

PRE RUS 1389

Mitutoyo

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

по высокоточным средствам измерения

Русская версия



Контроль качества	2
Микрометры	4
Микрометрические головки	11
Нутромеры	14
Штангенциркули	15
Штангенрейсмасы	18
Концевые меры длины	20
Циферблатные и цифровые индикаторы	21
Линейные датчики	24
Лазерные микрометры	26
Линейные шкалы	28
Профильные проекторы	31
Микроскопы	32
Видео-измерительные машины	34
Профилометры (приборы для измерения шероховатости поверхности)	36
Контурографы (приборы для измерения контура)	38
Кругломеры (приборы для измерения формы)	40
Твердомеры	42
Координатно-измерительные машины	44



■ Контроль качества (КК)

Система, позволяющая экономно производить качественные продукты или услуги в соответствии с требованиями потребителя.

■ Контроль качества технологического процесса

Меры, обеспечивающие стабильное снижение variability готового продукта путём улучшения технологического процесса. К таким мерам относится как стандартизация и оптимизация производственного процесса, так и наращивание технологий.

■ Статистический контроль процесса (SPC)

Контроль качества производственного процесса с помощью статистических методов.

■ Номенклатура

Группа, состоящая из всех единиц продукции, которые подлежат улучшению и контролю в отношении технологического процесса и качества продукта. Номенклатура обычно бывает представлена выборкой, полученной путём отбора образцов.

■ Партия

Совокупность единиц продукции, произведённых при равных условиях.

■ Выборка

Единица (группа единиц) продукции, отобранная из номенклатуры для изучения её характеристик.

■ Размер выборки

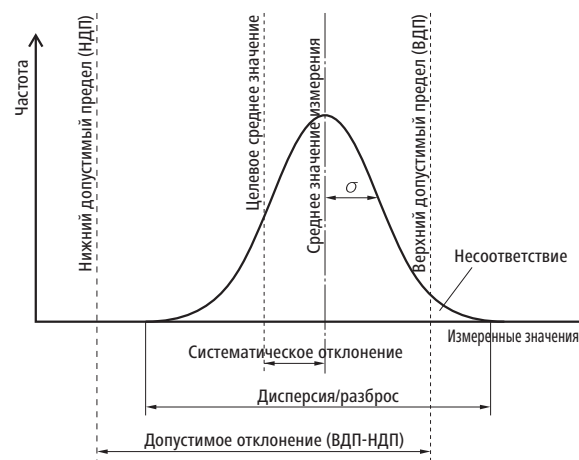
Количество единиц продукции в выборке.

■ Систематическое отклонение

Величина, рассчитанная путём вычитания истинного значения из среднего значения измеряемой величины при проведении серии измерений.

■ Дисперсия

Вариация значений целевой характеристики по отношению к среднему значению. Стандартное отклонение обычно используется для представления дисперсии значений вокруг среднего.



■ Гистограмма

Диаграмма, разделяющая диапазон между максимумом и минимумом измеренной величины на несколько секторов и показывающая количество повторений (частоту возникновения) в каждом секторе в форме столбцов. Таким образом, легче определить примерное среднее или приблизительный разброс дисперсии. Волнообразный симметричный график распределения также называется «нормальным распределением» и часто используется в теоретических примерах, поскольку облегчает расчёт характеристик. Однако необходимо помнить, что многие реальные процессы нельзя описать с помощью нормального распределения, и такое допущение может привести к ошибочным результатам.

■ Воспроизводимость процесса

Характерная для процесса результативность при условии его достаточной стандартизации, устранении всех возможных причин сбоев и статистической контролируемости. Воспроизводимый технологический процесс ограничен диапазоном $\pm 3\sigma$ или 6σ от среднего, если качественный выпуск продукции соответствует нормальному распределению. σ (сигма) обозначает стандартное отклонение.

■ Индекс воспроизводимости процесса (ИВП или Cp)

Критерий, определяющий способность процесса оставаться в рамках допустимых границ целевой характеристики. Данный индекс должен всегда значительно превышать 1. Значение индекса рассчитывается путём деления допустимого отклонения целевой характеристики на 6σ (воспроизводимость технологического процесса). В случае одностороннего допуска, индекс рассчитывается путём деления разности между средним (\bar{X}) и стандартным значением на 3σ . При использовании индекса воспроизводимости процесса подразумевается, что измеряемая характеристика имеет нормальное распределение.

Примечание: Если характеристика имеет нормальное распределение, то 99.74% данных сгруппированы в диапазоне $\pm 3\sigma$ от среднего значения.

Двусторонний допуск

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

USL (ВДП) – верхний допустимый предел
LSL (НДП) – нижний допустимый предел

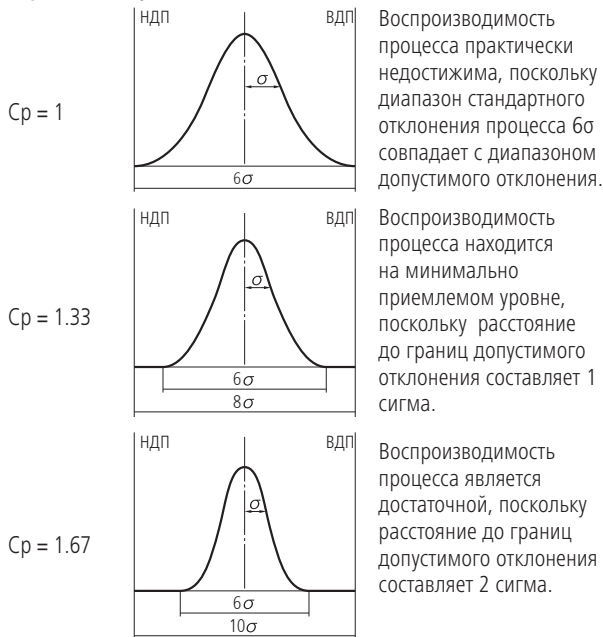
Односторонний допуск ... Если задан только верхний допустимый предел

$$C_p = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}$$

Односторонний допуск ... Если задан только нижний допустимый предел

$$C_p = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$$

Примеры значений индекса воспроизводимости процесса (Cp) (двусторонний допуск)

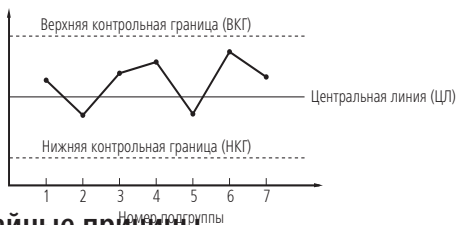


Важно отметить, что индекс Cp отражает только отношение между допустимыми границами значения измеряемой величины и дисперсией процесса, но не учитывает положение среднего значения процесса.

Примечание: Индекс воспроизводимости процесса, отражающий разницу между средним значением измеряемого процесса и целевым средним значением, обычно обозначается Cpк и равняется частному от деления значения верхнего допуска (ВДП минус среднее) на 3σ (половина диапазона воспроизводимости процесса), или частному от деления значения нижнего допуска (среднее минус НДП) на 3σ , в зависимости от того, какой результат из двух указанных является наименьшим.

■ Контрольная карта

Используется для контроля процесса путём отделения вариабельности процесса, вызванной случайными причинами, от вариабельности, вызванной неполадками в процессе. Контрольная карта состоит из центральной линии (ЦЛ) и линий верхней и нижней контрольных границ (ВКГ и НКГ), расположенных соответственно выше и ниже центральной линии. Можно сказать, что процесс контролируется статистически, если при нанесении значений его характеристик на контрольную карту все точки находятся между линиями верхней и нижней контрольных границ без значительных отклонений в направлении какой-либо из границ. Контрольная карта является полезным инструментом для контроля результатов процесса и, таким образом, его качества.



■ Случайные причины

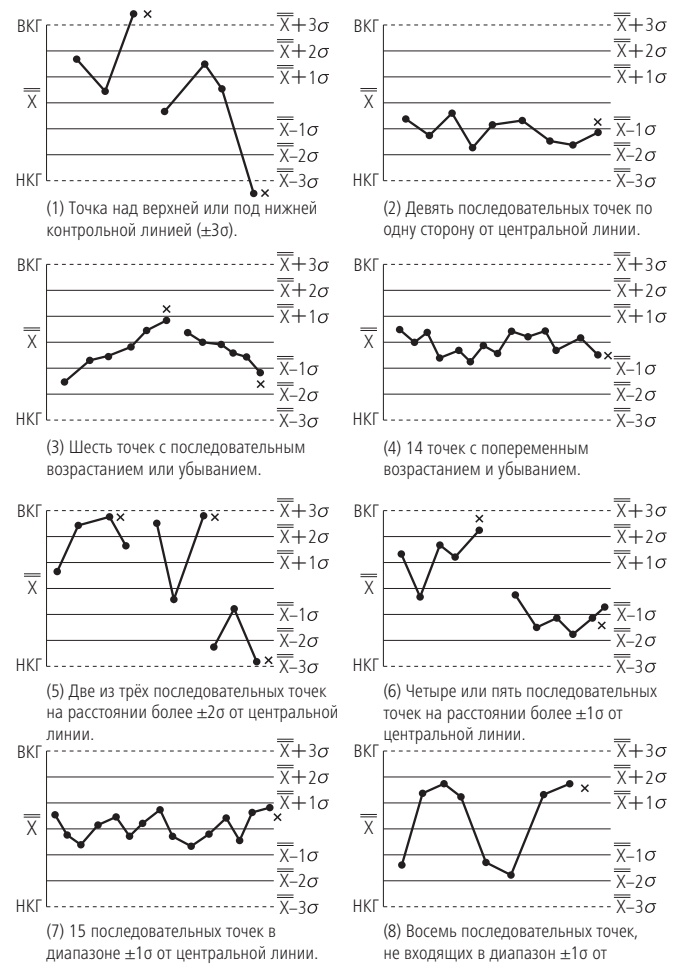
Это причины вариабельности процесса, которые являются относительно маловажными. Случайные причины невозможно устранить по технологическим или экономическим основаниям, даже если их удается идентифицировать.

■ Контрольная карта \bar{X} -R

Контрольная карта, используемая для контроля процесса и содержащая наибольшее количество информации о процессе. Контрольная карта \bar{X} -R состоит из контрольной карты \bar{X} , с помощью которой происходит мониторинг среднего в каждой подгруппе для выявления аномальной погрешности среднего значения процесса, и контрольной карты R, в которой используется диапазон для контроля аномальной вариации. Обычно обе карты используются одновременно.

■ Интерпретация контрольной карты

Ниже приводятся типичные тренды последовательного расположения точек на контрольной карте, которые считаются нежелательными. Такие тренды указывают на существование «особых причин», влияющих на результат технологического процесса, в отношении которых требуются действия оператора процесса с целью их устранения. Настоящие правила определения причин приводятся лишь в качестве общего указания. При разработке правил определения причин для конкретного процесса принимайте во внимание присущую ему вариабельность. Предполагая, что верхняя и нижняя контрольные границы находятся на расстоянии 3σ от центральной линии, разделите контрольную карту на шесть частей с интервалом в 1σ , и затем применяйте указанные ниже правила. Такие правила применяются в отношении контрольной карты \bar{X} и \bar{R} . Обратите внимание на то, что данные «правила действий в отношении трендов» были сформулированы для нормального распределения. Также подобные правила могут быть сформулированы для любого другого вида распределения.



Краткое руководство по высокоточным измерительным приборам

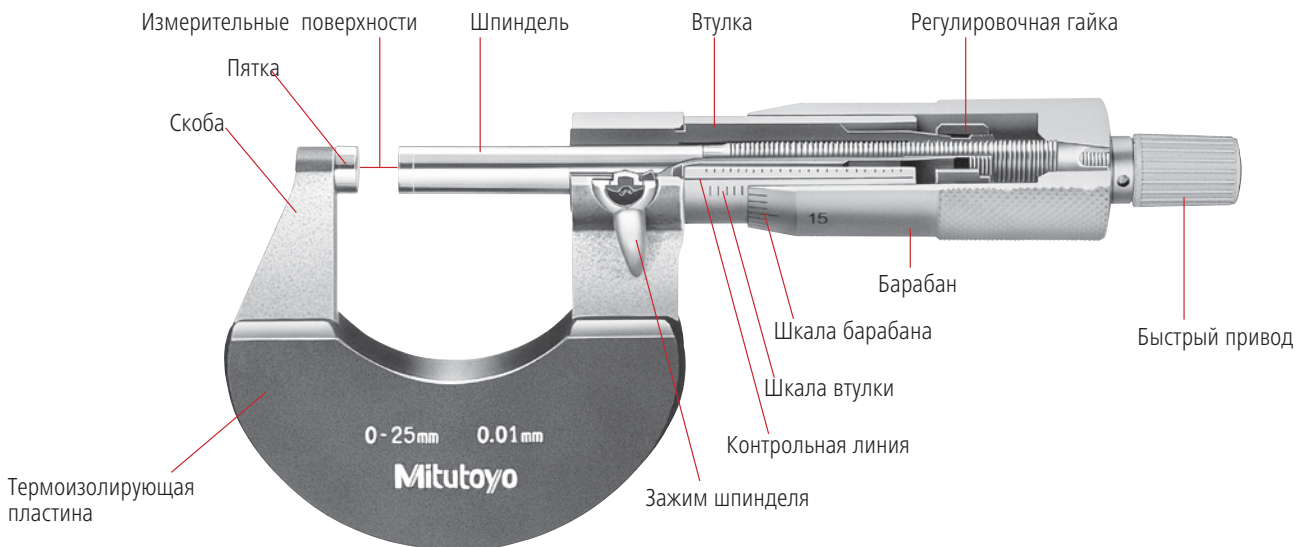


Контроль качества

■ Номенклатура

Стандартный аналоговый микрометр для измерения наружных размеров

PAGE 4

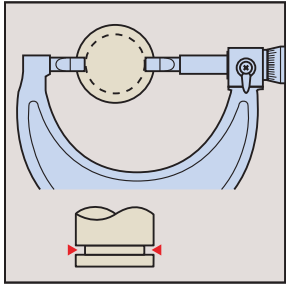


Цифровой микрометр Digimatic для измерения наружных размеров



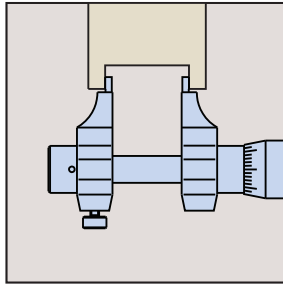
■ Специализированные микрометры

Микрометр с ножевидными измерительными поверхностями



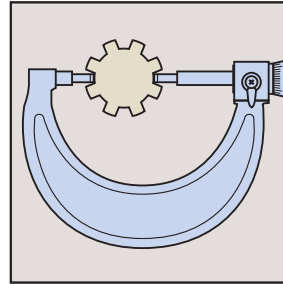
Для измерения диаметра узких внутренних канавок

Микрометрический нутромер штангенциркульного типа



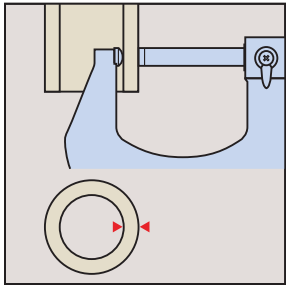
Для измерения малых внутренних диаметров и ширины канавок

Микрометр для измерения шлицев



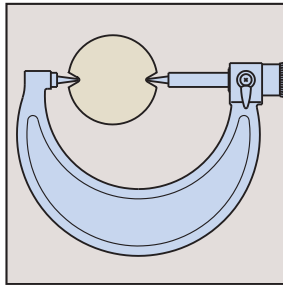
Для измерения диаметра шлицевых валов

Трубный микрометр



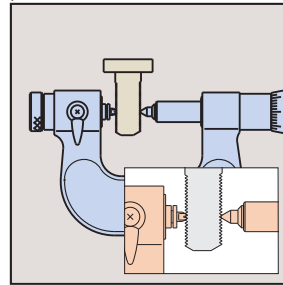
Для измерения толщины труб

Микрометр с точечными контактами



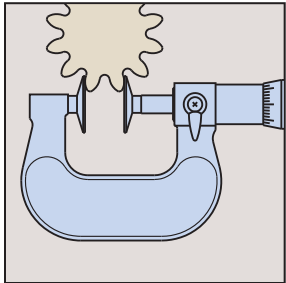
Для измерения диаметра впадин

Микрометр для измерения резьбы



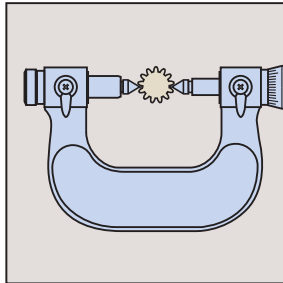
Для эффективного измерения винтовой резьбы

Дисковый микрометр



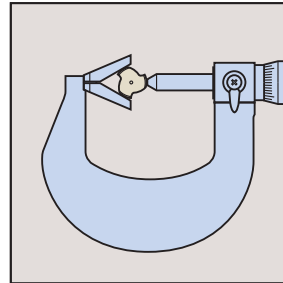
Для измерения длины общей нормали на прямозубых и косозубых цилиндрических шестернях.

Микрометр со сферическими наконечниками



Для измерения размера по роликам зубчатых колёс

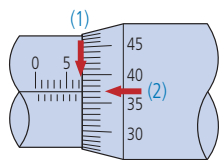
Микрометр с клиновидной пяткой



Для измерений 3- или 5-канавочных режущих

■ Считывание показаний шкалы

Микрометр со стандартной шкалой (деление: 0.01 мм)

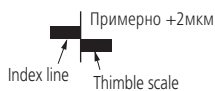


- (1) Шкала втулки 7 мм
- (2) Шкала барабана + 0.37 мм

Показание микрометра 7.37 мм

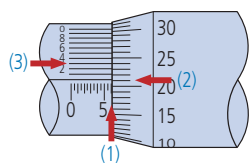
Заметка: 0.37 мм (2) считывается в положении совпадения контрольной линии изолирующей трубки с отметкой шкалы барабана.

Шкала барабана имеет прямое считывание до 0.01 мм, как показано выше, но с её помощью можно также считывать приблизительные значения до 0.001 мм при практически полном совпадении линий, т.к. толщина линии составляет 1/5 от межлинейного пространства.



Микрометр с нониусной шкалой (деление: 0.001 мм)

Нониусная шкала, нанесённая над контрольной линией втулки, позволяет осуществлять прямое считывание с точностью до 0.001 мм.

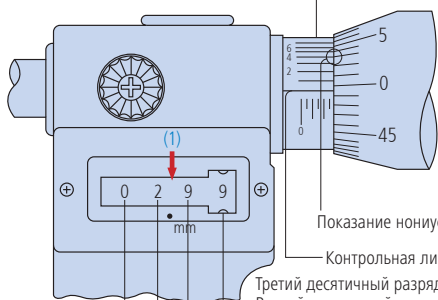


- (1) Шкала втулки 6.000 мм
 - (2) Шкала барабана 0.210 мм
 - (3) Показание совпадения нониусной шкалы с отметкой шкалы барабана + 0.003 мм
- Показание микрометра 6.213 мм

Заметка: 0.21 мм (2) считывается в положении, когда контрольная линия находится между двумя отметками шкалы (в данном случае, 21 и 22). 0.003 мм (3) считывается в положении, когда одна из отметок нониусной шкалы совпадает с одной из отметок шкалы барабана.

Микрометр с механико-цифровым дисплеем (шаг: 0.001 мм)

Третий десятичный разряд по нониусной шкале (точность до 0.001 мм)



Показание нониусной шкалы 0.004 мм (2)

Контрольная линия

- Третий десятичный разряд 0.004 мм (2)
 - Второй десятичный разряд 0.090 мм
 - Первый десятичный разряд 0.900 мм (1)
 - Миллиметры 2.000 мм
 - + Десятки миллиметров 00.000 мм
- Показание счётчика 2.994 мм

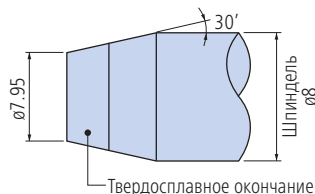
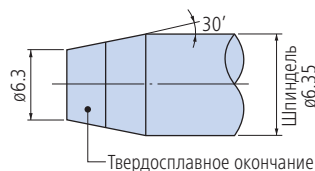
*Показывает 4 цифры.

Заметка: 0.004 мм (2) считывается в положении, когда отметка нониусной шкалы совпадает с одной из отметок шкалы барабана.

■ Ограничители измерительного усилия

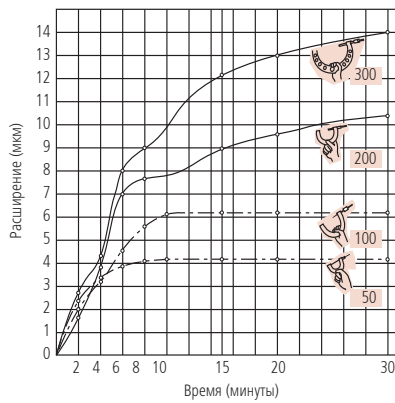
	Слышимость при работе	Управление одной рукой	Примечания
Трещоточный стопор	Да	Нет	Слышимые щелчки вызывают микротолчки при работе с инструментом
Фрикционный барабан (F тип)	Нет	Да	Работает без звуков и толчков
Трещоточный стопор (T тип)	Да	Да	Слышимость при работе подтверждает постоянство измерительного усилия
Трещоточный стопор	Да	Да	Слышимость при работе подтверждает постоянство измерительного усилия

■ Измерительные поверхности



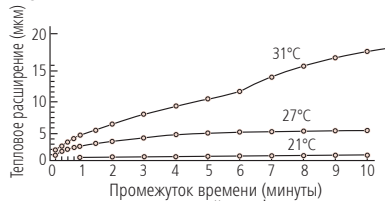
Рисунки выше приведены в качестве иллюстрации и не являются пропорциональными реальным размерам

■ Тепловое расширение микрометра при контакте скобы с ладонью



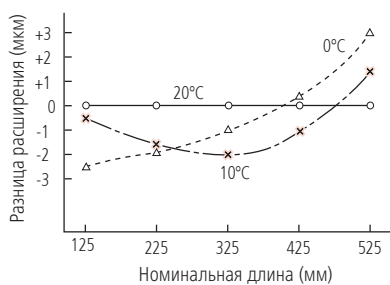
Приведённый выше график иллюстрирует степень теплового расширения скобы микрометра из-за передачи тепла от руки к скобе при удерживании микрометра голый рукой. Тепловое расширение, как видно на рисунке, может привести к значительному искажению показаний прибора. Если в процессе измерения микрометр необходимо удерживать в руке, старайтесь свести к минимуму время контакта. Теплоизоляционный материал, при его наличии, помогает значительно снизить влияние такого эффекта; также можно использовать перчатки. (Важно отметить, что приведённый выше график демонстрирует эффект в общем случае и не распространяется на все специфические ситуации).

■ Расширение эталона длины при изменении температуры (для меры длиной 200мм при температуре 20°C)



Приведённый выше экспериментальный график иллюстрирует расширение конкретного микрометрического эталона с течением времени при удержании его в руках нескольких человек с разной температурой ладони (как показано на графике) при комнатной температуре 20°C. Данный график показывает, что настраивать микрометр следует не прикасаясь к эталону, допускается корректировать положение эталона только в перчатках или удерживая эталон за специальные теплоизолированные участки. При выполнении измерений учтите, что после теплового расширения требуется некоторое время на восстановление изначального размера эталона. (Значения, указанные на графике, являются экспериментальными, а не гарантированными).

■ Отличия теплового расширения микрометра и эталона длины



В проиллюстрированном выше эксперименте микрометр и его эталон находились в течение 24 часов при комнатной температуре 20°C, после чего была произведена настройка точки отсчёта с использованием микрометрического эталона. Затем микрометр и эталон были оставлены на такой же промежуток времени при температуре 0°C и 10°C соответственно, после чего была произведена проверка смещения точки отсчёта. Приведённый выше график показывает результат для каждого из размеров от 125 до 525 мм при каждой температуре. Смысл данного примера заключается в том, что микрометр и эталон должны находиться в одинаковых условиях (в одном помещении) минимум в течение нескольких часов до проведения настройки точки отсчёта. (Значения, указанные на графике, являются экспериментальными, а не гарантированными).

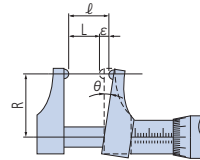
■ Воздействие изменения способа опоры и ориентации на показания прибора (Единицы: мкм)

Изменение способа опоры и/или ориентации микрометра после установки нуля влияет на последующие результаты измерений. Приведённая ниже таблица показывает погрешности измерения, которые ожидаемо происходят после настройки нуля микрометра в положении «опора снизу и по центру» и последующей смене способа опоры. Смысл данного примера заключается в том, что настройка и измерение должны происходить без изменения способа опоры и ориентации.

Метод крепления	Опора снизу и по центру	Опора только по центру
Положение		
Макс. длина измерения (мм)		
325	0	-5.5
425	0	-2.5
525	0	-5.5
625	0	-11.0
725	0	-9.5
825	0	-18.0
925	0	-22.5
1025	0	-26.0

Метод крепления	Опора по центру в горизонтальном положении.	Удержание рукой при направлении вниз.
Положение		
Макс. длина измерения (мм)		
325	+1.5	-4.5
425	+2.0	-10.5
525	-4.5	-10.0
625	0	-5.5
725	-9.5	-19.0
825	-5.0	-35.0
925	-14.0	-27.0
1025	-5.0	-40.0

■ Принцип Аббе



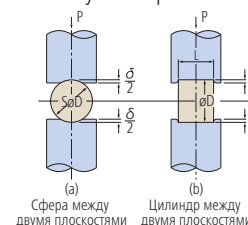
Согласно принципу Аббе, «отсчетное устройство должно быть на одной линии с измеряемым размером». Этот принцип обусловлен тем, что любое отклонение относительного угла (θ) при движении измерительной губки инструмента (например, микрометра с вынесенными измерительными губками) вызывает смещение, которое не отражается на измерительной шкале инструмента и возникает «ошибка Аббе» (на диаграмме, $\varepsilon = \ell - L$). Недостаточная прямолинейность микровинта, люфт направляющей микровинта или вариации измерительного усилия могут также быть причиной изменения (θ), и степень погрешности возрастает с увеличением R.

■ Закон Гука

Закон Гука гласит, что деформация эластичного материала пропорциональна силе, вызывающей эту деформацию, при условии, что деформация остаётся в рамках предела упругости для данного материала.

■ Формулы Герца

Согласно формулам Герца, диаметр сфер и цилиндров уменьшается из-за упругого сжатия при измерении между плоскими поверхностями. Эти формулы помогают определить деформацию измеряемого объекта, вызванную измерительным усилием при точечном и линейном контакте.



Предположим, что измеряемый материал – сталь:
 Модуль упругости: $E=205\text{ГПа}$
 Степень деформации: δ (мкм)
 Диаметр сферы или цилиндра: D (мм)
 Длина цилиндра: L (мм)
 Измерительное усилие: P (Н)
 а) Уменьшение диаметра сферы
 $\delta_1 = 0.82 \sqrt[3]{P^2/D}$
 б) Уменьшение диаметра цилиндра
 $\delta_2 = 0.094 \cdot P/L \sqrt[3]{1/D}$

Измерение среднего диаметра резьбы

● Метод трёх проволочек

Средний диаметр резьбы винта может быть измерен методом трёх проволочек, как показано на рисунке.

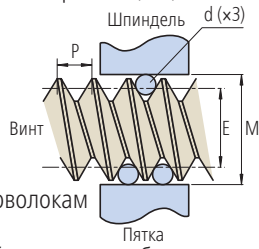
Рассчитайте средний диаметр (E) с помощью формул (1) и (2).

Метрическая или унифицированная винтовая резьба (60°)

$$E = M - 3d + 0.866025P \dots\dots(1)$$

Резьба Витворта (дюймовая) (55°)

$$E = M - 3.16568d + 0.960491P \dots\dots(2)$$



d = диаметр проволоки
 E = средний диаметр резьбы
 M = Показания микрометра по трём проволокам
 P = шаг резьбы
 (Для унифицированной резьбы необходимо преобразование дюймов в миллиметры).

Тип резьбы	Оптимальный размер проволоки D
Метрическая или унифицированная (60°)	0.577P
Резьба Витворта (55°)	0.564P

Погрешность при использовании метода трёх проволочек

Причина погрешности	Предупреждающие меры	Возможная погрешность	Возможная неустранимая погрешность
Погрешность шага (измеряемой детали)	1. Исправьте погрешность шага ($\sigma_p = \sigma_E$) 2. Измерьте несколько точек и рассчитайте среднее 3. Устраните погрешность отдельных шагов.	± 18 мкм при допущении, что погрешность шага составляет 0,02мм.	± 3 мкм
Погрешность половинного угла (измеряемой детали)	1. Используйте оптимальный диаметр проволоки 2. Коррекция не требуется.	$\pm 0,3$ мкм	$\pm 0,3$ мкм
Из-за отклонения пятки	1. Используйте оптимальный диаметр проволоки. 2. Используйте проволоку с диаметром, близким к среднему, со стороны одной проволоки.	± 8 мкм	± 1 мкм
Погрешность диаметра проволоки	1. Прилагайте рассчитанное измерительное усилие, соответствующее шагу резьбы 2. Используйте рассчитанную ширину измерительной кромки 3. Прилагайте стабильное измерительное усилие	-3 мкм	-1 мкм
Накопленная погрешность		В худшем случае +20 мкм -35 мкм	При аккуратном измерении +3 мкм -5 мкм

● Метод одной проволоочки

Диаметр резьбы на метчиках с нечётным количеством канавок может измеряться при помощи микрометра с клиновидной пяткой методом одной проволоочки. Получите значение измерения (M_1) и рассчитайте M при помощи формул (3) и (4).

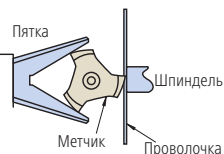
M_1 = Показания микрометра при измерении методом одной проволоочки

D = диаметр шага метчика с нечётным количеством канавок

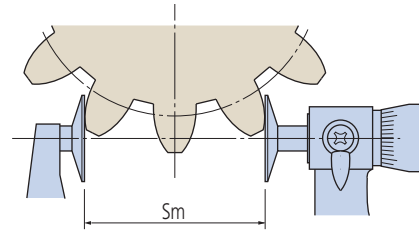
Метчик с тремя канавками: $M = 3M_1 - 2D \dots\dots(3)$

Метчик с пятью канавками: $M = 2.2360M_1 - 1.2360D \dots\dots(4)$

Затем подставьте рассчитанное значение M в формулу (1) или (2) для расчёта среднего диаметра резьбы (E).



Длина общей нормали



Формула для расчёта длины общей нормали (S_m):

$$S_m = m \cos \alpha_0 \{ \pi (Zm - 0.5) + Z \operatorname{inv} \alpha_0 \} + 2Xm \sin \alpha_0$$

Формула для расчёта количества зубьев в длине общей нормали (Zm):

$$Zm' = Z \cdot K(f) + 0.5 \quad (Zm - \text{ближайшее целое число к } Zm')$$

где, $K(f) = \frac{1}{\pi} \{ \sec \alpha_0 \sqrt{(1 + 2f)^2 - \cos^2 \alpha_0} - \operatorname{inv} \alpha_0 - 2f \tan \alpha_0 \}$

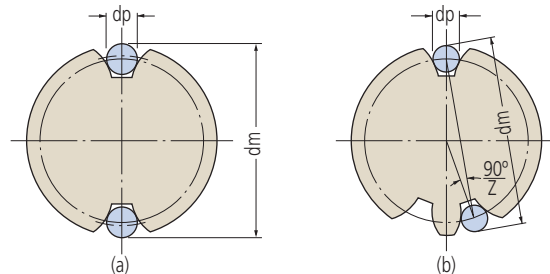
и, $f = \frac{X}{Z}$

окр. среда $20^\circ \approx 0.014904$
 окр. среда $14.5^\circ \approx 0.0055448$

m : модуль
 α_0 : угол профиля
 Z : количество зубьев
 X : коэф. смещения исх. контура
 S_m : длина общей нормали
 Zm : количество зубьев в общей нормали

Измерение шестерен

Размер по роликам



Для шестерен с чётным количеством зубьев:

$$dm = dp + \frac{dg}{\cos \theta} = dp + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta}$$

Для шестерен с нечётным количеством зубьев:

$$dm = dp + \frac{dg}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{z} \right) = dp + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos \theta} \cdot \cos \left(\frac{90^\circ}{z} \right)$$

однако,

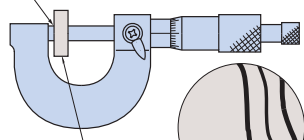
$$\operatorname{inv} \theta = \frac{dp}{dg} - \frac{X}{Z} = \frac{dp}{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0} - \left(\frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha_0 \right) + \frac{2 \tan \alpha_0}{z} \cdot X$$

Возьмите θ ($\operatorname{inv} \theta$) из таблицы эвольвент.

z : количество зубьев
 α_0 : угол профиля зубьев
 m : модуль
 X : коэффициент смещения исходного контура

■ Проверка измерительных поверхностей микрометра на параллельность

Направление считывания оптической плоскопараллельной пластины на поверхности микрометрического винта



Оптическая плоскопараллельная пластина

Интерференционные полосы на поверхности микрометрического винта



Параллельность можно оценить с помощью размещения оптической плоскопараллельной пластины между измерительными поверхностями. Сначала прижмите параллель к измерительной поверхности пятки. Затем замкните микрометрический винт на пластине, прилагая нормальное измерительное усилие и подсчитайте количество красных интерференционных полос на измерительной поверхности микрометрического винта в белом свете. Каждая полоса представляет собой различие по высоте в половину длины волны (0.32 мкм для красных полос).

На рисунке выше параллельность в приблизительно 1 мкм вычисляется следующим способом: $0.32 \text{ мкм} \times 3 = 0.96 \text{ мкм}$.

■ Проверка измерительных поверхностей микрометра на плоскостность

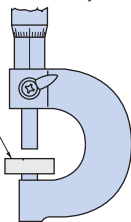
Плоскостность можно оценить, используя оптическую плоскопараллельную пластину, прижатую к измерительной поверхности. Подсчитайте количество красных интерференционных полос на измерительной поверхности в белом свете. Каждая полоса представляет собой различие по высоте в половину длины волны (0.32 мкм для красных полос).

Направление считывания интерференционных полос



Оптическая пластина

Пятка



Оптическая пластина

Пятка

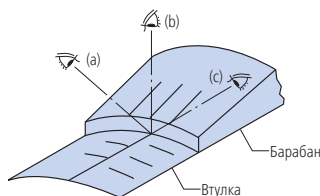
Измерительная поверхность искривлена примерно на 1.3 мкм. ($0.32 \text{ мкм} \times 4$ парных красных полос).

Измерительная поверхность имеет впадину (выпуклость) высотой примерно 0.6 мкм. ($0.32 \text{ мкм} \times 2$ круговые полосы).

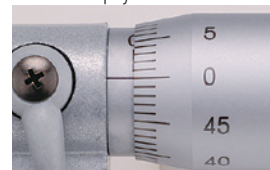
■ Общие рекомендации по использованию микрометров

1. Внимательно выбирайте тип, измерительный диапазон, точность и другие характеристики инструмента, необходимого для ваших целей.
2. Перед тем, как произвести измерение, оставляйте микрометр и деталь при комнатной температуре на достаточное для выравнивания их температур время.
3. При считывании показаний со шкалы барабана смотрите прямо на контрольную линию.

Если смотреть на контрольную линию под углом, то возникает ошибка параллакса, из-за которой становится невозможным верное выравнивание положения отметок шкал и, следовательно, правильное чтение показаний.



(a) Взгляд на контрольную линию сверху

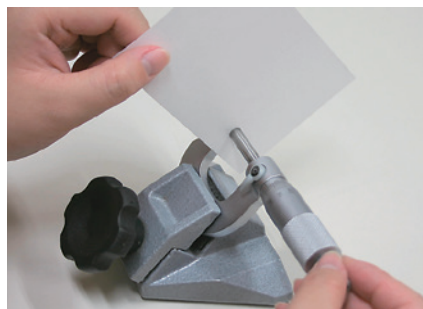


(b) Взгляд на контрольную линию прямо

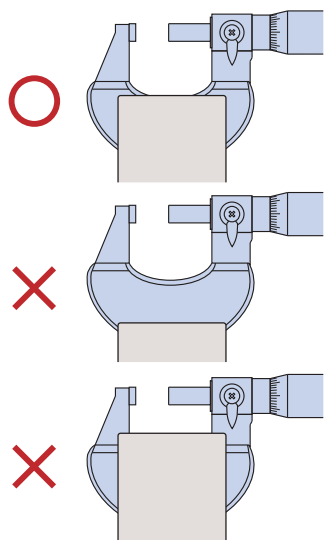


(c) Взгляд на контрольную линию снизу

4. Протрите измерительные поверхности пятки и шпинделя безворсовыми салфетками и установите точку отсчёта (нуль) перед тем, как начать измерение.



5. Ежедневно стирайте пыль, стружку и другие загрязнения с периферийной и измерительной поверхностями микрометрического винта (шпинделя). Кроме того, необходимо стирать сухой тканью пятна и отпечатки пальцев со всех частей инструмента.
6. Используйте регулятор постоянного усилия правильно, так чтобы измерения выполнялись с приложением корректного измерительного усилия.
7. При закреплении микрометра на опорном стенде зажим должен располагаться по центру скобы микрометра. Не зажимайте инструмент слишком сильно.



8. Не роняйте микрометр и не допускайте ударов о другие предметы. Не применяйте излишнее усилие при вращении барабана. Если вы считаете, что микрометр мог получить повреждения в результате неправильной эксплуатации, перед дальнейшим его применением произведите проверку его точности.
9. После длительного хранения или при отсутствии защитной масляной плёнки нанесите на микрометр тонкий слой антикоррозионной смазки с помощью кусочка ткани, обмакнув ткань в смазку.
10. Советы по хранению микрометра:
 - Избегайте хранения микрометра под воздействием прямых солнечных лучей.
 - Храните микрометр в вентилируемой среде с низкой влажностью.
 - Храните микрометр в незапылённом месте.
 - Храните микрометр в коробке или другом контейнере, который не следует располагать на полу.
 - При хранении микрометра всегда оставляйте зазор в 0.1-1 мм между измерительными поверхностями.
 - Не храните микрометр в закреплённом положении.

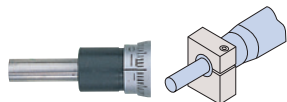


Ключевые факторы при выборе микрометрической головки

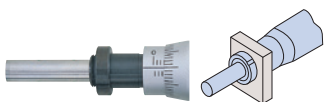
Ключевые факторы, которыми следует руководствоваться при выборе микрометрической головки: измерительный диапазон, измерительная поверхность шпинделя, стержень, градуировка, диаметр барабана, и т.д.

■ Стержень

Простой стержень



Стержень с контргайкой



- Стержень, используемый в качестве опоры для микрометра, относится к «простому типу» или типу с зажимной гайкой, как показано на иллюстрации выше. Диаметр стержня соответствует номинальному метрическому размеру в дюймах с допуском h6.
- Стержень с зажимной гайкой позволяет быстро и надёжно закреплять головку микрометра. Преимущество простого стержня заключается в более широком применении и возможности мелкой регулировки положения в направлении оси при окончательной установке, хотя для этого требуется раздельное крепление зажима или крепление на клею.
- Универсальные крепления доступны в качестве дополнительных принадлежностей.

■ Измерительная поверхность



Плоская поверхность



Сферическая поверхность



Противоротационное приспособление

- Плоская измерительная поверхность часто требуется в том случае, если микрометрическая головка используется в качестве измерительного приспособления.
- В случае если микрометрическая головка используется в качестве подающего механизма, сферическая измерительная поверхность может свести к минимуму ошибки измерения, возникающие из-за отсутствия соосности (рис. А). Напротив, плоская поверхность микровинта подходит для сфер, таких как твердосплавный шарик (рис.В).
- Микрометрическая головка с невращающимся шпинделем или головка, оснащённая противоротационным приспособлением (Рис.С), может использоваться в том случае, если необходимо избежать скручивания детали.
- Если микрометрическая головка используется в качестве стопора, то наиболее надёжным будет сочетание плоской поверхности шпинделя и плоской контактной поверхности.

Рисунок А

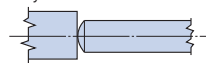


Рисунок С

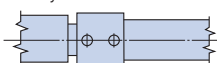
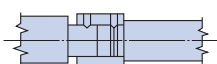
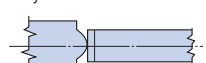


Рисунок В



■ Невращающийся шпиндель

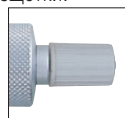
- Микрометрическая головка с невращающимся шпинделем не производит скручивающее действие на деталь, что может быть важным фактором в ряде практических случаев.

■ Шаг резьбы микровинта

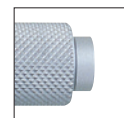
- Головка стандартного типа имеет шаг 0.5 мм.
- Тип головки с шагом 1 мм: ускоренная настройка по сравнению со стандартным типом, нет вероятности ошибки считывания 0.5 мм. Высокая допустимая нагрузка благодаря более крупной резьбе.
- Тип головки с шагом 0.25 мм или 0.1 мм. Этот тип является наиболее подходящим для малой подачи или тонкой коррекции положения.

■ Устройство стабилизации усилия

- Микрометрическая головка, оборудованная устройством стабилизации усилия (трещотка или фрикционный барабан), является рекомендованной для измерительных целей.
- При использовании микрометра в качестве стопора, или в случае если важно сэкономить пространство, наилучшим вариантом будет головка без трещотки.



Головка микрометра с устройством стабилизации усилия



Головка микрометра без устройства стабилизации усилия (без трещотки)

■ Блокировка микровинта

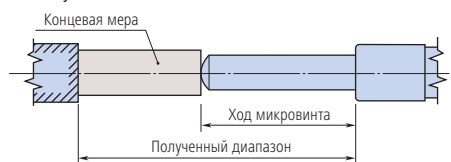
- Если микрометрическая головка используется в качестве стопора, то желательно пользоваться головкой с блокировкой микровинта, чтобы настройка не сбилась даже в результате неоднократной толчковой нагрузки.



■ Измерительный диапазон (ход микровинта)

- При выборе диапазона измерения микрометрической головки, предусмотрите адекватный интервал в зависимости от ожидаемой величины измерений. Для стандартных головок микрометра существует 6 вариантов хода, от 5 до 50 мм.
- Даже в том случае, если ход невелик, например 2 или 3 мм, более экономичным будет выбор 25-мм модели, при условии что достаточно пространства для её установки.
- Если требуется большой ход (более 50 мм), то параллельное использование концевой меры длины поможет увеличить измерительный диапазон. (Рис. D)

Рисунок D



- В данном руководстве, диапазон (или предел хода) барабана указан пунктирной линией. Для пределов хода рассматривайте барабан так, как если бы он находился в положении, отмеченном линией, при проектировании оснастки.

■ Применение для ультратонкой подачи

- Специализированные микрометрические головки предназначены для манипуляторов и т.д., в случае если требуется ультратонкая подача или настройка микровинта.

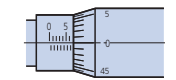
■ Диаметр барабана

- Диаметр барабана оказывает непосредственное влияние на его эффективность и «точность» позиционирования. Барабан с небольшим диаметром обеспечивает быстрое позиционирование, тогда как крупный барабан - более тонкое позиционирование и лёгкое считывание градуировки. Некоторые модели сочетают преимущества обоих типов: в них барабан грубой подачи (ускоритель) установлен на барабан большего диаметра.

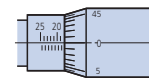


■ Типы градуировки

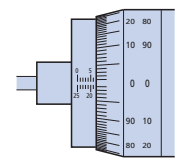
- Для считывания показаний с головки механического микрометра требуется особое внимание, в особенности, если пользователь не знаком с моделью.
- «Нормальный» тип градуировки, идентичный градуировке микрометра для измерения наружных поверхностей, является стандартным. Для такого типа значения показаний возрастают по мере втягивания микровинта в тело микрометра.
- С противоположной стороны, «обратная градуировка» подразумевает возрастание значений шкалы по мере выдвигения микровинта из тела микрометра.
- «Двухсторонняя градуировка» предназначена для обеспечения измерений в обоих направлениях. При этом цифры стандартного направления окрашены в чёрный цвет, а обратного – в красный цвет.
- Микрометрические головки с механическим или цифровым дисплеем, обеспечивающие прямое считывание измеряемого значения, также доступны для применения. При их использовании не возникает ошибок считывания. Ещё одно преимущество заключается в том, что данные микрометра с цифровым дисплеем могут передаваться на компьютер для хранения и статистической обработки.



«Нормальный» тип градуировки



«Обратный» тип градуировки



«Двухсторонний» тип градуировки

■ Рекомендации для самодельных креплений

Микрометрическая головка должна крепиться по стержню в точно обработанном отверстии методом зажима без излишнего давления на стержень. Три наиболее распространенных метода крепления показаны ниже. Метод 3 не рекомендуется к применению. По возможности, используйте методы (1) и (2).

(Единицы: мм)

Метод крепления	(1) Зажимная гайка				(2) Зажим с рассечением корпуса				(3) Зажим с регулировочным винтом			
	Необходимые действия											
Диаметр стержня	ø9.5	ø10	ø12	ø18	ø9.5	ø10	ø12	ø18	ø9.5	ø10	ø12	ø18
Крепежное отверстие	G7		G7		G7		G7		H5		H5	
Допуск посадки	+0.005 to +0.020		+0.006 to +0.024		+0.005 to +0.020		+0.006 to +0.024		0 to +0.006		0 to +0.008	
Меры предосторожности	Торец А должен быть перпендикулярен оси посадочного отверстия. Допуск на неперпендикулярность 0.16/6.5.				Ликвидируйте заусенцы, возникшие на станках посадочного отверстия в процессе разрезания.				Размер регулировочного винта должен составлять М3х0.5 или М4х0.7. Под регулировочный винт установите латунную заглушку (если это позволяет сделать толщина крепления), чтобы не повредить стержень.			

■ Максимальная допускаемая нагрузка для микрометрических головок

Максимальная допускаемая нагрузка микрометрической головки зависит в основном от метода крепления и от того, является нагрузка статической или динамической (например, при использовании в качестве стопора). Поэтому затруднительно определить нагрузочную способность каждого типа головок. Ниже приведены пределы нагрузки, рекомендованные Митутойо (при менее 100,000 оборотов для измерений в рамках диапазона точности), а также результаты тестов на статическую нагрузку с использованием малой микрометрической головки.

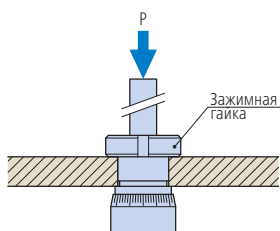
1. Рекомендованный максимальный предел нагрузки

		Максимальный предел нагрузки
Стандартный тип	(spindle pitch: 0.5mm)	Приблизительно до 39,227Н / 4кгс *
Высокоэффективный тип	Шаг резьбы микровинта: 0.1 мм/0.25мм	Приблизительно до 19,613Н / 2кгс
	Шаг резьбы микровинта: 0.5мм	Приблизительно до 39,227Н / 4кгс
	Шаг резьбы микровинта: 1.0мм	Приблизительно до 58,840Н / 6кгс
	Невращающийся микровинт	Приблизительно до 19,613Н / 2кгс
	Серия 110 для ультратонкой подачи (с дифференциальным механизмом)	Приблизительно до 9,613Н / 2кгс

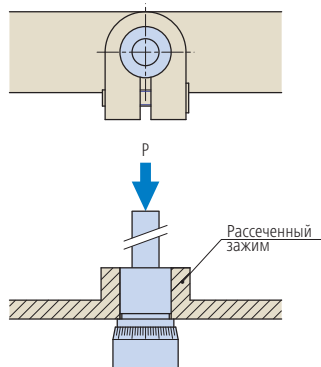
* Приблизительно до **19,613Н** / 2кгс только для ультрамалых моделей

2. Тест на статическую нагрузку для микрометрических головок (с использованием 148-104 / 148-103)

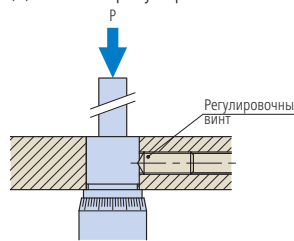
(1) Зажимная гайка



(2) Рассеченный зажим



(3) Зажим с регулировочным винтом



Метод испытания

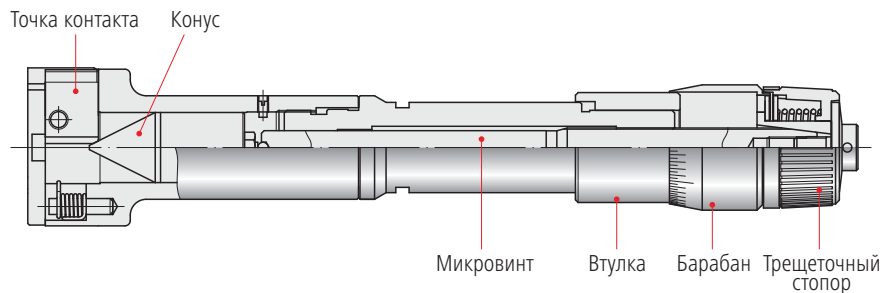
Микрометрические головки были установлены согласно приведённым иллюстрациям, затем было измерено статическое усилие, приложенное в направлении P, достаточное для повреждения головки или выталкивания её из крепления. (В данном тесте оценка точности не проводилась).

Метод крепления	Нагрузка, достаточная для повреждения / смещения *
(1) Зажимная гайка	Повреждение основного элемента происходит при усилии в 8.63-9.8кН (880-1000 кгс)
(2) Рассеченный зажим	Основной элемент выталкивается из крепления при усилии 0.69-0.98 кН (70-100 кгс)
(3) Зажим с регулировочным винтом	Повреждение регулировочного винта происходит при усилии в 0.69 -1.08кН (70-110 кгс)

*Данные значения нагрузок могут использоваться только в качестве приблизительного ориентира.



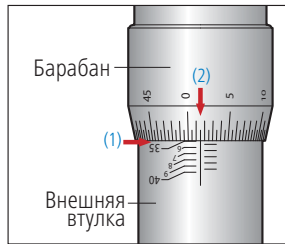
Номенклатура



Считывание показаний шкалы

Цена деления 0.005 мм

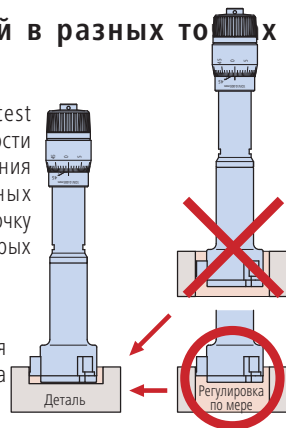
(1) Внешняя втулка	35 мм
(2) Барабан	0.015 мм
Результат	35.015 мм



Изменения показаний в разных точках измерения

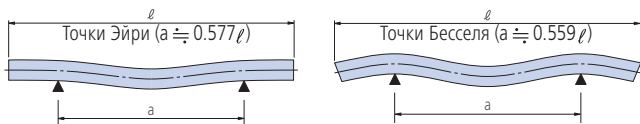
При использовании нутромера Holtest значение измерения по всей поверхности пятки отличается от значения измерения на конце пятки из-за конструктивных особенностей инструмента. Настройте точку отсчёта при тех же условиях, при которых будет выполняться измерение.

При использовании конца пятки для измерения, перенастройте точку отсчёта соответствующим образом.



Точки Эйри и Бесселя

При горизонтальном положении стандартной балки или микрометрического нутромера с опорой на две точки самым простым способом, балка прогибается под собственным весом. Форма прогиба зависит от расположения точек опоры. Существуют два расстояния между опорными точками, позволяющие эффективно контролировать описанный эффект деформации (см. ниже).



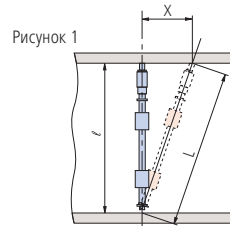
Концы балки (или нутромера) можно выровнять точно по горизонтали, размещая точки опоры симметрично, как показано на рисунке выше. Эти точки известны как «Точки Эйри» и обычно используются для обеспечения параллельности торцов балки друг к другу, что позволяет правильно определить длину.

Изменения длины балки (или нутромера) из-за прогибания можно свести к минимуму, размещая две опоры симметрично, как показано на втором рисунке. Такие точки известны как «Точки Бесселя» и могут быть полезны при использовании длинного микрометрического нутромера.

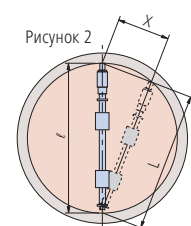
Ошибка измерения, вызванная изменением температуры микрометра

Теплопередача от руки рабочего к нутромеру должна быть сведена к минимуму для избегания значительных погрешностей измерения, возникающих при различии температур детали и нутромера. Если в процессе измерений необходимо удерживать нутромер в руке, то используйте перчатки или держите инструмент за специальные изолированные участки (при их наличии).

Погрешности смещения

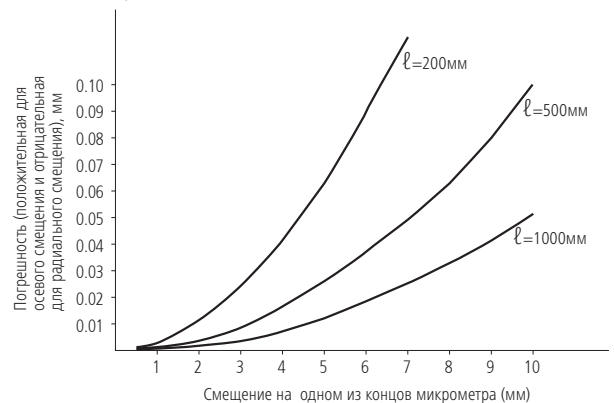


ℓ : Внутренний измеряемый диаметр
 L : Длина, измеренная с осевым смещением X
 X : Смещение осевого направления
 $\Delta\ell$: Погрешность измерения
 $\Delta\ell: L-\ell=\sqrt{L^2+X^2}-\ell$



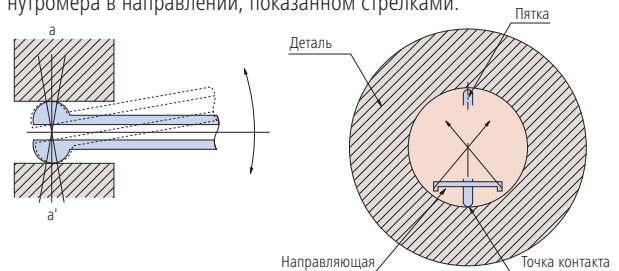
ℓ : Внутренний измеряемый диаметр
 L : Длина, измеренная с радиальным смещением X
 X : Смещение радиального направления
 $\Delta\ell$: Погрешность измерения
 $\Delta\ell: L-\ell=\sqrt{L^2-X^2}-\ell$

В случае смещения нутромера в осевом или радиальном направлении на расстояние смещения X при выполнении измерения, как показано на рис. 1 и 2, возникнет погрешность измерения в соответствии с закономерностью, проиллюстрированной на графике ниже (график построен по приведённым выше формулам). Ошибка является положительной в случае осевого смещения и отрицательной в случае радиального смещения.

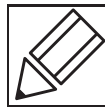


Индикаторные нутромеры

Индикаторные нутромеры Митутыо для малоразмерных отверстий имеют контактные элементы с высокой кривизной, что позволяет с лёгкостью измерять с их помощью истинный диаметр отверстия (в направлении $a-a'$). Истинный диаметр — это минимальное значение, отображаемое на аналоговом индикаторе при раскачивании нутромера в направлении, показанном стрелками.

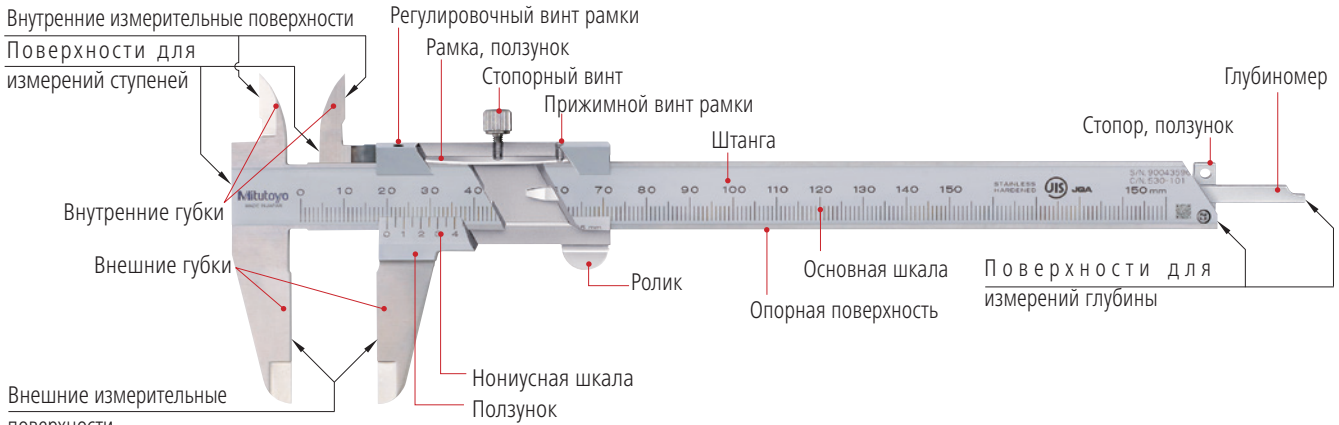


Направляющая пластина с пружинным механизмом двухточечного нутромера Митутыо автоматически обеспечивает радиальную соосность, поэтому для определения истинного диаметра достаточно раскачивания инструмента в осевом направлении (считывается минимальное значение).



■ Номенклатура

Нониусный штангенциркуль



Штангенциркуль Absolute Digimatic



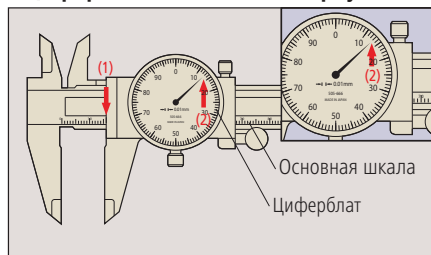
■ Считывание показаний шкалы

Нониусный штангенциркуль



Цена деления 0.05 мм
 (1) Показания основной шкалы 4.00 мм
 (2) Показания нониусной шкалы 0.75 мм
 Результат 4.75 мм

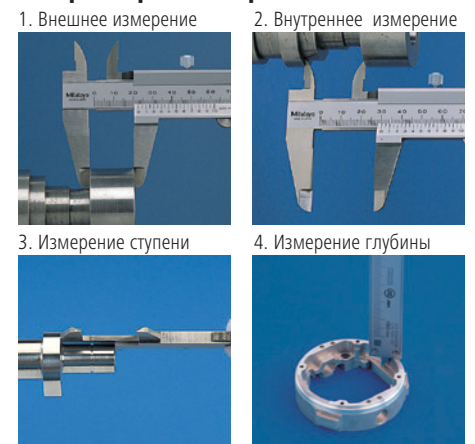
Циферблатный штангенциркуль



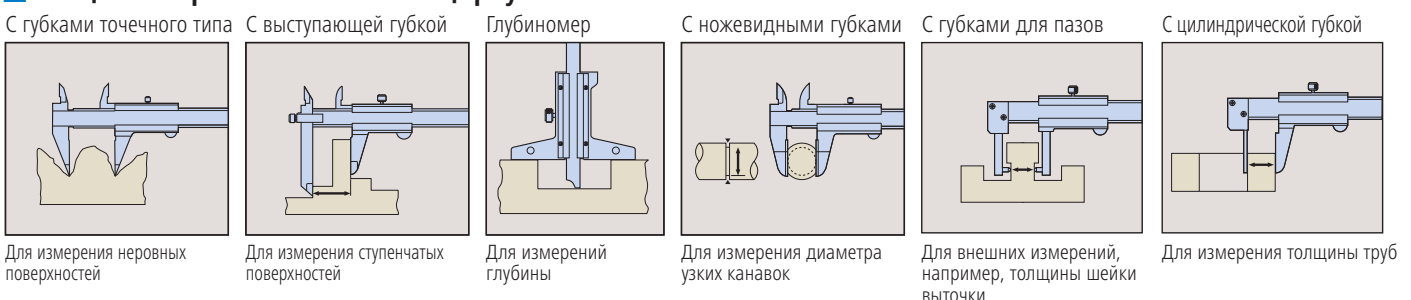
Цена деления 0.05 мм
 (1) Показания основной шкалы 16 мм
 (2) Показания циферблата 0.13 мм
 Результат 16.13 мм

Замечание: Слева сверху, 0.75мм (2) следует считать в положении, когда линия градуировки основной шкалы совпадает с линией градуировки нониусной шкалы.

■ Примеры измерений



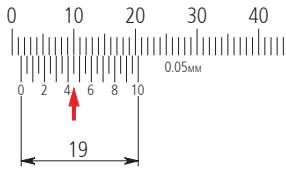
■ Специализированные штангенциркули



■ Типы нониусных шкал

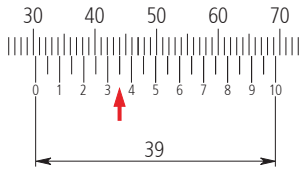
Нониусная шкала нанесена на ползунок штангенциркуля. Каждое её деление на 0.05 мм короче, чем одно 1-мм деление основной шкалы. Это означает, что при открывании губок штангенциркуля каждое последующее движение на 0.05 мм переводит соответствующую линию нониусной шкалы в положение совпадения с линией основной шкалы и таким образом показывает количество единиц в 0.05 мм, которые необходимо сложить (хотя для удобства использования шкала проградуирована в долях миллиметра). Кроме того, одно деление нониусной шкалы может быть на 0.05 мм короче двух делений основной шкалы, в результате чего получается длинная нониусная шкала. Такую шкалу легче считать, но принцип и градуировка остаются такими же.

● Стандартная нониусная шкала (цена деления 0.05 мм)



Показание 1.45 мм

● Длинная нониусная шкала (цена деления 0.05 мм)

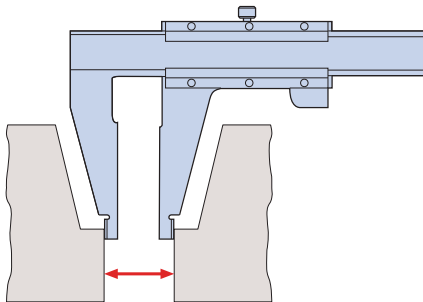


Показание 30.35 мм

■ О длинных штангенциркулях

Для приблизительного измерения крупных деталей обычно используются стальные линейки, но если требуется большая точность измерения, применяется длинный штангенциркуль. Этот инструмент является удобным в использовании, но тем не менее требует определённой внимательности при работе с ним. Во-первых, необходимо уяснить, что между разрешением и точностью нет связи (см. подробности в таблице значений нашего каталога). Разрешение является постоянным, тогда как получаемая точность измерения существенно колеблется в зависимости от способа использования штангенциркуля.

Метод измерения данным инструментом является не вполне надёжным, поскольку деформация основной штанги вызывает значительную долю ошибки измерения, и точность измерения в большой степени зависит от метода опоры штангенциркуля. Также важно не прилагать слишком большое измерительное усилие при работе с измерительными поверхностями для внешних диаметров, так как они находятся на наибольшем расстоянии от основной штанги и поэтому степень ошибки при таком измерении является максимальной. Такие предосторожности важны также при использовании концов поверхностей для внешних измерений штангенциркулей с длинными измерительными губками.

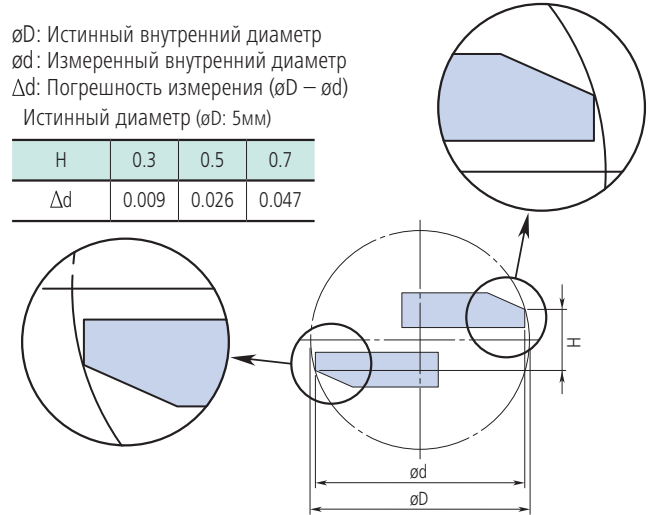


■ Измерение малых отверстий стандартным штангенциркулем

Структурная погрешность d возникает при измерении внешнего диаметра малых отверстий.

$\varnothing D$: Истинный внутренний диаметр
 $\varnothing d$: Измеренный внутренний диаметр
 Δd : Погрешность измерения ($\varnothing D - \varnothing d$)

H	0.3	0.5	0.7
Δd	0.009	0.026	0.047

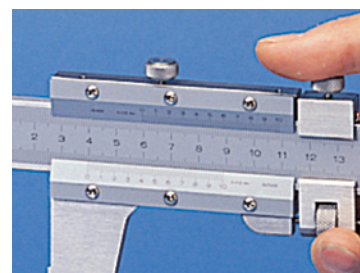
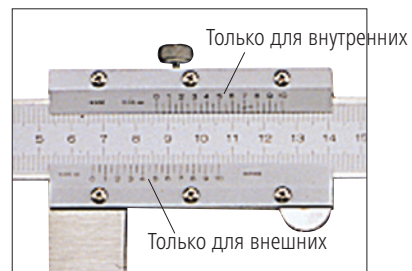


■ Измерение внутренних поверхностей с помощью штангенциркуля с заострёнными губками

Поскольку поверхности штангенциркуля для внутренних измерений находятся на концах губок, на параллельность измеряемых поверхностей существенно влияет измерительное усилие, и это становится значимым фактором, определяющих достижимую точность измерения.

В противоположность стандартному штангенциркулю, штангенциркуль с заострёнными губками не подходит для измерения отверстий малого диаметра, т.к. его измерительный диапазон ограничен размером ступенчатых губок, но, как правило, такие измерения с помощью именно этого инструмента не производятся. Естественно, радиус кривизны поверхностей для внутренних измерений всегда является достаточно малым для обеспечения верного измерения диаметра отверстий вплоть до нижнего предела (смыкание губок).

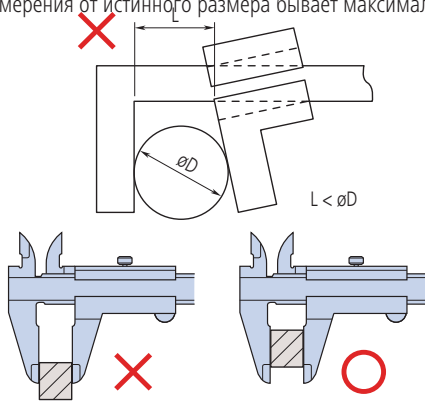
Штангенциркули Митутойо с заострёнными губками оснащены дополнительной шкалой на ползунке, предназначенной для измерения внутренних поверхностей. Таким образом, показания могут считываться напрямую, без необходимости вычислений, так же как и размеры внешних поверхностей. Это полезное свойство устраняет возможность ошибки, возникающей из-за необходимости прибавления толщины губок на одношкальном штангенциркуле.



■ Общие замечания по применению штангенциркулей

1. Потенциальные причины погрешностей

Ряд факторов может вызывать погрешности при измерении штангенциркулем. Главные факторы – это эффект параллакса, избыточное измерительное усилие из-за несоответствия штангенциркуля принципу Аббе, дифференциальное тепловое расширение из-за разницы температур штангенциркуля и детали, и влияния толщины ножевидных измерительных поверхностей и зазора между этими поверхностями во время измерения диаметра малого отверстия. Хотя есть и другие факторы погрешности, такие как точность градуировки, прямолинейность опорного края, плоскостность основной шкалы на основном лезвии и перпендикулярность губок, но именно упомянутые выше факторы вошли в допуски инструментальной погрешности. Поэтому данные факторы не составляют проблемы до тех пор, пока штангенциркуль соответствует допускам инструментальной погрешности. Очень важны правила эксплуатации штангенциркуля, составленные для того, чтобы покупатель мог оценить возможные причины ошибки, вызванные структурными особенностями штангенциркуля, до его первого применения. Эти правила описывают измерительное усилие и гласят, что «поскольку штангенциркуль не оснащён стабилизатором измерительного усилия, при измерении детали требуется приложение равномерного и достаточного усилия. Особое внимание требуется при измерении вершиной или ножкой губок, так как в таких случаях отклонение результата измерения от истинного размера бывает максимальным».



2. Измерение внутренних поверхностей

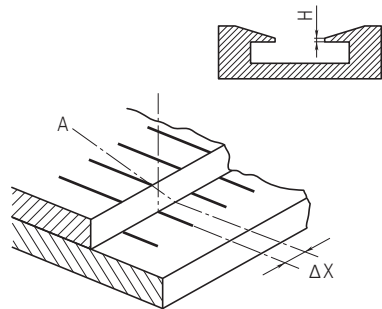
Введите губки для измерения внутренних поверхностей на максимальную глубину до выполнения измерения. Считывайте максимальное значение при выполнении внутренних замеров. Считывайте минимальное значение при измерении ширины канавки.

3. Измерение глубины

Считывайте минимальное значение при измерении глубины.

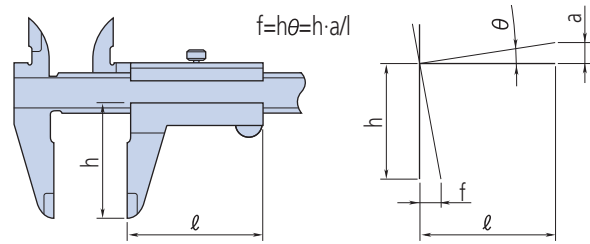
4. Ошибка параллакса при считывании показаний шкал

При проверке совпадения линий нониусной и основной шкал смотрите на линии нониусной шкалы прямо сверху. Если смотреть на нониусную шкалу под углом (A), то фактическое совпадение шкал не наблюдается из-за ΔX , возникающего благодаря эффекту параллакса, как показано на рисунке ниже. Этот эффект возникает из-за существования перепада высоты (H) между плоскостями нониусной и основной шкал, что приводит к ошибке считывания измеряемого значения.



5. Погрешность наклона подвижной губки

Если подвижная губка теряет параллельность с фиксированной губкой, будь то из-за избыточного измерительного усилия, приложенного к ползунку, или из-за недостатка прямолинейности опорного края штанги, то имеет место погрешность измерения, как показано на рисунке ниже. Такая погрешность может быть существенной, поскольку в таком случае штангенциркуль не подчиняется принципу Аббе.



Пример: Допустим, что отклонение губок из-за нажима ползунка составляет 0.01 мм в 50 мм, а губки для внешних измерений находятся на глубине 40 мм, тогда погрешность (на концах губок) составит $(40/50) \times 0.01 \text{ мм} = 0.008 \text{ мм}$. Если ведущая сторона изношена, тогда погрешность может происходить даже при приложении правильного измерительного усилия.

6. Связь между измерением и температурой

Основная шкала штангенциркуля выгравирована (или нанесена) на нержавеющей стали, и хотя линейный коэффициент теплового расширения равен таковому у самого распространенного материала детали (сталь), т.е. $(10.2 \pm 1) \times 10^{-6} / \text{K}$, необходимо отметить, что на другие материалы детали, температура воздуха в комнате и температура детали могут оказывать значительное влияние на точность измерения.

7. Правила эксплуатации

Губки штангенциркуля являются заостренными, поэтому с инструментом нужно обращаться осторожно, во избежание травмы.

Старайтесь не повредить шкалу цифрового штангенциркуля; не делайте на ней инвентарных и других отметок электронным маркером.

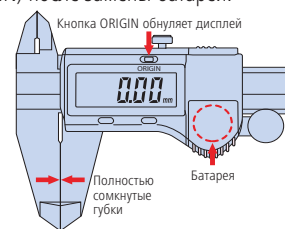
Не подвергайте штангенциркуль ударам о твёрдые поверхности и не роняйте его на верстак или пол.

8. Техническое обслуживание поверхностей скольжения штанги и измерительных поверхностей

Перед использованием штангенциркуля вытирайте пыль и грязь с поверхностей скольжения и измерительных поверхностей сухой мягкой тканью.

9. Проверка и настройка точки отсчёта до начала эксплуатации

Очистите измерительные поверхности, зажав лист чистой бумаги между губками для измерения внешних поверхностей, и затем медленно вытягивая его из губок. Перед применением штангенциркуля сомкните губки и удостоверьтесь, что нониусная шкала (или дисплей) показывает ноль. При использовании штангенциркуля Digimatic переустановите точку отсчёта (кнопка ORIGIN) после замены батареи.



10. Обслуживание после применения

После применения штангенциркуля полностью сотрите с него воду и масло. Затем нанесите тонкий слой антикоррозионной смазки и дайте высохнуть перед укладкой на хранение. Необходимо стереть воду и с водонепроницаемого штангенциркуля, т.к. он также подвержен коррозии.

11. Правила хранения

Избегайте хранения под действием прямых солнечных лучей, в условиях высоких или низких температур и высокой влажности. Если цифровой штангенциркуль не планируется использовать более трёх месяцев, необходимо извлечь батарею перед укладкой на хранение. Не оставляйте губки штангенциркуля полностью сомкнутыми на время хранения.

Краткое руководство по высокоточным измерительным приборам



Штангенрейсмасы

■ Номенклатура

Нониусный штангенрейсмас

Механический цифровой штангенрейсмас

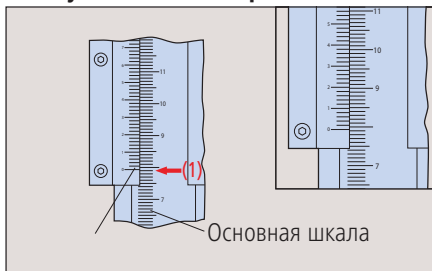


Штангенрейсмас Digimatic



Регулирующее колесико Стопорный рычаг ползунка Эргономичная опора

■ Считывание показаний Нониусный штангенрейсмас



Градуировка 0.02 мм

(1) Основная шкала 79 мм

(2) Нониусная шкала 0.36 мм

Результат 79.36 мм

■ Общие замечания по применению штангенрейсмасов

1. Потенциальные причины погрешностей

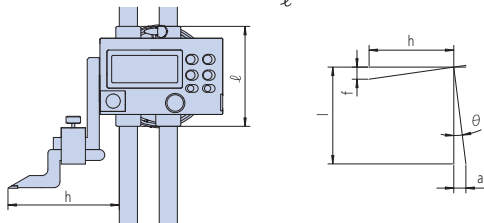
Как и при работе со штангенциркулем, факторы, вызывающие ошибки при измерении, включают эффект параллакса, избыточное измерительное усилие из-за несоответствия высотомера принципу Аббе, а также дифференциальное тепловое расширение из-за разницы температур высотомера и детали.

Существуют также и другие факторы погрешности, причиной которых является особенность конструкции штангенрейсмаса. В частности, перед использованием прибора следует ознакомиться с описанными ниже факторами погрешности, относимыми к искривлениям базового края и неточной установке метчика.

2. Искривление базового края (колонны) и неточность установки метчика

Как и при работе со штангенциркулем, и как показано на следующем рисунке, погрешности измерения происходят при применении высотомера с искривленной базовой колонной, направляющей ползунок. Эта ошибка может быть представлена той же формулой, которая используется для вычисления ошибок при несоответствии принципу Аббе.

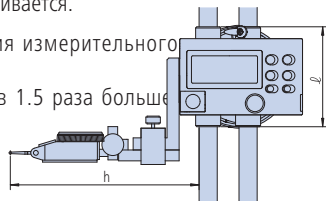
$$f = h \theta = h \frac{a}{L}$$



Установка метчика (или индикатора рычажного типа) требует аккуратности, так как это влияет на размер погрешности, возникающей при искривлении базовой колонны с увеличением значения h в вышеуказанной формуле. Другими словами, при использовании дополнительного длинного метчика или рычажного циферблатного индикатора, погрешность увеличивается.

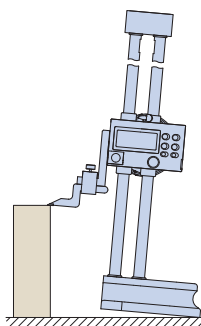
Например: Влияние положения измерительного наконечника

При h = 150 мм, погрешность в 1.5 раза больше, чем при h = 100 мм



3. Подъем опоры с опорной поверхности

При настройке высоты метчика с помощью измерительного блока, либо рельефностью рабочей детали, опору можно поднять с поверхности пластины, если на ползунок действует избыточная сила тяжести, что приводит к ошибочным измерениям. Для точной установки двигайте ползунок медленно вниз, двигая при этом кончик метчика вверх и вниз по поверхности измерительного блока (или по детали). Настройка верна, когда метчик чувствуется при легком касании поверхности. Перед использованием необходимо также убедиться в том, что поверхность плиты и базовая поверхность опоры штангенрейсмаса не имеют загрязнений и неровностей.



Механический цифровой штангенрейсмас Измерение вверх от опорной поверхности

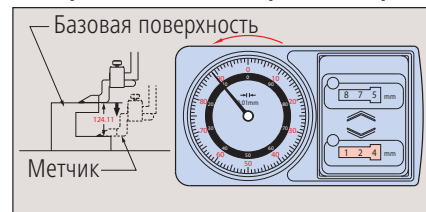


Счетчик 122 мм

Циферблат 0.11 мм

Результат 122.11 мм

Измерение вниз от опорной поверхности



Счетчик 124 мм

Циферблат 0.11 мм

Результат 124.11 мм

4. Отношение между точностью и температурой

Штангенрейсмасы изготавливают из различных материалов. Следует заметить, что некоторые сочетания материалов детали, комнатной температуры и температуры рабочей детали могут влиять на точность измерений, в случае если это влияние не допускается корректировочными расчетами.

5. Кончик разметчика штангенрейсмаса очень острый, и с ним следует обращаться аккуратно во избежание получения травмы.

6. Старайтесь не повредить цифровую шкалу прибора; не наносите на нее инвентарных и других отметок электронным маркером

7. Обращайтесь с штангенрейсмасом с предельной аккуратностью, не допускайте его падения или ударов о твердые поверхности.

■ Замечания по использованию штангенрейсмаса

1. Содержите колонну, направляющую ползунок, в чистоте. Скопление грязи и пыли на колонне приводит к затруднению скольжения, что приводит к ошибкам в настройке и измерении.

2. При использовании метчика необходимо надежно заблокировать ползунок в положении при помощи зажимов. Рекомендуется проверить установку после блокировки, так как на некоторых штангенрейсмасах при блокировке установка может слегка измениться. В таком случае следует учитывать эту особенность при настройке и устанавливать соответствующие меры.

3. Параллельность между измерительной поверхностью метчика и опорной поверхностью должна быть 0.01 мм или меньше.

Перед началом операций измерения удалите все загрязнения и неровности на базовой поверхности при установке метчика или индикатора рычажного типа. Во время проведения измерений метчик и другие детали должны быть надежно зафиксированы в установленном положении.

4. В случае если основная шкала высотомера не зафиксирована, установите ее в начало отсчета и надежно затяните фиксирующие гайки.

5. Не следует пренебрегать погрешностями, возникающими из-за эффекта параллакса. При считывании показаний, смотрите на показания шкалы всегда под прямым углом.

6. Обслуживание прибора после использования: Полностью вытрите любое масло или влагу. Нанесите тонким слоем антикоррозийное масло и высушите перед хранением.

7. Замечания по хранению:

Избегайте при хранении прибора воздействия на него прямых солнечных лучей, высоких и низких температур и повышенной влажности.

Если цифровой штангенрейсмас не используется более трех месяцев, выньте батарейки перед хранением.

Если у вас есть защитный чехол, наденьте его для хранения для предотвращения налипания пыли на колонну.

Краткое руководство по высокоточным измерительным приборам



Концевые меры длины

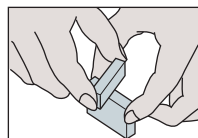
■ Определение метра

На 17-ой Генеральной Конференции по Мерам и Весам в 1983 году было принято новое определение метра как расстояния, проходимого лучом света в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ долю секунды. Концевые меры длины являются практическим исполнением этой единицы, и в этом качестве широко используются в промышленности.

■ Отличная притирка концевых мер длины

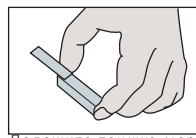
- Притирку следует осуществлять в чистом месте на мягкой поверхности – если мера выскользнет из руки и упадет, то не повредится.
- Сотрите масляную пленку с мер длины мягкой тканью, пропитанной петролейным эфиром.
- После этой «грубой» чистки поверхности очищаются при помощи косметической щетки, намоченной петролейным эфиром, а затем обдуваются вентилятором.
- Не используйте для очистки спирт или обычный бензин; обычный бензин содержит множество примесей, а в спирте есть компоненты воды, которые могут вызвать коррозию.
- Наиболее подходящими для протирания концевых мер длины являются салфетки из микроволокна.
- Осмотрите очищенные концевые меры длины на предмет ржавчины и царапин.
- Если на измерительной поверхности есть какие-либо неровности, зачистите их при помощи специального камня Ceraston для концевых мер. Трите меру о камень Ceraston без сильного давления.
- В случае если измерительные поверхности находятся в хорошем состоянии, но все еще трудно осуществлять притирку, можно протереть измерительную поверхность медицинской хлопчатобумажной ватой – ее маслянистые компоненты образуют тонкую пленку, тем самым улучшая схватывание измерительных поверхностей.

а. Притирка концевых мер большой толщины



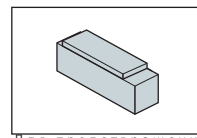
Установите меры крест-накрест под углом 90°

б. Притирка меры большой толщины с тонкой

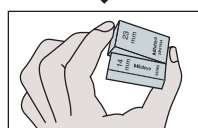


Положите тонкую меру длины на меру большей толщины

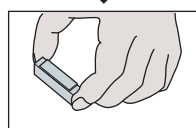
с. Притирка концевых мер небольшой толщины



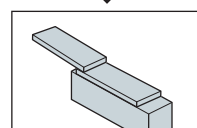
Для предотвращения изгиба тонких мер, сначала сделайте притирку тонкой меры к большей.



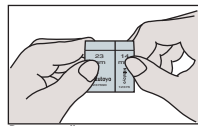
Вращайте меры длины, применяя незначительную силу.



Сдвигайте тонкую концевую меру с нажимом по всей поверхности контакта.



Затем осуществите притирку другой тонкой концевой меры поверх первой меры.

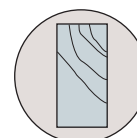
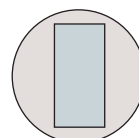


Выровняйте измерительные поверхности друг с другом.

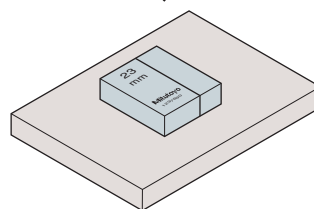


В заключение уберите меру большей толщины из блока.

Приложите образцовую стеклянную пластинку к поверхности одной меры, чтобы проверить состояние притирки



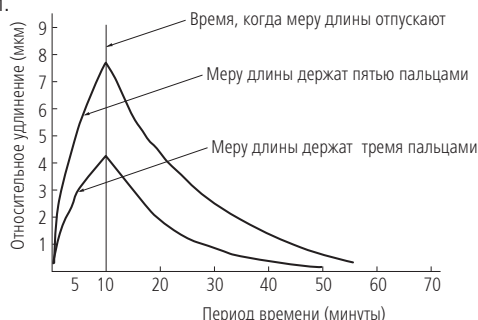
Не отвечающие нормам интерференционные полосы



Протрите открытые поверхности и продолжите складывать меры в блок описанным выше образом, пока не сложите ее до конца.

■ Время термической стабилизации

На рисунке ниже показана степень размерных изменений при обращении со стальной мерой с толщиной 100 мм голыми руками.



Краткое руководство по высокоточным измерительным приборам



Циферблатные и цифровые индикаторы

■ Номенклатура

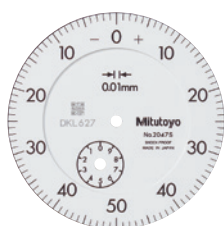


■ Циферблатные шкалы с делением

0.01mm

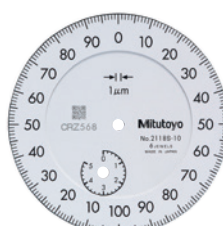


Непрерывная шкала
(Двунаправленная градуировка)

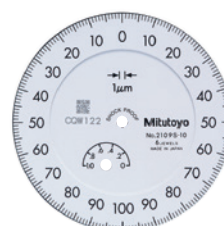


Симметричная шкала
(Многооборотная)

0.001mm



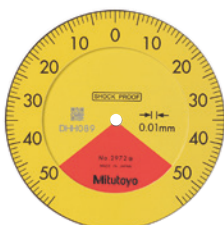
Непрерывная шкала
(Стандартная цена деления шкалы)



Симметричная шкала
(Многооборотная)



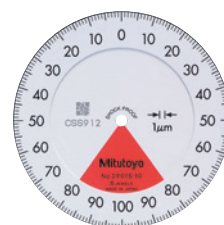
Непрерывная шкала (реверсивное
считывание показаний)



Симметричная шкала
(Однооборотная)



Непрерывная шкала
(Двойная цена деления шкалы)



Симметричная шкала
(Однооборотная)

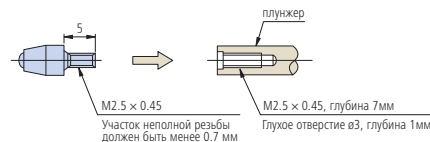
- Непрерывная шкала: Для прямого считывания показаний
- Симметричная шкала: Считывание значения отклонений от базовой поверхности
- Реверсивная шкала: Для измерения глубиномером и нутромером
- Однооборотная шкала: Для безошибочного определения малых отклонений

Установка индикатора

Крепление по стержню	Метод	<p>Зажим стержня при помощи болта</p> <p>8 мм и более</p>	<p>Зажим стержня при помощи разъемного хомута</p>
	Заметка	<ul style="list-style-type: none"> • Допуск на установочное отверстие: $\varnothing 8G7$ (от +0.005 до 0.02) • Зажимной болт: от М4 до М6 • Позиция зажима: 8 мм или более от нижнего края стержня • Максимальное усилие затяжки: 150 Н·см при зажиме одним болтом М5 • Учтите, что чрезмерное усилие затяжки может неблагоприятно сказаться на подвижности плунжера. 	<ul style="list-style-type: none"> • Допуск на установочное отверстие: $\varnothing 8G7$ (от +0.005 до 0.02)
Крепление по проушине	Метод	<p>Болт М6 Шайба</p>	
	Заметка	<ul style="list-style-type: none"> • Прουшины могут поворачиваться на 90 градусов в зависимости от применения. (При транспортировке проушины находятся в горизонтальном положении.) • Прουшины некоторых моделей Серии 1 (№1911, 1913-10 и 1003) нельзя устанавливать в горизонтальное положение. • Во избежание ошибок, связанных с эффектом косинуса, удостоверьтесь, что любой тип измерительных приборов или индикаторов установлены таким образом, чтобы их шпиндель находился на одной линии с направлением необходимого измерения. 	

Измерительный наконечник

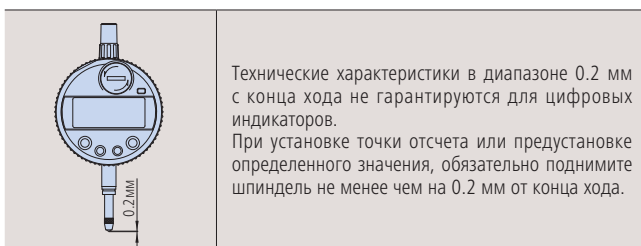
- Винтовая резьба стандартная М2.5х0.45 (Длина: 5 мм).
- Участок неполной резьбы у основания винта должен быть менее 0.7 мм при установлении точки контакта.



Влияние положения на измерительное усилие

Положение	Замечания
<p>Измерительный наконечник направлен вниз (стандартное положение)</p> <p>Основание</p>	—
<p>Положение с горизонтально направленным плунжером (боковое положение)</p> <p>Основание</p>	<p>Если измерение проводится с плунжером в горизонтальном положении или измерительным наконечником в положении вверх, измерительное усилие будет меньше, чем в случае, когда измерительный наконечник направлен вниз. В этом случае обязательно проверьте работоспособность и повторяемость индикатора или цифрового дисплея. За информацией по эксплуатационным характеристикам в зависимости от положения цифровых индикаторов и циферблатных измерительных приборов обратитесь к описанию приборов в общем каталоге.</p>
<p>Измерительный наконечник направлен вверх (положение вверх-дном)</p> <p>Основание</p>	

Установка точки отсчета цифрового индикатора

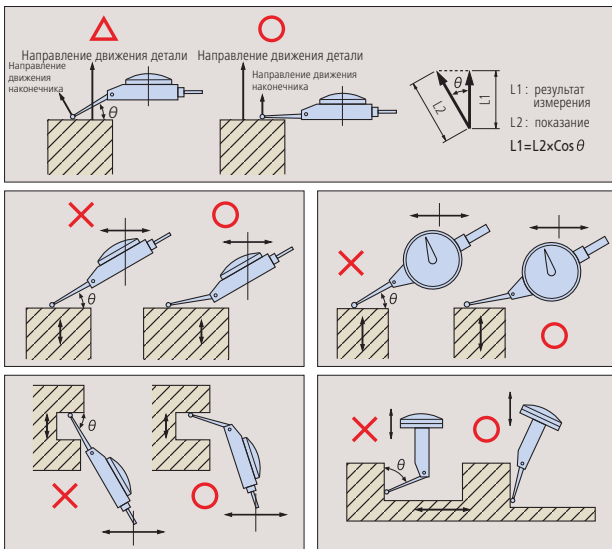


Уход за плунжером

- Не смазывайте плунжер. Это может стать причиной налипания пыли, приводящей к неисправности.
- Если движение плунжера затруднено, протрите верхнюю и нижнюю поверхности плунжера сухой или пропитанной спиртом тканью. Если его движение не улучшилось, обратитесь в компанию Mitutoyo для ремонта.
- Перед осуществлением измерений или калибровки убедитесь в плавности хода плунжера и постоянстве точки отсчета.

Рычажные циферблатные индикаторы и эффект косинуса

Всегда минимизируйте угол между направлениями движения.



Показания любого индикатора не будут точным измерением, если направление его измерений не будет совпадать с желаемым направлением измерений (эффект косинуса). Поскольку направление измерения рычажных индикаторов перпендикулярно линии, проходящей через точку касания и точку вращения измерительного наконечника, этот эффект можно уменьшить до минимума, установив измерительный наконечник под минимальным углом θ (как показано на рисунках). При необходимости показания индикатора можно скорректировать с учётом значения угла θ при помощи приведённой ниже таблицы.

Результат измерения = указанная величина \times компенсационное значение.

Компенсация для угла, отличного от нуля

Угол	Коэффициент
10°	0.98
20°	0.94
30°	0.86
40°	0.76
50°	0.64
60°	0.50

Примеры

Если циферблат показывает 0.200 мм при различных углах, то результатом измерений будут следующие значения:

Для 10° , $0.200 \text{ мм} \times 0.98 = 0.196 \text{ мм}$

Для 20° , $0.200 \text{ мм} \times 0.94 = 0.188 \text{ мм}$

Для 30° , $0.200 \text{ мм} \times 0.86 = 0.172 \text{ мм}$

Примечание: Для автоматической компенсации любого угла θ от 0 до 30° можно применять наконечник сложной формы. (Такие наконечники изготавливаются под заказ).

Краткое руководство по высокоточным измерительным приборам



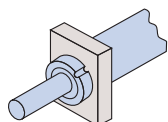
Линейные датчики

Головка

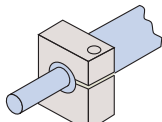
■ Простой стержень и

стержень с зажимной гайкой

Для установки головки датчика для линейных измерений можно использовать стержень простого типа либо стержень с зажимной гайкой, как показано на рисунке ниже. Стержень с зажимной гайкой обеспечивает быстрый и надежный зажим головки датчика. Преимущество простого стержня состоит в более широком применении и легкой настройке положений в осевом направлении конечной установки, но при этом требуется зажим двойного крепления или связующего крепления. Однако следите за тем, чтобы не применять чрезмерное усилие к стержню.



Стержень с зажимной гайкой



Простой стержень

■ Измерительное усилие

Это сила, действующая на деталь во время измерения со стороны наконечника линейного датчика, выраженная в ньютонах.

■ Сравнительные измерения

Метод измерения, при котором размер детали определяется замером разницы между фактическим размером детали и эталонным образцом, обладающим номинальным размером детали.

■ Класс защиты от загрязнений (IP)

Класс защиты IP54

Тип	Класс	Описание
Защита от воздействия человека и посторонних предметов	5: Пылезащищенный	Защита от вредной пыли
Защита от воздействия влаги	4: Защита от брызг	Водные брызги, падающие на корпус прибора из любого направления, не оказывают негативного воздействия

Класс защиты IP66

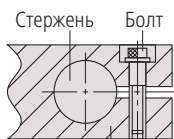
Тип	Класс	Описание
Защита от воздействия человека и посторонних предметов	6: Пыленепроницаемый	Полная защита от пылевого загрязнения
Защита от воздействия влаги	6: Водонепроницаемый	Водные струи, направленные на корпус прибора из любого направления, не оказывают негативного воздействия

■ Меры предосторожности при установке головки датчика

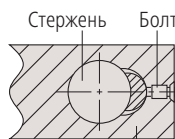
- Вставьте стержень прибора в зажим измерительного прибора или стенда и затяните зажимной винт.
- Обратите внимание на то, что чрезмерная затяжка стержня может вызвать проблемы в работе стержня.
- Не используйте метод установки, при котором стержень зажимается непосредственно винтом.
- Закрепляйте датчик только за стержень.
- Установите головку прибора таким образом, чтобы она находилась на одной линии с требуемым направлением измерения. Установка головки под углом к этому направлению приведет к погрешности измерения.
- Старайтесь не прилагать усилие к прибору через кабель.

■ Меры предосторожности при установке измерительной головки Laser Hologage

Вставьте стержень в предназначенную для этого подставку или крепление.



Зажим



Зажим

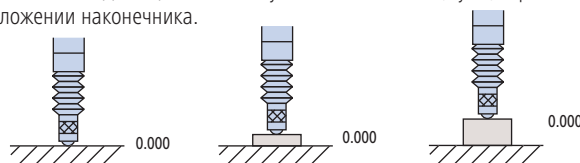
Рекомендованный диаметр отверстия крепления: 15 мм +0.034/-0.014

- Ось должна быть параллельна направлению измерения. Установка измерительного прибора под углом приводит к погрешности измерений.
- При закреплении головки Laser Hologage не зажимайте стержень слишком туго. Чрезмерный зажим стержня может привести к ухудшению хода наконечника.
- Если измерение производится при движении головки Laser Hologage, установите ее так, чтобы не натягивался кабель и не передавалось чрезмерного усилия на головку прибора.

Блок индикации

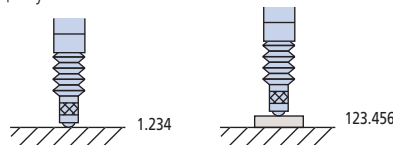
■ Установка нулевой точки

Значение индикации можно установить на 0 (ноль) при любом положении наконечника.



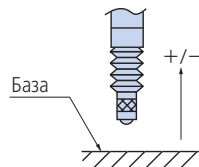
■ Предустановка

Любое числовое значение может быть установлено на индикаторном устройстве для установки точки отсчета от этого значения.



■ Смена направления

Отсчёт в направлении измерения можно задать со знаками плюс (+) либо минус (-).



■ Установка значений MAX, MIN и TIR

Индикаторное устройство может сохранять максимальное (MAX) и минимальное (MIN) значения, а также величину MAX - MIN при измерении.



Значение биения (TIR) = MAX - MIN

■ Установка допусков

В различных индикаторных головках можно установить границы поля допуска для автоматического определения попадания величины в поле допуска.

■ Выход с открытым коллектором

Внешняя нагрузка, такая как нагрузка релейной или логической цепи может выводиться с коллекторного выхода внутреннего транзистора, который управляется результатом оценки по допускам, и т.д.

■ Выходной релейный сигнал

Сигнал контакта, который выдает индикацию состояния «открыт/закрыт».

■ Код Digimatic

Коммуникационный протокол для подключения выхода измерительных приборов к различным устройствам по обработке данных Mitutoyo. Это предоставляет выход для подключения Мини-процессора Digimatic Mini Processor DP-1VR для выполнения различных статистических расчетов и создания гистограмм и т.д.

■ Выходные данные в двоичном коде

Система для вывода данных в виде двоично-десятичного кода.

■ Выход RS-232C

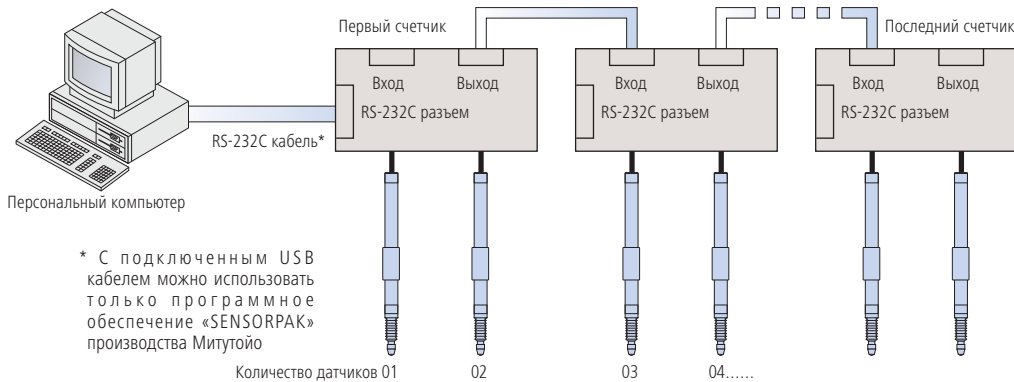
Последовательный интерфейс связи, через который данные могут передаваться в двух направлениях согласно Стандартам EIA (Ассоциации электронной промышленности США). По процедуре передачи данных изучите технические характеристики всех измерительных приборов.

Функция связи RS Измерение из облака точек можно проводить с подключением множества счетчиков ЕН или EV через соединительный кабель RS.

■ RS Link для Счетчика ЕН

Можно подключить до 10 счетных устройств и обрабатывать до 20 каналов измерений из нескольких точек одновременно.

Для этого подключения используйте специально предназначенный для этих целей кабель RS Link №02ADD950 (0.5м), №936937 (1м) или №965014 (2м). (Допускается использовать кабели RS Link с общей длиной до 10 м для всей системы.)

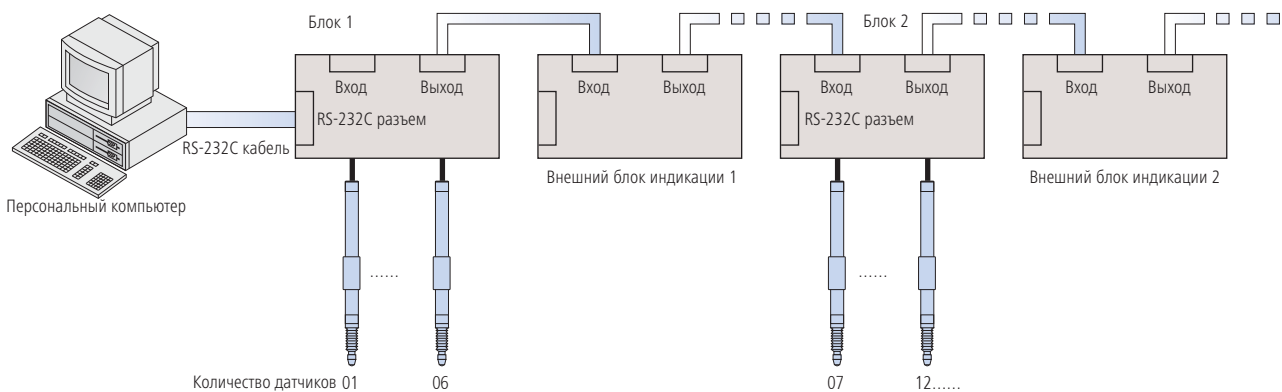


■ RS Link для Счетчика EV

Можно подключить до 10* счетных устройств и обрабатывать до 60 каналов многоточечных измерений одновременно.

Для этого подключения используйте специально предназначенный для этих целей кабель RS Link №02ADD950 (0.5м), №936937 (1м) или №965014 (2м). (Допускается использовать кабели RS Link с общей длиной до 10 м для всей системы.)

* Максимальное количество счетных устройств, которые можно подключить, ограничено 6 (шестью), если в цепь подключен счетчик ЕН.





Совместимость

Ваш лазерный микрометр был настроен для работы с ID устройством, который поставляется в комплекте с измерительным устройством. ID устройство, которое имеет тот же кодовый номер и тот же серийный номер, что и измерительное устройство, должно быть подключено к блоку индикации. Это означает, что если ID устройство заменить, то измерительное устройство может быть подключено к другому соответствующему блоку индикации.

Параметры детали и измерения

В зависимости от типа лазерного луча: видимого или невидимого диапазона, формы детали и шероховатости ее поверхности, могут возникнуть ошибки в измерениях. Если такое произошло, произведите калибровку с использованием эталонной детали, обладающей размерами, формой и шероховатостью поверхности, схожими с измеряемой деталью. Если значения измерений показывают большую степень расхождения из-за условий, в которых происходит измерение, увеличьте количество сканирований для усреднения значений с целью достижения точности измерений.

Электрические помехи

Во избежание операционных ошибок, не прокладывайте сигнальный кабель и релейный провод лазерного микрометра вблизи высоковольтной линии или другого кабеля, способного создавать индуцирующие шумовые помехи в близлежащих проводниках. Произведите заземление всех соответствующих устройств и кабельных щитков.

Подключение к компьютеру

Если лазерный сканирующий микрометр будет подключаться к внешнему персональному компьютеру через интерфейс RS-232C, убедитесь, что кабельные соединения соответствуют спецификации.

Безопасность при работе с лазером

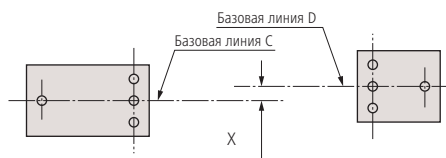
Лазерные микрометры Митутойо для измерений используют слабomощный лазер видимого спектра. Лазер относится к устройствам 2-го Класса по стандарту EN/IEC60825-1 (2007). Наклейки с предупреждениями и объяснениями наклеены на лазерные микрометры, где это необходимо.

Повторная сборка после снятия с опоры

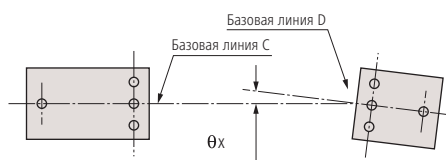
Соблюдайте следующие правила при повторной сборке устройства излучателя и приемного устройства для сведения к минимуму погрешностей несоосности лазера и приемного устройства.

Выравнивание по горизонтальной плоскости

- а. Отклонение от параллельности двух базовых линий С и D: X (в поперечном направлении)

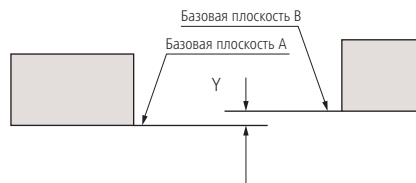


- б. Угол между базовыми линиями С и D: θ_x (угол)

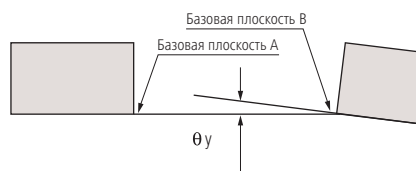


Выравнивание по вертикальной плоскости

- с. Отклонение от параллельности двух базовых плоскостей А и В: Y (по высоте)



- д. Угол между базовыми плоскостями А и В: θ_y (угол)

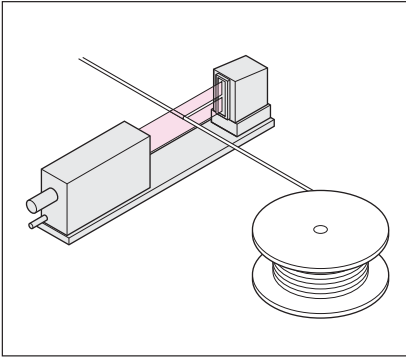


Допустимые пределы несовпадения оптических осей

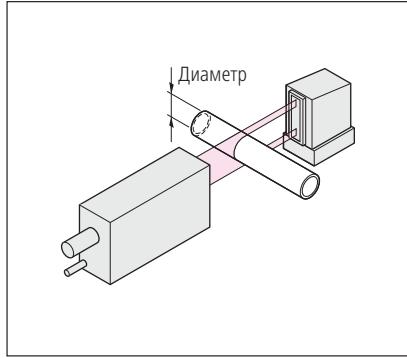
Модель	Расстояние между излучающим устройством и приемным устройством	X и Y	θ_x и θ_y
LSM-501S	68мм (2.68") или меньше	в пределах 0.5мм (.02")	в пределах 0.4° (7мрад)
	100мм (3.94") или меньше	в пределах 0.5мм (.02")	в пределах 0.3° (5.2мрад)
LSM-503S	130мм (5.12") или меньше	в пределах 1мм (.04")	в пределах 0.4° (7мрад)
	350мм (13.78") или меньше	в пределах 1мм (.04")	в пределах 0.16° (2.8мрад)
LSM-506S	273мм (10.75") или меньше	в пределах 1мм (.04")	в пределах 0.2° (3.5мрад)
	700мм (27.56") или меньше	в пределах 1мм (.04")	в пределах 0.08° (1.4мрад)
LSM-512S	321мм (12.64") или меньше	в пределах 1мм (.04")	в пределах 0.18° (3.6мрад)
	700мм (27.56") или меньше	в пределах 1мм (.04")	в пределах 0.08° (1.4мрад)
LSM-516S	800мм (31.50") или меньше	в пределах 1мм (.04")	в пределах 0.09° (1.6мрад)

Примеры измерений

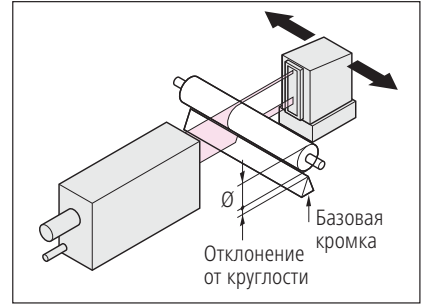
Онлайн измерение диаметра
стекловолоконного или тонкого кабеля



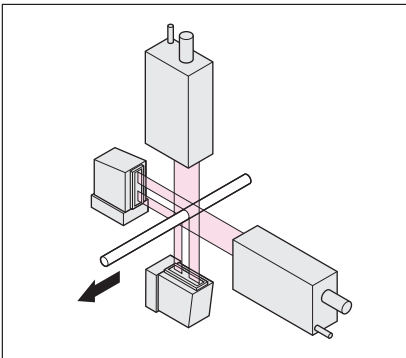
Измерение внешнего диаметра
цилиндра



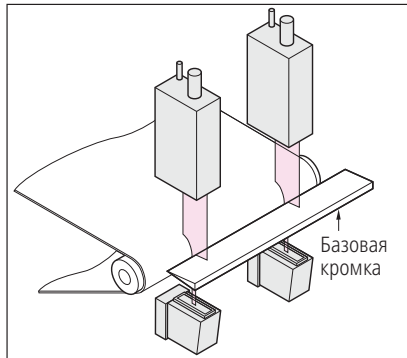
Измерение внешнего диаметра и
круглости цилиндра



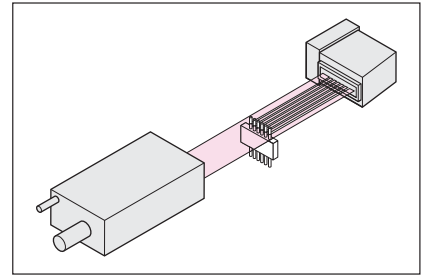
Измерение по осям X- и Y-
электрических кабелей и волокон



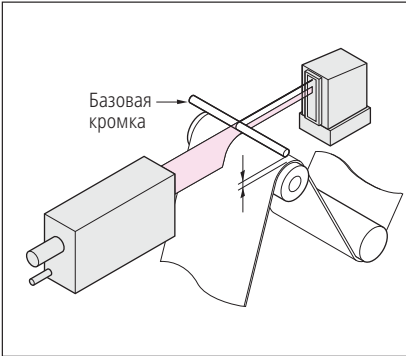
Измерение толщины пленки и
листовых материалов



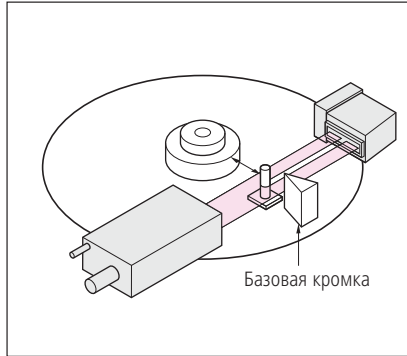
Измерение расстояния между контактами
в интегральных микросхемах



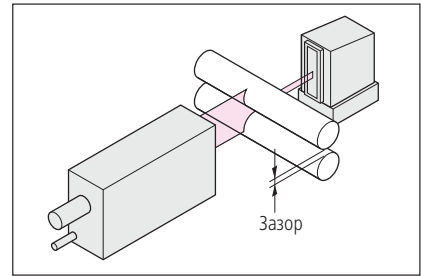
Измерение толщины пленки



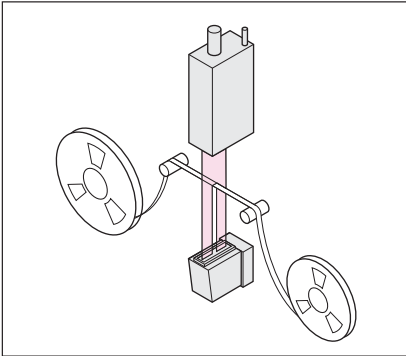
Измерение движения лазерной и
магнитной головки диска



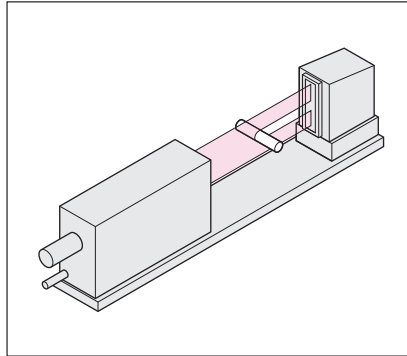
Измерение зазоров между валиками



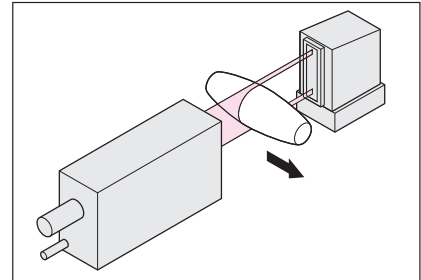
Измерение ширины пленки



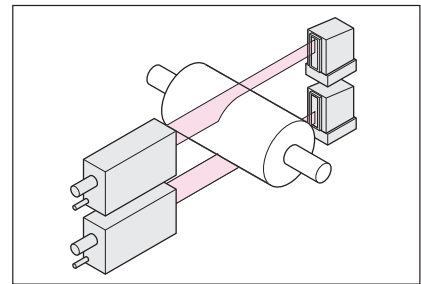
Измерение наружного диаметра
оптического коннектора и наконечника



Измерение формы



Двойная система измерения больших
наружных диаметров





Испытания по оценке линейных шкал

1. Испытания в рамках диапазона рабочей температуры

Подтверждают, что устройство работает нормально в рамках диапазона рабочей температуры и что вывод данных осуществляется в соответствии со стандартом.

2. Испытание на цикличное изменение температуры (динамические характеристики)

Подтверждает, что устройство работает нормально при цикличном изменении температуры во время эксплуатации и что вывод данных осуществляется в соответствии со стандартом.

3. Испытание на виброустойчивость (диапазонное)

Подтверждает, что устройство работает нормально под воздействием на него вибраций с диапазоном частоты от 30Гц до 300Гц с максимальным ускорением в $3 g_r$.

4. Испытание на виброустойчивость (Испытание на воздействие ускорений)

Подтверждает, что устройство работает нормально под воздействием вибраций при определенной нерезонансной частоте.

5. Испытание на шум

Уровень шума соответствует стандарту Директивы по Электромагнитной совместимости EN61326-1+A1:1998.

6. Испытание на ударпрочность

Это испытание соответствует JISZ0200 (Ударная проба труднообрабатываемого материала)

Словарь терминов

■ Абсолютная система

Режим измерения, при котором измерение каждой точки происходит относительно постоянной точки отсчета.

■ Инкрементная система

Режим измерения, в котором измерение каждой точки происходит относительно некоторой точки привязки, занесенной в память.

■ Смещение точки отсчёта

Функция, которая позволяет точке отсчета системы координат переводиться в другую точку, смещенную из постоянной точки отсчета. Для работы этой функции в память системы необходимо занести постоянную точку отсчета.

■ Восстановление точки отсчёта

Функция, которая останавливает каждую ось машины точно в определённой позиции машины при ее замедлении при помощи встроенных конечных выключателей.

■ Управление последовательностью

Тип управления, при котором последовательно выполняются стадии процесса управления в соответствии с заданным порядком.

■ Числовое программное управление

Способ управления движением машины при помощи закодированных команд, созданных и осуществляющихся при помощи компьютера (ЧПУ). Последовательность команд обычно формирует «управляющую программу», которая управляет машиной при полном выполнении операции на детали.

■ Двоичный выходной сигнал

Относится к выводу данных в двоичном виде (единиц и нулей), представляющем числа как целую степень 2.

■ RS-232C

Стандарт интерфейса, который использует асинхронный метод последовательной передачи данных по несбалансированной линии передачи данных между передатчиками, расположенными в относительной близости друг к другу. Это способ связи в основном используется для подключения персонального компьютера к периферийным устройствам.

■ Выход линейного электропривода

Этот выход отличается большой рабочей скоростью от нескольких десятков до нескольких сотен наносекунд и

относительно большим расстоянием передачи данных до нескольких сотен метров. Линейный электропривод дифференциального вольтметра (совместимый с RS422A) используется в качестве интерфейса для контроллера NC в системе линейной шкалы.

■ Двоично-десятичный код

Форма записи чисел от 0 до 9, когда каждый десятичный разряд числа записывается в виде его четырёхбитного двоичного кода. Передача данных происходит через однонаправленный выход при помощи транзисторно-логических схем с транзисторными связями либо открытого коллектора.

■ RS-422

Стандарт интерфейса, использующего последовательный тип передачи битов в дифференциальной форме по сбалансированной линии передачи. RS-422 превосходит по своим характеристикам передачи данных и по своей способности работать с всего одним источником питания + 5В.

■ Точность

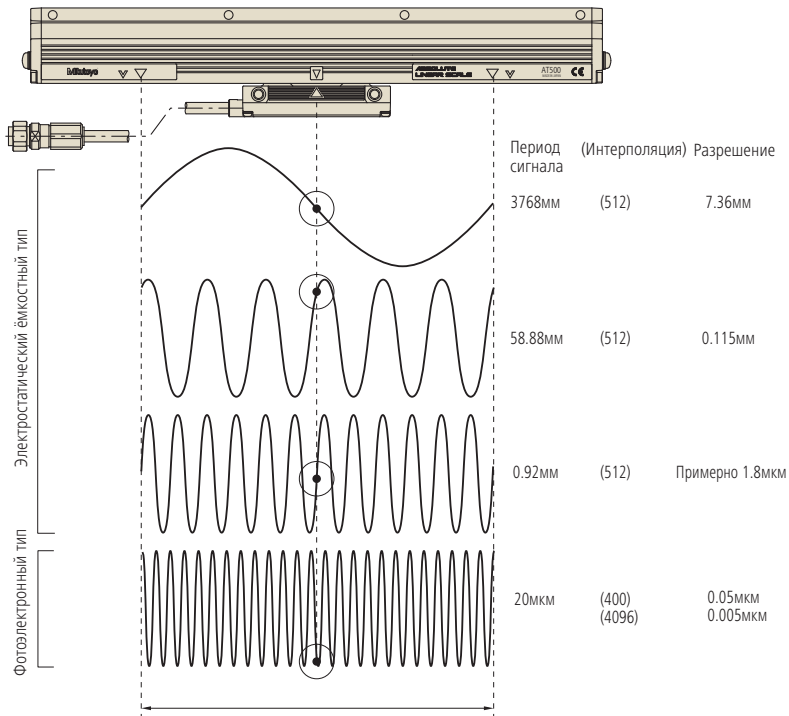
Точностные характеристики шкалы представляются в виде максимальной ожидаемой погрешности между выводимой и истинной позициями в любой точке в пределах диапазона шкалы при температуре 20°C.

Поскольку не существует международного стандарта для шкал, каждый производитель использует собственный способ указания точности. Параметры точности, указанные в нашем каталоге, были определены с использованием лазерной интерферометрии.

■ Точность узкого диапазона

В качестве деления штриховой меры на измерительной линейке обычно принят шаг 20мкм, хотя это зависит от вида шкалы. Точность узкого диапазона относится к точности, определенной путем измерения одного шага каждого деления штриховой меры на пределе разрешения (1мкм, например).

■ Принцип Абсолютной (Absolute) линейной шкалы (пример: AT300, 500-S/H)

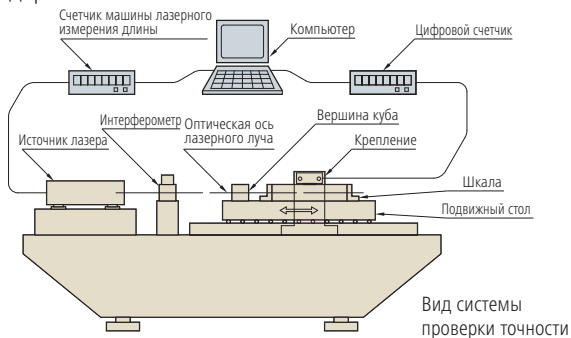


После подачи питания на линейную шкалу, производится считывание позиций с трех вспомогательных шкал емкостного типа (грубой (COA), средней (MED) и тонкой (FIN)) и с одной фотоэлектрической вспомогательной шкалы (оптической). Эти вспомогательные шкалы используют такую комбинацию шагов и так расположены друг относительно друга, что показания в какой-либо одной позиции формируют уникальный набор и позволяют микропроцессору вычислить позицию считывающей головки на шкале с разрешением 0.05мкм (0.005мкм).

■ Определение точности линейной шкалы

Точность определения положения

Точность линейной шкалы определяется путем сравнения позиционных значений, показанных на линейной шкале с соответствующими значениями, полученными на машине лазерного измерения длины с регулярным интервалом, с использованием системы проверки точности, как показано на рисунке ниже. Так как температура окружающей среды при проверке 20°C, точность шкалы применяется только при этой температуре окружающей среды. Проверка при другой температуре может проводиться в соответствии с внутренними стандартами.



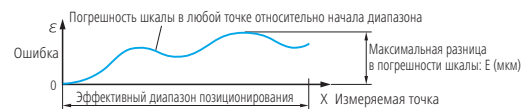
Точность шкалы в каждой точке определяется в виде величины погрешности, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Погрешность} = \text{Значение, показанное на линейной шкале} - \text{соответствующее значение системы проверки лазером}$$

Схема, на которой погрешность выводится в каждой точке в рамках диапазона действительного позиционирования, называется диаграммой точности. Существует два способа, используемых для определения точности шкалы, несбалансированная и сбалансированная, описанные ниже.

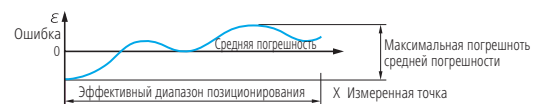
(1) Несбалансированное определение точности шкалы – максимальная погрешность минус минимальная погрешность

Данный метод просто определяет разницу между максимальной и минимальной погрешностью с диаграммы точности, как показано ниже. Погрешность указывается в форме: $E = (\alpha + \beta L)$ мкм, где L - эффективный диапазон измерения (мм), и α и β - факторы, указанные для каждой модели. Например, если конкретный тип шкалы имеет характеристику точности $(3 + 3L/1000)$ мкм и диапазон эффективного измерения 1000мм, то $E=6$ мкм.



(2) Сбалансированное определение точности шкалы – плюс/минус средняя погрешность

Данный способ определяет максимальную погрешность относительно средней погрешности от диаграммы точности. Погрешность указывается в форме: $e = \pm E/2$ (мкм). Этот метод в основном используется в спецификациях модифицированных шкалах отдельного типа.



Линейная шкала определяет перемещения, основанные на делении постоянным шагом. Двухфазные сигналы синусоиды с тем же шагом, что и в градуировка, получаются путем детектирования градуировки. Интерполяции этих сигналов в электрической цепи позволяет считать значения меньше, чем шаг градуировки, создавая импульсные сигналы, которые соответствуют нужному разрешению. Например, если шаг градуировки 20 мкм, интерполированные значения можно создавать с разрешением 1мкм.

Точность этой обработки не безошибочна и называется точность интерполяции. Общие технические характеристики позиционной точности линейной шкалы зависит как от погрешности шага шкалы, так и от точности интерполяции.

■ Корреляция изображений и двумерный кодировщик MICSYS

Принцип измерения

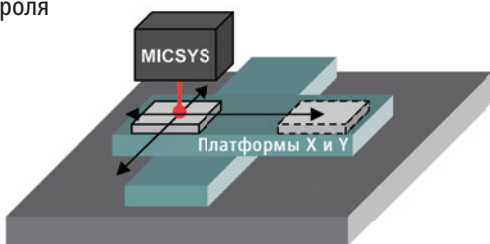
Когда объект с неровной поверхностью подвергается облучению лазерным лучом, отраженный когерентный свет, рассеивающийся с поверхности, создает видимую интерференцию в виде пятнистой структуры. По мере того, как объект движется в плоскости $x-y$, под влиянием этого пятнистая структура также перемещается. Перемещение объекта можно рассчитать путем сравнения, через корреляцию изображений, изображений с пятнистой структурой, полученных до и после движения, и этот принцип используется в высокоточной системе измерения MICSYS.



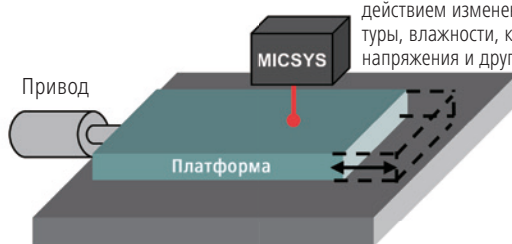
Применение

1. Оценка платформ, используемых в производственном оборудовании и системах контроля

Измерение смещений под воздействием изменения температуры, влажности, колебаний напряжения и других факторов

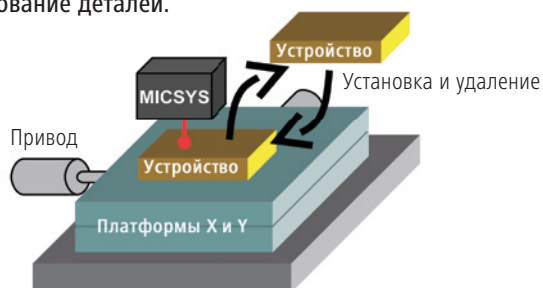


а) Оценка повторяемости позиции

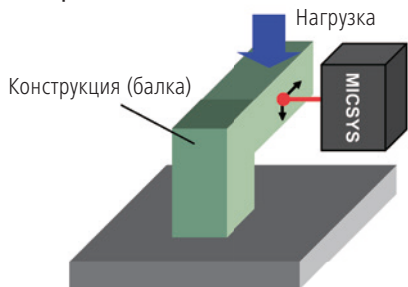


б) Оценка неподвижности и смещения показаний

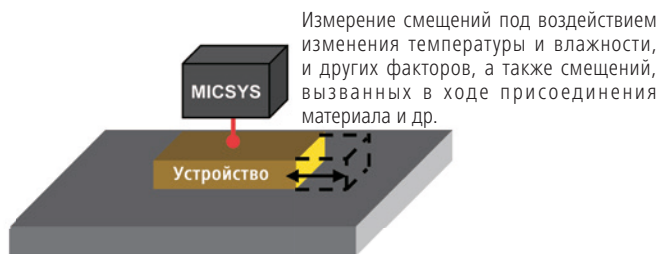
2. Высокоточное позиционирование деталей.



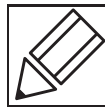
3. Измерение незначительного смещения



а) Измерение незначительного смещения конструкции

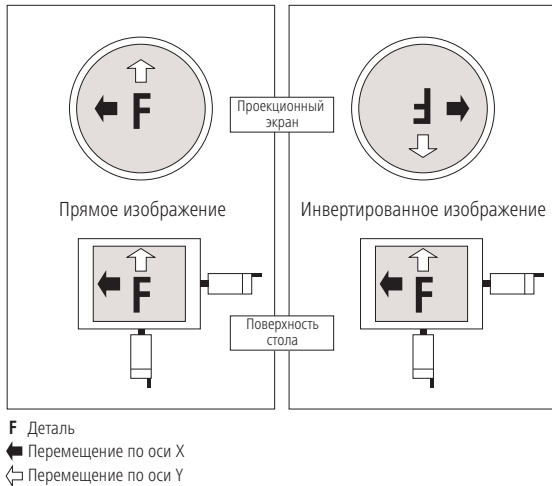


б) Измерение незначительного смещения детали



■ Нормальное и инвертированное изображение

Изображение объекта, проецируемое на экран, прямое, если оно расположено тем же образом, что и объект на платформе. Если изображение перевернуто сверху вниз или слева направо и в направлении движения относительно объекта на платформе (как показано на рисунке ниже), оно является инвертированным (также известным как перевернутое изображение, что, возможно, является более точным определением).



■ Точность увеличения

Точность увеличения проектора при использовании определенной линзы устанавливается путем проецирования изображения базового объекта и сравнением размера изображения на экране с ожидаемым размером (рассчитывается исходя из увеличительной способности линзы, как отмечено) для воспроизведения увеличенного объекта с процентной точностью, как показано ниже. Базовый объект чаще всего выполнен в виде небольшой размеченной стеклянной шкалы, часто называемой «настольным микрометром» или «эталонной шкалой», и его проецируемое изображение измеряется с помощью более широкой стеклянной шкалы, известной как «отсчетная шкала».

(Обратите внимание, что «точность увеличения» и «точность измерения» - это разные понятия).

$$\Delta M(\%) = \frac{L - \ell M}{\ell M} \times 100$$

$\Delta M(\%)$: Точность увеличения, выраженная в виде процентного соотношения с номинальной увеличительной способностью линзы

L: Длина проецируемого изображения эталонного объекта, измеряемого на экране

ℓ : Длина эталонного объекта

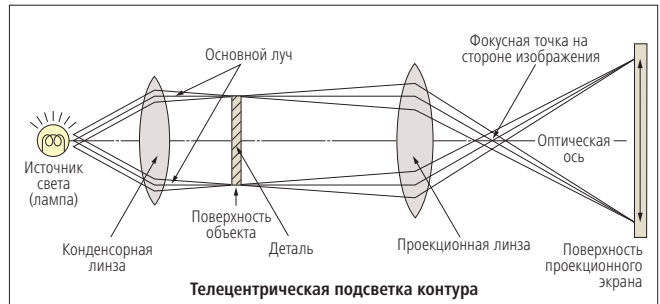
M: Увеличительная способность проекционной линзы

■ Тип подсветки

- **Контурная подсветка:** Тип подсветки для освещения детали с помощью преломления света, используется, в основном, для измерения увеличенного контура детали.
- **Коаксиальная подсветка поверхности:** тип подсветки, при котором деталь освещается пучком света, соосным с линзой для наблюдения/измерения поверхности. (Требуется полупрозрачное зеркало или проекционная линза со встроенным полупрозрачным зеркалом).
- **Наклонная подсветка поверхности:** тип подсветки детали под наклоном к поверхности. Этот метод позволяет получить изображение повышенного контраста с четким отображением в трехмерном пространстве. Однако обратите внимание, что существует вероятность ошибки при измерении размеров с помощью такого метода подсветки. (Необходимо наклонное зеркало. Модели серии PJ-N30 поставляются с наклонным зеркалом.)

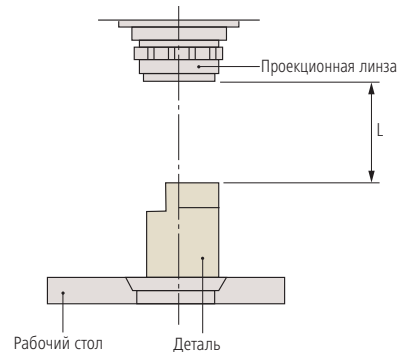
■ Телецентрическая оптическая система

Оптическая система, основанная на принципе выравнивания основного луча параллельно оптической оси путем установки диафрагмы объектива на фокусную точку со стороны изображения. Его функциональной особенностью является то, что изображение не будет изменяться в размере, несмотря на то, что оно становится нечетким при смещении объекта вдоль оптической оси. Для измерительных проекторов и измерительных микроскопов, идентичный эффект наблюдается при помещении лампы накаливания в фокусную точку конденсаторной линзы вместо диафрагмы объектива, так, чтобы объект освещался параллельными лучами. (См. рисунок ниже.)



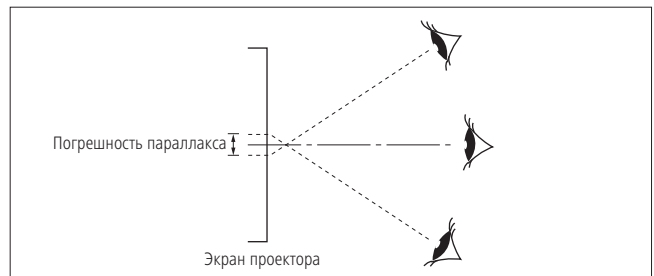
■ Рабочее расстояние

Это рабочее расстояние от кромки линзы до поверхности детали в фокусе. Оно обозначается L на диаграмме ниже.



■ Погрешность параллакса

Это смещение объекта относительно неподвижного фона, вызванное изменением положения наблюдателя и предельного расстояния между объектом и фоновой плоскостью.



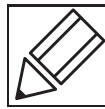
■ Диаметр обзора

Максимальный диаметр рабочей детали, проецируемой при помощи определенной линзы.

$$\text{Диаметр обзора (мм)} = \frac{\text{Диаметр экрана профильного проектора}}{\text{Увеличение используемой проекционной линзы}}$$

Например: Если используется 5-кратная увеличительная линза в проекторе с экраном $\varnothing 500$ мм:

$$\text{Диаметр обзора будет равен } \frac{500 \text{ мм}}{5} = 100 \text{ мм}$$



■ Числовая Апертура (NA)

Величина NA важна, так как она показывает разрешающую способность линзы объектива. Чем больше значение NA, тем мельче детали можно увидеть. Линза с большим значением NA также собирает больше светового излучения и обычно позволяет получить более яркое изображение с меньшей глубиной фокуса, чем линза с меньшим значением NA.

$$NA = n \cdot \sin\theta$$

Вышеуказанная формула показывает, что NA зависит от величины n, индекса преломления среды, располагающейся между передней частью объектива и образцом (для воздуха $n=1.0$), и углом θ , который является половинным углом максимального пучка световых лучей, который может войти в линзу.

■ Разрешающая способность (R)

Минимальное нахожимое расстояние между двумя точками изображения, представляющими предел разрешения. Разрешающая способность (R) определяется числовой апертурой (NA) и длиной волны (λ) освещения.

$$R = \frac{\lambda}{2 \cdot NA} \text{ (мкм)}$$

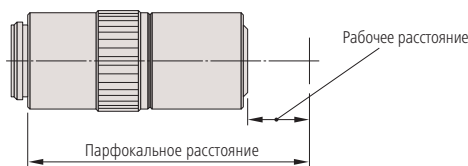
$\lambda = 0.55$ мкм часто используется в качестве опорной длины волны

■ Рабочее расстояние (W.D.)

Расстояние между передним концом объектива микроскопа и поверхностью образца, при котором достигается более резкая фокусировка.

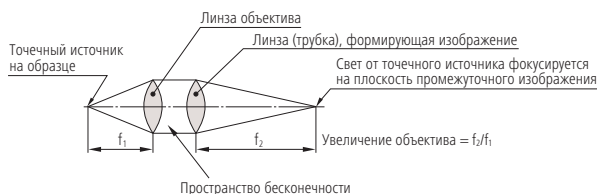
■ Парфокальное расстояние

Расстояние между положением установки объектива микроскопа и поверхностью рабочей детали, при котором достигается более резкая фокусировка. Линзы объектива, установленные в один и тот же револьвер, должны иметь одинаковое парфокальное расстояние, чтобы, когда будет использоваться другой объектив, требовалась бы минимальная перефокусировка.



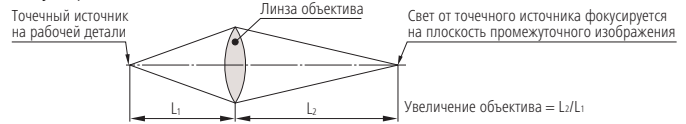
■ Оптическая система с фокусировкой на бесконечность

Оптическая система, в которой объектив формирует изображение в бесконечности и линза трубки помещена в трубку корпуса между объективом и окуляром для получения промежуточного изображения. После прохождения через объектив луч света движется фактически параллельно оптической оси к линзе трубки, через то, что называется «пространством бесконечности» ("infinity space"), внутри которого можно расположить дополнительные компоненты дифференциального интерференционного контраста (DIC), такие как призмы, поляризаторы и др., с минимальным влиянием на фокус и абберационную коррекцию.



■ Ограниченная оптическая система

Оптическая система, которая использует объектив для формирования промежуточного изображения в ограниченной позиции. Свет, отраженный от поверхности рабочей детали, проходя через объектив, направлен к плоскости промежуточного изображения (расположенной спереди фокусной плоскости окуляра) и сходится в той плоскости.



■ Фокусная длина (f)

ед. изм.: мм

Расстояние от главной точки до фокусной точки линзы: если f_1 представляет собой фокусную длину объектива, а f_2 – фокусную длину линзы (трубки), формирующей изображение, тогда степень увеличения определяется отношением между двумя величинами. (В случае оптической системы с коррективкой в бесконечности.)

$$\text{Увеличение объектива} = \frac{\text{Фокальная длина линзы (трубки)}}{\text{Фокальная длина объектива}}$$

Пример: $1X = \frac{200}{200}$ Пример: $10X = \frac{200}{20}$

■ Фокусная точка

Лучи света, проходящие параллельно оптической оси системы сходящихся линз и проходящие через ту систему, сойдутся (или сфокусируются) в точке на оси, известной как точка заднего фокуса, или фокусная точка изображения.

■ Глубина фокуса (DOF)

ед. изм.: мм

Также известна как «глубина поля», это расстояние (измеряемое в направлении к оптической оси) между двумя плоскостями, которое определяет пределы допустимой резкости изображения, когда микроскоп сфокусирован на предмет. При увеличении числовой апертуры (NA), глубина фокуса уменьшается, как показано в нижеследующем выражении:

$$DOF = \frac{\lambda}{2 \cdot (NA)^2} \quad \lambda = 0.55 \text{ мкм}$$

Пример: Для M Plan Apo 100X линз ($NA = 0.7$)

Глубина фокуса будет равна:

$$\frac{0.55 \text{ мкм}}{2 \times 0.7^2} = 0.6 \text{ мм}$$

■ Освещение методом светлого поля и методом темного поля

При освещении методом светлого поля весь пучок света фокусируется объективом на поверхность образца. Это нормальный режим просмотра через оптический микроскоп. При освещении методом темного поля, внутренняя область светового пучка блокируется таким образом, что поверхность освещается только под углом. Освещение методом темного поля подходит для обнаружения царапин и загрязнений на поверхности.

■ Апохроматические и ахроматические объективы

Апохроматический объектив – это линза, настроенная на хроматическую абберацию (цветное пятно) в трех цветах (красный, синий, желтый). Ахроматический объектив – это линза, настроенная на хроматическую абберацию в двух цветах (красный, синий).

■ Увеличение

Отношение размера увеличенного изображения предмета, созданного оптической системой, к размеру предмета. Увеличение обычно относится к линейному увеличению, несмотря на то, что оно может означать поперечное, вертикальное, или угловое увеличение.

■ Основной луч

Луч, который испускается из точки предмета от оптической оси и проходит через центр диафрагмы апертуры в линзовой системе.

■ Диаграмма апертуры

Настраиваемая круглая апертура, которая контролирует количество света, проходящего через линзовую систему. Она еще называется апертурной диафрагмой и ее размер влияет на яркость изображения и глубину фокуса.

■ Диафрагма поля зрения

Диафрагма, которая контролирует поле зрения в оптическом приборе.

■ Телецентрическая система

Оптическая система, в которой световые лучи параллельны оптической оси в пространстве предмета и/или изображения. Это означает, что увеличение практически постоянно в целом диапазоне рабочих расстояний, тем самым практически устраняя погрешность перспективы.

■ Прямое изображение

Изображение, в котором ориентация налево, направо, вверх, вниз или по ходу движения та же самая, что и у установленной рабочей детали.

■ Номер поля (FN), реальное поле зрения, и увеличение отображения монитора ед. изм.: мм

Диапазон наблюдения поверхности образца определяется диаметром полевой диафрагмы окуляра. Величина этого диаметра в миллиметрах называется номером поля (FN). В отличие от этого, реальное поле зрения – это диапазон на поверхности рабочей детали при фактическом увеличении и наблюдении через линзу объектива. Реальное поле зрения можно рассчитать при помощи следующей формулы:

(1) Диапазон рабочей детали, который можно наблюдать через микроскоп (диаметр)

$$\text{Реальное поле} = \frac{\text{FN окуляра}}{\text{Увеличение линзы объектива}}$$

$$\text{Пример: Реальное поле обзора 1X линзы 24} = \frac{24}{1}$$
$$\text{Реальное поле обзора 10X линзы 2.4} = \frac{24}{10}$$

(2) Диапазон наблюдения монитора

$$\text{Диапазон наблюдения} = \frac{\text{Размер сенсора камеры (длина по диагонали)}}{\text{Увеличение линзы объектива}}$$

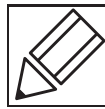
● Размер сенсора изображения

Формат	Длина по диагонали	Длина	Высота
0,847 см / 1/3"	6.0	4.8	3.6
1,270 см / 1/2"	8.0	6.4	4.8
1,693 см / 2/3"	11.0	8.8	6.6

(3) Увеличение отображения монитора

Увеличение отображения монитора =

$$\text{Увеличение линзы объектива} \times \frac{\text{Длина по диагонали дисплея монитора}}{\text{Длина по диагонали сенсора камеры}}$$

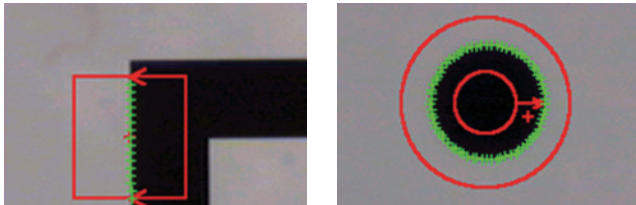


Видео измерение

Видео-измерительные машины в основном обеспечивают следующие возможности по обработке изображений.

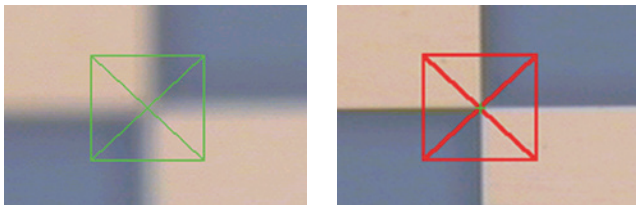
Определение кромки

Определение/измерение кромки в плоскости XY



Автофокусировка

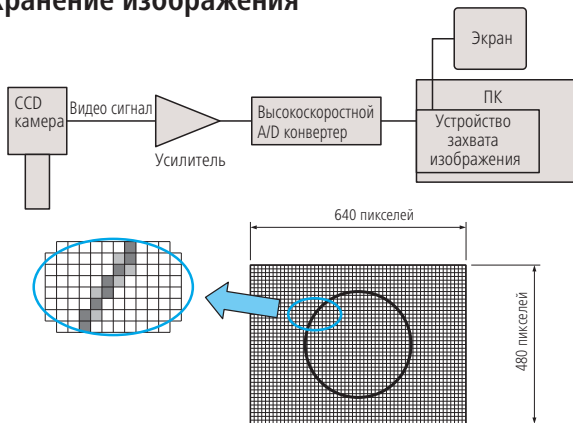
Фокусировка и измерение по оси Z



Распознавание шаблонов

Выравнивание, позиционирование и измерение объекта

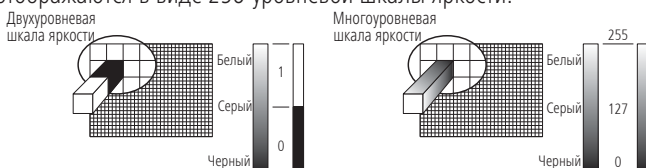
Хранение изображения



Изображение состоит из постоянного массива пикселей. Это похоже просто на картинку на тонкой миллиметровой бумаге, на которой каждый квадратик содержит различный массив.

Шкала яркости

На ПК сохраняется изображение после внутренней конвертации его в числовые значения. Числовое значение присваивается каждому пикселю изображения. Качество изображения может варьироваться в зависимости от количества уровней шкалы яркости, определенных числовыми значениями. В ПК есть два типа шкал яркости: двухуровневая и многоуровневая. Пиксели в изображении обычно отображаются в виде 256-уровневой шкалы яркости.

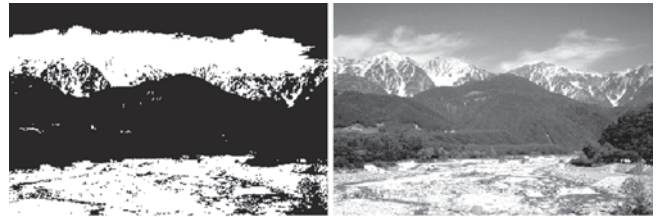


Более яркие, чем установленный уровень, пиксели в изображении отображаются в виде белых точек, а все остальные – в виде черных.

Каждый пиксель отображается в виде одного из 256 уровней между черным и белым. Это позволяет отображать изображения с высокой точностью.

Различия в качестве изображений

Различие между изображениями в 2- и 256-уровневых шкалах яркости.



Пример изображения в 2-уровневой шкале яркости Пример изображения в 256-уровневой шкале яркости

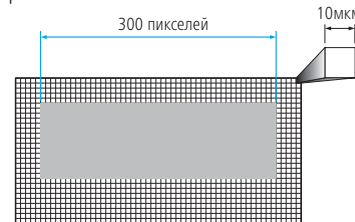
Изменение в изображении в зависимости от величины порогового уровня



Эти 3 фотографии представляют собой одно и то же изображение в 2-уровневой шкале яркости на разных уровнях слоев (пороговых уровнях). В изображении в 2-уровневой шкале яркости различные изображения выглядят так, как показано выше, из-за различий в уровнях слоев. Поэтому 2-уровневая шкала яркости не используется для высокоточного измерения изображений, так как числовые значения изменяются в зависимости от установленного порогового уровня.

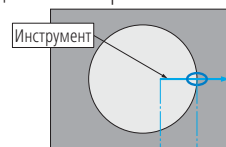
Измерение размеров

Изображение состоит из пикселей. Если количество пикселей в измеряемой секции подсчитывается и умножается на размер пикселя, тогда секцию можно конвертировать в числовое значение по длине. Например, представьте, что общее количество пикселей в поперечном размере прямоугольной рабочей детали - 300 пикселей, как показано на рисунке ниже. Если размер пикселя - 10мкм под увеличением изображения, общая длина рабочей детали будет равна $10\text{мкм} \times 300 \text{ пикселей} = 3000\text{мкм} = 3\text{мм}$.



Определение кромки

Как в действительности определить кромку рабочей детали на изображении описано в примере использования следующей монохромной картинке. Определение кромки осуществляется в пределах данной области. Символ, который визуально определяет эту область, относится к инструменту. Для определения различной геометрии рабочей детали или данных измерения используются различные инструменты.



Система определения кромки сканирует в пределах области инструментов, как показано на рисунке слева, и определяет границу между светом и тенью.

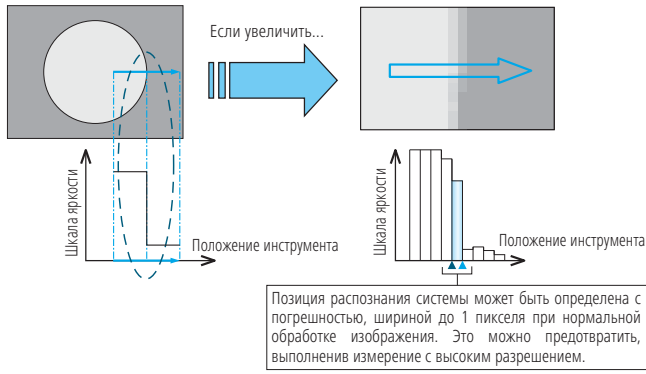
244	241	220	193	97	76	67	52	53	53
243	242	220	195	94	73	66	54	53	55
244	246	220	195	94	75	64	56	51	50

Пример числовых значений, присваиваемых пикселям инструментом.



- (1) Начало сканирования
- (2) Определение границы
- (3) Окончание сканирования

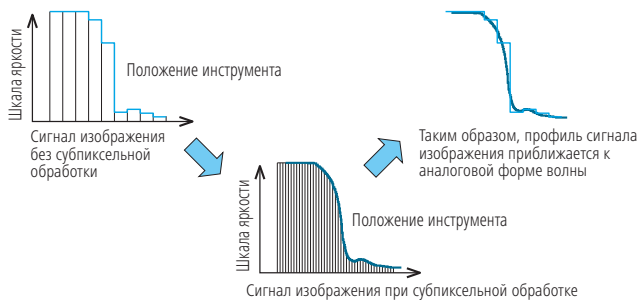
Измерение с высоким разрешением



Для повышения точности при определении границ используется субпиксельная обработка изображений.

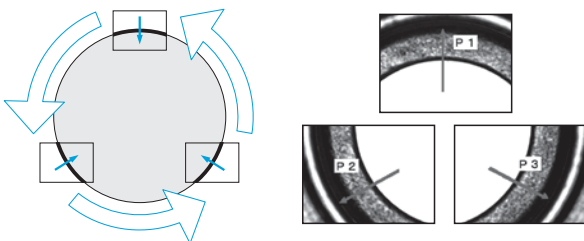
Границы определяются путем установления кривой интерполяции от смежных данных элемента изображения, как показано ниже.

В результате это позволяет сделать измерение с разрешением более 1 пикселя.

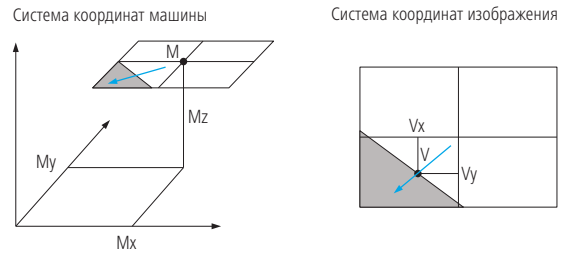


Измерение изображения по частям

Крупные элементы, которые не может вместить один экран, измеряются путем точного управления позицией CCD датчика и устанавливаются таким образом, чтобы установить местонахождение каждой точки привязки в рамках отдельных изображений. Посредством этого система может измерить даже крупный круг, как показано ниже, путем определения границы при передвижении столика микроскопа через различные части периферии.



Комбинированные координаты точки



Положение стола измерительного устройства $M = (M_x, M_y, M_z)$

Положение кромки (от центра изображения) $V = (V_x, V_y)$

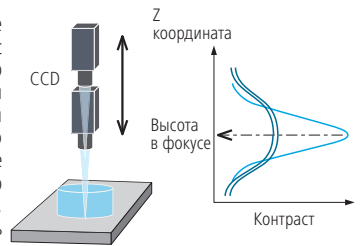
Фактические координаты заданы $X = (M_x + V_x)$, $Y = (M_y + V_y)$, и $Z = M_z$, соответственно.

Так как измерение производится с сохранением отдельных измеренных позиций, система может измерять без проблем размеры, которые не могут быть выведены на один экран.

Принцип автофокусировки

Система может осуществлять измерение плоскости XY, но не может выполнять измерение высоты с использованием только изображения камеры CCD. Система обычно оснащена механизмом автофокусировки (AF) для проведения измерения высоты. Следующее объясняет механизм AF, который использует простое изображение, однако некоторые системы могут использовать лазерную автофокусировку.

Система AF анализирует изображение при перемещении камеры с зарядовой связью вверх и вниз по оси Z. При анализе контрастности изображения, изображение с четким фокусом будет иметь максимальную контрастность, а нефокусированное изображение будет иметь малую контрастность. Таким образом, высота, при которой контрастность изображения максимальна — высота в фокусе.



Вариации контраста в зависимости от условия фокусировки

Контраст границ низкий из-за плохой фокусировки.

Контраст границ высокий из-за хорошей фокусировки.



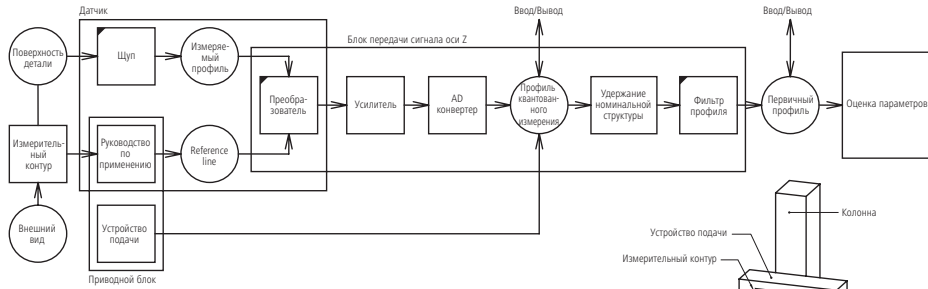
Краткое руководство по высокоточным измерительным приборам



Профилометры (приборы для измерения шероховатости поверхности)

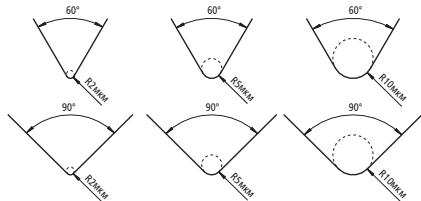
- ISO 1302: 2002 Метод обозначения структуры поверхности
- ISO 4287: 1997 ГХИ – Структура поверхности: Профильный метод - Термины, определения и параметры структуры поверхности
- ISO 4288: 1996 ГХИ – Структура поверхности: Профильный метод – Правила и процедуры оценки структуры поверхности
- ISO 3274: 1996 ГХИ – Структура поверхности: Профильный метод – Номинальные характеристики контактных (щуповых) приборов

Номинальные характеристики контактных (щуповых) приборов



Форма щупа

Типичная форма наконечника щупа - коническая со сферическим кончиком.
 Радиус кончика щупа: $r_{tip} = 2 \text{ мкм}$, 5 мкм или 10 мкм
 Угол конуса: 60° , 90°
 В типичных измерительных приборах шероховатости поверхности, угол конуса щупа 60° , если не указано иное.



Статическое измерительное усилие

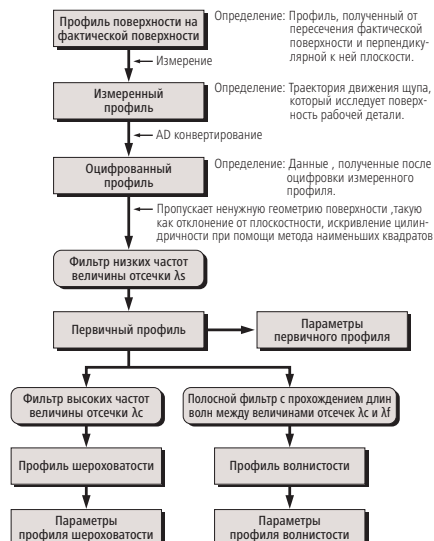
Номинальный радиус изгиба наконечника щупа: мкм	Статическое измер. усилие в среднем положении щупа: мН	Погрешность вариаций статического измер. усилия: мН/мкм
2	0.75	0.035
5	0.75 (4.0) <small>Примечание 1</small>	0.2
10		

Примечание 1: Максимальное значение статического измерительного усилия в среднем положении щупа - 4.0 мН для специальной конструкции датчика, включая сменные щупы.

Метрологическая характеристика фазокорректирующих фильтров

Профильный фильтр является фазокорректирующим фильтром без задержки фазы (причина искажения профиля зависит от длины волны). Весовая функция фазокорректирующего фильтра показывает нормальное (Гауссовское) распространение, в котором передача амплитуды - 50% при критической длине волны.

Алгоритм обработки данных



Зависимость между величиной отсечки и радиусом наконечника щупа

В нижеприведенной таблице показана зависимость между величиной отсечки профиля шероховатости λ_c , радиусом наконечника щупа r_{tip} и критическим соотношением λ_c/r_{tip} .

λ_c мм	λ_s мкм	λ_c/λ_s	Макс. r_{tip} мкм	Максимальная длина мм
0.08	2.5	30	2	0.5
0.25	2.5	100	2	0.5
0.8	2.5	300	2 <small>Прим. 1</small>	0.5
2.5	8	300	5 <small>Прим. 2</small>	1.5
8	25	300	10 <small>Прим. 2</small>	5

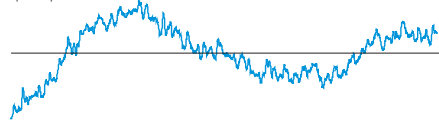
Примечание 1: Для поверхности с коэффициентом шероховатости $Ra < 0.5 \text{ мкм}$ или $Rz < 3 \text{ мкм}$, при измерении обычно не бывает значительной погрешности даже при $r_{tip} = 5 \text{ мкм}$.
 Примечание 2: Если величина отсечки λ_c равна 2 мкм или 5 мкм , ослабление сигнала ввиду эффекта механической фильтрации щупа с рекомендованным радиусом наконечника оказывается за пределами полосы профиля шероховатости. Поэтому небольшая погрешность в радиусе или форме наконечника щупа не влияет на значения параметров, вычисленных при измерении. Если требуется специфический коэффициент отсечки, этот коэффициент необходимо определить.

Профили поверхности



Первичный профиль

Профиль, полученный из измеренного профиля с применением фильтра низких частот с величиной отсечки λ_s



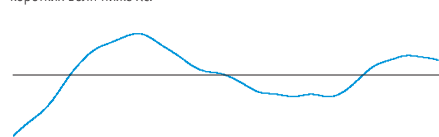
Профиль шероховатости

Профиль, полученный из первичного профиля путем подавления компонентов более длинных волн с помощью фильтра верхних частот с величиной отсечки λ_c .



Профиль волнистости

Профиль, полученный при применении полосного фильтра к первичному профилю для устранения более длинных волн выше λ_f и более коротких волн ниже λ_s .

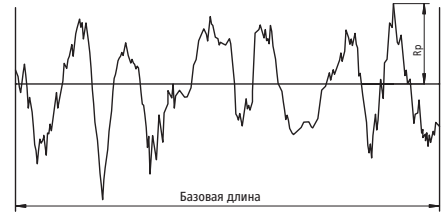


Определение параметров

Параметры амплитуды (выступы и впадины)

Максимальная высота выступа первичного профиля Pp
 Максимальная высота выступа профиля шероховатости Rp
 Максимальная высота выступа профиля волнистости Wp

Максимальная высота выступа профиля Zp в рамках базовой длины

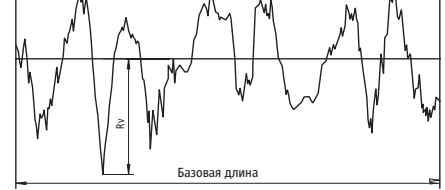


Максимальная глубина впадины первичного профиля Pv

Максимальная глубина впадины профиля шероховатости Rv

Максимальная глубина впадины профиля волнистости Wv

Наибольшая глубина впадины профиля Zv в рамках базовой длины

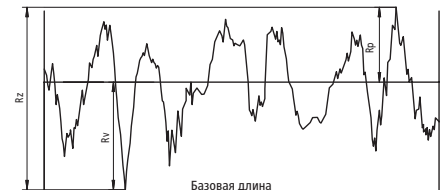


Максимальная высота первичного профиля Pz

Максимальная высота профиля шероховатости Rz

Максимальная высота профиля волнистости Wz

Суммарная высота наибольшей высоты выступа Zp и наибольшей глубины впадины профиля Zv в рамках базовой длины



В предыдущих стандартах JIS и ISO 4287-1: 1984, обозначение Rz использовалось для указания на отклонения по десяти точкам. Следует с осторожностью принимать полученные результаты, так как различия между действующими и предыдущими стандартами не всегда незначительны. (Обязательно проверяйте, к действующим или предыдущим стандартам относятся инструкции чертежа.)

Средняя высота элементов первичного профиля Pc

Средняя высота элементов профиля шероховатости Rc

Средняя высота элементов профиля волнистости Wc

Среднее значение высот элемента профиля Zt в рамках базовой длины



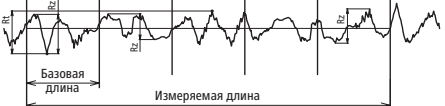
Общая высота первичного профиля Pt

Общая высота профиля шероховатости Rt

Общая высота профиля волнистости Wt

Суммарная высота наибольшего выступа профиля Zp и

наибольшей глубины впадины профиля Zv в рамках длины оценки



Параметры амплитуды (средние ординаты)

Среднее арифметическое отклонение первичного профиля P_a
 Среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости R_a
 Среднее арифметическое отклонение профиля волнистости W_a
 Среднее арифметическое значение абсолютных значений ординат $Z(x)$ в рамках базовой длины

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

с l как l_p , l_r или l_w в зависимости от случая.

Среднее квадратичное отклонение первичного профиля P_q
 Среднее квадратичное отклонение профиля шероховатости R_q
 Среднее квадратичное отклонение профиля волнистости W_q
 Среднее квадратичное значение ординат $Z(x)$ в рамках базовой длины

$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

с l как l_p , l_r или l_w в зависимости от случая.

Перекося первичного профиля P_{sk}
 Перекося профиля шероховатости R_{sk}
 Перекося профиля волнистости W_{sk}

Коэффициент среднего кубического значения ординат $Z(x)$ и биквадрат P_q, R_q , или W_q соответственно, в рамках базовой длины

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_0^l |Z^3(x)| dx$$

В вышеуказанном равенстве определяется R_{sk} . P_{sk} и W_{sk} определяются тем же способом. P_{sk} , R_{sk} , и W_{sk} — это единицы измерения асимметрии вероятностной плотности распределения значений ординат.

Экссес первичного профиля P_{ku}
 Экссес профиля шероховатости R_{ku}
 Экссес профиля волнистости W_{ku}

Коэффициент среднего биквадратного значения ординат $Z(x)$ и биквадрат P_q, R_q , или W_q соответственно, в рамках базовой длины

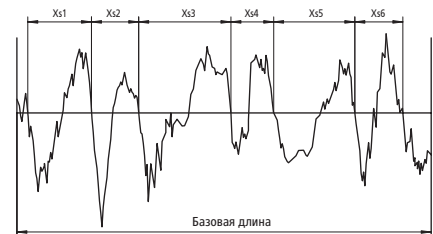
$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \int_0^l |Z^4(x)| dx$$

В вышеуказанном равенстве определяется R_{ku} . P_{ku} и W_{ku} определяются тем же способом. P_{ku} , R_{ku} и W_{ku} — это единицы измерения четкости вероятностной плотности распределения значений ординат.

Пространственные параметры

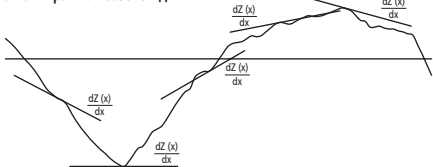
Средняя ширина элементов первичного профиля P_{sm}
 Средняя ширина элементов профиля шероховатости R_{sm}
 Средняя ширина элементов профиля волнистости W_{sm}
 Среднее значение ширины элементов профиля X_s в рамках базовой длины

$$P_{sm}, R_{sm}, W_{sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si}$$



Смешанные параметры

Среднеквадратический наклон первичного профиля $P_{\Delta q}$
 Среднеквадратический наклон профиля шероховатости $R_{\Delta q}$
 Среднеквадратический наклон профиля волнистости $W_{\Delta q}$
 Величина среднеквадратического наклона по оси ординат dZ/dX в рамках базовой длины



Кривые, вероятностная плотность распределения, и соответствующие параметры

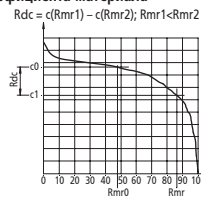
Кривая материального коэффициента профиля (Кривая Абботта-Ферростуна)

Кривая, представляющая материальный коэффициент профиля в виде функции уровня сечения "с"



Материальный коэффициент первичного профиля $Pmr(c)$
 Материальный коэффициент профиля шероховатости $Rmr(c)$
 Материальный коэффициент профиля волнистости $Wmr(c)$
 Материальный коэффициент длины элементов профиля $MI(c)$ на установленном уровне "с" к длине оценки $MI(c) = \frac{MI(c)}{l}$

Различия в высоте сечения первичного профиля Pdc
 Различия в высоте сечения профиля шероховатости Rdc
 Различия в высоте сечения профиля волнистости Wdc
 Вертикальное расстояние между двухсекционными уровнями данного коэффициента материала



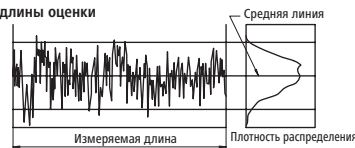
Относительный материальный коэффициент первичного профиля Pmr
 Относительный материальный коэффициент профиля шероховатости Rmr
 Относительный материальный коэффициент профиля волнистости Wmr

Коэффициент материала, определяемый, как уровень сечения профиля Rdc (или Pdc или Wdc), относимого к базовому уровню сечения $c0$

$$Pmr, Rmr, Wmr = \frac{Pmr(c1), Rmr(c1), Wmr(c1)}{c0}$$

где $c1 = c0 - Rdc(Rdc, Wdc)$
 $c0 = c(Pmr, Rmr, Wmr)$

Функция вероятностной плотности (кривая распределения амплитуды высоты профиля)
 Функция вероятностной плотности образца ординаты $Z(x)$ в рамках длины оценки



Специфические параметры стандарта JIS

Отклонение высоты по десяти точкам, Rz_{10}
 Сумма абсолютного среднего значения высоты пяти наивысших выступов профиля и абсолютное среднее значение глубины пяти низших точек, измеренных от средней линии в рамках базовой длины профиля шероховатости. Этот профиль получается из первичного профиля с использованием фазокорректирующего полосового фильтра со значениями отсечек λ_s и λ_{s5} .



Символ	Используемый профиль
Rz_{JIS82}	Профиль поверхности в измеренном значении
Rz_{JIS94}	Профиль шероховатости, полученный из первичного профиля с использованием фазокорректирующего фильтра высоких частот

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra_{75}
 Среднее арифметическое абсолютных величин отклонений профиля от средней линии в рамках базовой длины профиля шероховатости (75%). Данный профиль получается из первичного измерения с использованием аналогового фильтра высоких частот с фактором затухания 12дБ/октава и величиной отсечки λ_s .

$$Ra_{75} = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

Базовая длина для определения параметров шероховатости

ISO 4288: 1996

Таблица 1: Базовые длины для ненормальных параметров шероховатости профиля ($R_a, R_q, R_{sk}, R_{ku}, R_{\Delta q}$), кривая коэффициента материала, функция вероятностной плотности, и соответствующие параметры

R_a мкм	Базовая длина l_r мм	Измер. длина l_n мм
(0.006) < $R_a \leq 0.02$	0.08	0.4
0.02 < $R_a \leq 0.1$	0.25	1.25
0.1 < $R_a \leq 2$	0.8	4
2 < $R_a \leq 10$	2.5	12.5
10 < $R_a \leq 80$	8	40

Таблица 2: Базовые длины для ненормальных параметров шероховатости профиля (R_z, R_v, R_p, R_c, R_t)

R_z мкм	Базовая длина l_r мм	Измер. длина l_n мм
(0.025) < $R_z, R_z1max \leq 0.1$	0.08	0.4
0.1 < $R_z, R_z1max \leq 0.5$	0.25	1.25
0.5 < $R_z, R_z1max \leq 10$	0.8	4
10 < $R_z, R_z1max \leq 50$	2.5	12.5
50 < $R_z, R_z1max \leq 200$	8	40

1) R_z1max используется для измерения R_z, R_v, R_p, R_c и R_t .
 2) R_z1max используется только для измерения $R_{zmax}, R_{vm}, R_{pm}, R_{cm}$ и R_{tm} .

Таблица 3: Базовые длины для измерения нормальных параметров профиля шероховатости и нормального и ненормального параметра профиля R_{sm}

R_{sm} мм	Базовая длина l_r мм	Измер. длина l_n мм
0.013 < $R_{sm} \leq 0.04$	0.08	0.4
0.04 < $R_{sm} \leq 0.13$	0.25	1.25
0.13 < $R_{sm} \leq 0.4$	0.8	4
0.4 < $R_{sm} \leq 1.3$	2.5	12.5
1.3 < $R_{sm} \leq 4$	8	40

Процедура определения базовой длины, если она не задана

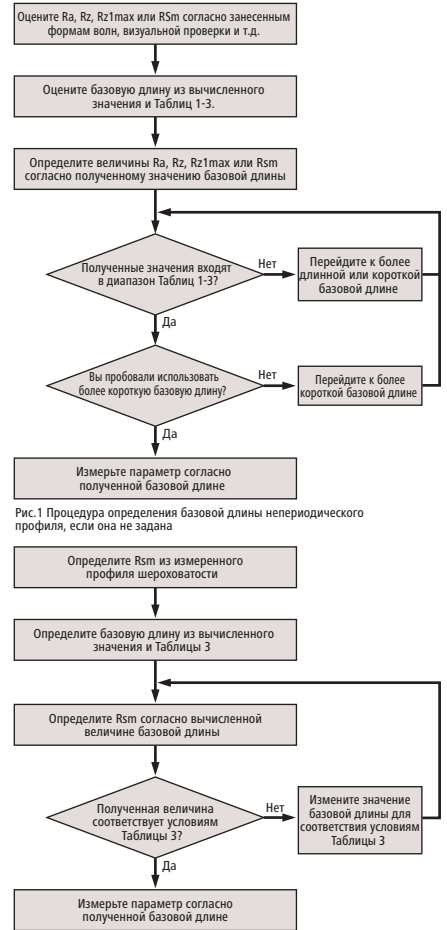
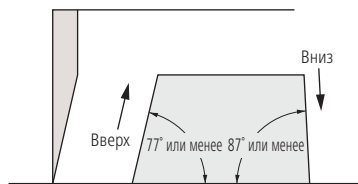


Рис. 1 Процедура определения базовой длины непериодического профиля, если она не задана

Рис. 2 Процедура определения базовой длины периодического профиля, если она не задана



Видимый угол

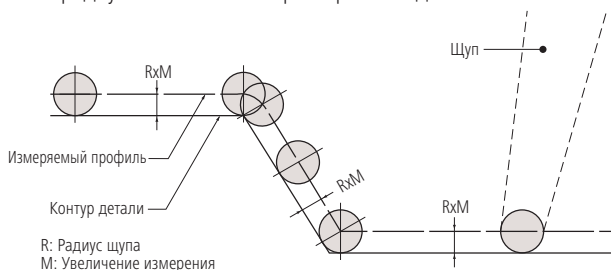


Максимальный угол, при котором щуп может очерчивать контур рабочей детали, двигаясь вверх и вниз в направлении движения измерения, называется видимым углом. Щуп, острый со скосом с одной стороны под углом 12° (как показано на рисунке выше), может очерчивать с максимальным наклоном в 77° вверх и с максимальным наклоном в 87° вниз. Для конического щупа (30° конус), видимый угол меньше. В восходящем направлении под углом 77° или менее, хотя, может фактически включать угол более 77° ввиду эффекта шероховатости поверхности. Шероховатость поверхности также влияет на измерительное усилие.

Для модели CV-3200/4500, тот же тип щупа (SPH-71: острый со скосом с одной стороны под углом 12°) может очерчивать под максимальным углом 77° в восходящем направлении и 83° - в нисходящем.

Компенсирование радиуса наконечника щупа

Записанный профиль представляет собой место расположения центра шарикового наконечника на поверхности рабочей детали. (Стандартный радиус 0.025 мм.) Это совсем не то же самое, что и действительный профиль поверхности, таким образом, для того, чтобы измерить точный профиль, необходимо компенсировать влияние радиуса наконечника при обработке данных.

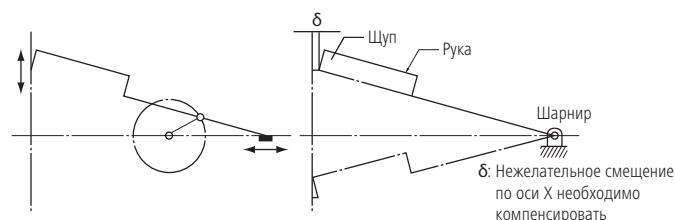


Если профиль считывается с рекордера по эталону или шкале, необходимо учитывать погрешность радиуса наконечника щупа заранее в зависимости от примененной степени увеличения измерения.

Компенсирование поворота руки

Щуп установлен на поворотной руке, таким образом, он вращается при очерчивании поверхности, и контактный наконечник снимает показания не только в направлении оси Z. Поэтому необходимо ввести поправку при движении в направлении оси X для обеспечения точности. Существует 3 метода для компенсации поворота руки.

- 1: Механическая компенсация
- 2: Электрическая компенсация



3: Программная обработка. Для измерения контура рабочей детали, что вызывает большое смещение в вертикальном направлении с высокой степенью точности, следует применить один из этих методов компенсации.

Точность

Поскольку блоки детекторов осей X и Z имеют встроенную функцию изменения масштаба, точность увеличения отображается не в процентах, а в точности линейного смещения для каждой оси.

Предохранитель от перегрузки

Если на наконечник щупа оказывается избыточное усилие (перегрузка) ввиду, возможно, обнаружения им слишком крутого подъема на поверхности рабочей детали, или неровностей, и т.д., предохранительное устройство автоматически прекращает работу и включается соответствующий звуковой сигнал. Этот тип инструмента обычно оснащается отдельными предохранительными устройствами для отслеживания нагрузки в направлении измерения (по оси X) и вертикальной нагрузки (по оси Y).

Для моделей CV-3200/4500, предохранительное устройство также срабатывает, если рука отходит от головки детектора.

Простое или сложное управление рукой

В случае использования простой шарнирной руки, траектория, которую проходит наконечник щупа в вертикальном направлении (по оси Z) является дугой окружности, что приводит к нежелательной погрешности по X, которую необходимо компенсировать. Чем шире движение по дуге, тем больше нежелательное смещение по оси X (δ), которое необходимо компенсировать. (См. рисунок, расположенный ниже слева). Альтернативой является использование комплекса механических связей для получения траектории линейного сдвига по Z, тем самым можно избежать необходимость компенсации смещения по оси X.

Методы измерения по оси Z

Несмотря на то, что обычно используется метод измерения по оси X посредством цифровой шкалы, способы измерения по оси Z подразделяются на аналоговые методы (при помощи дифференциального преобразователя, и др.), а также методы цифровой шкалы.

Аналоговые методы варьируются в разрешении оси Z в зависимости от степени увеличения измерения и диапазона измерения. Методы цифровой шкалы имеют фиксированное разрешение.

В общем, метод цифровой шкалы позволяет получать результаты с более высокой степенью точности, чем аналоговый метод.

■ Методы анализа контура

Вы можете провести анализ контура с помощью одного из двух методов по завершении операции измерения.

Раздел обработки данных и программа анализа

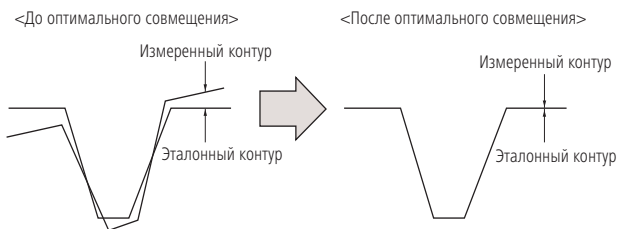
Измеренный контур вводится в раздел обработки данных в режиме реального времени и соответствующая программа производит анализ при помощи мыши или клавиатуры. Угол, радиус, шаг, уклон и другие данные отображаются непосредственно в числовых значениях. Можно легко провести анализ с комбинированием различных систем координат. На принтер выводится график с учетом радиуса наконечника щупа в виде записанного профиля.

■ Установка допусков в проектные данные

Помимо простого анализа отдельных размеров, данные контура измеренной рабочей детали можно сравнить с проектными данными относительно фактической и эталонной форм. В данном методе любое отклонение измеренного контура от теоретического отображается и записывается. А также данные эталона рабочей детали можно обработать и занести как контрольные исходные данные, с которыми будут сравниваться другие рабочие детали. Эта функция особенно полезна, когда форма детали значительно влияет на ее рабочие характеристики либо когда ее форма влияет на соединение этой детали с другими деталями.

■ Оптимальное совмещение

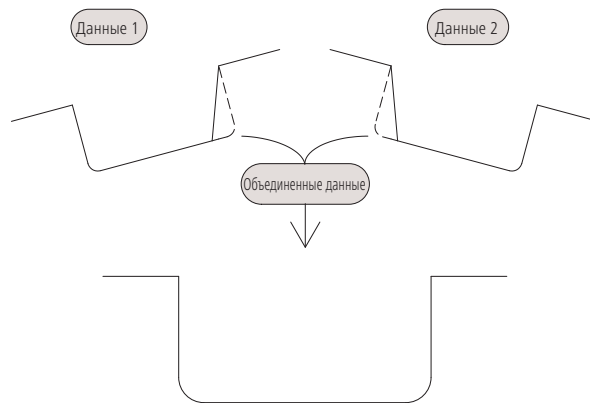
Если существует стандарт для данных профиля поверхности, установление допусков относительно проектных данных осуществляется на основе стандарта. Если стандарта нет, либо если необходимо установить допуски только по форме, можно осуществить оптимальное совмещение между эталонными и полученными в ходе измерения данными.



Алгоритм по оптимальному совмещению данных направлен на поиск отклонений между обоими комплектами данных, он создаёт систему координат, в которой сумма квадратов отклонений минимальна при наложении полученных при измерении данных на эталонные.

■ Объединение данных

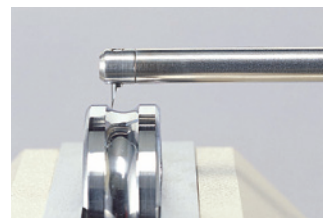
Иногда, очерчивание полного контура невозможно ввиду ограничений видимого угла щупа, тогда его необходимо разбить на несколько секций, которые затем измеряются и определяются отдельно. Эта функция помогает избежать этой нежелательной ситуации путем объединения отдельных секций в один контур путем наложения общих элементов (линий, точек) друг на друга. С данной функцией можно вывести на экран весь контур и провести различные виды анализа в обычном режиме.



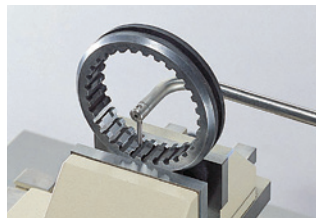
■ Примеры измерений



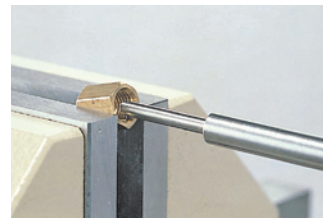
Двухсторонний щуп для измерений в направлениях вверх и вниз



Внутренний/внешний контур кольца подшипника



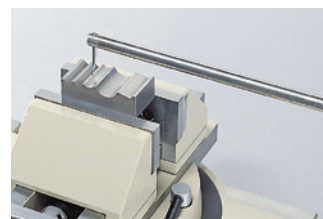
Внутренние зубцы шестеренки



Форма внутренней резьбы

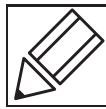


Форма внешней резьбы



Контур калибра

Краткое руководство по высокоточным измерительным приборам



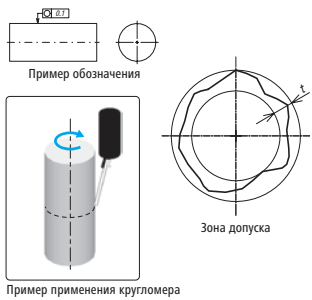
Кругломеры (приборы для измерения формы)

- ISO 4291: 1985 Методы по определению отклонений от круглости – Измерение вариаций радиуса
- ISO 1101: 2012 Геометрические характеристики изделий (ГХИ) – Установление допусков по геометрии изделий -- Допуска на форму, ориентацию, размещение, эксцентриситет

PAGE 40

○ Круглость

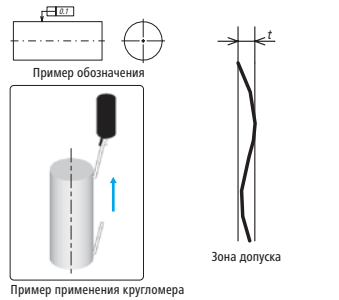
Любая линия на окружности должна находиться внутри зоны допуска, образованной двумя копланарными окружностями с разницей в радиусах t



Пример применения кругломера

— Прямолинейность

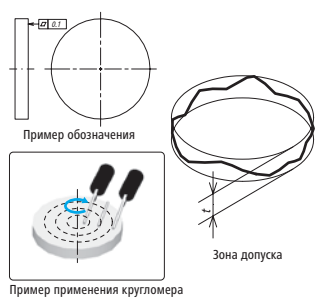
Любая линия на поверхности должна лежать внутри зоны допуска, образованной между двумя параллельными прямыми в диапазоне t



Пример применения кругломера

□ Плоскостность

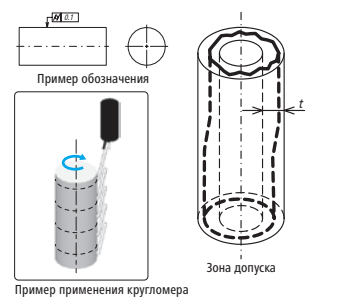
Поверхность должна находиться внутри зоны допуска, образованной между двумя параллельными плоскостями в диапазоне t



Пример применения кругломера

∩ Цилиндричность

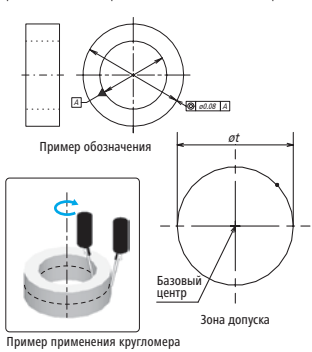
Поверхность должна находиться внутри зоны допуска, образованной между двумя соосными цилиндрами с разницей в радиусах t



Пример применения кругломера

◎ Концентричность

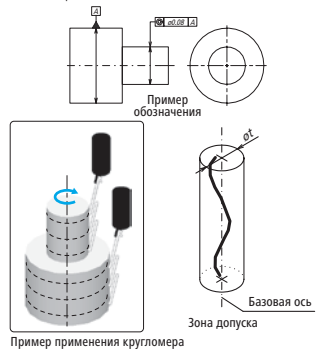
Точка центра должна находиться в зоне допуска, образованной окружностью с диаметром t , концентричной с базовым центром



Пример применения кругломера

◎ Соосность

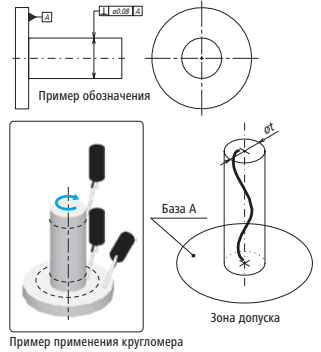
Ось должна находиться внутри зоны допуска, образованной цилиндром с диаметром t , концентричным с базовой осью



Пример применения кругломера

⊥ Перпендикулярность

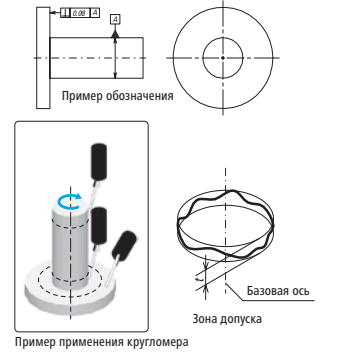
Линия или поверхность должна находиться внутри зоны допуска, образованной между двумя плоскостями на расстоянии t и перпендикулярно базовой линии



Пример применения кругломера

⊥ Перпендикулярность

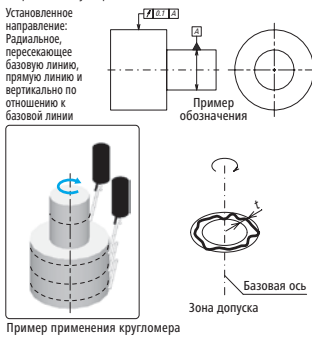
Линия или поверхность должна находиться внутри зоны допуска, образованной между двумя плоскостями на расстоянии t и перпендикулярно базовой линии



Пример применения кругломера

↑ Радиальное биение

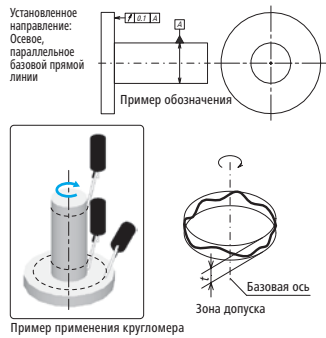
Линия должна находиться внутри зоны допуска, образованной между двумя копланарными или концентричными окружностями на расстоянии t , концентричными или перпендикулярными к базовой оси



Пример применения кругломера

↗ Полное биение

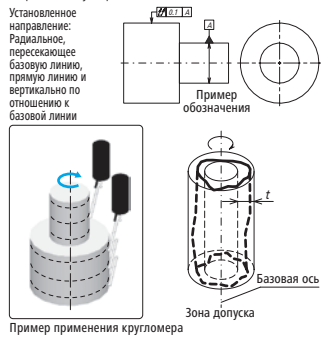
Поверхность должна находиться внутри зоны допуска, образованной между двумя соосными цилиндрами с разницей в радиусах t , или плоскостях на расстоянии t , концентричными с или перпендикулярными к базовой линии



Пример применения кругломера

↗ Полное биение

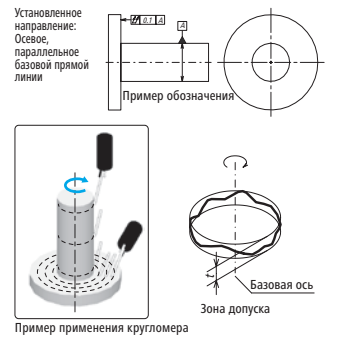
Поверхность должна находиться внутри зоны допуска, образованной между двумя соосными цилиндрами с разницей в радиусах t , или плоскостях на расстоянии t , концентричными с или перпендикулярными к базовой линии



Пример применения кругломера

↗ Полное биение

Поверхность должна находиться внутри зоны допуска, образованной между двумя соосными цилиндрами с разницей в радиусах t , или плоскостях на расстоянии t , концентричными с или перпендикулярными к базовой линии

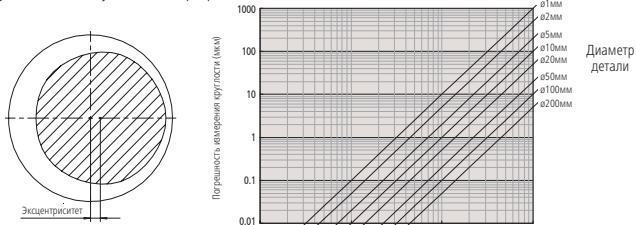


Пример применения кругломера

Настройка перед измерением

Центровка

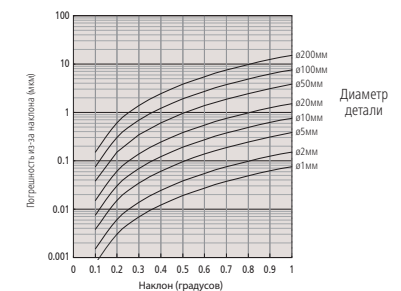
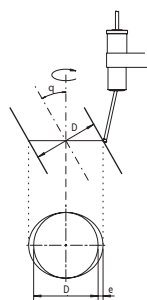
Величина смещения (эксцентриситет) между осью поворотного стола устройства Roundtest и осью рабочей детали приводит к искажению полученной формы (погрешность улитки Паскаля), что выражается в погрешности вычисленной величины круглости. Чем больше эксцентриситет, тем больше погрешность вычисления круглости. Таким образом, рабочую деталь следует отцентровать (совместить оси) перед измерением. Некоторые кругломеры поддерживают точное измерение с функцией поправки на погрешность улитки Паскаля. Эффективность этой функции можно увидеть на графике ниже.



Влияние эксцентриситета на погрешность измерения круглости

Нивелировка

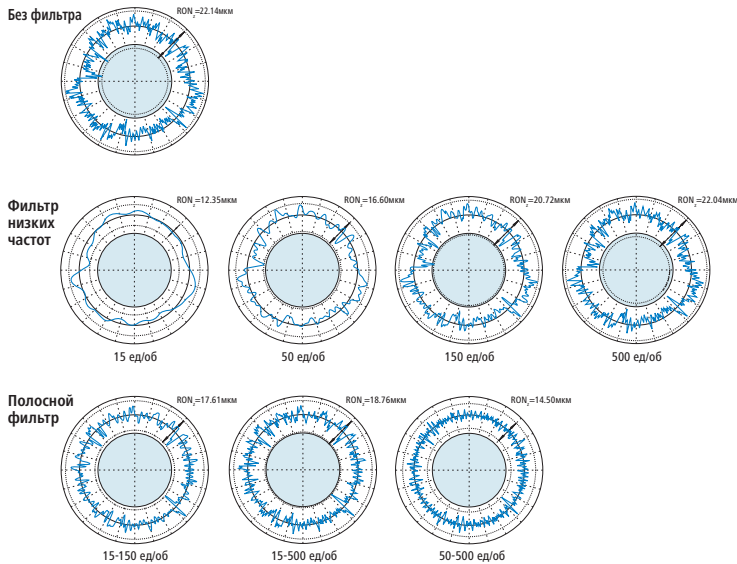
Любое отклонение от оси рабочей детали относительно оси вращения измерительного устройства приведет к эллиптической погрешности. Выравнивание следует производить таким образом, чтобы эти оси располагались параллельно.



Влияние наклона оси на эллиптическую погрешность

Влияние настроек фильтра на измеренный профиль

На характеристику круглости (RON) при измерении оказывает сильное влияние вариация критической частоты фильтра.

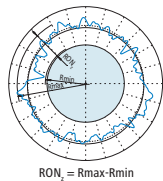


Определение круглости измеряемого профиля

Устройства, измеряющие круглость (RON), используют данные измерений для создания базовых окружностей, размеры которых определяют характеристику круглости. Существует четыре метода построения этих окружностей, как показано ниже, каждый метод обладает индивидуальными характеристиками, таким образом, следует выбирать тот метод, который больше всего подходит для рабочей функции рабочей детали.

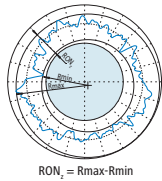
Метод среднеквадратичной окружности (LSCI)

Окружность строится в измеренном профиле такая, чтобы сумма квадратов отклонения данных профиля от этой окружности была минимальна. Величина круглости затем определяется, как разница между максимальными отклонениями профиля от этой окружности (от точки максимума до точки минимума).



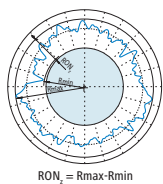
Метод окружностей минимальной зоны (MZCI)

Две концентрические окружности располагаются, закрывая измеренный профиль таким образом, чтобы их радиальная разница была минимальной. Величина круглости затем определяется как радиальное разделение этих двух окружностей.



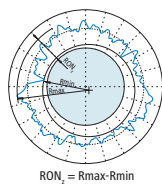
Метод минимальной описанной окружности (MCC)

Строится наименьшая окружность, которая может включать измеренный профиль. Величина круглости затем определяется, как максимальное отклонение профиля от этой окружности. Эту окружность иногда называют окружностью «кольцевой калибр».



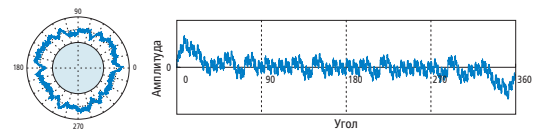
Метод максимальной вписанной окружности (MICI)

Строится наибольшая окружность, которая может быть вписана в полученный профиль. Величина круглости определяется затем, как максимальное отклонение профиля от этой окружности. Эта окружность иногда называется окружностью «пробочный калибр».

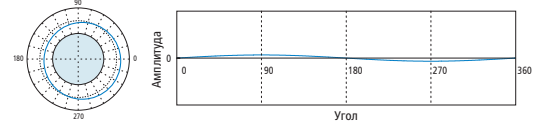


Данные по волнообразным колебаниям за оборот (ед/об) в графиках круглости

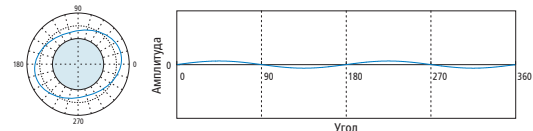
Графики с результатами измерений



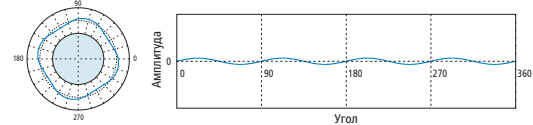
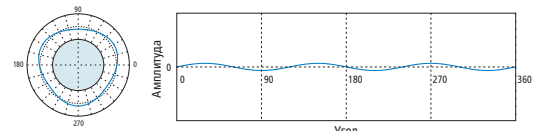
Условие в 2 ед/об может означать: (1) недостаточное выравнивание измерительного устройства; (2) круговой эксцентриситет ввиду неверной установки рабочей детали на обрабатывающем станке; (3) эллиптическую форму рабочей детали по конструкции как, например, поршень в двигателе внутреннего сгорания.



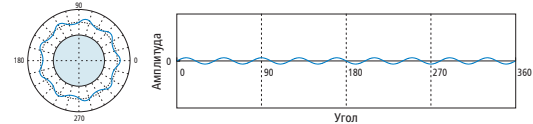
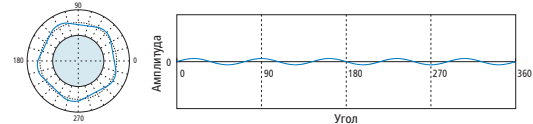
Условие от 3 до 5 ед/об может означать: (1) Деформацию ввиду чрезмерной затяжки зажимного патрона на измерительном устройстве; (2) Деформацию ввиду сниженного внутреннего напряжения после снятия детали с зажимного патрона на обрабатывающем станке.



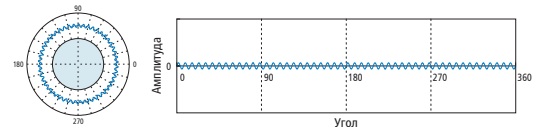
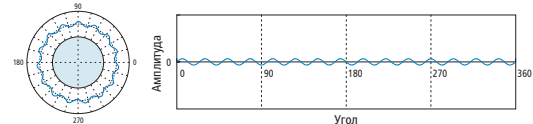
Условие от 5 до 15 ед/об часто означает дисбаланс факторов методики механической обработки или процессов производства детали.



Условие 15 (или более) об/ед обычно вызвано болтанием инструмента, вибрацией машины, эффектом подачи охлаждающей жидкости, неоднородностью материала и т.д., и как правило более важно для функциональности, чем подходящей детали.



Условие 15 (или более) об/ед обычно вызвано болтанием инструмента, вибрацией машины, эффектом подачи охлаждающей жидкости, неоднородностью материала и т.д., и как правило более важно для функциональности, чем подходящей детали.





Методы определения твердости и рекомендации по выбору твердомера

Метод определения	Микротвердость (Микро-Викерс)	Характеристики микро-поверхности материала	По Виккерсу	По Роквеллу	По Супер-Роквеллу	По Бринеллю	По Шору	Для губки, резины, и пластика	По отскоку бойка
Материал									
Полупроводниковая пластина	●	●							
Карбид, керамика (режущий инструмент)		▲	●	●					
Сталь (термически обработанная и необработанная)	●	▲	●	●	●		●		●
Цветной металл	●	▲	●	●	●				●
Пластик		▲		●				●	
Шлифовальный круг				●					
Отливки						●			
Губка, резина								●	
Форма									
Тонкий металлический лист (безопасная бритва, металлическая фольга)	●	●	●		●				
Тонкая пленка, покрытие, покраска, поверхностный слой (нитридный слой)	●	●							
Мелкие детали, игольчатые детали (стрелки часов, игла швейная)	●	▲							
Крупные образцы (структура)						●	●		●
Форма металлического материала (твердость каждого слоя многослойного сплава)	●	●							
Пластина из пластика	▲	▲		●				●	
Губка, резиновая пластина								●	
Применение									
Прочность или физические свойства материала	●	●	●	●	●	●	●	●	▲
Процесс термообработки	●		●	●	●		▲		▲
Глубина науглероженного слоя	●		●						
Глубина обезуглероженного слоя	●		●		●				
Глубина пламенной и высокочастотной закалки	●		●	●					
Испытание на прокаляемость			●	●					
Максимальная твердость сварочной точки			●						
Твердость сварного шва			●	●					
Высокотемпературная твердость (высокотемпературные характеристики, способность поддаваться обработке в горячем состоянии)			●						
Трещиностойкость (керамика)	●		●						

Обозначения: ● хорошо подходит ▲ умеренно подходит

Методы измерения твердости

(1) По Виккерсу

Твердость по Виккерсу – это метод определения твердости, который шире всего применяется, позволяя провести испытание на твердость с применением произвольного испытательного усилия. Это испытание имеет исключительно большое количество областей применения, в частности, для проведения испытаний на твердость с испытательным усилием менее **9.807Н** (1кгс). Как показано в нижеследующей формуле, твердость по Виккерсу – величина, определяемая путем деления испытательного усилия F (Н) на область контакта S (мм²) между образцом и индентором, которая вычисляется из диагональной длины d (мм, средняя между двух направляющих длин) выемки, образованной при помощи индентора (квадратного пирамидального алмаза, с противоположным углом конуса $\theta=136^\circ$) в образце с использованием испытательного усилия F (Н). k – константа ($1/g=1/9.80665$).

$$HV=k \frac{F}{S}=0.102 \frac{F}{S}=0.102 \frac{2F \sin \frac{\theta}{2}}{d^2}=0.1891 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F: \text{Н} \\ d: \text{мм} \end{matrix}$$

Погрешность в вычисляемой твердости по Виккерсу задана следующей формулой. В ней $\Delta d1$, $\Delta d2$, и 'a' представляют погрешность измерений, возникающая из-за использования микроскопа, погрешность в данных выемки, а длина линии границы созданной противоположными гранями наконечника индентора, соответственно. Единица измерения $\Delta \theta$ – градусы.

$$\frac{\Delta HV}{HV} \approx \frac{\Delta F}{F} - 2 \frac{\Delta d1}{d} - 2 \frac{\Delta d2}{d} - \frac{\Delta \theta^2}{d^2} \cdot 3.5 \times 10^{-3} \Delta \theta$$

(2) По Кнупу

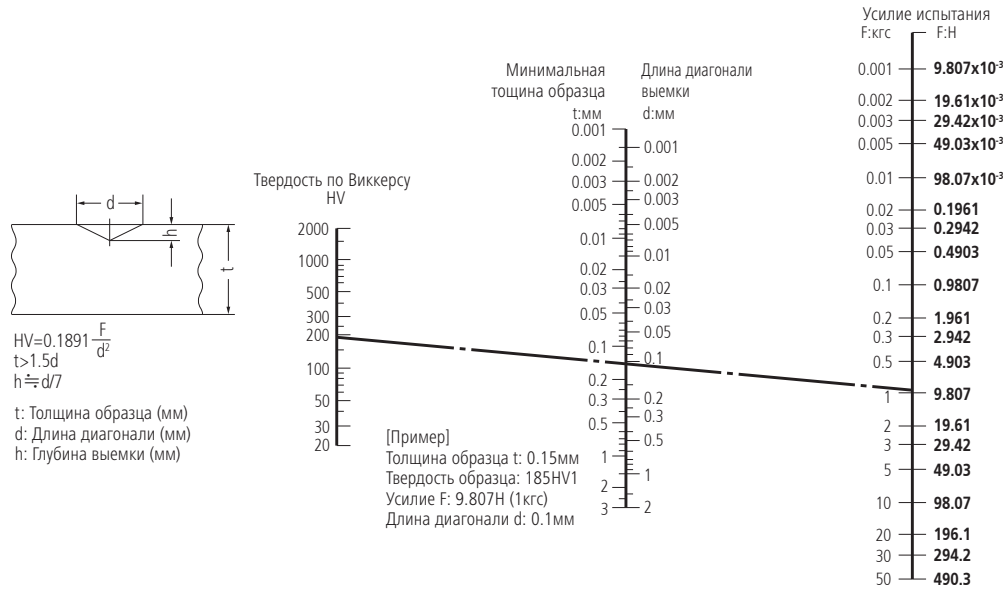
Как показано в следующей формуле, твердость по Кнупу - величина, полученная путем деления испытательного усилия на расчетную площадь A (мм²) выемки, которая вычисляется от наибольшей длины по диагонали d (мм) выемки, образованной путем надавливания ромбоидальным алмазным индентором (Углы противоположного края - $172^\circ 30'$ и 130°) на образец с приложением испытательного усилия F . Твердость по Кнупу может также быть измерена путем замены индентора Виккерса прибором для определения микротвердости с помощью индентора Кнупа.

$$HK=k \frac{F}{A}=0.102 \frac{F}{A}=0.102 \frac{F}{cd^2}=1.451 \frac{F}{d^2} \quad \begin{matrix} F: \text{Н} \\ d: \text{мм} \\ c: \text{константа} \end{matrix}$$

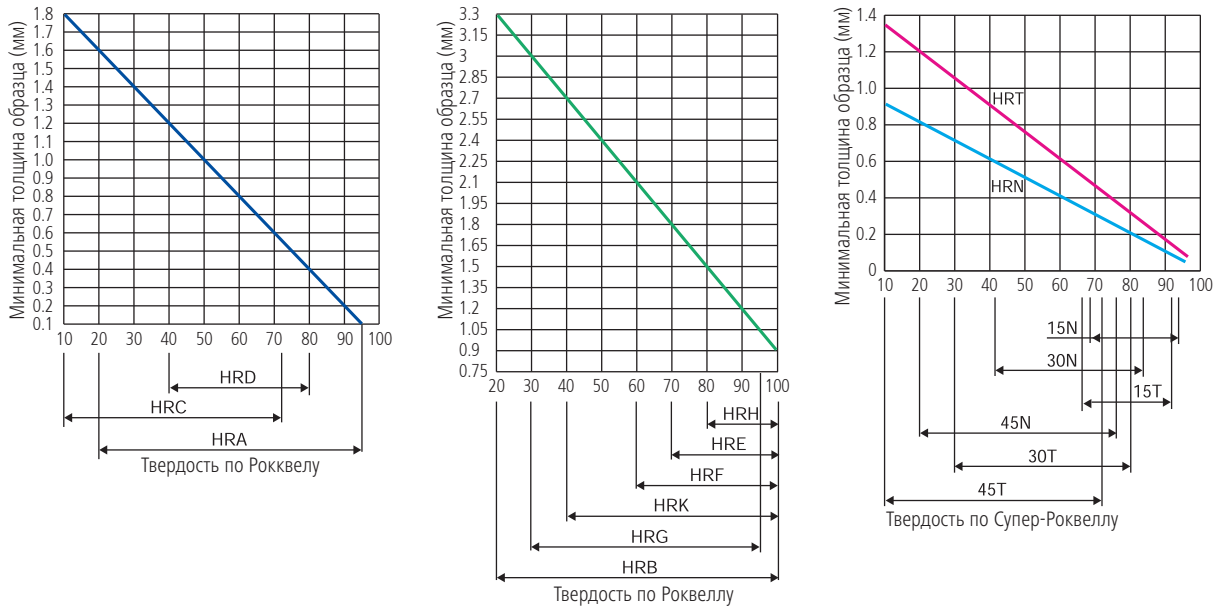
(3) Твердость по Роквеллу и Супер-Роквеллу

Для измерения твердости по Роквеллу или Супер-Роквеллу, сначала применяется предварительное усилие, а затем испытательное усилие к образцу и снова усилие предварительной нагрузки с использованием алмазного индентора (угол конуса наконечника: 120° , радиус: 0.2мм) или сферического индентора (стального или твердосплавного шарика). Эта величина твердости получается из формулы твердости, выраженной в виде разницы глубины выемки h (мкм) между усилиями предварительной нагрузки и испытательным усилием. При методе Роквелла используется усилие предварительной нагрузки 98.07 Н, а при методе Супер-Роквелла 29.42Н. Специальное обозначение используемое в сочетании с типом индентора, испытательного усилия, и формулы твердости, известная, как шкала. Японский промышленный стандарт (JIS) определяет различные шкалы твердости.

Отношение между твердостью по Виккерсу и минимальной толщиной образца



Отношение между твердостью по Роквеллу/Супер-Роквеллу и минимальной толщиной образца



Шкала твердости по Роквеллу

Шкала	Индентор	Усилие (Н)	Применение
A	Алмаз	588.4	Твердый сплав, тонкий стальной лист, Неуглероживаемая сталь Сталь (более 100HRB или менее 70HRC)
D		980.7	
C		1471	
F	Шарик диаметром 1.5875мм	588.4	Металл для подшипников, отожженная медь Латунь Твердый алюминиевый сплав, бериллиевая медь, фосфорная бронза
B		980.7	
G		1471	
H	Шарик диаметром 3.175мм	588.4	Металл для подшипников, шлифовальный круг Металл для подшипников Металл для подшипников
E		980.7	
K		1471	
L	Шарик диаметром 6.35мм	588.4	Пластик, свинец
M		980.7	
P		1471	
R	Шарик диаметром 12.7мм	588.4	Пластик
S		980.7	
V		1471	

Шкала твердости по Супер-Роквеллу

Шкала	Индентор	Усилие (Н)	Применение
15N	Алмаз	147.1	Тонкий твердый слой на стали, такой как науглерожженный или азотированный слой
30N		294.2	
45N		441.3	
15T	Шарик диаметром 1.5875мм	147.1	Тонкий металлический лист из мягкой стали, латунь, бронза и др.
30T		294.2	
45T		441.3	
15W	Шарик диаметром 3.175мм	147.1	Пластик, цинк, сплав для подшипников
30W		294.2	
45W		441.3	
15X	Шарик диаметром 6.35мм	147.1	Пластик, цинк, сплав для подшипников
30X		294.2	
45X		441.3	
15Y	Шарик диаметром 12.7мм	147.1	Пластик, цинк, сплав для подшипников
30Y		294.2	
45Y		441.3	

Эталонные образцы: испытательное усилие по Роквеллу и Супер-Роквеллу

№	Твердость по Роквеллу			Твердость по Супер-Роквеллу			
	Н	кгс	мм	Н	кгс	мм	
Предварительное усилие							
		10			3		
Усилие испытания	Н	588,4	980,7	1471	147,1	294,2	441,3
	кгс	60	100	150	15	30	45
Алмазный индентор	A	D	C	15N	30N	45N	
Дюймовый шарик	F	B	G	15T	30T	45T	
	Ø 1/16"						
	Ø 1/8"	H	E	K	15W	30W	45W
	Ø 1/4"	L	M	P	15X	30X	45X
	Ø 1/2"	R	S	V	15Y	30Y	45Y



Процедура оценки производительности координатно-измерительных машин определена международным стандартом EN ISO 10360. Митутойо старается всегда следовать последним стандартам ISO. На данной странице представлен краткий обзор параметров по стандарту ISO, относящиеся к машинам производства Митутойо, которые есть в этом каталоге.

■ Максимально допустимая погрешность (MPE) при измерении длины $E_{0,MPE}$ [EN ISO 10360-2]

Процедура испытания согласно этому стандарту основана на том, что координатно-измерительные машины (КИМ) созданы для осуществления ряда измерений на пяти различных нормированных длинах в каждом из семи направлений, как показано на Рис.1, для производства серии из 35 измерений. Эта последовательность затем повторяется дважды для осуществления в общем 105 измерений. Если полученные результаты, включая погрешность измерений, равны или меньше значений, указанных производителем, тогда это служит доказательством того, что производительность КИМ соответствует ее спецификации.

Стандарт позволяет осуществлять до пяти измерений для превышения установленного значения (два результата нанограммы среди трехкратного измерения в одной и той же позиции не допускаются). В этом случае проводится десятикратное измерение в соответствующей позиции. Если все 10 результатов, включая допустимую погрешность, находятся в пределах установленного значения, считается, что КИМ прошла испытания. Погрешности, которые следует учитывать при определении максимально допустимой измерительной погрешности, - это погрешности, связанные с методами калибровки и центровки, используемыми с особыми эталонными стандартами длины, согласно которым проводятся испытания. (Значения, полученные при прибавлении расширенной погрешности, сочетающей две вышеуказанные погрешности, ко всем результатам испытаний, должны быть меньше определенного значения.) Результат испытания можно выразить в одной из следующих формул (ед. измерения: мкм):

$$E_{0,MPE} = A + L/K \leq B$$

$$E_{0,MPE} = A + L/K$$

$$E_{0,MPE} = B$$

- A: Константа (мкм), установленная производителем
- K: Безразмерная константа, установленная производителем
- L: Измеренная длина (мм)
- B: Верхняя предельная величина (мкм), установленная производителем

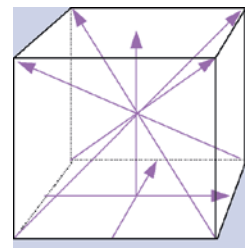


Рисунок 1: Типичные направления, по которым производятся измерения в пределах объема КИМ

■ Максимально допустимая погрешность сканирующего датчика MPE_{TNP} [EN ISO 10360-4]

Это стандарт точности для КИМ при ее оснащении сканирующим датчиком. Процедура испытания состоит в осуществлении измерения путем сканирования 4 плоскостей на стандартной сфере, а затем, для вычисления с использованием всех контрольных точек центра сферы с наименьшей площадью, вычисляется диапазон (величина 'A' на Рисунке 3), в котором расположены все контрольные точки. На основе вышеуказанного вычисленного центра сферы с наименьшей площадью, вычисляется расстояние между калиброванным радиусом стандартной сферы и максимальной или минимальной контрольной точкой, и берется большее расстояние (величина 'B' на Рисунке 3). Прибавляется расширенная погрешность, суммарная погрешность формы наконечника щупа и погрешность формы стандартной испытательной сферы к каждой величине A и B. Если обе вычисленные величины меньше установленных значений, КИМ прошла испытание сканирующего датчика

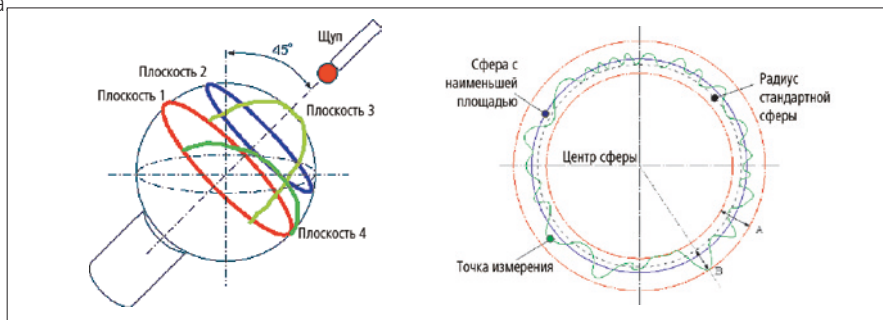


Рисунок 3. Плоскости целевого измерения на максимально допустимую погрешность сканирующего датчика и ее определение.

■ Максимально допустимая погрешность формы щупа $P_{FTU,MPE}$ [EN ISO 10360-5]

Процедура испытания по этому стандарту состоит в том, что для измерения определенных целевых точек на стандартной сфере используется щуп (25 точек, как на Рисунке 2), а результат используется для вычисления позиции центра сферы с использованием метода наименьших квадратов. Затем вычисляется расстояние R от центра сферы до каждой из 25 контрольных точек, и вычисляется разница радиусов $R_{max} - R_{min}$. Расширенная погрешность, которая суммирует погрешность формы наконечника щупа с погрешностью стандартной испытательной сферы, прибавляется к разнице радиусов. Если эта получившаяся в итоге величина равна или меньше установленного значения, щуп успешно прошел испытание.

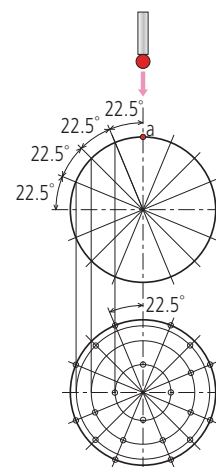


Рисунок 2. Целевые точки на стандартной сфере для измерения максимально допустимой погрешности формы щупа

ООО "Митутойо РУС"

115088, г. Москва

ул. Шарикоподшипниковская
13, стр. 2

Тел/Факс: +7 (495) 745-07-52

info@mitutoyo.ru

www.mitutoyo.ru



0-1" .00005"
0.001mm
Mitutoyo