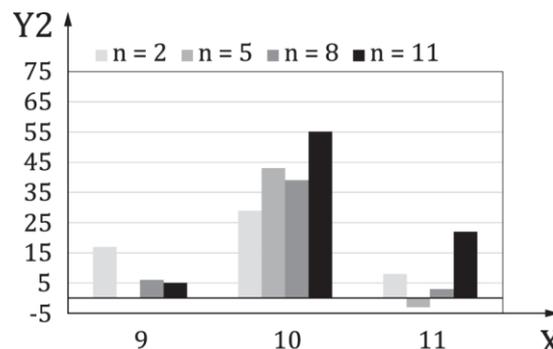
а) Погрешности положения (№ 1, 2, 4; 1-й этап каждой группы)



б) Угловые погрешности (№ 3, 5, 6; 1-й этап каждой группы)



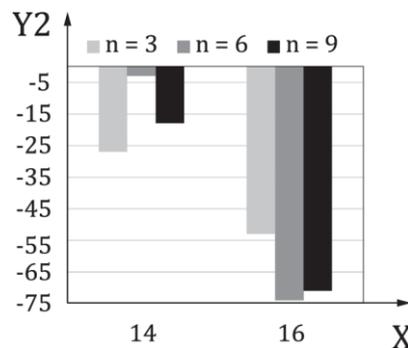
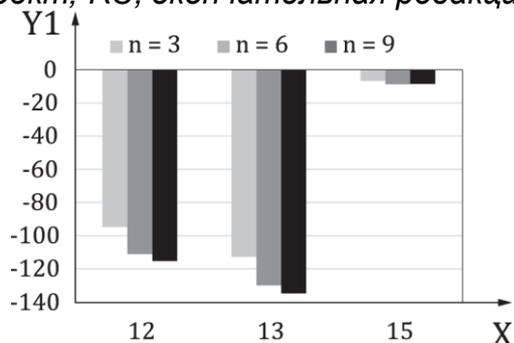
с) Погрешности положения (№ 7, 8; 2-й этап)



д) Угловые погрешности (№ 9, 10, 11; 2-й этап)

## ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)



е) Погрешности положения (№ 12, 13, 15; 3-й этап)

ф) Угловые погрешности (№ 14, 16; 3-й этап)

n – см. таблицу А.2; X – номер пункта оценки; Y1 – погрешность положения (мкм);  
Y2 – угловая погрешность (мкм/м)

Примечание – Номера пунктов оценки приведены в таблице А.2

Рисунок А.11 – Пример графического представления результатов испытаний

### Примечания

1 Геометрические погрешности первой группы (этапы n = 1, 2, 3) готового образца показывают влияние объемных погрешностей станка, включая влияние погрешностей положения и ориентации средних линий поворотной оси, когда станок находится в исходном тепловом состоянии. Их изменение для каждой группы показывает влияние температуры на объемные погрешности станка.

2 В крайнем правом столбце таблицы А.2 указаны основные причины погрешностей для каждого объекта оценки. В качестве основных причин погрешностей в ней указаны только погрешности положения и ориентации средних линий поворотной оси. Другие погрешности перемещения также могут вносить свой вклад. Например, погрешности линейных перемещений могут быть потенциально критическими причинами погрешностей.

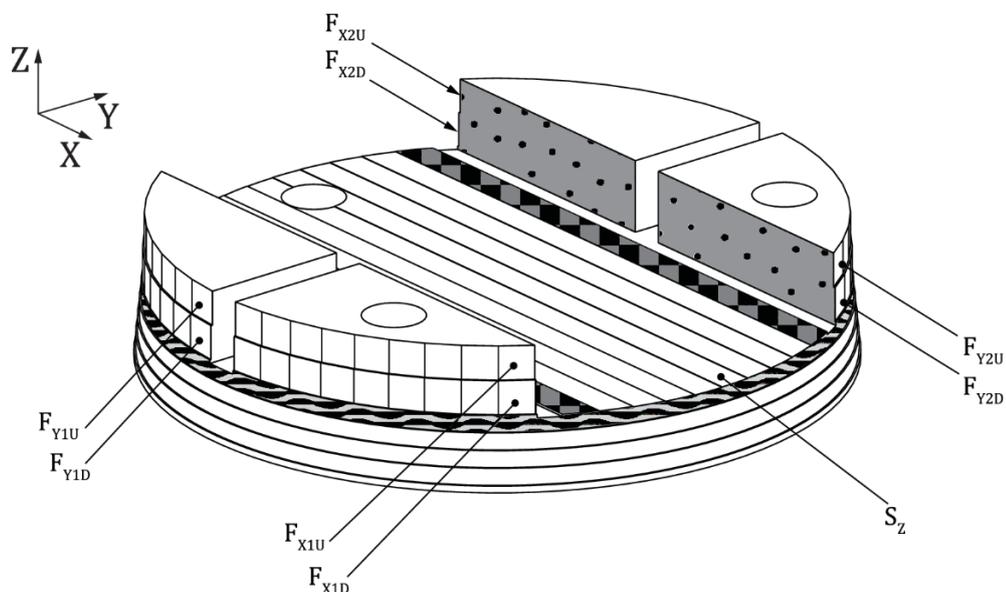
## А.5 Испытание на обрабатываемость для оценки деформации обрабатываемых центров с поворотной осью (осями)

### А.5.1 Цель испытания

Данное испытание применимо ко всем обрабатываемым центрам с тремя линейными осями и как минимум одной поворотной осью, параллельной шпинделю инструмента. Цель испытания – проверить изменение точности во всех трех направлениях перемещения при непрерывном нагреве любой оси, включая шпиндель, в течение заданного периода времени. Данное испытание является расширением испытания М4 в ISO 10791-7:2020 и испытания теплового образца, представленного Висснером и др. [10], а также изменения конструкции, представленного Блейзером и др. [11].

**А.5.2 Проведение испытания и геометрические размеры испытываемого образца****А.5.2.1 Общие положения**

На рисунках А.12 и А.13 показаны номинальные геометрические размеры готовой испытываемой детали.



Примечание – Серые (узорчатые) готовые поверхности определяют систему координат заготовки для контроля на КИМ.

Рисунок А.12 – Геометрические размеры готовой испытываемой детали с измерительной поверхностью (S) и гранями (F)

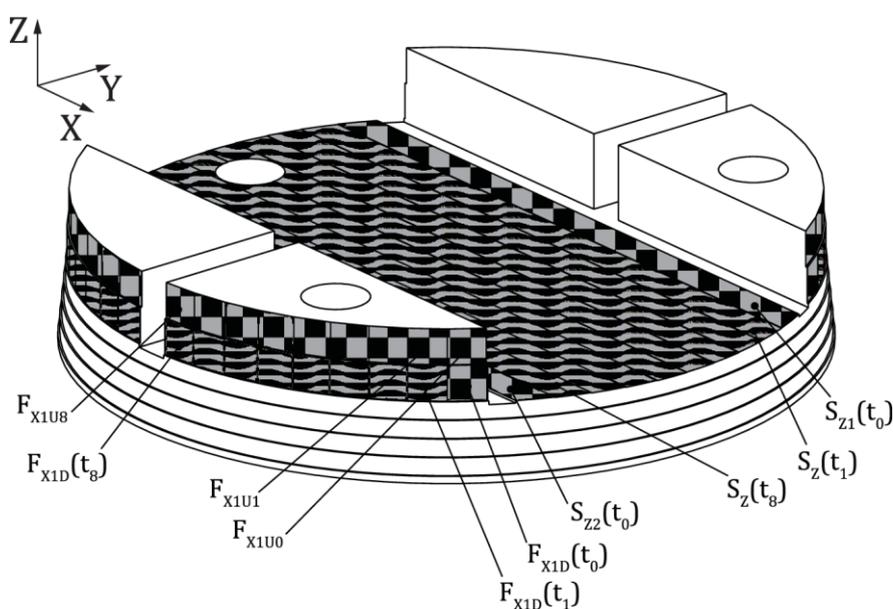


Рисунок А.13 – Геометрические размеры готового испытываемого образца с выделенными базовой (шахматная штриховка) и измерительными поверхностями (волновая штриховка)

## **ГОСТ ISO 10791-10–202**

*(проект, RU, окончательная редакция)*

Заготовка детали должна быть расположена соосно оси поворотного стола, и для обработки готовой испытуемой детали необходимо использовать ту же установку, что и для заготовки детали, изображенной на рисунке А.16.

Номинальные геометрические размеры приведена только в качестве примера. Она может быть изменена по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем. Количество граней (F) и поверхностей (S) может быть увеличено по согласованию между изготовителем/поставщиком и пользователем, что может облегчить наблюдение за скоростью температурных изменений или приближением к устойчивому тепловому состоянию.

В зависимости от размера или формы испытуемого образца, он может быстрее реагировать на изменения окружающей среды, например, на температурные изменения, вызванные открытием или закрытием защитной дверцы станка. Это влияние может привести к различным результатам испытаний, если испытуемый образец намного больше, указанного на рисунке А.14.



## ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

Должна использоваться цилиндрическая торцевая фреза диаметром 10 мм или торцевая фреза для скругления углов того же диаметра, но по договоренности между изготовителем/поставщиком и пользователем может быть использован другой инструмент.

В зависимости от диаметра используемого инструмента количество измерительных поверхностей ( $S_z$ ) может уменьшаться или увеличиваться. Испытуемый образец, изображенный на рисунке А.14, спроектирован так, чтобы с помощью цилиндрической торцевой фрезы диаметром 10 мм можно было изготовить 10 поверхностей: 2 контрольные и 8 измерительных поверхностей. Чтобы избежать значительных задиров, следует использовать перекрытие в 0,6 мм.

Ориентация испытуемого образца должна быть отмечена на верхней поверхности для распознавания его ориентации при измерении.

Применяемая СОЖ должна соответствовать типовому применению испытуемого станка. Если для испытуемого станка не определено типовое применение, все испытания на обрабатываемость должны проводиться без СОЖ (сухая обработка) или с минимальным количеством смазки (MQL), хотя СОЖ может быть использована по соглашению между изготовителем/поставщиком и пользователем.

На рисунке А.12 измерительная поверхность, перпендикулярная оси Z станка обозначена  $S_z$ . Грани образца для теплового испытания расположены на четырех различных сегментах и на разной высоте. Каждый набор граней представлен обозначением  $F_{jk}$ , где:

- $j = X$  или  $Y$ , соответствующие направлению измерения граней;
- $k = 1$  или  $2$ , обозначает последовательность фрезерованных граней;
- $l = U$  или  $D$ , обозначает положение группы граней по оси Z ( $U =$  вверх,  $D =$  вниз).

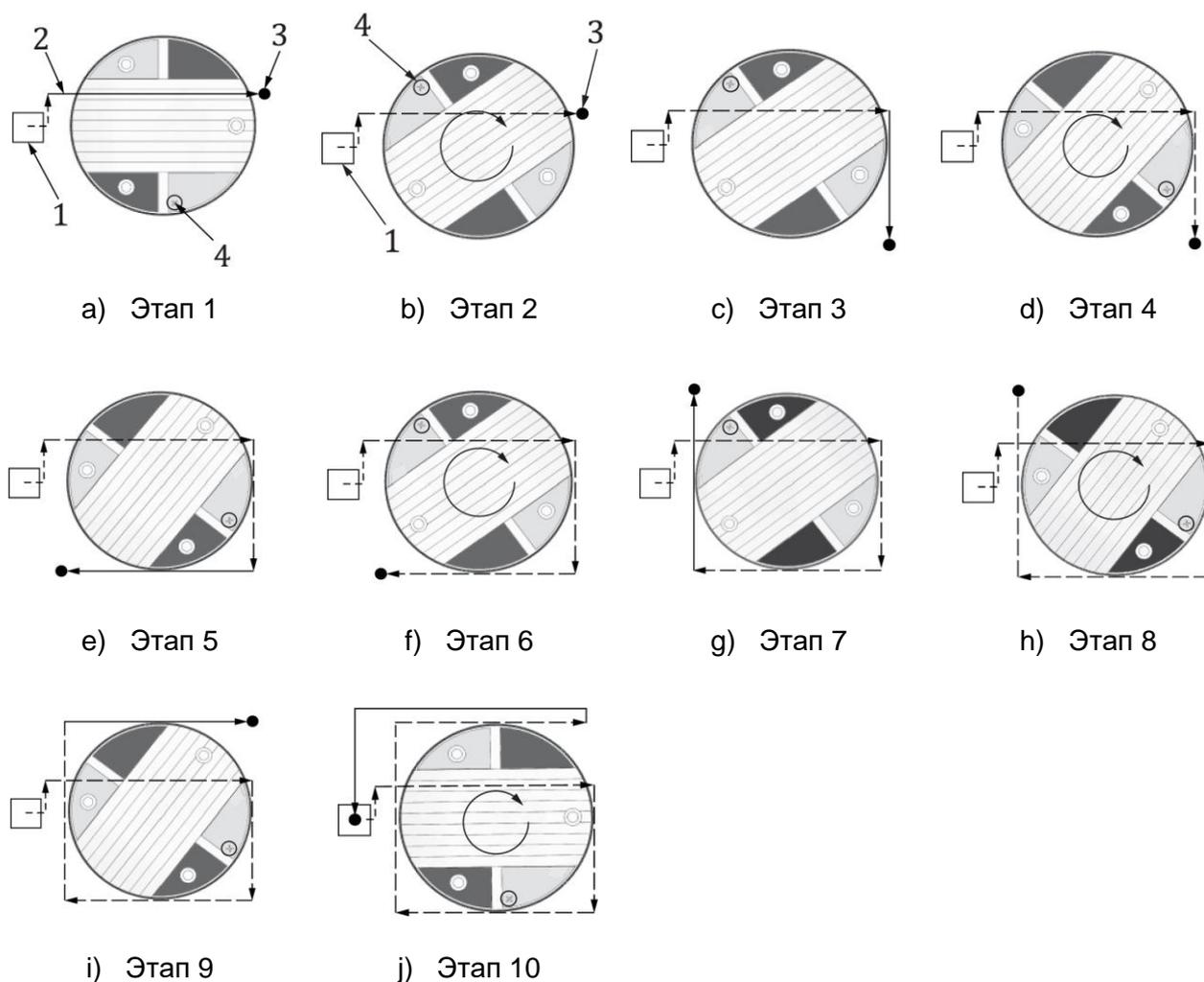
Для оценки образца для теплового испытания с помощью координатно-измерительной машины (КИМ), фрезеруются несколько элементов для определения системы координат заготовки. Поверхности, используемые для определения системы координат, показаны на рисунке А.12. Две самые внешние измерительные поверхности (с шахматной штриховкой) используются для определения плоскости X–Y системы координат заготовки. Вертикальные грани большого предварительно фрезерованного гнезда (поверхность с точками) используются для определения ориентации координаты X. Начало системы координат определяется путем измерения фрезерованной круговой поверхности (с волновой штриховкой) и вычисления ее центра.

### А.5.2.2 Последовательность обработки

Образец для теплового испытания рассчитан на цикл испытаний, который основан на восьми периодах изменения тепловой нагрузки. Например, цикл воздействия окружающей среды «день-ночь» в течение 24 ч может быть оценен с помощью круглосуточного испытания с продолжительностью цикла 4 ч. Или образец для теплового испытания может быть использован для 4 ч фазы прогрева, согласно ISO 230-3:2020, и 4 ч фазы остывания. Для фрезерования во время испытательного цикла следует использовать новую чистовую торцевую

фрезе из твердого карбида вольфрама диаметром 10 мм. Поскольку объем снятого материала в течение испытательного цикла очень мал, износ инструмента при оценке не учитывается.

Последовательность испытаний начинается с фрезерования базовых поверхностей и граней (с шахматной штриховкой), как изображено на рисунке А.13. Две поверхности  $S_{zn}(t_0)$  должны быть обработаны первыми, чтобы минимизировать влияние термического расширения шпинделя на эту операцию. После этого верхние грани ( $F_{jkUn}$ ) должны быть отфрезерованы аналогичным образом, как изображено на рисунке А.15, повернув стол (по умолчанию на  $6^\circ$  между гранями) и переместив одну линейную ось.



1 – позиция ожидания, 2 – траектория инструмента, 3 – инструмент, 4 – маркировка ориентации

Рисунок А.15 — Последовательность обработки

После этого необходимо отфрезеровать круговые поверхности испытуемого образца, дважды установив инструмент по оси X, соответственно по оси Y, и повернув стол станка не менее чем на  $360^\circ$ . Завершается этот этап фрезерованием четырех нижних базовых граней [ $F_{jkD}(t_0)$ ].

## ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

За фрезерованием базовых поверхностей и граней следует фрезерование измерительных поверхностей и граней, как изображено на рисунке А.13. Один полный цикл резания показан на рисунке А.15. Положение фрезы по оси Z не изменяется в течение всего цикла, чтобы минимизировать влияние погрешности позиционирования по оси Z.

а) Этап 1. Инструмент устанавливают в позицию ожидания (квадрат, позиция 1). При фиксированном положении оси Z инструмент начинает фрезеровать первую поверхность  $S_z(t_i)$ , снимая материал с рекомендуемой номинальной глубиной резания 0,1 мм, двигаясь в положительном направлении по оси X.

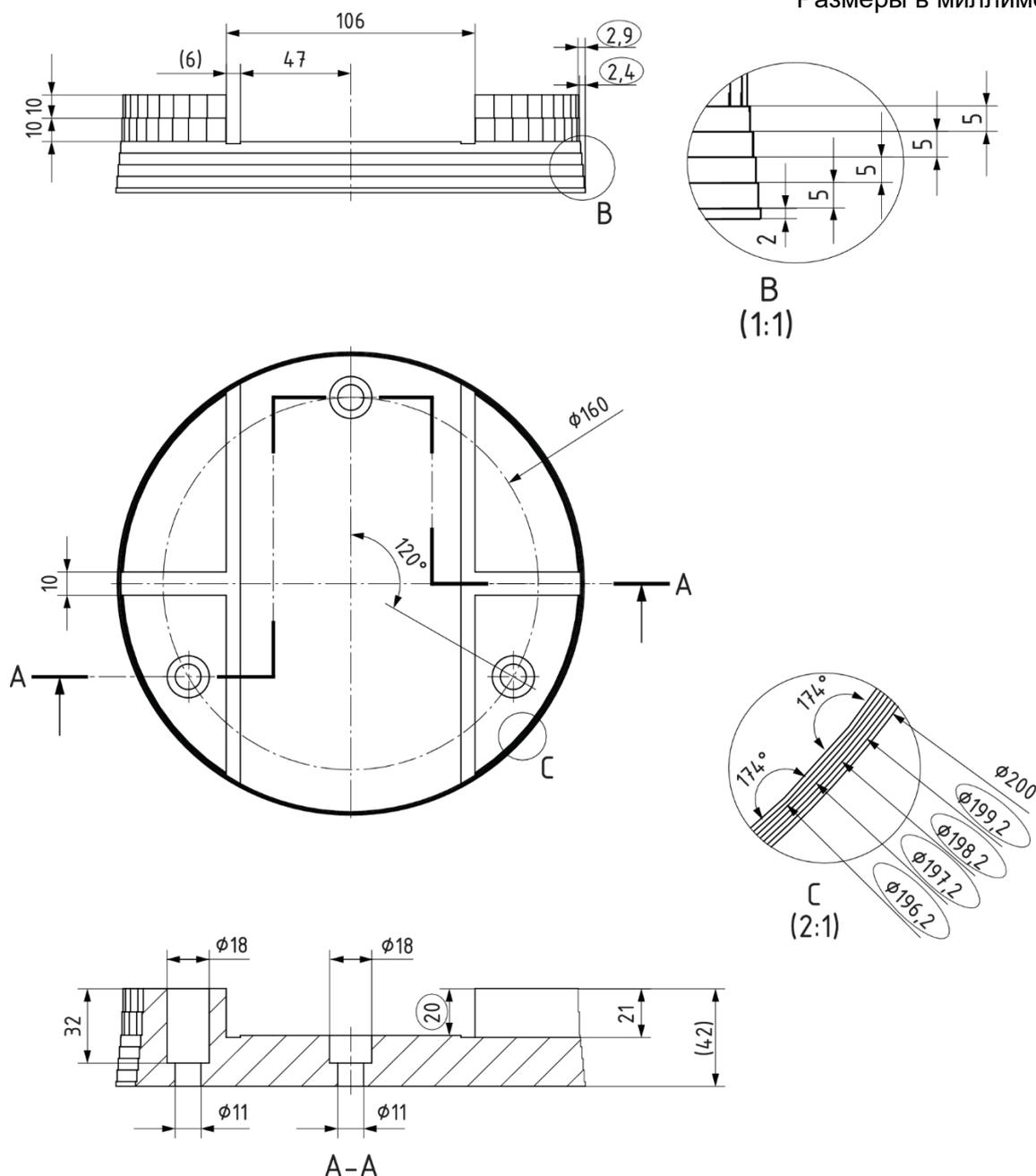
б) Этапы 2 и 3. Поворотный стол станка устанавливают так, чтобы при движении в отрицательном направлении Y фрезеровалась первая грань  $F_{x1}$  образца для теплового испытания.

в) Этапы 4 и 5. Стол станка снова поворачивается, так чтобы при перемещении оси в отрицательном направлении X фрезеруется грань  $F_{y1}$ .

г) Этапы с 6 по 9. Грани  $F_{x2}$  и  $F_{y2}$  фрезеруются аналогично предыдущим этапам.

д) Этап 10. После выполнения операций фрезерования инструмент возвращается в позицию ожидания и ожидает следующий цикл фрезерования.

Размеры в миллиметрах



Примечание – Обведенные размеры указывают на то, что они отличаются от размеров готового образца.

Рисунок А.16 — Заготовка для тепловых испытаний на обрабатывающих центрах с поворотной осью (осями)

### А.5.3 Измерение

#### А.5.3.1 Общие положения

Все характеристики необходимо измерить непосредственно на станке, либо посредством измерений на станке с помощью датчика, например, контактного датчика, либо с помощью ручных средств измерений, например, микрометрического штангенциркуля. При этом поворотный стол должен использоваться для позиционирования образца для измерения

# ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

различных граней.

В качестве альтернативы измерения можно проводить на КИМ. Факторы, влияющие на неопределенность для всех методов измерения приведены в А.5.4.

Пример протокола испытаний приведен в таблице А.3.

Таблица А.3 – Пример протокола испытаний

Условия резания	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Обрабатывающий центр:</li> <li>- Дата проведения испытания:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- цикл пуска:</li> <li>- цикл завершения:</li> <li>- измерение:</li> </ul> </li> <li>- Испытуемый образец:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- материал:</li> <li>- номинальные размеры самой нижней окружности:</li> <li>- количество групп (по умолчанию: 8 + 1):</li> </ul> </li> <li>- Цикл разогрева:</li> <li>- Тепловая нагрузка:</li> </ul>																																																																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>B</th> <th>C</th> <th colspan="3">Шпиндель</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Активный</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Скорость</td> <td>мм/мин</td> <td>мм/мин</td> <td>мм/мин</td> <td>об/мин</td> <td>об/мин</td> <td>об/мин</td> <td>об/мин</td> <td>об/мин</td> <td>об/мин</td> </tr> <tr> <td>Время</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> </tr> <tr> <td>Пауза</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> <td>мин</td> </tr> <tr> <td>Прочие</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										X	Y	Z	B	C	Шпиндель			Активный	<input type="checkbox"/>	Скорость	мм/мин	мм/мин	мм/мин	об/мин	об/мин	об/мин	об/мин	об/мин	об/мин	Время	мин	Пауза	мин	Прочие																																
	X	Y	Z	B	C	Шпиндель																																																													
Активный	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																										
Скорость	мм/мин	мм/мин	мм/мин	об/мин	об/мин	об/мин	об/мин	об/мин	об/мин																																																										
Время	мин	мин	мин	мин	мин	мин	мин	мин	мин																																																										
Пауза	мин	мин	мин	мин	мин	мин	мин	мин	мин																																																										
Прочие																																																																			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Режущий инструмент:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- диаметр:</li> <li>- длина:</li> <li>- количество зубьев:</li> <li>- материал, покрытие:</li> </ul> </li> <li>- Параметры резания:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- скорость подачи:</li> <li>- скорость вращения шпинделя:</li> </ul> </li> </ul>																																																																		
Измеренные значения [линейные погрешности в мм, угловые погрешности в соотношении (мм/1000 мм)]																																																																			
		Группа 0	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5	Группа 6	Группа 7	Группа 8																																																									
		Время завершения (мин)																																																																	
		0	60	120	180	240	300	360	420	480																																																									
Поверхность $S_z^a$	$E_z$	–																																																																	
	$E_B$	–																																																																	
Грани $F_x$ и $F_y^b$	$L_{X1}$																																																																		
	$L_{X2}$																																																																		
	$L_{Y1}$																																																																		
	$L_{Y2}$																																																																		
	$L_{cut}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5																																																									
	$E_x$																																																																		
	$E_y$																																																																		
	$E_{WP}$																																																																		
Круглая фрезерованная измерительная поверхность																																																																			
		C1 D199	C2 D198	C3 D197	C4 D196																																																														
$\Delta R_{rms}^c$																																																																			
Диапазон смещений																																																																			
		$E_x$	$E_y$	$E_z$	$E_{WP}$																																																														
Во время R1 (60 мин)																																																																			
Во время R2 (240 мин)																																																																			
Во время R3 (480 мин)																																																																			
	<sup>a</sup> Для определения см. А.5.3.2. <sup>b</sup> Для определения см. А.5.3.3. <sup>c</sup> Для определения см. формулу А.4.																																																																		

#### А.5.3.2 Измерение поверхностей $S_z$

Необходимо измерить несколько точек на каждой поверхности. Все готовые поверхности должны быть прозондированы одинаково.

В таблице А.3 погрешность положения в направлении  $Z$   $E_z(t_n)$  одной поверхности относительно базовой плоскости рассчитывают следующим образом:

- вычисляют базовую плоскость точек зондирования на  $S_{z1}(t_0)$  и  $S_{z2}(t_0)$  (см. рисунок А.13), например, методом наименьших квадратов. См. ISO 12781-1:2011, 3.3.1.2;

- рассчитывают плоскость точек зондирования на  $S_z(t_n)$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) так же, как и базовую плоскость;

- погрешность положения в направлении  $Z$   $E_z(t_n)$  – это расстояние до средней точки этих плоскостей, спроецированное на плоскость  $XZ$ .

Аналогично, угловую погрешность  $E_B(t_n)$  вокруг плоскости  $Y$   $S_z(t_n)$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) по отношению к базовой плоскости рассчитывают следующим образом:

- вычисляют базовую плоскость точек  $S_{z1}(t_0)$  и  $S_{z2}(t_0)$  (см. рисунок А.13), например, методом наименьших квадратов. См. ISO 12781-1:2011, 3.3.1.2;

- рассчитывают плоскость точек зондирования на  $S_z(t_n)$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ) так же, как и базовую плоскость;

- угол между двумя базовыми плоскостями, спроецированный на плоскость  $XZ$ , является угловой погрешностью вокруг  $Y$   $S_z(t_n)$  ( $n = 1, 2, \dots, 8$ ).

#### А.5.3.3 Измерение граней $F_x$ и $F_y$

Необходимо измерить пять или более точек на каждой грани. Все готовые грани должны быть прозондированы одинаково.

В таблице А.3 погрешность положения в направлении  $X$   $E_x(t_n)$  одной группы граней относительно соответствующих эталонных граней рассчитывается следующим образом:

- вычисляют базовую плоскость точек зондирования на  $F_{x1Un}$  и  $F_{x2Un}$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ) (см. рисунок А.12), например, методом наименьших квадратов. См. ISO 12781-1:2011, 3.3.1.2;

- рассчитывают плоскость точек зондирования на  $F_{x1D}(t_n)$  и  $F_{x2D}(t_n)$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ) так же, как и базовую плоскость;

- вычисляют расстояние между средними точками плоскостей  $F_{x1Un}$  и  $F_{x1D}(t_n)$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ), спроецированных на плоскость  $XY$ . Вычисленное расстояние называют  $L_{x1}(t_n)$ ;

- вычисляют расстояние между средними точками плоскостей  $F_{x2Un}$  и  $F_{x2D}(t_n)$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ), спроецированных на плоскость  $XY$ . Вычисленное расстояние называют  $L_{x2}(t_n)$ ;

- таким образом, погрешность положения в направлении  $X$   $E_x(t_n)$  является средним значением разности этих расстояний:

$$E_x(t_n) = \frac{L_{x1}(t_n) - L_{x2}(t_n)}{2} \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, 8 \quad (\text{A.1})$$

Аналогичным образом рассчитывают погрешность положения в направлении  $Y$   $E_y(t_n)$  одной группы граней относительно соответствующих базовых (эталонных) граней:

## ГОСТ ISO 10791-10–202

(проект, RU, окончательная редакция)

- вычисляют базовую плоскость точек зондирования на  $F_{Y1Un}$  и  $F_{Y2Un}$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ) (см. рисунок А.12), например, методом наименьших квадратов. См. ISO 12781-1:2011, 3.3.1.2.

- вычисляют плоскость точек зондирования на  $F_{Y1D}(t_n)$  и  $F_{Y2D}(t_n)$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ) так же, как и базовую плоскость.

- вычисляют расстояние между средними точками плоскостей  $F_{Y1Un}$  и  $F_{Y1D}(t_n)$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ), спроецированных на плоскость XY. Вычисленное расстояние называется  $L_{Y1}(t_n)$ .

- вычисляют расстояние между средними точками плоскостей  $F_{Y2Un}$  и  $F_{Y2D}(t_n)$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ), спроецированных на плоскость XY. Вычисленное расстояние называют  $L_{Y2}(t_n)$ .

- таким образом, погрешность положения в направлении Y  $E_Y(t_n)$  является средним значением разности этих расстояний:

$$E_Y(t_n) = \frac{L_{Y1}(t_n) - L_{Y2}(t_n)}{2} \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, 8 \quad (\text{A.2})$$

В дополнение к  $E_X(t_n)$  и  $E_Y(t_n)$  для каждого временного этапа может быть рассчитан соответствующий термический рост самого испытуемого образца. Эту погрешность обозначают  $E_{WP}(t_n)$ , и ее можно рассчитать следующим образом:

$$E_{WP}(t_n) = \frac{L_{X1}(t_n) + L_{X2}(t_n) + L_{Y1}(t_n) + L_{Y2}(t_n)}{4} - L_{Cut} \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, 8 \quad (\text{A.3})$$

Параметр  $L_{Cut}$  представляет собой номинальное расстояние между верхней группой граней и нижней. В соответствии с номинальной геометрией, изображенной на рисунке А.14, используется параметр  $L_{Cut} = 0,5$  мм.

**Примечание** – Поскольку погрешности положения  $E_X(t_0)$ ,  $E_Y(t_0)$  и термический рост испытуемого образца  $E_{WP}(t_0)$  сравниваются с верхней  $F_{U0}$  и нижней  $F_D(t_0)$  базовыми поверхностями, они не соответствуют температурному отклонению исследуемого станка, но могут использоваться в качестве индикатора повторяемости станка и неопределенности используемой измерительной системы.

### А.5.3.4 Измерение круглых фрезерованных поверхностей

Четыре круглые фрезерованные поверхности можно использовать для оценки геометрических погрешностей поворотной оси, используемой для ориентации испытуемого образца во время цикла обработки. Необходимо измерить круглость, поэтому следует использовать достаточное количество точек измерения. В качестве рекомендации для геометрии испытуемого образца, изображенной на рисунке А.14, следует использовать в общей сложности 60 точек.

С помощью этих измерений можно оценить круглость и использовать ее в качестве индикатора неопределенности для точности положения средней линии поворотной оси. В качестве показателя можно использовать среднеквадратичное отклонение от круглости в соответствии с ISO 12181-1:2011. При рекомендуемом количестве 60 точек измерения форму-

ла для расчета среднеквадратичного отклонения от круглости выглядит следующим образом:

$$\Delta R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \Delta R_i^2 d\dot{\epsilon}} = \frac{1}{60} \sqrt{\sum_{i=1}^{60} \Delta R_i^2}, \quad (\text{A.4})$$

где  $\Delta R_{rms}$  – среднеквадратичное отклонение от круглости;

$\Delta R_i$  – локальное отклонение от круглости;

$\dot{\epsilon}$  – мгновенный угол в профиле круглости.

#### **A.5.4 Факторы, влияющие на неопределенность измерения**

Факторы, которые могут влиять на неопределенность измерения, включают в себя:

Для измерений на том же станке:

- погрешность средства измерения;
- точность позиционирования осей станка;
- шероховатость обрабатываемых поверхностей;
- тепловые деформации испытуемого образца;
- тепловое воздействие на позиционирование станка во время измерения.

Для измерений на координатно-измерительной машине (КИМ):

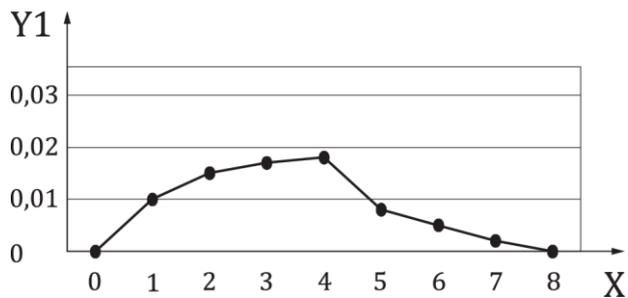
- деформация испытуемого образца вследствие разжима;
- погрешность измерения КИМ;
- шероховатость обработанных поверхностей;
- тепловые деформации испытуемого образца;
- геометрическая погрешность станка.

#### **A.5.5 Представление результатов**

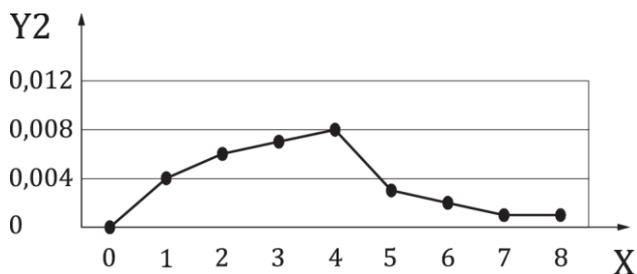
Необходимо зарегистрировать изменение смещения вдоль каждой оси станка за различные периоды времени. В качестве рекомендации следует указать первую пару измеряемых поверхностей и граней ( $E_{X,R1}$ ,  $E_{Y,R1}$ ,  $E_{Z,R1}$ ,  $E_{B,R1}$ ,  $E_{WP,R1}$ ), общий период нагрева ( $E_{X,R2}$ ,  $E_{Y,R2}$ ,  $E_{Z,R2}$ ,  $E_{B,R2}$ ,  $E_{WP,R2}$ ), и общую продолжительность испытания ( $E_{X,R3}$ ,  $E_{Y,R3}$ ,  $E_{Z,R3}$ ,  $E_{B,R3}$ ,  $E_{WP,R3}$ ), где R1, R2 и R3 указывают время в конце первого измерения, соответственно, в конце периода прогрева и общую продолжительность испытания. Эти значения должны быть зарегистрированы вместе с параметрами, перечисленными в образце протокола испытаний, приведенном в таблице А.3.

Кроме того, изменение каждого измеренного значения должно быть представлено графически. На рисунке А.17 показан пример.

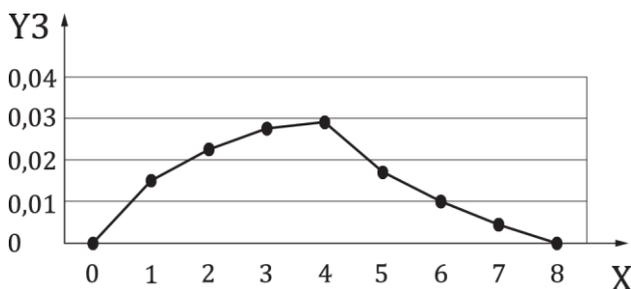
**ГОСТ ISO 10791-10-202**  
(проект, RU, окончательная редакция)



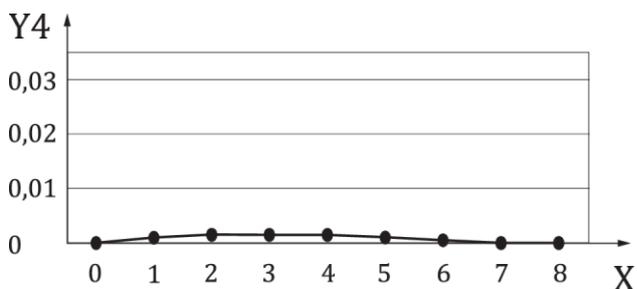
а) Погрешность расположения измеряемых поверхностей  $S_z$



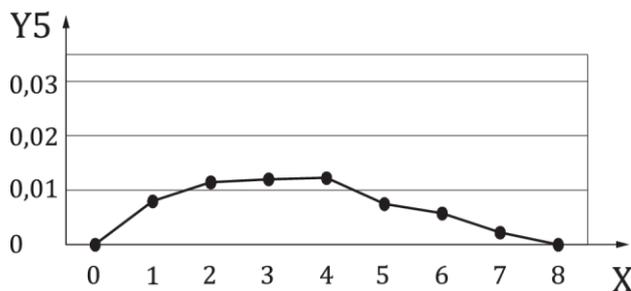
б) Угловая погрешность измеряемых поверхностей  $S_z$



в) Погрешность положения в направлении X



г) Погрешность положения в направлении Y



д) Тепловое расширение испытуемого образца

X – группа, Y1 – погрешность положения в направлении Z, в мм, Y2 – угловая погрешность вокруг оси Y, в мм/м, Y3 – погрешность положения в направлении X, в мм, Y4 – погрешность положения в направлении Y, в мм, Y5 – тепловое расширение испытуемого образца, в мм

Таблица А.17 — Пример графического представления результатов испытаний

## Приложение ДА

(справочное)

**Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов  
межгосударственным стандартам**

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование 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»
ISO 230-3:2020	–	*
<p>* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует.</p> <p>Примечание – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:</p> <p>- IDT – идентичные стандарты.</p>		

## **Библиография**

- [1] ISO 1:2022, *Геометрические характеристики изделий (GPS). Стандартная температура для определения геометрических характеристик и размерных свойств.*
- [2] ISO 230-2:2014, *Нормы и правила испытаний станков. Часть 2. Определение точности и повторяемости позиционирования осей станков с числовым программным управлением.*
- [3] ISO 230-7, *Нормы и правила испытаний станков. Часть 7. Геометрическая точность осей вращения.*
- [4] ISO 230-10:2022, *Нормы и правила испытаний металлорежущих станков. Часть 10. Определение измерительных характеристик систем щупов металлорежущих станков с числовым программным управлением*
- [5] ISO 10791-7:2020, *Условия испытаний обрабатывающих центров. Часть 7. Точность обработки испытательных образцов.*
- [6] ISO 12181-1:2011, *Геометрические характеристики изделий (GPS). Круглость. Часть 1. Словарь и параметры круглости.*
- [7] ISO 12781-1:2011, *Геометрические характеристики изделий (GPS). Плоскостность. Часть 1. Словарь и параметры плоскостности.*
- [8] ISO/TR 16015:2003, *Геометрические характеристики изделий. Систематические ошибки и их составляющие при определении погрешности при измерении длины из-за термических воздействий.*
- [9] Ibaraki S., Okumura R. Machining tests to evaluate machine tool thermal displacement in Z-direction: Proposal to ISO 10791-10. *Int. J. Automot. Technol.* 2020, 14 (3) pp. 380–385.
- [10] Ibaraki S., Okumura R. A machining test to evaluate thermal influence on the kinematics of a five-axis machine tool. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2021, 163 (103702).
- [11] Wiessner M., Blaser P., Böhl S., Mayr J., Knapp W., Wegener K. Thermal test piece for 5-axis machine tools. *Precis. Eng.* 2018, 52 pp. 407–417.
- [12] Blaser P., Hernandez-Becerro P., Mayr J., Wiessner M., Wegener K. Thermal errors of a large 5-axis machine tool due to cutting fluid influences – Evaluation with thermal test piece, *Proceedings of the 32nd ASPE Annual Meeting*, 2017.

УДК 621.9.02-434.5.006.354

МКС 25.040.10

IDT

Ключевые слова: обрабатывающие центры, условия испытаний, тепловые деформации, оценка

Директор департамента  
машиностроения и  
цифровых технологий



Г.В. Воробьев

Начальник отдела  
нефтегазового, теплогенерирующего  
оборудования и станкостроения



И.А. Щипаков

Зам. начальника отдела  
нефтегазового, теплогенерирующего  
оборудования и станкостроения



В.Г. Красилов

Глав. специалист отдела  
нефтегазового, теплогенерирующего  
оборудования и станкостроения



М.В. Куранова

Глав. специалист отдела  
нефтегазового, теплогенерирующего  
оборудования и станкостроения



В.И. Шпак