

УДК 621.99

DOI:10.30987/2223-4608-2021-10-45-48

**И.А. Барабанова**, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

E-mail: steshkova@yandex.ru

## **Особенности расчета параметров метчиков для нарезания точных резьб на станках с ЧПУ**

*Приведен анализ особенностей работы метчиков при нарезании точных метрических резьб синхронным методом на станках с ЧПУ. Построена схема расположения полей допусков среднего диаметра резьбы метчика и гайки, позволяющая обеспечить точность, контролепригодность и долговечность режущего инструмента. Определена формула для расчета среднего диаметра резьбы метчика.*

**Ключевые слова:** нарезание резьбы; метчики; допуск на изготовление резьбовой части.

**I.A. Barabanova**, Candidate of Technical Sciences

(Bryansk State Technical University, 7, 50 let Oktyabrya Boulevard, Bryansk, 241035)

## **Features of calculating the parameters of taps for cutting precise threads on NC- machining technique**

*The analysis of the features of the taps when cutting precise metric threads by the synchronous method on CNC machines is given. The layout of the tolerance fields of the average diameter of the tap and nut threads is constructed, which allows to ensure the accuracy, controllability and durability of the cutting tool. The formula for calculating the average diameter of the tap thread has been defined.*

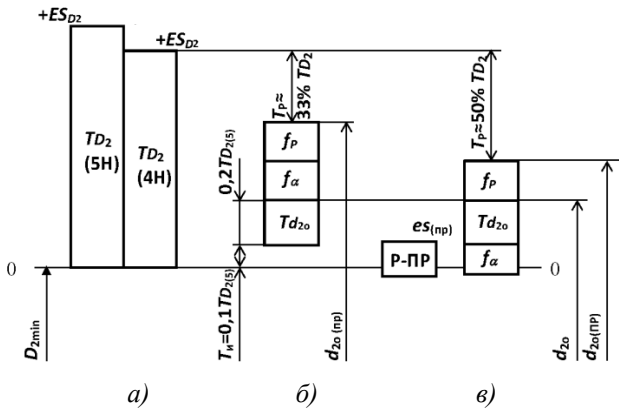
**Keywords:** threading; taps; manufacture tolerance of the threaded part.

Внутренние резьбы в корпусных деталях на станках с ЧПУ обрабатывают чаще всего резьбовыми фрезами или метчиками. Фрезы обеспечивают высокую производительность, но точность обработки при этом не превышает шестой степени [1]. Метрические резьбы степеней точности 4H и 5H рекомендуют нарезать метчиками первого класса точности [2]. Однако при этом способе обработки, в резьбовом отверстии наблюдается значительная разбивка (увеличение приведенного среднего диаметра) резьбы. Основными причинами разбивки являются: осевые силы, действу-

ющие на метчик; биение резьбовой части метчика относительно крепежной; несоосность отверстия и инструмента при обработке; радиальные биения шпинделя станка и деталей резьбонарезного патрона, в котором закреплен метчик и др. Часть этих факторов, например действие осевых сил, является причиной конусности резьбы, которая отрицательно сказывается на эксплуатационных показателях резьбового соединения.

Для исключения брака от разбивки размер среднего диаметра метчика  $d_{20}$  выполняют как можно ближе к размеру наименьшего

среднего диаметра  $D_{2\min}$  нарезаемого отверстия, оставляя значительную часть поля допуска  $T_{D_2}$  для компенсации возможной разбивки. Схема расположения полей допусков по среднему диаметру нарезаемого отверстия [2] и метчика первого класса точности по ГОСТ 16925-93 [3] представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Схема расположения полей допусков по среднему диаметру нарезаемой резьбы точности 4H и 5H и метчика первого класса точности:**  
 а – поля допусков резьбового отверстия; б – расположение поля допуска среднего диаметра метчика  $T_{d_{20}}$  по ГОСТ 16925-93 и диаметральных компенсаций погрешностей шага  $f_p$  и половины угла профиля  $f_\alpha$  резьбы метчика; в – фактическое расположение параметров;  $T_p$  – запас поля допуска на разбивку;  $T_{и}$  – запас поля допуска на износ; Р-ПР – поле допуска проходного резьбового калибра

По этой схеме ГОСТ 16925-93 предусматривает допуск на износ по боковым сторонам и вершинам профиля резьбы метчика  $T_{и} = 0,1T_{D_{2(5)}}$ , где  $T_{D_{2(5)}}$  – допуск среднего диаметра резьбового отверстия пятой степени точности. Допуск на изготовление по среднему диаметру принимают  $T_{d_{20}} = 0,2T_{D_{2(5)}}$ , номинальный средний диаметр резьбы метчика первого класса точности  $d_{20} = D_2 + 0,3D_{2(5)}$ , где  $D_2$  – номинальный средний диаметр резьбового отверстия по ГОСТ 16093-2004.

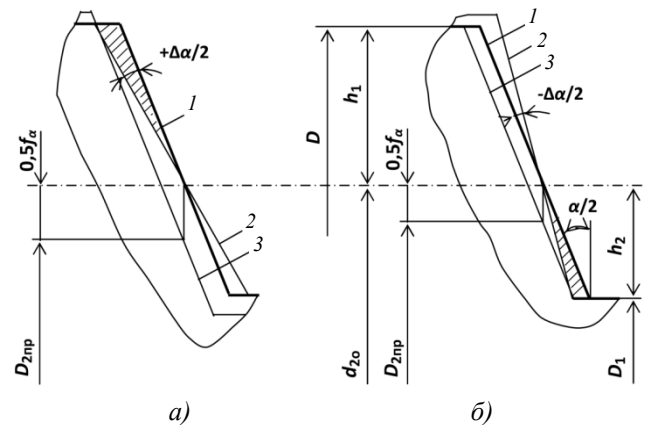
Резьба метчика имеет погрешность шага  $\pm\Delta P$  и погрешность половины угла профиля  $\pm\Delta\alpha/2$ . Принято считать, что эти погрешности увеличивают приведенный средний диаметр метчика. Диаметральные компенсации этих погрешностей рассчитывают по известным формулам профессора Якушева А.И., а именно:  $f_p = 1,732\Delta P$  (мкм) и  $f_\alpha = 0,36P\Delta\alpha/2$  (мкм), где  $P$  – шаг резьбы. При этом приведенный средний диаметр метчика, переносимый на резьбовое отверстие, равен  $d_{20(пр)} = d_{20} +$

$+f_p + f_\alpha$ , где  $f_p$  и  $f_\alpha$  в мм. Считают, что запас поля допуска на разбивку  $T_p$  от перечисленных выше факторов составляет не менее 33 % от  $T_{D_2}$ .

Исследования показали, что такая схема при обработке на станках с ЧПУ не приемлема по ряду причин. Установлено, что погрешность половины угла профиля  $\pm\Delta\alpha/2$  уменьшает приведенный средний диаметр метчика (рис. 2). Так как  $h_1 > h_2$ , то и диаметральная компенсация погрешности  $\pm\Delta\alpha/2$  будет большей, поэтому ее и следует учитывать в расчетах. Для метрической резьбы:

$$f_\alpha = (d - d_{20}) \left(1 - \frac{0,577}{\text{tg}(\alpha/2 + \Delta\alpha/2)}\right) \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $d$  – номинальный наружный диаметр резьбы.



**Рис. 2. Влияние погрешности половины угла профиля  $\pm\Delta\alpha/2$  резьбы метчика на точность по среднему диаметру  $d_{20}$ :**

а – при положительном значении  $\Delta\alpha/2$ ; б – при отрицательном значении  $\Delta\alpha/2$ ;  $f_\alpha$  – диаметральная компенсация среднего диаметра резьбы метчика  $d_{20}$ ;  $D_{2пр}$  – уменьшенный приведенный средний диаметр резьбового отверстия за счет влияния погрешности  $\Delta\alpha/2$ ;  $h_1$  – высота головки витка резьбы;  $h_2$  – высота ножки витка резьбы; 1 – теоретический профиль витка резьбы; 2 – профиль витка метчика с учетом погрешности  $\pm\Delta\alpha/2$ ; 3 – приведенный профиль резьбы в отверстии с учетом погрешности  $\pm\Delta\alpha/2$

Фактическое расположение полей допусков с учетом влияния диаметральной компенсации  $f_\alpha$  показан на рис. 1, в. На схеме видно, что при минимальной разбивке  $T_p$  возможен случай, когда проходной резьбовой калибр Р-ПР не будет ввинчиваться в нарезанное отверстие, так как верхнее отклонение по его среднему диаметру  $es_{ПР}$  значительно выше  $D_{2\min}$ . При этом практически отсутствует запас поля допуска на износ метчика  $T_{и}$ , а часть поля до-

пуска на разбивку резьбы  $T_p$  возрастает до 50 % и более, что является излишнем для обработки точных резьб на станках с ЧПУ.

На большинстве современных станков с ЧПУ нарезание резьб метчиками выполняют так называемым «жестким» (синхронным) способом с осевой подачей метчика, точно равной шагу резьбы  $P$ . С помощью датчиков положения в системе ЧПУ движение подачи синхронизируется с вращением шпинделя на рабочем и обратном ходу при вывинчивании метчика. Скорость обратного хода при этом до девяти раз выше рабочего. Станки имеют цанговые резьбонарезные патроны для жесткого крепления метчика. Обработка с подачей равной шагу полностью устраняет разбивку резьбы от действия осевых сил (что составляет примерно половину всей разбивки). Высокая точность шпинделя станка и патрона значительно уменьшают разбивку от точности технологической системы.

Для таких станков целесообразно применять метчики с увеличенным средним диаметром  $d_{20}$ . Схема расположения полей допусков среднего диаметра такого метчика для нарезания точных резьб показана на рис. 3. В этой схеме предусмотрен гарантированный запас на износ метчика  $T_{и}$  и минимальный запас на разбивку  $T_p$  не менее 20 % от  $T_{D_2}$ .

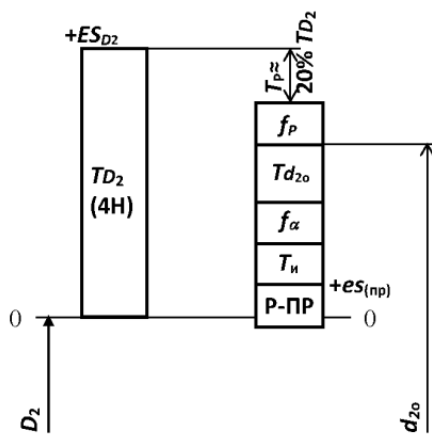


Рис. 3. Схема расположения полей допусков по среднему диаметру  $d_2$  метчика для нарезания точных резьб синхронным методом на станках с ЧПУ

Расчетный средний диаметр резьбы метчика определяется по формуле:

$$d_{20} = D_2 + es_{PP} + T_{и} + f_{\alpha} + T_{d_2}, \text{ мм.} \quad (2)$$

Верхнее предельное отклонение резьбового калибра (рис. 4) определяется как:

$$es_{PP} = z_{PL} - 0,5T_{PL} + \sqrt{T_{PL}^2 + f_{\alpha PP}^2 + f_{P PP}^2}, \text{ мкм} \quad (3)$$

где  $T_{PL}$  – допуск на изготовление калибра по среднему диаметру;  $z_{PL}$  – координата, определяющая положение  $T_{PL}$  относительно номинального среднего диаметра резьбы  $d_2(D_2)$ ;  $f_{\alpha PP} = 0,36P\Delta\alpha_{PP}$  – диаметральная компенсация погрешности угла профиля  $\Delta\alpha_{PP}$  проходного калибра;  $f_{P PP} = 1,732\Delta P_{PP}$  – диаметральная компенсация погрешности шага  $\Delta P_{PP}$  проходного калибра.

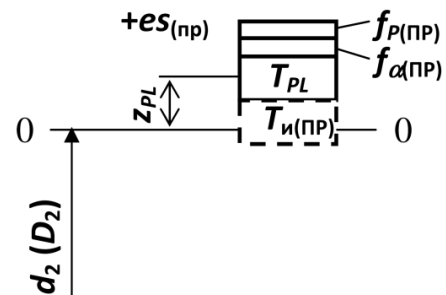


Рис. 4. Схема расположения полей допусков проходного резьбового калибра Р-ПП

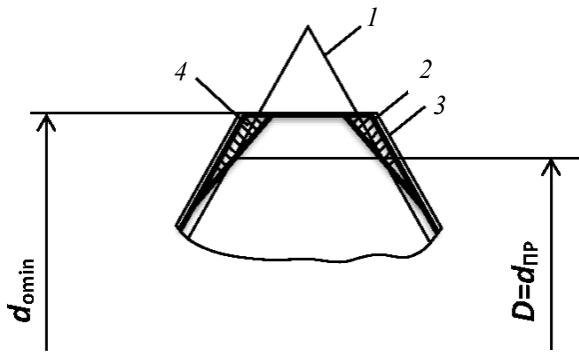
Значения  $T_{PL}$ ,  $z_{PL}$ ,  $\Delta\alpha_{PP}$  и  $\Delta P_{PP}$  определяются по ГОСТ 24997-2004 [4].

На рис. 4  $T_{иPP}$  – допуск на износ калибра Р-ПП. Допуск на износ метчика  $T_{и} = 0,1T_{D_2(5)}$ . Допуск среднего диаметра метчика  $T_{d_2(0)} = 0,2T_{D_2(5)}$  (см. рис. 1).

Размер  $d_{20}$ , полученный по формуле (2), практически совпадает со средним диаметром резьбы метчика второго класса точности, номинальное значение которого равно  $D_2 + 0,5T_{D_2(5)}$ . Следовательно, при нарезании резьб степеней точности 4H и 5H на станках с ЧПУ с подачей, равной шагу, целесообразно рекомендовать метчики второго класса точности, у которых увеличен номинальный средний диаметр на  $0,2T_{D_2(5)}$ .

Увеличение  $d_{20}$  на практике повышает долговечность метчика. Критерием износа для метчиков принято считать износ в виде скругления вершин первых двух-трех полных витков его рабочей части (рис. 5) до значений, при которых проходной калибр уже не может ввинчиваться в резьбовое отверстие, то есть наружный диаметр  $d_{PP}$  калибра заклинивается по уголкам профиля впадин нарезанной резьбы метчиком с наружным диаметром  $d_{0(min)}$ .

Из схемы видно, что увеличенный диаметр метчика  $d_{20}$  расширяет запас на износ вершин его витков.



**Рис. 5. Схема износа вершин рабочих витков резьбы метчика:**

1 – номинальный профиль резьбы по ГОСТ 16093-2004; 2 – профиль резьбы метчика по ГОСТ 16925-93 с наружным диаметром  $d_{0(min)}$ ; 3 – профиль резьбы метчика с увеличенным средним диаметром; 4 – характер износа вершин рабочих витков метчика

Значительное уменьшение разбивки резьбы при нарезании метчиками на станках с ЧПУ жестким (синхронным) способом с подачей равной шагу позволяет применять метчики с увеличенным средним диаметром, что повышает их долговечность.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Справочник** технолога / под общей ред. А.Г. Суслова. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
2. **ГОСТ 16093-2004.** Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. – Введ. 2005-07-01. – М.: Стандартинформ, 2005.
3. **ГОСТ 16925-93.** Метчики. Допуски на изготовление резьбовой части. – Введ. 1995-01-01. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995.
4. **ГОСТ 24997-2004.** Калибры для метрической резьбы. Допуски. – Введ. 2005-07-01. – М.: Стандартинформ, 2005.

## REFERENCES

1. The technologist's handbook edited by A. G. Suslov, M.: Innovative mechanical engineering, 2019, 800 p.
2. GOST 16093-2004. The thread is metric. Tolerances. Landing with a gap, Introduction. 2005-07-01, Moscow, Standartinform, 2005.
3. GOST 16925-93. Tags. Manufacturing tolerances of the threaded part, Introduction. 1995-01-01, Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1995.
4. GOST 24997-2004. Calibres for metric threads. Tolerances. - Introduction, 2005-07-01, Moscow, Standartinform, 2005.

*Рецензент д.т.н.*

*Александр Владимирович Хандожко*

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-910-293-62-96.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

*Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов.*

Сдано в набор 15.10.2021. Выход в свет 29.10.2021.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Брянский государственный технический университет"

12+