

УДК 621.882:531.718

С.Н. СОЛОВЬЕВ<sup>1</sup>, В.А. МОЗОЛЮК<sup>1</sup>, А.Н. БОЧКОВА<sup>2</sup>, В.Н. ГУЩИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Украина*

<sup>2</sup> *ГП Научно-производственный комплекс газотурбостроения "Зоря"–"Машпроект"*

### КОНЦЕПЦИЯ ВЫБОРА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МЕТРИЧЕСКИХ РЕЗЬБ

Рассмотрена концепция выбора средств контроля метрических резьб среднего класса точности, основанная на допустимой погрешности измерений линейных размеров. Осуществлено апробирование концепции для метрологического обеспечения технологических процессов механообработки на примере резьбовых калибров и специального способа контроля.

**метрическая резьба, профиль резьбы, средний диаметр резьбы, калибр, допуск, допустимая погрешность измерения, средство контроля, точность, шероховатость**

Развитие энергетических газотурбинных двигателей характеризуется увеличением их габаритов и метрологическое обеспечение технологических процессов (ТП) изготовления крупногабаритных деталей является актуальным. Крепежные резьбы имеют средний класс точности (поля допусков 6H, 6h, 6g, 6G) и посадки с зазором.

Традиционно контроль резьб на производстве осуществляется предельными калибрами. Особую сложность для контроля представляют внутренние резьбы больших диаметров, так как изготовление резьбовых калибров-пробок технологически ограничено наличием соответствующего оборудования. Применение же резьбовых калибров сборной конструкции [1] с резьбовыми секторами, меньшего радиуса контролируемой резьбы, которые еще можно изготовить резьбошлифованием, не гарантирует объективности измерений. Существующие способы контроля внутренних резьб с применением дополнительных промежуточных тел [2 – 4] трудоемки, сложны и не обеспечивают стабильности результатов.

В данной работе рассматривается концепция выбора средств измерений (контроля) крепежных резьб исходя из регламентации допустимой погрешности измерений линейных размеров.

Стандарт [5] для номинальных линейных размеров, в зависимости от их допусков (IT), устанавливает допустимые погрешности измерений ( $\delta$ ). На основании этих данных может осуществляться оптимальный выбор измерительных средств при проектировании ТП механической обработки деталей машин. Этот подход может быть реализован при контроле резьб по следующим соображениям.

Взаимозаменяемость и эксплуатационные качества метрической резьбы определяют средний диаметр внешней  $d_2$  (внутренней  $D_2$ ) резьбы, шаг  $P$  и угол профиля  $\alpha$ . Наличие взаимосвязи между ними, позволяет установить суммарный допуск на средний диаметр внешней  $Td_2$  (внутренней  $TD_2$ ) резьбы, который включает допустимые отклонения непосредственно среднего диаметра  $\Delta d_2(\Delta D_2)$  и диаметральную компенсацию погрешности шага  $f_p$  и угла профиля  $f_2$ . Величина суммарного допуска (в дальнейшем допуски) представляют зависимостью [6]:

$$Td_2(TD_2) = \Delta d_2(\Delta D_2) + f_p + f_2. \quad (1)$$

Расположение контура резьбы в предписанном поле допуска определяется допусками на средний диаметр  $Td_2(TD_2)$  [7], которые на основании формулы (1) являются линейными размерами. Средний диаметр резьбы тоже является линейным размером.

Следовательно, выбор средств измерений метрических резьб может быть осуществлен на основе погрешностей, допускаемых при измерении линейных размеров.

Указанные положения могут быть распространены и на дюймовые резьбы.

Для подтверждения и анализа предложенной концепции выборочные данные из [5 – 9] сведены в таблицу. Видно, что выбор калибров для контроля резьбы среднего класса точности обоснован, так как допуски средних диаметров калибров  $\Delta d_2$ ПР,  $\Delta d_2$ НЕ,  $\Delta D_2$ ПР,  $\Delta D_2$ НЕ меньше допускаемой погрешности измерений ( $\delta$ ). Для калибров-пробок в интервале размеров от 30 до 180 мм допуски лежат в пределах IT5 (11...14 мкм), для размеров свыше 180 мм допуск увеличивается до IT6 (28...36 мкм), а в интервале 400...500 мм достигает IT6-7. Калибры-кольца изготавливают менее точно: только в интервале 50...80 мм величина допуска соответствует IT5, для большинства размеров допуски лежат в пределах IT6-7. Таким образом, точность резьбовых рабочих калибров завышена по сравнению с допустимой по-

грешностью в среднем в 2-3 раза. В последней строке таблицы представлены оптимальные значения допусков (квалитетов) средних диаметров резьб, по которым могут быть изготовлены нестандартизированные резьбовые калибры, удовлетворяющие принципу допустимой погрешности измерений линейных размеров. С учетом мелкосерийного характера изготовления резьбовых поверхностей, не только требования к стандартизированным калибрам по точности, но и по материалу, твердости и шероховатости (Сталь ШХ15, HRC 58...64, Ra менее 0,32 мкм [2]), лимитирующие их износ, тоже могут быть снижены. В связи с этим для калибров можно применить менее дорогой материал, а вместо резьбошлифования осуществить точение [10].

На предприятии НПКГ "Зоря"- "Машпроект" была изготовлена опытная партия нестандартизированных калибров-пробок для контроля внутренней резьбы М36×1,5–6Н из стали 40Х, HRC 34...38. Обработка резьбового профиля осуществлялась на высокоточном токарно-винторезном станке с ЧПУ с обеспечением шероховатости Ra = 1,25 мкм.

Таблица

Предельные отклонения резьб, резьбовых калибров и погрешности, допустимые при измерении

Резьбы среднего класса точности		М36×1,5–6Н	М80×1,5–6Н	М120×1,5–6Н	М150×1,5–6Н	М210×6–6Н	М280×6–6Н	М360×6–6Н	М450×6–6Н
Допуски резьбы (ГОСТ 16093–81), мкм	$Td_2$	150	160	170	170	315	315	335	335
	$TD_2$	200	212	224	224	425	425	450	450
Допуски проходных (ПР), непроходных (НЕ) резьбовых калибров (ГОСТ 18465–73, ГОСТ 18466–73, ГОСТ 18107–72), мкм/IT	$\Delta d_2$ ПР $\Delta d_2$ НЕ	11/IT5	14/IT5	14/IT5	14/IT5	28/IT6	36/IT6	36/IT6	48/ IT6–7
	$\Delta D_2$ НЕ $\Delta D_2$ ПР	18/IT7	18/IT5	18/IT6	18/IT6	28/IT6	36/IT6	36/IT6	48/ IT6–7
Погрешности, допустимые при измерении линейных размеров (ГОСТ 8.051–81)	интервалы размеров, мм	30...50	50...80	80...120	120...180	180...250	250...315	315...400	400...500
	Допуски IT, мкм	160	190	220	250	290	320	360	400
	Допустимые погрешности $\delta$ , мкм	40	40	50	50	60	70	80	80
Допуски на нестандартизированные калибры, мкм/IT		39/ IT8	36...40/ IT7–8	54/ IT8	40...64/ IT7–8	46...72/ IT7–8	52...81/ IT7–8	57...89/ IT7–8	63...97/ IT7–8

Результаты контроля такими калибрами дали положительный результат, а их стоимость оказалась на порядок ниже покупной стоимости стандартизированных резьбовых калибров.

Наличие на НПКГ "Зоря"–"Машпроект" большой номенклатуры резьбовых калибр-пробок дало возможность разработать способ измерения средних диаметров внутренних резьб больших диаметров. Для осуществления способа во впадины внутренней резьбы изделия 1 заводятся два резьбовых калибр-пробки непроходных (НЕ) 3 и определяется расстояние между наружными диаметрами калибров с помощью блока плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД) 2 (рис. 1). Действительный средний диаметр резьбы ( $D_{cp}^{\delta}$ ) определяется по формуле:

$$D_{cp}^{\delta} = L_{\text{бл}}^{\delta} + \frac{(d_{cp \text{ HE } 1} + d_n \text{ HE } 1)}{2} + \frac{(d_{cp \text{ HE } 2} + d_n \text{ HE } 2)}{2}, \quad (2)$$

где  $L_{\text{бл}}^{\delta}$  – значение блока ПКМД, мм;  $d_{cp \text{ HE } 1}$ ,  $d_n \text{ HE } 1$ ,  $d_{cp \text{ HE } 2}$ ,  $d_n \text{ HE } 2$  – действительные средние и наружные диаметры непроходных калибров, применяемых при измерении.

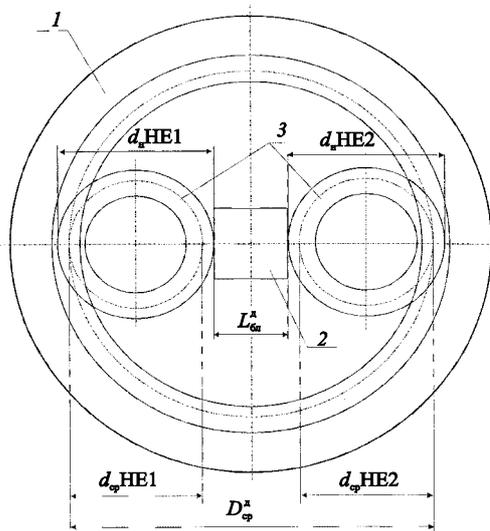


Рис. 1. Схема способа измерения:  
1 – изделие; 2 – блок плоскопараллельных концевых мер; 3 – рабочие резьбовые калибры-пробки непроходные

При нахождении значения  $D_{cp}^{\delta}$  в пределах поля допуска номинального размера, резьба признается

изготовленной правильно. Выбор непроходных калибров для измерения связано с тем, что они имеют большие размеры, чем проходные и обеспечивают меньшую погрешность установки в процессе измерения.

Предельная погрешность данного способа измерения  $\Delta_{\Sigma}$  может быть оценена на основании закона сложения ошибок случайных величин [11] по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(2\Delta d_{cp \text{ HE}})^2 + (2\Delta d_n \text{ HE})^2 + \dots + \Delta \text{ПКМД} + (2\Delta \delta)^2 + \Delta t^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta d_{cp \text{ HE}}$ ,  $\Delta d_n \text{ HE}$  – соответственно погрешности измерения среднего и наружного диаметров калибров НЕ;  $\Delta \text{ПКМД}$  – погрешность аттестации ПКМД;  $\Delta \delta$  – погрешность базирования калибров;  $\Delta t$  – температурные погрешности.

Для контроля резьбы М80×1,5–6Н изделия непроходными рабочими калибрами М36×1,5–6Н, значения составляющих формулы (3) составили:  $\Delta d_{cp \text{ HE}} = \pm 3,0$  мкм;  $\Delta d_n \text{ HE} = \pm 1,0$  мкм;  $\Delta \text{ПКМД} = \pm 0,5$  мкм;  $\Delta \delta = \pm 0,5$  мкм, а  $\Delta t$  вследствие ее малости не учитывалась.

Значение  $\Delta_{\Sigma}$ , рассчитанное по формуле (3), составляет 6,4 мкм. Значение предельной погрешности измерения для линейного размера 80 мм равняется 40 мкм (см. табл.), поэтому данный способ приемлем для контроля резьбы М80×1,5–6Н.

Концепция может быть применена для оценки возможности измерения данным способом резьбы более высокой точности, например, рабочего калибр-кольца М80×1,5–6gПР. Поле допуска среднего диаметра калибра-кольца составляет 18 мкм [9], а величина погрешности, допускаемой при измерении IT6 – 5 мкм [5]. Для контроля следует использовать контрольные калибры КИ-НЕ, значения которых следует применить в формулах (2) и (3). После измерения параметров КИ-НЕ и выполнения расчетов  $\Delta'_{\Sigma}$  оказалась равным 4 мкм. Так как  $\Delta'_{\Sigma}$  меньше  $\delta = 5$  мкм, то способ применим для контроля контрольного калибра-кольца.

Предложенный способ применим для контроля внутренних резьб изделий в цеховых условиях непосредственно на рабочем месте. На предприятии осуществляется постоянный метрологический мониторинг допустимых значений износа наружного ( $d_n$ ) и среднего ( $d_{cp}$ ) диаметров резьбовых калибров-пробок на соответствие требованиям [2, 8, 9]. Следовательно, отпадает необходимость в определении действительных значений диаметров, а для контроля могут быть использованы предельные значения  $d'_n$  и  $d'_{cp}$ , взятые из ГОСТов. Процесс контроля сводится к:

– определению предельных значений блоков  $L_{\delta l}^{\max(\min)}$  ПКМД по формуле:

$$L_{\delta l}^{\max(\min)} = D_{cp}^{\max(\min)} - \frac{(d'_{cp} HE 1 + d'_n HE 1)}{2} - \frac{(d'_{cp} HE 2 + d'_n HE 2)}{2}, \quad (4)$$

где  $D_{cp}^{\max(\min)}$  – наибольший (наименьший) средний диаметр внутренней резьбы изделия;

– установки во внутреннюю резьбу изделия двух резьбовых калибров-пробок непроходных и плотному набору между ними блока  $L_{\delta l}^{\delta}$  ПКМД; если  $L_{\delta l}^{\delta}$  находится в интервале  $L_{\delta l}^{\min} \dots L_{\delta l}^{\max}$ , резьба изготовлена верно.

### Выводы

1. Разработана и апробирована концепция выбора средств измерения метрических резьб, связанная с использованием допустимых при измерении погрешностей линейных размеров.

2. На основе концепции обоснован выбор технических требований к нестандартизированным резьбовым калибрам-пробкам, осуществлено их опытное производство и успешное испытание.

3. Предложен эффективный способ контроля внутренних метрических резьб больших диаметров с помощью рабочих калибров малых диаметров, а также выполнена оценка его метрологических возможностей.

### Литература

1. А.С. 1285310 СССР Резьбовой калибр для контроля внутренней резьбы большого диаметра / Р.Х. Мустаев, И.П. Банкин, Г.А. Архаров. – Оpubл. 23.01.87. Бюл. № 3.
2. Справочник по производственному контролю в машиностроении / Под. ред. А.К. Кутая. – Л.: Машиностроение, 1974.
3. А.С. 1516730 СССР Способ измерения среднего диаметра внутренней резьбы / А.В. Дегтярев, В.Г. Коростов. – Оpubл. 23.10.89. Бюл. № 39.
4. А.С. 1383085 СССР Способ измерения среднего диаметра внутренней резьбы В.П. Глухонькова / В.П. Глухоньков, Е.Р. Сударев, В.М. Самойлова. – Оpubл. 23.03.88. Бюл. № 11.
5. ГОСТ 8.051–81 Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. – М.: Изд. стандартов, 1983.
6. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев, Л.Н. Воронов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1986.
7. ГОСТ 16093–81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. – М.: Изд. стандартов, 1987.
8. ГОСТ 18465–73 Калибры для метрической резьбы от 1 до 68 мм. Исполнительные размеры. – М.: Изд. стандартов, 1984.
9. ГОСТ 18466–73 Калибры для метрической резьбы от 68 до 200 мм. Исполнительные размеры. – М.: Изд. стандартов, 1983.
10. Справочник технолога машиностроителя: Т.1 / Под. ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986.
11. Соловйов С.М. Основи наукових досліджень: Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2007.

*Поступила в редакцию 4.06.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.Г. Тимошевский, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев.