

УДК 621.7.07

DOI 10.22213/2413-1172-2018-4-22-27

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С КВАДРАТНЫМИ И ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

М. А. Волков, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. Г. Осетров, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Анализируется технология получения нетехнологичных деталей (дисков, втулок, фланцев) с квадратным или прямоугольным отверстием. Представлены основные виды нетехнологичных деталей, а также перечислены основные методы механической обработки четырехгранных отверстий глухого и сквозного типа. Особое внимание уделено получению квадратных отверстий при помощи сверла Уаттса, геометрия которого основывается на равностороннем треугольнике Рело. Раскрывается спектр использования данной технологии в области машиностроения и приборостроения, а также ее положительные и отрицательные стороны. Перечислены основные движения данного режущего инструмента в процессе механической обработки квадратных отверстий, а также рассмотрена основная погрешность при получении реального профиля квадрата.

Представленная автором идея получения отверстий с прямоугольным сечением заключается в предварительной обработке контура отверстия и разбиении необработанных участков на квадраты для последующей их обработки. Представлены рекомендации при выборе диаметра режущего инструмента при предварительной обработке контура прямоугольного отверстия. Также автором рассмотрена обратная задача изготовления деталей с четырехгранными отверстиями, которая основывается на использовании вспомогательной технологической оснастки для последующей наружной обработки заготовки. Основным видом используемой вспомогательной технологической оснастки – цанговые или жесткие оправки с квадратным или прямоугольным сечением установочной поверхности. В программной среде ANSYS смоделирован процесс деформации лепестков оправки с различным приложенным к ним усилием. Для равномерной деформации лепестков оправки в двух осях перечислены рекомендации по изменению конструкции цанговой оправки.

В заключение автором перечислены основные выводы и результаты по технологии обработки квадратных и прямоугольных отверстий и используемой в данной технологии технологической оснастки.

Ключевые слова: технологическая оправка, квадратные сечения, прямоугольные сечения, сверло Уаттса, треугольник Рело.

Введение

Бурное развитие производства гражданской и военной продукции, а также необходимость импортозамещения некоторой номенклатуры изделий все чаще приводит к разработке и производству нетехнологичных узлов и деталей сложной формы [1]. В связи с этим необходимо всячески совершенствовать технологию изготовления деталей сложной формы. Для этого необходимо обладать знаниями современных существующих методов изготовления деталей. Так, например, для качественного изготовления деталей сложной формы необходимо грамотно организовать технологию производства, которая включает в себя подбор целесообразного оборудования и его технологическое оснащение [2, 3].

Примером нетехнологичных деталей могут быть детали типа диск, втулка и фланец с квадратным или прямоугольным отверстием (рис. 1), но в принципе этим типом деталей они не ограничены. Дополнительной сложностью при изготовлении таких деталей может быть асиммет-

ричное положение четырехгранного отверстия в деталях, а также глухое их исполнение.

На рис. 2 представлены детали типа диск, втулка и фланец с асимметричным расположением прямоугольных (размерами $a \times b$) и квадратных (размером a) отверстий, координаты смещения которых e , e_1 и e_2 . При глухом исполнении отверстий в таких деталях чаще всего конструкция детали имеет сборный вариант, включающий пайку, сварку либо соединение метизами.

Основные методы получения квадратных и прямоугольных отверстий – протягивание, высверливание и дальнейшее продалбливание отверстия, пробивка, электроэрозионная обработка, а также возможно формирование данного профиля при трехмерной печати детали методом аддитивных технологий. Все эти методы имеют малую производительность и большую трудоемкость в изготовлении, что сильно влияют на себестоимость единицы продукции [4, 5]. При этом в данных методах формирования четырехгранного отверстия используется инструмент, работающий без вращения инструментальной головки.

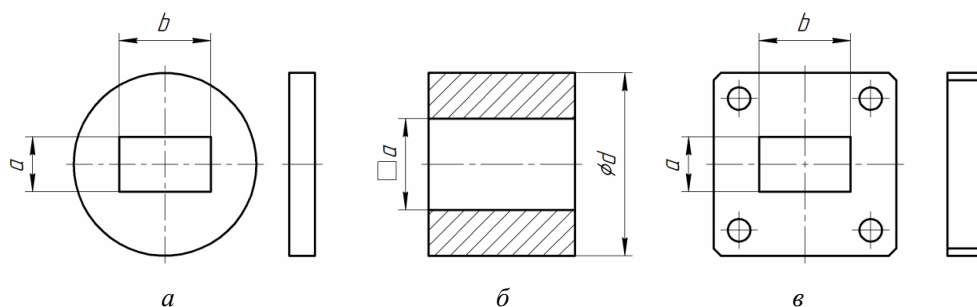


Рис. 1. Детали типа диск (а), втулка (б) и фланец (в) с центральным квадратным или прямоугольным отверстием соответственно

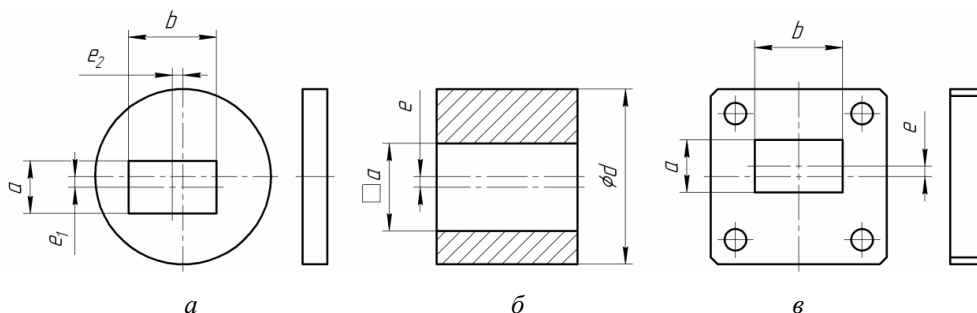


Рис. 2. Детали типа диск (а), втулка (б) и фланец (в) со смещенным квадратным или прямоугольным отверстием соответственно

Теоретическая модель

Существует другой метод получения равно-стороннего квадратного отверстия при помощи сверла Уаттса (рис. 3, б). Профиль данного сверла основан на равностороннем треугольнике Рело (рис. 3, а), каждый из углов которого соединяется дугой окружности, проведенной из центра противоположной стороны. Размер стороны получаемого квадрата равен размеру сторон равностороннего треугольника, т. е. $a = AB = BC = AC$.

При обработке сверлу придается вращение вокруг своей оси, а также противоположное вращение самой фрезы по направлению эллипса. Обработка таким сверлом на станках с ЧПУ практически невозможна ввиду того, что при программировании сложные элементы подвергаются аппроксимации (разбиваются на прямые и дуги), и привязать угловые положения фрезы с координатами эллипса практически невозможно. Поэтому для реализации данного способа обработки необходима специальная вспомогательная оснастка. Такая технологическая оснастка может быть в виде шаблона с квадратным отверстием, в котором обеспечивается вращение сверла по траектории эллипса. Исходя из условий эксплуатации, шаблон рекомендуется изготавливать из износостойких инструментальных сталей, например, сталь У8А ГОСТ 1435-99 твердостью HRC 52-56 единиц,

либо ХВГ ГОСТ 5950-2000 твердостью HRC 56-60 единиц [6].

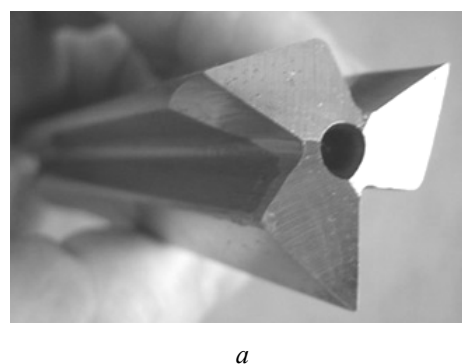
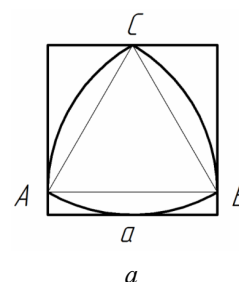


Рис. 3. Сверло Уаттса и его профиль: а – треугольник Рело; б – сверло Уаттса

При обработке глухих квадратных отверстий сверлом Уаттса внутренний торец отверстия представляет собой сложную кривую конусную поверхность. Если же необходима ровная поверхность внутреннего торца, то нужно зато-

чить режущую часть сверла Уаттса подобно концевой фрезе, геометрию которой можно выбрать в соответствии с рекомендациями справочников [7, 8]. В сечении фреза имеет все тот же равносторонний треугольник Рело.

Основным отклонением реального профиля квадратного отверстия от идеального являются радиусы скруглений в углах квадратного отверстия, которые примерно равны $0,12D_{\text{фрезы}}$. В связи с этим диаметр фрезы следует подбирать исходя из технических требований на отверстия в детали (допускаемые радиусы скругления углов).

За основу получения прямоугольных отверстий берется технология получения квадратных отверстий, при которой предлагается их предварительная фрезерная обработка, после которой остаются радиусы скругления от режущего инструмента – $R_{\text{инстр}}$. Затем необходимо выполнить обработку фрезой Уаттса в местах скруглений, тем самым получая заданный контур прямоугольного отверстия (рис. 4). Необходимо учесть, что при выборе режущего инструмента для предварительной обработки остающийся радиус скругления в заготовке должен быть меньше стороны получаемого квадрата с учетом получающихся от фрезы радиусов скруглений, т. е. $R_{\text{инстр}} < a - 2 \cdot (0,12D_{\text{фрезы}})$.

При дальнейшей механической обработке прямоугольное или квадратное отверстие возможно использовать как базовую поверхность

на токарных, фрезерных или шлифовальных станках. На этих операциях необходима вспомогательная технологическая оснастка, например, жесткие или цанговые оправки с прямоугольной либо квадратной формой установочной поверхности (рис. 5).

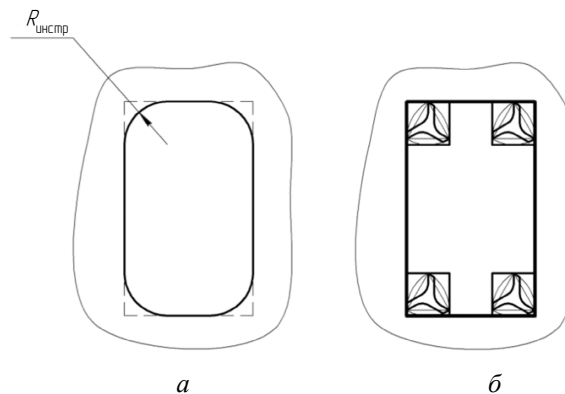


Рис. 4. Технология обработки прямоугольных отверстий фрезой Уаттса: *a* – предварительная фрезерная обработка отверстия; *б* – окончательная обработка отверстия фрезой Уаттса

Жесткие оправки обычно применяются для обработки поверхностей деталей с требованиями к точности от 10-го квалитета включительно. Разжимные цанговые оправки помогут произвести обработку детали с точностью по 8-9-му квалитетам. При использовании цанговой оправки разжатие цанги осуществляется за счет заднего центра либо приспособления, имитирующего его [9].

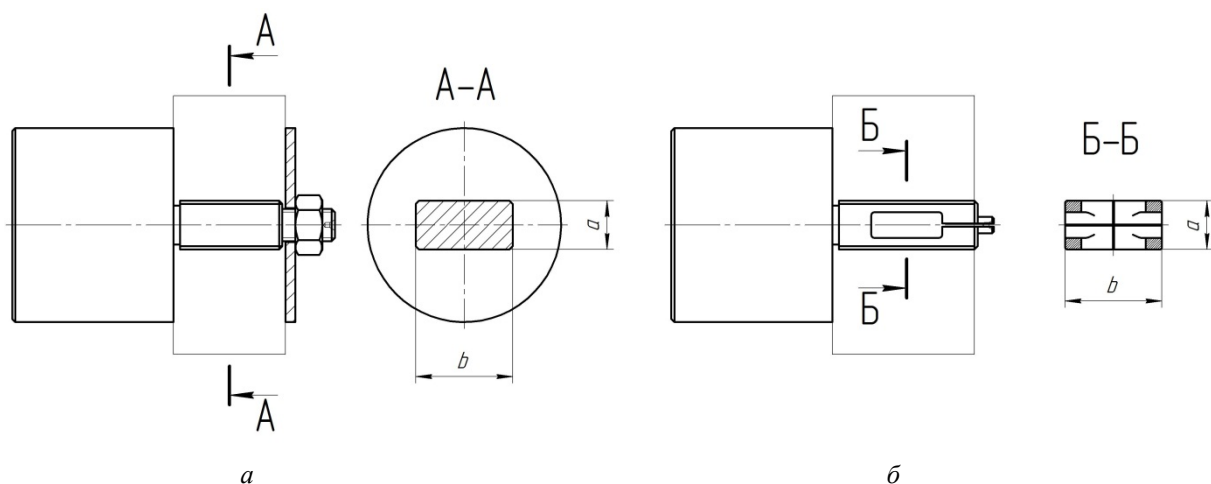


Рис. 5. Виды оправок для деталей с прямоугольным установочным отверстием: *a* – жесткая оправка; *б* – цанговая оправка

Основным ограничением геометрии оправок является величина наименьшей из сторон (рис. 5, *a* – размер *a*); этот параметр рекомендуется принимать не менее 5 мм. Также необхо-

димо провести проверочный расчет рабочего сечения оправки по допускаемому моменту кручения, возникающему при обработке. Таким образом, на данной оправке возможна обработ-

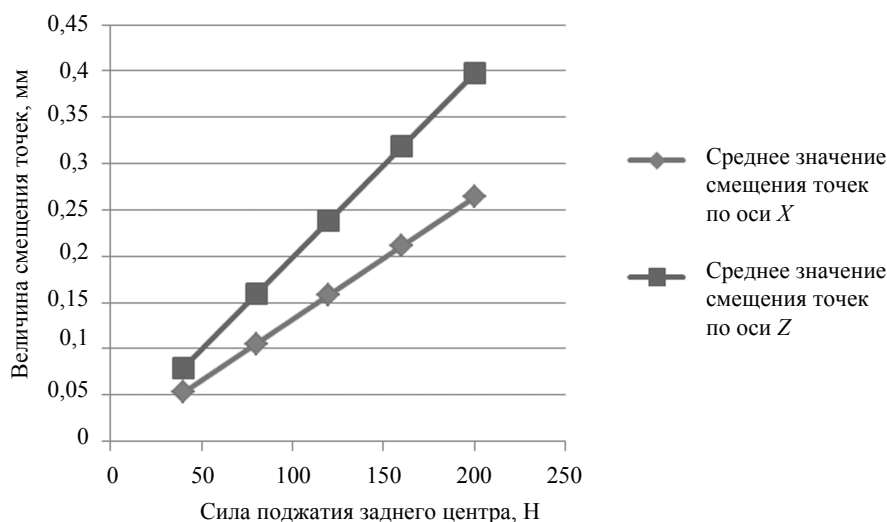


Рис. 7. График зависимости среднего значения смещения точек на лепестках цанги по осям X и Z от силы поджатия заднего центра

Из графика, представленного на рис. 7, можно увидеть, что величины деформации по осям X и Z различаются при одинаковой приложенной нагрузке. Таким образом, можно сделать вывод, что при разжатии цанги произойдет центрирование детали только по одной оси, а по второй оси возможно смещение детали при обработке. Как следствие – при обработке вероятно появление отклонения формы обрабатываемой поверхности на данной оправке. Для равномерной деформации лепестков оправки по осям X и Z рекомендуется уменьшение/увеличение размера (рис. 5, b – размеры a или b) одного из сечений, либо уменьшение/увеличение размеров одного из технологических окон.

Выводы и результаты

1. Проведен анализ основных технологий изготовления деталей с квадратными отверстиями глухого и сквозного исполнения, определен наиболее рациональный способ обработки таких отверстий – обработка сверлом Уаттса.

2. Представлена технология обработки прямоугольных отверстий за счет предварительной обработки отверстия и разбиения прямоугольного профиля на квадраты.

3. Перечислен основной вид вспомогательной технологической оснастки (цанговая и жесткая оправки), необходимой при обработке наружных поверхностей деталей с четырехгранным отверстием.

4. Смоделирован процесс разжатия лепестков цанговой оправки, получены значения деформаций лепестков по осям X и Z в зависимости от приложенной силы разжима.

5. Дана рекомендация по изменению размеров установочного сечения цанги и технологи-

ческого окна для равномерной деформации лепестков оправки по осям X и Z .

Библиографические ссылки

1. Моисеев В. В. Импортзамещение: проблемы и перспективы в России : монография. М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. 362 с.
2. Балла О. М. Обработка деталей на станках с ЧПУ. Оборудование. Оснастка. Технология : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2018. 368 с.
3. Филонов И. П., Баршай И. Л. Инновации в технологии машиностроения : учеб. пособие. Минск : Вышэйшая шк., 2009. 110 с.
4. Косилова А. Г., Мещерякова Р. К. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М. : Машиностроение, 2012. 656 с.
5. Косилова А. Г., Мещерякова Р. К. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2 / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М. : Машиностроение, 2012. 496 с.
6. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. 8-е изд. перераб. и доп. Т. 1. / под ред. И. Н. Жестковой. М. : Машиностроение, 2001. 920 с.
7. Косилова А. Г., Мещерякова Р. К. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1.
8. Режущий инструмент : учебник для вузов / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов, В. И. Кокарев, А. Г. Схиртладзе ; под ред. С. В. Кирсанова. 2-е изд., доп. М. : Машиностроение, 2005. 528 с.
9. Осетров В. Г., Главатских Г. Н. Введение в технологию машиностроения / под общ. ред. В. Г. Осетрова. Глазов : Глазовский инженерно-экономический институт, 2012. 178 с.

References

1. Moiseyev V.V. *Importozameshcheniye: problemy i perspektivy v Rossii* [Import Substitution: Problems and

Prospects in Russia]. Moscow, Berlin, Direkt-Media Publ., 2016, 362 p. (in Russ.).

2. Balla O.M. *Obrabotka detaley na stankakh s CHPU. Oborudovaniye. Osnastka. Tekhnologiya. Uchebnoye posobiye* [Processing of parts on CNC machines. Equipment. Tooling. Technology]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2018, 368 p. (in Russ.).

3. Filonov I. P., Barshay I. L. *Innovatsii v tekhnologii mashinostroyeniya: uchebnoye posobiye* [Innovations in engineering technology: studies. allowance]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 2009, 110 p. (in Russ.).

4. Kosilova A. G., Meshcheryakova R. K. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Directory technologist-mechanical engineer]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2012, vol. 1, 656 p. (in Russ.).

5. Kosilova A. G., Meshcheryakova R. K. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Directory technolo-

gist-mechanical engineer]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2012, vol. 2, 496 p. (in Russ.).

6. Anur'yev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya* [Reference designer-mechanical engineer]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2001, 920 p. (in Russ.).

7. Kosilova A. G., Meshcheryakova R. K. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Directory technologist-mechanical engineer]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2012, vol. 1, 656 p. (in Russ.).

8. Kozhevnikov D. V., Grechishnikov V. A., Kirsanov S. V., Kokarev V. I., Skhirtladze A. G. *Rezhushchiy instrument* [Cutting tool]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2005, 528 p. (in Russ.).

9. Osetrov V. G., Glavatskikh G. N. *Vvedeniye v tekhnologi mashinostroyeniya* [Introduction to engineering technology]. Glazov, Glazovsky Engineering and Economic Institute, 2012, 178 p. (in Russ.).

Technology of Processing Parts with Square and Rectangular Holes

M. A. Volkov, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

V. G. Osetrov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

This paper analyzes the technology of obtaining non-technological parts (disks, bushings, flanges) with a square or rectangular hole. The author presents the main types of non-technological parts and lists the main methods of machining tetrahedral holes of the closed and through type. Particular attention is paid to obtaining square holes with the help of a Watts drill, the geometry of which is based on the equilateral triangle Relo. The spectrum of use of this technology in the field of mechanical engineering and instrument making, as well as its positive and negative aspects, is disclosed. The main motions of this cutting tool during the machining of square holes are listed, and the basic error in obtaining the real square profile is considered.

The idea presented by the author for obtaining holes with a rectangular cross-section consists in pre-processing the contour of the hole and splitting the untreated sections into squares for subsequent processing. The paper presents recommendations when choosing the diameter of the cutting tool for preliminary processing of the contour of a rectangular hole. Also, the author considers the inverse problem of manufacturing parts with tetrahedral holes, which is based on the use of auxiliary tooling for further external processing of the workpiece. The main type of auxiliary tooling used is a collet or rigid mandrel with a square or rectangular cross-section of the mounting surface. In the ANSYS software environment, the process of deformation of the mandrel petals with various applied forces is simulated. For uniform deformation of the mandrel petals in two axes, recommendations for changing the design of the collet mandrel are listed.

In summary, the author lists the main conclusions and results on the technology of processing square and rectangular holes and the technological equipment used in this technology.

Keywords: technological mandrel, square sections, rectangular sections, Watts drill, Relo triangle.

Получено 28.09.2018