ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СТАНДАРТОВ
СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ (ВНИИМС)

МЕТОДИКА

ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ ОТ КРУГА

МИ 103—76

Цена 5 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
Москва — 1977

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНА *Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС)*

Директор **Сычев В. В.**
Руководитель темы и исполнитель **Никонова Э. А.**

ПОДГОТОВЛЕНА К УТВЕРЖДЕНИЮ отделом метрологии и качества поверхности **ВНИИМС**

Начальник отдела **Эйдинов В. Я.**
Исполнитель **Никонова Э. А.**

УТВЕРЖДЕНА Научно-техническим советом **ВНИИМС 2 августа 1976 г. (протокол № 9)**

МЕТОДИКА

ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ ОТ КРУГА

МИ 103—76

Настоящая методика предназначается для случаев, когда отклонения формы поперечного сечения от круга соизмеримы с допускаемой погрешностью измерения диаметра сечения или существенно ее превышают. В этом случае поперечное сечение рассматривается как фигура, ограниченная замкнутой кривой произвольной формы. Понятие «диаметр», однозначно определяющее размер правильной окружности, теряет свой смысл, и вместо него выступают различные линейные параметры поперечного сечения, подлежащие нормированию и измерению в зависимости от назначения детали.

Наиболее полная информация об отклонении формы сечения, получаемая в виде круглограмм, не содержит данных о значениях линейных параметров поперечного сечения, а средства измерения диаметра, основанные на двухконтактном методе, при использовании их для измерения некруглого сечения обеспечивают возможность измерения лишь некоторых линейных параметров, условно отнесенных к группе «хордовых».

В настоящей методике изложен способ измерения другой группы линейных параметров сечения — «круговых», основанный на сопоставлении круглограммы с результатами двухконтактных измерений. В результате такого сопоставления может быть также получена полная картина поперечного сечения.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Линейные параметры поперечного сечения. К хордовым параметрам поперечного сечения относятся:

хорда, проходящая через заданную точку O и параллельная заданному направлению i (рис. 1, *а*) X_{O_i};

максимальная хорда, проходящая через точку O $X_{O_{max}}$;

© Издательство стандартов, 1977

толщина сечения в заданном направлении i (максимальная из всех хорд сечения, параллельных i (рис. 1, *б*) $T_{l_{max}}$;

максимальная толщина сечения (максимальное из значений хорд $T_{l_{max}}$, взятых по всем направлениям) T_{max};

ширина сечения в заданном направлении i (расстояние между двумя проведенными к профилю касательными прямыми, перпендикулярными к i) (рис. 1, *в*) B_l;

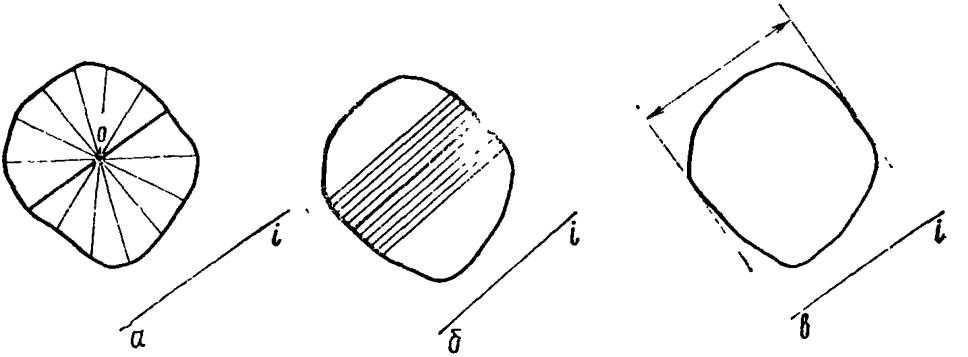


Рис. 1

максимальная ширина сечения (максимальное из значений B_l, рассмотренных по всем направлениям) B_{max}.

Хордовые параметры, за исключением параметров X_O, могут быть измерены с помощью существующих универсальных двухконтактных схем измерения, приведенных на рис. 2.

Параметр B_{max} измеряется с помощью схем типа I (см. рис. 2, *а—г*), использующих ленточные (или плоские) измерительные наконечники и позволяющих поворачивать деталь на измерительной позиции до выявления максимального показания измерительного прибора. Параметр B_l измеряется как с помощью схем типа I (при этом деталь не поворачивается, а устанавливается на измерительной позиции так, чтобы i-е направление сечения детали было параллельно направлению измерения), так и с помощью схем типа II (см. рис. 2, *д, е*) — один наконечник сферический, другой ленточный; при этом деталь перемещается в направлении, перпендикулярном к i, до выявления максимального показания. Параметр $T_{l_{max}}$ измеряется с помощью схем типа III (см. рис. 2, *ж, з*)—оба наконечника сферические; при этом деталь также перемещается в направлении, перпендикулярном к i, до выявления максимального показания.

Схема III, в отличие от схем I и II, может быть использована как при измерении валов, так и при измерении отверстий.

К круговым параметрам относятся:

диаметр прилегающей окружности (наименьшей, описанной для сечения вала и наибольшей, вписанной для сечения отверстия) $D_{пр}$

диаметр средней окружности (построенной относительно профиля сечения по методу наименьших квадратов) $D_{ср}$.

Прилегающая окружность ограничивает наименьшее пространство, необходимое для осуществления вращения. Поэтому диаметры прилегающих окружностей вала и отверстия являются параметрами поперечного сечения, определяющими кинематические свойства цилиндрических сопряжений, представляющих собой пары вращения.

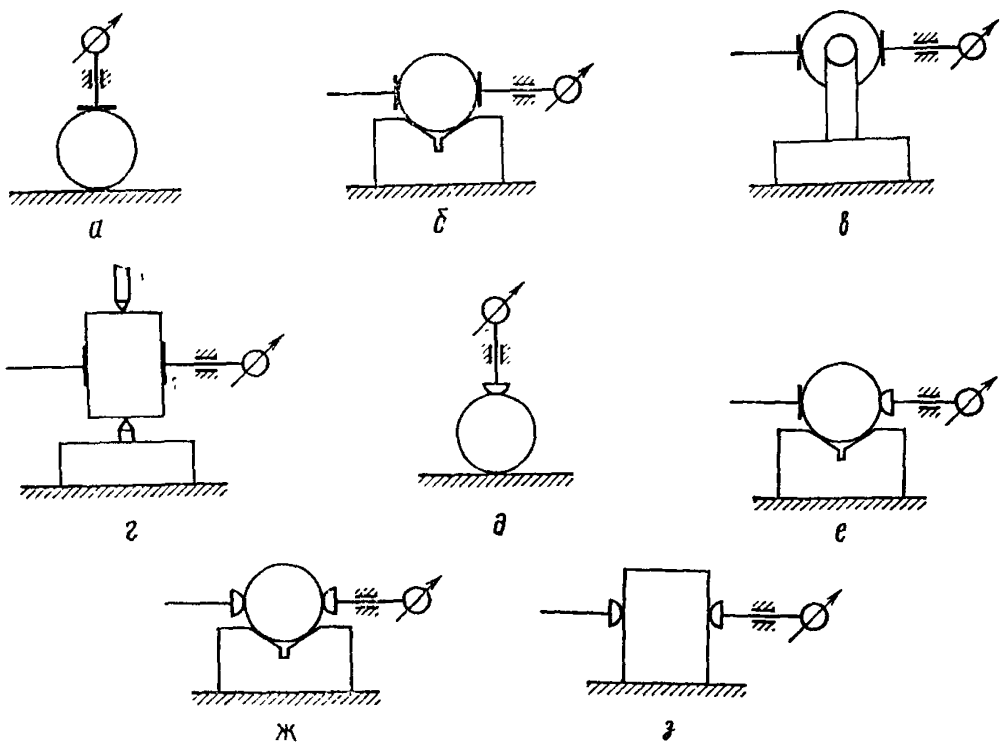


Рис. 2. Схемы двухконтактного измерения хордовых параметров:

типа I — деталь поворачивается между плоскими измерительными поверхностями: *а*—на столе; *б*—в призме; *в*—в горизонтальных центрах; *г*—в вертикальных центрах; типа II—деталь перемещают между плоской и сферической измерительными поверхностями: *д*—на столе; *е*—в призме; типа III—деталь перемещают между сферическими измерительными поверхностями до выявления максимального показания: *ж*— в призме; *з*—на столе

Диаметр средней окружности является предпочтительным при определении площади поперечного сечения по формуле

$$S = \frac{\pi D^2}{4},$$

поскольку максимальная относительная погрешность измерения площади через диаметр $D_{ср}$ не превышает половины квадрата возможной максимальной погрешности измерения площади через «диаметр», измеренный двухконтактным способом.

Круговые параметры существующими контактными методами не измеряются.

Изображение круговых параметров может быть получено на круглограмме сечения. Как правило, центры прилегающих или средних окружностей не совпадают с центром круглограммы.

Между рассмотренными параметрами при любой конфигурации сечения существуют следующие соотношения:

$$B_l \geqslant T_{l_{max}} \geqslant X_{O_l};$$
$$B_{max} = T_{max} \geqslant X_{O_{max}};$$
$$D_{пр} \geqslant B_{max} \text{ (для вала).}$$

1.2. Формула расшифровки круглограммы. Анализ принципа получения круглограммы показывает, что круглограмма, записанная без фильтра, является увеличенной в K раз (K—коэффициент увеличения при записи круглограммы) конхоидой профиля измеряемого сечения. Полюс конхоиды совпадает с точкой O сечения детали, через которую при записи проходит ось вращения кругломера, а постоянная конхоиды неизвестна. Поэтому длина любого радиуса-вектора профиля, проведенного из точки O, может быть выражена через длину соответствующих радиусов-векторов и одну и ту же (для данной круглограммы) постоянную, значение которой неизвестно. На этой основе выведена формула расшифровки круглограммы, позволяющая определить длину любой хорды (или кругового параметра) сечения через известную длину некоторой другой хорды (например, измеренной существующим двухконтактным способом), если известно также изображение измеренной хорды на круглограмме.

Общий вид формулы расшифровки круглограммы для определения значения кругового параметра (рис. 3):

$$D = \frac{L}{\sin(\psi/2)} + \frac{1}{K}(c + d - a - b), \qquad (1)$$

где D—значение определяемого кругового размерного параметра (диаметра прилегающей или диаметра средней окружности), мм; L—измеренная двухконтактным способом длина хорды AB, мм; a, b—длины радиусов-векторов изображения граничных точек хорды AB на круглограмме, мм; $c+d$ — длина изображения определяемого кругового параметра на круглограмме (диаметра прилегающей или средней окружности), мм; ψ —угол между радиусами—векторами точек A и B.

Для случая, когда измеренная хорда, длина которой равна L, проходит через центр круглограммы (т. е. когда измеренной является хорда X_{O_l}, где O—центр круглограммы), формула принимает вид

$$D = L + \frac{1}{K}[(c + d) - (a + b)], \qquad (2)$$

где $a+b$—длина изображения измеренной хорды на круглограмме, мм.

Таким образом, для расшифровки круглограммы необходимо измерить с помощью двухконтактной схемы некоторый хордовый параметр поперечного сечения, а затем определить (идентифицировать) его изображение на круглограмме.

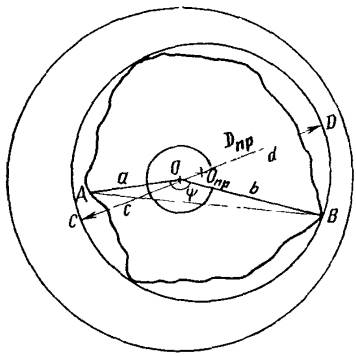


Рис. 3

В ряде случаев одним из условий идентификации хорды на круглограмме является установление существующего углового соответствия между профилем детали и круглограммой.

Для фиксации углового соответствия круглограммы и детали удобно воспользоваться следующим приемом.

Перед включением синхронного вращения стола и круглограммного диска установить диск в записывающем устройстве так, чтобы надписи на нем располагались параллельно линии, соединяющей центр диска с острием пера, и отметить на детали направление, в котором в этот момент находится контактирующий с ней щуп кругломера. Тогда полученная круглограмма, снятая с записывающего устройства и наложенная на торец детали так, чтобы направление надписей на круглограмме совпадали с отмеченным направлением, будет расположена в угловом соответствии с деталью. Такая круглограмма называется «ориентированной по углу». Погрешность взаимного углового соответствия круглограммы и детали не должна превышать 1°.

2. СПОСОБЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА КРУГЛОГРАММЕ ИЗМЕРЕННЫХ ХОРДОВЫХ ПАРАМЕТРОВ

Из рассмотренных в разделе 1 хордовых параметров легче всего идентифицировать на круглограмме параметр X_{O_i}—хорду, проходящую в заданном направлении через центр круглограммы O.

Однако для двухконтактного измерения X_{Oi} требуется специальное устройство, не выпускаемое в настоящее время промышленностью.

В данной методике рассматриваются способы размерной расшифровки круглограммы, основанные на идентификации хордовых параметров, для измерения которых могут быть использованы существующие двухконтактные устройства.

Эти параметры (B_{max}, B_i и $T_{i_{max}}$) можно выявить на круглограмме по свойственным им признакам в ряде частных случаев, описанных ниже.

2.1. В случае, когда существуют две точки касания прилегающей окружности с круглограммой, лежащие на концах одного из диаметров прилегающей окружности (рис. 4), имеет место равенство

$$D_{пр}=X_{max}=B_{max}.$$

Поэтому для расшифровки такой круглограммы достаточно измерить (по двухконтактной схеме типа I) параметр B_{max} сечения и приписать его значение L изображению диаметра CD прилегающей окружности (см. рис. 4), проходящему через центр круглограммы.

Описанный частный случай характерен, например, для сечений с ярко выраженной эллипсностью.

2.2. Второй частный случай определяется условием

$$B_l = T_{l_{max}} = X_{O_i},$$

где O — точка сечения, совпадающая с осью вращения при профилографировании (на круглограмме ей соответствует центр вращения при записи круглограммы).

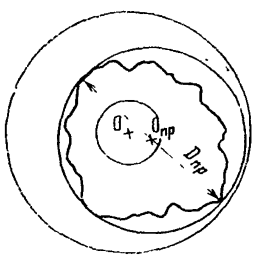


Рис. 4

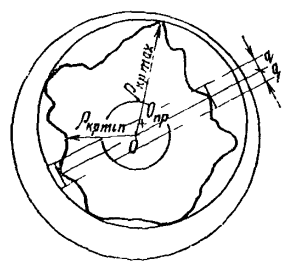


Рис. 5

Для выявления данного частного случая необходимо провести расчетно-графическую обработку круглограммы, состоящую из следующих этапов:

а) оценить расстояние q_{max} —изображение на круглограмме максимально возможного для данного сечения расстояния от центра вращения при профилографировании до хорды $T_{i_{max}}$ по формуле

$$q_{max}=\rho_{кр_{max}}\sqrt{\frac{2(\rho_{кр_{max}}-\rho_{кр_{min}})}{KR}},$$

где $\rho_{кр_{max}}$—максимальный радиус-вектор круглограммы, мм;

$\rho_{кр_{min}}$ — минимальный радиус-вектор круглограммы, мм; R — номинальный радиус детали, мм;

б) если $q_{max} \geqslant 1$ мм, следует провести в некотором i-м направлении круглограммы две параллельные прямые, каждая из которых отстоит на расстоянии q_{max} от ее центра (рис. 5); затем к отрезкам круглограммы, заключенным между этими прямыми, провести внешние касательные, перпендикулярные к i. Если при этом точки касания с обеих сторон окажутся лежащими на прямой, параллельной i и проходящей через центр круглограммы, то для данного направления выполняется условие $B_i=T_{i_{max}}=X_{O_i}$, так как в этом случае хорда X_{O_i} является максимальной из всех хорд, параллельных i. В случае отрицательного результата следует проделать ту же процедуру в некотором другом направлении i. Указанная процедура повторяется, пока не будет найдено направление, удовлетворяющее описанному выше условию.

Для расшифровки круглограммы по формуле (2) в случае выполнения условия $B_i=T_{i_{max}}=X_{O_i}$ следует измерить по существующим двухконтактным схемам типа I, II или III ширину B или толщину $T_{i_{max}}$ профиля в заданном направлении и приписать полученное значение L изображению хорды X_{O_i} на круглограмме. При этом в формулу (2) в качестве $(a+b)$ подставляют длину изображения X_{O_i} на круглограмме (в этом случае круглограмма должна быть предварительно ориентирована по углу относительного сечения детали). Требуемая точность идентификации направления i на круглограмме и детали определяется требуемой точностью определения кругового параметра и зависит от крутизны участков круглограммы в окрестности граничных точек изображения хорды X_{O_i}.

Поэтому с целью повышения точности идентификации рекомендуется из всех направлений круглограммы, удовлетворяющих условию $B_i=T_{i_{max}}=X_{O_i}$, выбрать то, которое проходит через наиболее пологие участки круглограммы.

Как показывает практика профилографирования разнообразных деталей машиностроения, указанный частный случай $B_i = T_{i_{max}} = X_{O_i}$ имеет весьма широкое распространение. Даже на круглограмме профиля, характеризующегося существенными высокочастотными составляющими, нередко можно найти такое направление i, для которого имеет место рассмотренный выше признак. Более того, для профилей с преобладанием низкочастотных составляющих указанный признак проявляется иногда (и особенно при низких увеличениях) по всем возможным направлениям; тогда выполняется условие $X_{O_{max}} = B_{max} = X_{max}$, являющееся третьим частным случаем.

2.3. Третий частный случай определяется условием

$$B_{max} = X_{O_{max}}.$$

Признаком третьего частного случая может служить выполнение условия, описанного в п. 2.2, по всем направлениям круглограммы, а также случаи, когда $q_{max} < 1$ мм. Соблюдение условия, описанного в п. 2.2, по всем направлениям означает, что круглограмма является выпуклой на любом участке.

Для размерной расшифровки круглограммы, соответствующей третьему частному случаю, следует измерить по двухконтактной схеме типа I параметр B_{max} и приписать полученное значение L изображению хорды $X_{O_{max}}$ на круглограмме (длина изображения хорды $X_{O_{max}}$ на круглограмме может быть определена как максимальная из хорд $X_{O_i} = \rho_{кр_i} + \rho_{кр_{i+n}}$ —при общем числе $2n$ радиусов-векторов круглограммы, равноотстоящих по углу).

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАДИУСОВ-ВЕКТОРОВ

Иногда при исследованиях бывает необходимо воспроизвести полную картину сечения. В этом случае для определения действительных значений радиусов-векторов следует знать действительное значение одного из них.

Хордовый параметр X_{O_i}, проходящий через центр круглограммы, действительное значение которого определено, равен сумме двух, в общем случае неравных, противолежащих радиусов-векторов. Для определения действительного значения одного из них следует измерить разность между ними по круглограмме. Обозначим эту разность m. Тогда меньший из радиусов-векторов

$$r = \frac{X_{O_i} - \frac{1}{K}m}{2}.$$

Из центра круглограммы проводят окружность радиусом r. Действительное значение каждого i-го радиуса вектора круглограммы определяется по формуле

$$\rho_i = \frac{1}{2}\left(X_{O_i} - \frac{m}{K}\right) + \frac{\Delta\rho_{кр_i}}{K},$$

где $\Delta\rho_{кр_i}$ — алгебраическая разность радиуса r и i-го радиуса-вектора круглограммы.

4. ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

В соответствии с формулой (2) измерение кругового параметра сечения можно представить как введение в результат двухконтактного измерения L поправки $p = \frac{1}{K}[(c+d)-(a+b)]$, полученной в результате обработки круглограммы. Поэтому погрешность измерения Δ представляет собой сумму погрешности двухконтактного измерения и погрешности определения поправки.

Погрешность результата двухконтактного измерения, как правило, принимается равной предельному значению $\Delta_{L_{max}}$ погрешности используемого линейного средства измерения.

Погрешность введения поправки, определяемая при выполнении следующих условий:

круглограмма получена с помощью кругломера класса точности 2 по ГОСТ 17353—71;

эксцентриситет прилегающей окружности относительно центра круглограммы не превышает 5 мм;

крутизна круглограммы в окрестности граничных точек идентифицируемого параметра не превышает 60°, характеризуется предельным значением $\Delta_{p_{max}} = \frac{0{,}8}{K}$ дел (в долях деления круглограммы при длине деления 2 мм).

В предположении равномерного закона распределения суммируемых погрешностей суммарная погрешность Δ измерения кругового параметра, равного $L+p$, с вероятностью $P=1$ лежит в интервале от $-(\Delta_{L_{max}}+\Delta_{p_{max}})$ до $(\Delta_{L_{max}}+\Delta_{p_{max}})$.

Введение поправки имеет смысл, если погрешность ее определения Δp_{max} существенно меньше самой поправки.

Это означает, что применение данной методики имеет смысл, когда фиксируемое круглограммой отклонение от круглости не меньше по крайней мере двух делений круглограммы.

5. ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

5.1. При расчете статических и динамических характеристик расхода работающего на воде золотникового устройства ставится задача определить площадь проходного сечения зазора между рабочими кромками золотника и буксы с учетом отклонения их от круглости. Известно, что расчетное значение зазора 10—20 мкм, диапазон значений некруглости несколько микрометров.

площадь поперечного сечения зазора равна разности площадей поперечных сечений золотника и буксы.

Для определения площади поперечного сечения детали в формулу $S=\frac{\pi D^2}{4}$ в качестве диаметра следует подставить диаметр окружности $D_{ср}$, построенной по методу наименьших квадратов.

В соответствии с методикой рекомендуется следующий порядок действий, ведущих к определению параметра $D_{ср}$ поперечного сечения золотника.

Золотник устанавливают на кругломере и снимают круглограмму требуемого поперечного сечения (рис. 6) при максимально возможном увеличении. Эллипсный характер круглограммы показывает, что она относится к частному случаю, описанному в п. 2.1. На круглограмме строят прилегающую окружность и убеждаются,

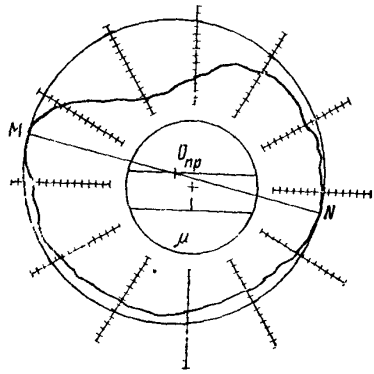


Рис. 6

что имеются две точки касания ее с круглограммой (M и N), лежащие на концах одного из диаметров прилегающей окружности. Это означает, что для данного сечения диаметр прилегающей окружности равен максимальной хорде (а следовательно, и максимальной ширине) сечения, что определяет выбор двухконтактной схемы измерений типа I, т. е. измерение между плоскими наконечниками. Выбор конкретного измерительного прибора, используемого в схеме типа I, зависит от увеличения круглограммы, а именно цена деления линейного измерительного прибора должна быть не больше цены деления круглограммы при данном увеличении. В рассматриваемом примере этому условию удовлетворяет, например, вертикальный оптиметр с ценой деления 0,5 мкм. В процессе измерения золотника на вертикальном оптиметре соответствующее сечение золотника поворачивают под измерительным наконечником не менее чем на полоборота и фиксируют макси-

мальное показание $L_{зол}$, соответствующее максимальной хорде сечения. Значению $L_{зол}$ на круглограмме соответствует диаметр прилегающей окружности. Для удобства расшифровки круглограммы припишем значение $L_{зол}$ диаметру $AB=MN$, проходящему через центр круглограммы (возникающая при этом погрешность учтена при оценке погрешности измерения). Пусть в нашем примере $L_{зол}=19{,}9815$ мм, $AB=86$ мм.

Далее строят на круглограмме окружность по методу наименьших квадратов и проводят ее диаметр CD, проходящий через центр круглограммы ($CD=79$ мм).

Действительное значение диаметра средней окружности $D_{ср_{зол}}$ определяют по формуле расшифровки (2)

$$D_{ср_{зол}}=L_{зол}+\frac{1}{K}[(c+d)-(a+b)]=L_{зол}+\frac{1}{K}(CD-AB)=19{,}9815\text{ мм}+\frac{1}{2000}(79\text{ мм}-86\text{ мм})=19{,}9780\text{ мм}.$$

Примечание. Длина диаметра CD средней окружности в масштабе круглограммы может быть определена не графическим, а расчетным путем как среднее значение радиусов-векторов круглограммы или как среднее значение отрезков, проходящих через центр круглограммы.

Измеренный двухконтактным способом диаметр буксы $L_б=19{,}9865$ мм, а диаметр средней окружности буксы, определенный в соответствии с данной методикой, $D_{ср_б}=19{,}9880$ мм.

Повышение точности определения площади зазора за счет учета *отклонения поперечных сечений от круглости для данной* золотниковой пары определяют по формуле

$$\frac{S_{D_{ср}}-S_L}{S_{D_{ср}}}100\%=\frac{(D^2_{ср_б}-D^2_{ср_{зол}})-(L^2_б-L^2_{зол})}{D^2_{ср_б}-D^2_{ср_{зол}}}100\%=55\%.$$

5.2. В соответствии с ГОСТ 776—66 и ГОСТ 845—67 пальцы и отверстия шатунов автомобильных двигателей следует сортировать на размерные группы с градацией через 0,0025 мм с целью обеспечения взаимозаменяемости в пределах одной размерной группы. В результате этой операции при сборке, проводимой в нормальных условиях, в соответствии с заводской инструкцией палец должен плотно входить в отверстие шатуна «под нажимом большого пальца сборщика». В то же время отклонения пальцев и шатунов от круглости в соответствии с указанными стандартами соизмеримы с градацией размера 0,0025 мм, а практически на ряде автозаводов превышают ее и достигают нескольких микрометров. Размеры при сортировке измеряют двухконтактным способом, не учитывающим отклонения от круглости, поэтому фактическая плотность сопряжения палец—шатун колеблется в широких пределах, что снижает качество продукции.

Палец и шатун составляют узел вращения. Параметром размера, обеспечивающим собираемость такого узла и качество его работы, является диаметр прилегающей окружности $D_{пр}$.

определить диаметр прилегающей окружности пальца, полученного обработкой на бесцентровошлифовальных станках. На рис. 7 приведена круглограмма такого пальца, из которой видно, что отклонение от круглости носит характер нечетной огранки — пятигранки.

Проводят прилегающую окружность круглограммы. В данном случае не существует двух точек касания, лежащих на концах одного диаметра прилегающей окружности, откуда следует, что данная круглограмма не может быть отнесена к частному случаю, описанному в п. 2.1. С другой стороны, круглограмма не является выпуклой на любом участке, поэтому она не может быть отнесена к частному случаю, описанному в п. 2.3, без дополнительной проверки. С этой целью необходимо провести расчетную обработку круглограммы, а именно определить q_{max}

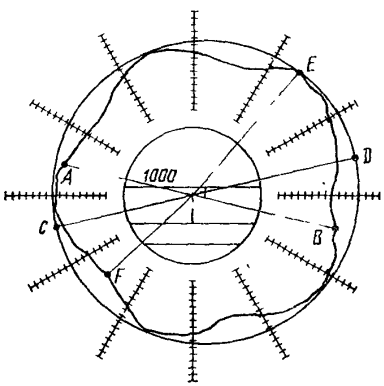


Рис. 7

$$q_{max}=\rho_{кр\,max}\sqrt{\frac{2\,(\rho_{кр\,max}-\rho_{кр\,min})}{KR}}.$$

Наиболее удалена от центра круглограммы точка E, наиболее близка точка F:

$$\rho_{кр\,max}=\rho_E=48\text{ мм};$$

$$\rho_{кр\,min}=\rho_F=39\text{ мм}.$$

Увеличение круглограммы $K=4000\times$, номинальный радиус пальца 11 мм.

$$q_{max}=48\text{ мм}\sqrt{\frac{2(48\text{мм}-39\text{мм})}{9000\cdot 11\text{мм}}}\approx 0{,}97\text{ мм}.$$

Поскольку $q_{max}<1$ мм, данная круглограмма должна быть отнесена к частному случаю, описанному в п. 2.3. В этом случае, как и в предыдущем примере, измеряют с помощью двухконтактной схемы типа I максимальную ширину сечения B_{max} и, поскольку для данного сечения $B_{max}=X_{O_{max}}$, приписывают его значение $L=21{,}9885$ мм на круглограмме отрезку $AB=X_{O_{max}}=83$ мм.

По круглограмме измеряют диаметр AB прилегающей окружности $D_{пр}$. Он равен 91 мм.

Действительное значение $D_{пр}$ определяют по формуле расшифровки круглограммы

$$D_{пр}=L+\frac{1}{K}(CD-AB)=21{,}9885\text{ мм}+\frac{91\text{мм}-83\text{мм}}{4000}=21{,}9905\text{ мм}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрейзина Э. А. Измерение диаметров цилиндрических деталей с учетом отклонения от круглости. —«Измерительная техника», 1971, № 9, с. 14

2. Дрейзина Э. А. Параметры, определяющие размер поперечного сечения цилиндрической детали с учетом отклонения от круглости. — В сб.: «Линейные и угловые измерения». Сборник трудов ВНИИМС, М., 1973, с. 85

3. Дрейзина Э. А. Исследование круглограммы с целью расшифровки параметров размера, там же, с. 95

4. Авдулов А. Н. Контроль и оценка круглости деталей машин. М., Изд-во стандартов, 1974, 150 с.

5. Дрейзина Э. А. Устройство для определения прилегающей окружности круглограммы при измерении отклонения детали от круглости. Авт. свид. № 293173, — Бюлл. изобр. 1971, № 5, с. 80

6. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике, М., 1965, 500 с.

7. Эйдинов В. Я., Никонова Э. А. Исключение погрешности из-за отклонения от круглости при измерении размеров круглых тел. — В сб.: «Исследования в области создания образцовых средств и методов измерений механических величин». Труды метрологических институтов, вып. 179(239). М., 1975, с. 76.

8. Беликова Н. З., Иванова Н. И., Дрейзина Э. А. Методика определения геометрических характеристик малых зазоров. «Развитие водяных систем регулирования паровых турбин». Труды ВТИ, вып. 8. М., «Энергия», 1975, с. 179

gost.e-ecolog.ru