НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ

Эл № ФС77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408

электронный научно-технический журнал

Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности обработанной фрезами с двумя режущими кромками

08, август 2012

DOI: 10.7463/0812.0475848

Зенкин Н. В., Щелупова О. А.

УДК 621.914.1

Россия, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

m1@bmstu-kaluga.ru

Актуальность задачи

Одной из основных проблем размерной обработки внутренних поверхностей вращения крупных заготовок после операций металлургического цикла на машиностроительных предприятиях является низкая производительность процесса черновой обработки резанием, выполняемой традиционно методом точения на токарно-карусельных станках.

Для решения этой проблемы предлагается использование фрезерования внутренних поверхностей торцовой фрезой с двумя режущими кромками [1], как наиболее эффективный метод по критерию производительности, и применение максимальных режимов резания.

Однако, определение предельных режимов резания неразрывно связано с выявлением ограничений, накладываемых величиной и характером срезаемого припуска, возможностями инструмента и технологического оборудования.

Таким образом, необходимо создать методику исследования влияния технологических факторов на качество поверхности обработанной фрезами с двумя режущими кромками.

Предлагаемая методика

Обработка внутренних поверхностей вращения торцовыми фрезами, имеющими режущие кромки, как на наружной, так и на внутренней стороне ножей позволяет повысить производительность обработки за счет кинематического разделения срезаемого припуска [2]. Варьируя такими факторами как диаметр заготовки и диаметр фрезы, число режущих зубьев и их геометрические параметры, величину смещения фрезы относительно

заготовки, можно находить наиболее оптимальные соотношения этих факторов обеспечивающих наилучшие условия работы режущих кромок фрезы и наибольший объем срезаемого материала. При этом выбор режимов резания, в частности величины осевой подачи S_0, определяющей производительность процесса, будет определяться параметрами срезаемого слоя.

На рис. 1 дана схема образования среза при фрезеровании внутренних поверхностей торцовой двухкромочной фрезой с круговой и осевой подачами.

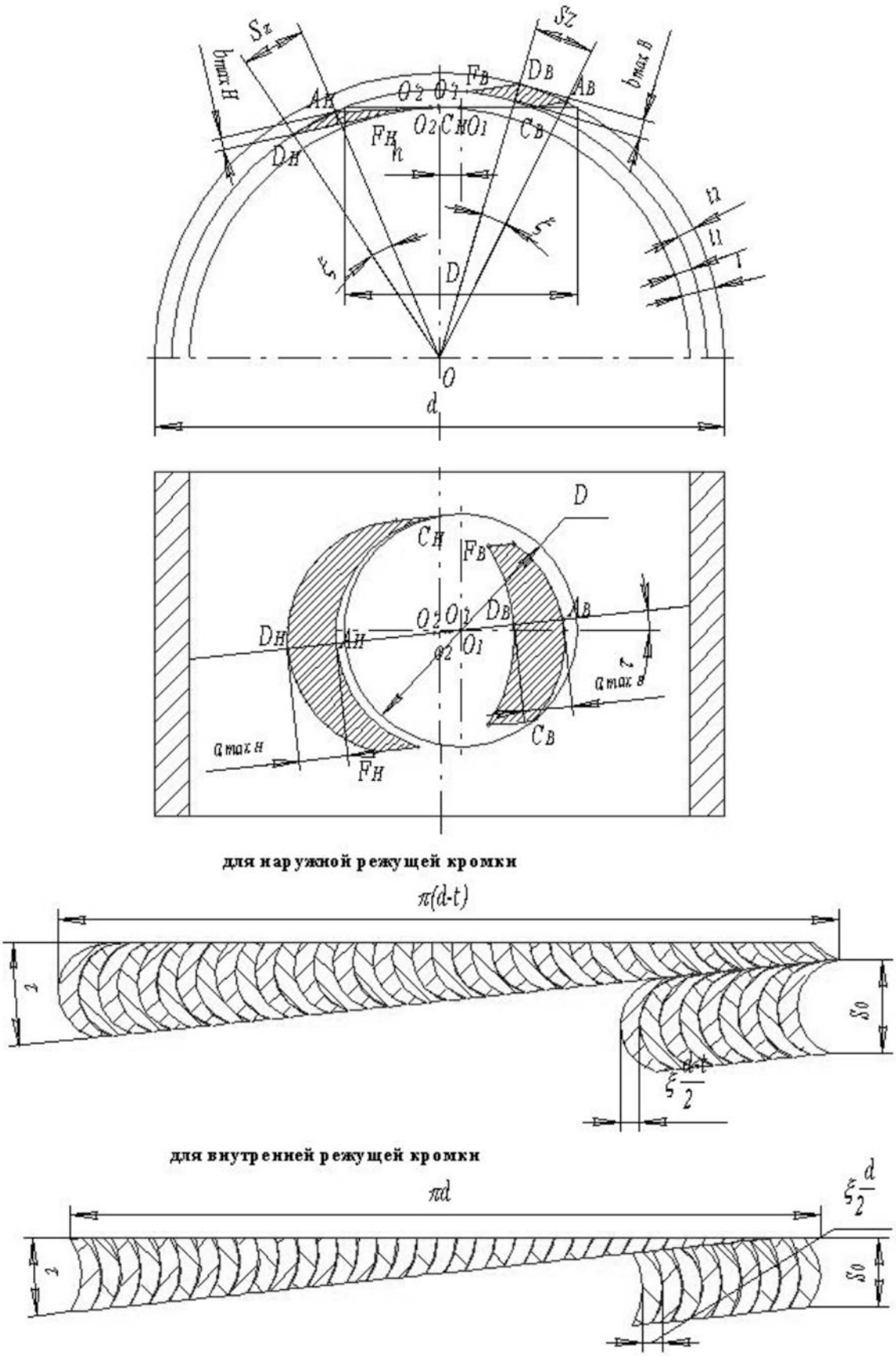

Рис. 1. Схема образования следов при обработке внутренних поверхностей вращения торцовой фрезой с двумя режущими кромками

Когда центр инструмента находится в точке O_1, первый зуб, работающий наружной режущей кромкой, касается детали в точке C_H, расположенной на радиусе $\frac{D}{2} - t$, а первый зуб, работающий внутренней кромкой, – в точке C_B, расположенной на радиусе $\frac{D-t}{2}$.

При повороте инструмента на угол контакта деталь повернется вокруг своего центра O на угол $\omega_д$ и зуб достигнет места максимального срезания припуска в точке A_H (радиус $\frac{D-t}{2}$) и A_B соответственно (радиус $\frac{D}{2}$).

За время поворота инструмента на угол $\omega_z = \frac{2\pi}{z}$ деталь повернется на угол $\xi = \frac{\omega_д}{\omega_u}\frac{2\pi}{z}$, что соответствует перемещению центра инструмента в точку O_2. Второй зуб достигнет места максимального срезания припуска в точке D_H и D_B соответственно. К моменту выхода второго зуба из припуска в точке F_H и F_B центр инструмента будет занимать положение O_2'.

На рис. 2 представлена схема образования профиля внутренней поверхности вращения кольцевой заготовки в результате работы внутренних режущих кромок двухкромочной фрезы.

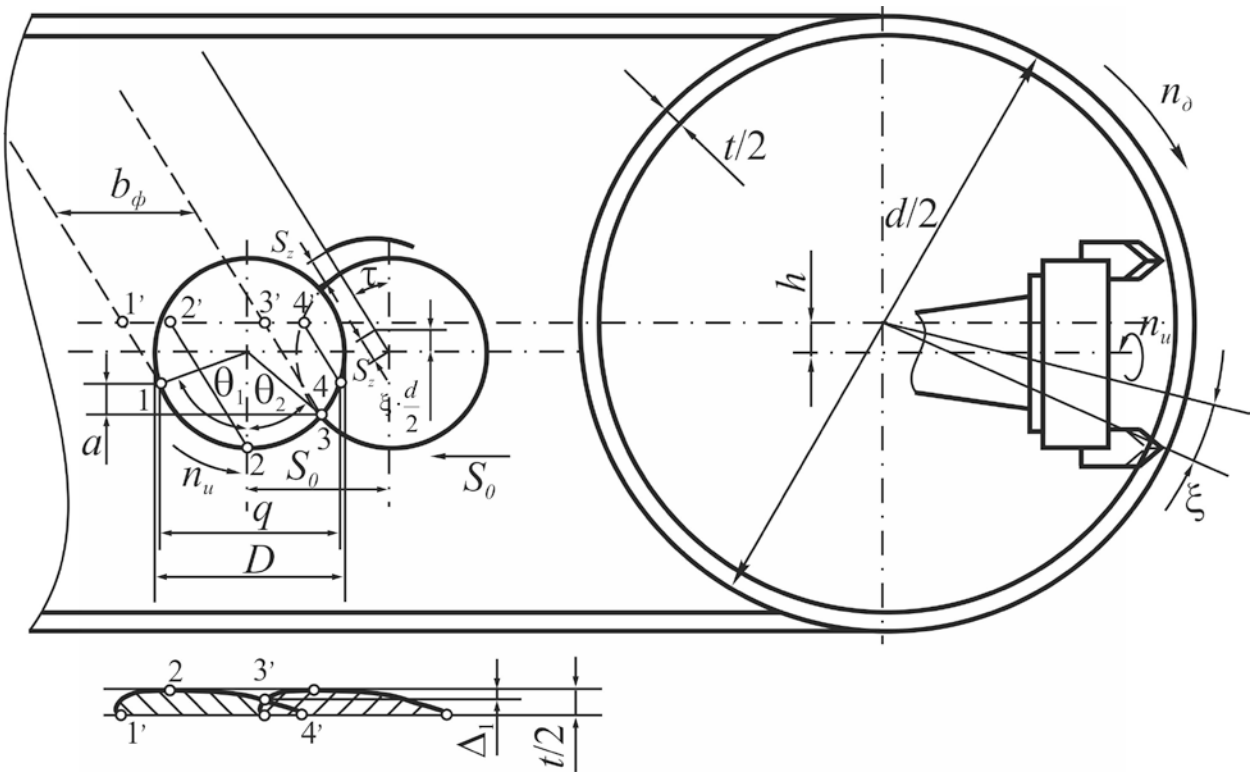

Рис. 2. Схема образования профиля внутренней поверхности вращения

В точке *1* происходит врезание зуба фрезы в деталь. Вследствие подъема на угол τ траектории относительного движения точка *1* при переносе в осевое сечение спрофилирует точку *1'*.

Если бы торцевая двухкромочная фреза работала без осевого перемещения, то зубья ее выходили бы из контакта с деталью в точке *4*, расположенной симметрично точки *1* и отстоящей от нее вдоль оси на расстоянии

$$q = 2\sqrt{\frac{D^2}{4} - \left(\frac{D}{2} + h - \sqrt{\left(\frac{d-t}{2}\right)^2 - \frac{d^2}{4} + \left(\frac{D}{2} + h\right)^2}\right)^2}\,. \qquad (1)$$

При перемещении фрезы за один оборот детали вдоль оси на величину $S_0 < q$ (условие отсутствия мест, необработанных главными режущими кромками) зубья будут выходить из контакта с деталью в точке *3* пересечения окружностей радиуса $d/2$. Расстояние между точками *1* и *3*, измеренное вдоль оси детали, называемое шириной фрезерования $b_ф$, определяется зависимостью

$$b_ф = \frac{q}{2} + \frac{S_0}{2} + a \cdot tg\tau = \frac{q}{2} + \frac{S_0}{2} + \frac{S_0}{2 \cdot \pi \cdot d}\left(\sqrt{D^2 - S_0^{\,2}} - \sqrt{D^2 - q^2}\right). \qquad (2)$$

В точке *3* выхода зубьев фрезы из контакта с деталью на последней будет оставаться выступ, высота которого

$$\Delta_1 = \frac{d}{2} - \sqrt{h\sqrt{D^2 - S_0{}^2} + \frac{d^2 - S_0{}^2}{4} - D \cdot h}\,. \qquad (3)$$

Таким образом, обрабатываемая поверхность в результате работы режущих кромок двухкромочной фрезы будет иметь отклонения от прямолинейности образующей, определяемые выступами высотой Δ_1. Поскольку величина Δ_1 представляет собой макронеровности обрабатываемой поверхности, то их допускаемая величина является функцией снимаемого межоперационного припуска, то есть можно принять $\Delta_1 = k \cdot t$.

Коэффициент *k* в зависимости от заданной точности операции (обдирочная, получистовая, чистовая) колеблется по существующим нормативам в пределах 0,1-0,005.

С помощью формулы (3) можно определить наибольшую величину продольной подачи S_0 фрезы, допускаемую заданной точностью операции:

$$S_0 = 2\sqrt{\sqrt{D^2 \cdot h^2 + d^2 \cdot k^2 \cdot t^2 + 4 \cdot h^2\left(D \cdot h - d \cdot k \cdot t + k^2 \cdot t^2 + h^2\right)} - \left(D \cdot h - d \cdot k \cdot t + k^2 \cdot t^2 + 2 \cdot h^2\right)} \qquad (4)$$

Максимальная толщина среза будет при пересечении зубом траектории относительного перемещения оси фрезы

$$a_{\max} = S_z \cdot \sin\phi = \frac{\sqrt{\pi^2 \cdot d^2 + S_0{}^2} \cdot n_\partial \cdot \sin\varphi}{z \cdot n_u}\,. \qquad (5)$$

Весь объем металла, подлежащий удалению внутренней режущей кромкой с детали, $Q = \pi \cdot d \cdot t \cdot L / 2$. Путь, проходимый контактной частью всех режущих кромок, в детали, $l_0 = l\dfrac{2 \cdot \pi \cdot L}{\xi \cdot S_0}$, где l - путь, проходимый одной режущей кромкой без перерыва в резании (длина дуги контакта), определяемый с некоторым приближением:

$$l = \frac{D}{2}\left(\theta_1 + \theta_2\right) = \frac{D}{2}\left(\arcsin\frac{q}{D} + \arcsin\frac{S_0}{D}\right). \qquad (6)$$

Длина образующей поверхности резания

$$m = \frac{t}{2 \cdot \sin\varphi}\,.$$

Следовательно, средняя толщина среза

$$a_{cp} = \frac{Q}{l_0 \cdot m} = \frac{2 \cdot d \cdot n_\partial \cdot \pi \cdot S_0 \cdot \sin\varphi}{n_u \cdot z \cdot D\left(\arcsin\frac{q}{D} + \arcsin\frac{S_0}{D}\right)}. \quad (7)$$

Анализ данной формулы показывает, что средняя толщина среза зависит от осевой подачи S_0 и от соотношения $\frac{n_\partial}{n_u}$ чисел оборотов детали и фрезы.

Осевая подача выбирается с учетом требуемой точности операции с помощью формулы (4), а число оборотов фрезы n_u- с учетом допускаемой скорости резания $V_{фр}$.

Следовательно, число оборотов детали n_∂ будет определяться допускаемой средней толщиной среза при заданных S_0 и n_u. Для решения этого вопроса формула (7) может быть приведена к виду

$$n_\partial = \frac{a_{cp} \cdot n_u \cdot z \cdot D\left(\arcsin\frac{q}{D} + \arcsin\frac{S_0}{D}\right)}{2 \cdot d \cdot \pi \cdot S_0 \cdot \sin\varphi} = \frac{500 \cdot a_{cp} \cdot z \cdot v_{фр}\left(\arcsin\frac{q}{D} + \arcsin\frac{S_0}{D}\right)}{d \cdot \pi^2 \cdot S_0 \cdot \sin\varphi}. \quad (8)$$

Длина пути, проходимого за все время работы каждой внутренней режущей кромкой,

$$l_u = l\frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\xi \cdot z \cdot S_0} = l\frac{n_u \cdot L}{n_\partial \cdot S_0} = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot \sin\varphi}{a_{cp} \cdot z}. \quad (9)$$

Ширина среза является в данном процессе величиной переменной. На некотором участке в процессе врезания зуба фрезы в деталь ширина среза возрастает от 0 до $b_{\max} = \frac{t}{2 \cdot \sin\varphi \cdot \cos\lambda}$ и затем остается примерно постоянной (без учета остаточных неровностей на обработанной поверхности). Следовательно, при анализе процесса ширину можно принимать равной

$$b = \frac{t}{2 \cdot \sin\varphi \cdot \cos\lambda}. \quad (10)$$

Коэффициент непрерывности и число зубьев фрезы, находящихся одновременно в работе, определяется зависимостями

$$p = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2 \cdot \pi} = \frac{\arcsin\frac{q}{D} + \arcsin\frac{S_0}{D}}{2 \cdot \pi}; \quad (11)$$

$$z' = [z \cdot p],$$

$$b_0 = b \cdot z \cdot p = \frac{t \cdot z \cdot p}{2 \cdot \sin\varphi \cdot \cos\lambda}. \qquad (12)$$

Основное время обработки

$$t_0 = \frac{L}{n_\partial \cdot S_0} + \frac{1}{n_\partial} = \frac{\left(L + S_0\right) d \cdot \pi^2 \cdot \sin\varphi}{500 \cdot a_{cp} \cdot z \cdot v_{фр} \left(\arcsin\frac{q}{D} + \arcsin\frac{S_0}{D}\right)} = \frac{1}{a_{cp} \cdot v_{фр}} f\left(d; t; L; D; z; \varphi; k\right). \qquad (13)$$

Поверхность детали, обработанной по данному методу фрезерования, помимо отклонений от прямолинейности профиля на величину Δ_1, остающихся после главных режущих кромок и определяемых по формуле (3), будет иметь огранку. Высота этой огранки Δ_2 может определяться зависимостью

$$\Delta_2 = \frac{d}{2}\left(1 - \cos\frac{\xi}{2}\right), \qquad (14)$$

где

$$\frac{\xi}{2} = \frac{S_z \cdot \cos\tau}{d} = \frac{\pi \cdot n_\partial}{z \cdot n_u} = \frac{a_{cp} \cdot D\left(\arcsin\frac{q}{D} + \arcsin\frac{S_0}{D}\right)}{2 \cdot d \cdot S_0 \cdot \sin\varphi}.$$

Заключение

1. Установлена взаимосвязь кинематической схемы срезания припуска, геометрических параметров фрезы, параметров ее установки относительно оси заготовки, геометрических параметров срезаемого припуска и режимов резания, обеспечивающая заданную производительность процесса и качество обработанной поверхности. На основании этого разработана методика назначения максимальной величины продольной подачи инструмента с учетом заданных условий обработки.

2. Получены математические зависимости, определяющие параметры качества: отклонение от прямолинейности образующей Δ_1 и огранка Δ_2.

Список литературы

1. Созинов А.И., Зенкин Н.В. Повышение эффективности размерной обработки внутренних поверхностей крупных кольцевых заготовок // Труды МГТУ им. Н.Э.Баумана. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. № 274: Математическое моделирование сложных технических систем. С. 37-43.

2. Зенкин Н.В., Щелупова О.А. Обработка внутренних поверхностей вращения фрезами с двумя режущими кромками // Инженерный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 7. Режим доступа http://technomag.edu.ru/doc/459696.html (дата обращения 09.10.2012).

SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE BAUMAN MSTU

SCIENCE and EDUCATION

EL № FS77 - 48211. №0421200025. ISSN 1994-0408

electronic scientific and technical journal

Study of the influence of technological factors on the quality of surface treated with milling cutters which have two cutting edges

08, August 2012

DOI: 10.7463/0812.0475848

Zenkin N.V., Schelupova O.A.

Russia, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch

m1@bmstu-kaluga.ru

The authors propose a kinematic analysis of the cut-map of inner surface treatment processing circuits of internal surfaces of tool rotation with two cutting edges. The authors consider how the diameter of the workpiece and the cutter, the number of cutting teeth of the cutter and their geometry and parameters influence the cutting layer parameters and the quality of the processed surface.

Publications with keywords:polishing, milling, cutting edge, cutting depth, face mill, thickness of the layer being cut, width of the layer being cut, axial feed, basic machining time, lineary disalignment

Publications with words:polishing, milling, cutting edge, cutting depth, face mill, thickness of the layer being cut, width of the layer being cut, axial feed, basic machining time, lineary disalignment

References

1. Sozinov A.I., Zenkin N.V. Povyshenie effektivnosti razmernoi obrabotki vnutrennikh poverkhnostei krupnykh kol'tsevykh zagotovok [Improving the efficiency of dimensional processing of the internal surfaces of large ring semiproducts]. *Trudy MGTU im. N.E.Baumana* [Proceedings of the Bauman MSTU]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1999, no. 274: *Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh tekhnicheskikh system* [Mathematical modeling of complex technical systems], pp. 37-43.

2. Zenkin N.V., Shchelupova O.A. Obrabotka vnutrennikh poverkhnostei vrashcheniia frezami s dvumia rezhushchimi kromkami [Processing of internal surfaces of rotation with the use of cutters with two cutting edges]. *Inzhenernyi vestnik MGTU im. N.E. Baumana* [Engineering Bulletin of the Bauman MSTU], 2012, no. 7. Available at: http://technomag.edu.ru/doc/459696.html , accessed 09.10.2012.