

ответствующий угол для обработки следующего отверстия (Z-17.776 C60. Q3500). Остальные отверстия обрабатываются аналогично (C120. Q3500, C180. Q3500, C240. Q3500, C300. Q3500). Команда G80 означает отмену цикла сверления, а команда M30 – конец программы, при этом система ЧПУ возвращает станок в состояние, соответствующее началу управляющей программы (%).

Разработанные с использованием современной САМ-системы Esprit технология и управляющие программы обработки сложных пространственных поверхностей детали «Фланец» на токарно-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ Takisawa TS4000YS позволили повысить уровень технологической подготовки производства, поскольку все описанные сложные процедуры реализованы в автоматизированном режиме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев, В.Г., Наумов, Г.М. Перспективные направления повышения уровня технологической подготовки производства высокоточных изделий на станках с ЧПУ // Вестник машиностроения, 2015. – №10. – С. 20 – 24.
2. Наумов, Г.М., Гусев, В.Г. Совершенствование подготовки производства высокоточных изделий путем обоснованного выбора оборудования с ЧПУ // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. – №4 (306). – С. 70 – 73.

3. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на многооперационных станках: учеб. пособие / В. В. Морозов, В. Г. Гусев; Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та. – 2011. – 366 с. ISBN 978-5-9984-0165-7.

4. Савина, Е.С., Гусев, В.Г. Сокращение времени на разработку управляющих программ для станков с ЧПУ на основе САМ-системы ESPRIT: сб. науч. статей МНПК «Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении»; Курск: ЮЗГУ, ЗАО Университетская книга, 2016. – С. 76 – 79. – ISBN 978-5-9906195-4-8.

REFERENCES

1. Gusev, V.G., Naumov, G.M. Promising directions in technological reproduction level increase for manufacturing precision products on NC machines. *Bulletin of Mechanical Engineering*, 2015. – No.10. – pp. 20-24.
2. Naumov, G.M., Gusev, V.G. Improvement of precision product pre-production by substantiated choice of NC equipment. *Fundamental and Applied Problems of Technique and Technologies*, 2014. – No.4 (306). – pp. 70-73.
3. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Parts Machining Programming on Multi-operation Machines: manual* / V.V. Morozov, V.G. Gusev; Vladimir: Publishing House of Vladimir State University. – 2011. – pp. 366. ISBN 978-5-9984-0165-7.
4. Savina, E.S., Gusev, V.G. Time reduction for control program development for NC machines based on CAD ESPRIT system: *Proceedings of the Inter. Scientif. Pract. Conf. "Outlooks in Machining Technology and Equipment Development in Mechanical Engineering"*; Kursk: SWSU, CC University Book, 2016. – pp. 76-79. - ISBN 978-5-9906195-4-8.

Рецензент д.т.н. В.В. Морозов

УДК 621.914

DOI: 10.12737/article_5a5a44ea226d52.98902127

А.М. Козлов, д.т.н.,
(Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, ул. Московская, 30),
Г.Е. Малютин, к.т.н.,
(ОАО «Энергия», Липецкая область, г. Елец, пос. Электрик, 1),
E-mail: kam-48@yandex.ru; malgena@rambler.ru

Расчет траектории инструмента при фрезеровании внутренних поверхностей на станках с ЧПУ

Рассмотрена проблема повышения производительности фрезерования внутренних поверхностей деталей, в том числе зон, оставшихся необработанными после полустогового фрезерования.

Ключевые слова: фрезерование внутренних поверхностей; необработанные зоны; производительность.

Tool path calculation at inner surface milling on NC machines

Modern NC milling machines allow manufacturing complex parts. One of the urgent problems at concave surface milling is rib rounding in the corners connected with the radius of the tool used. The existed methods for rounded rib updating are inefficient. For this reason there is a necessity in the development of a new method for angle formation in concave surfaces with the aid of layer-by-layer milling based on the principle of square rolling by Reuleaux triangle. In the paper presented there is offered a procedure for the calculation of a tool path at the agreed motion of feed drives and a spindle for the finish milling of concave surfaces with small rib rounding in the corners.

Keywords: inner surface milling; unprocessed areas; productivity.

Объемное фрезерование – один из широко распространенных способов обработки поверхностей сложной формы. Конкуренция между предприятиями машиностроительной отрасли ведет к постоянному повышению производительности и снижению стоимости продукции. Достигается это различными способами: назначением рациональных режимов резания [1] и применением усложненных траекторий движений инструмента [2].

Современные фрезерные станки с ЧПУ позволяют изготавливать детали с поверхностями достаточно сложной формы. При весьма широкой номенклатуре изделий обрабатываемых фрезерованием, их можно разделить на детали с выпуклыми и вогнутыми поверхностями. Технологический процесс формирования вогнутых поверхностей имеет ряд проблем, таких как, формирование необработанных зон вблизи дна (рис. 1), при черновой обработке, которые приводят к повышению сил резания при чистовой обработке и непостоянству отжима инструмента [3, 4, 5].

Послойное черновое фрезерование

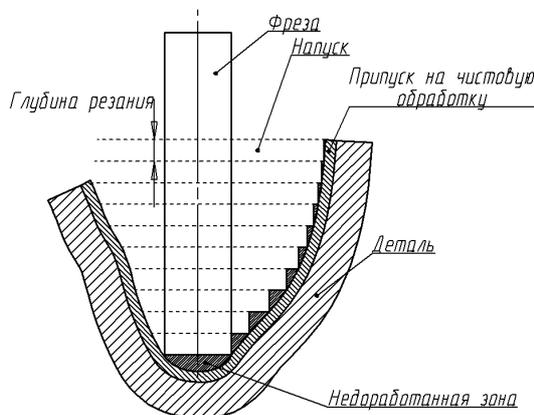


Рис. 1. Формирование необработанной зоны

Не менее актуальной проблемой при послойном фрезеровании вогнутых поверхностей, является скругление ребер в углах, связанных с радиусом применяемого инструмента (рис. 2).

Существует несколько способов доработки скругленных ребер;

- фрезерование инструментом меньшего диаметра,
- обработка (прожигание) на электроэрозионном оборудовании.

Но данные способы низкоэффективны, например, при фрезеровании инструментом с меньшим радиусом ограничением является его вылет и жесткость. Обработка на проволочном вырезном станке производится только на деталях со сквозными поверхностями, а использование прожигного станка требует изготовление электрода, близкого по форме к обрабатываемым впадинам. Все это значительно снижает производительность и увеличивает себестоимость выпускаемой продукции.

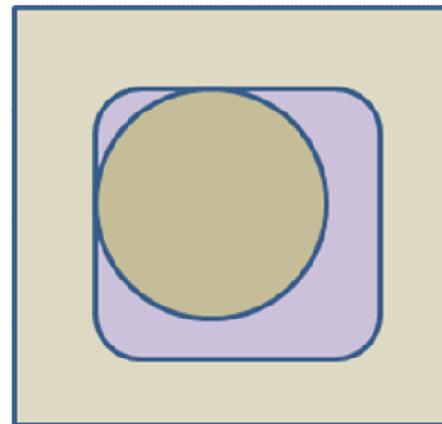


Рис. 2. Формирование скруглений в углах

В последние годы все чаще применяется способ доработки скруглений в углах квадратных отверстий сверлом Гарри Уаттса

(рис. 3), принцип действия которого основан на обкатывании квадрата треугольником Рёло.

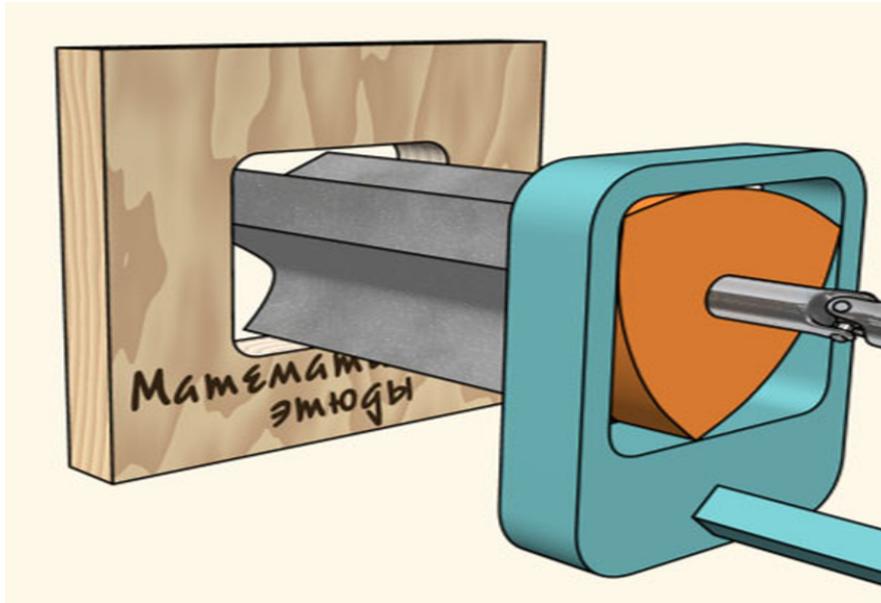


Рис. 3. Формирование квадратных отверстий сверлом Гарри Уаттса

Данный способ значительно производительнее вышеперечисленных, но имеет ряд недостатков: низкая жесткость конструкции; невозможность производить обработку поверхностей сложной формы; при обработке наклонных поверхностей требуется оборудование с управлением по нескольким осям.

По этим причинам, существует необходимость в разработке нового метода формирования углов в вогнутых поверхностях (характерный представитель – паз) послойным фрезерованием, основанным на принципе обкатывания квадрата треугольником Рёло.

Сверло Гарри Уаттса процесс резания производит только в осевом направлении, что ограничивает его применение при обработке наклонных и фасонных поверхностей.

Применение фрезы значительно расширяет область обрабатываемых поверхностей, но при этом обработка должна производиться послойно (в плоскости XY), по сложной траектории.

Треугольник Рёло при вращении в квадрате движется по траектории близкой к окружности, радиус которой определяется по выражению:

$$R = 0,06689 D ; \quad (1)$$

формируя квадрат со стороной:

$$L = 0,866035 D ; \quad (2)$$

в углах квадрата образуется скругление радиусом:

$$r = 0,109568 D , \quad (3)$$

где D – диаметр трехзубой фрезы.

На рис. 4 показан процесс движения инструмента при доработке угла фрезой $\varnothing 20$ мм.

Для обеспечения движения инструмента на станках с ЧПУ необходимо разработать управляющую программу, где задаются координаты траектории относительно нулевой точки. При фрезеровании углов методом обкатки треугольником Рёло, необходимо задать согласованное движение шпинделя с движением стола, следовательно, координаты траектории должны определяться от поворота шпинделя.

При повороте шпинделя на угол A , центр фрезы движется в противоположную сторону, и опережает угол поворота шпинделя в 3 раза:

$$p3 = -3A + 180 . \quad (4)$$

При движении инструмента по оси X координаты точки траектории определяются по выражениям:

$$X = p23 = (H_x - R1 \cdot \sin(p3)) + k \cdot A ; \quad (5)$$

$$Y = (H_y - R1 \cdot \sin(p3)) . \quad (6)$$

где k – коэффициент подачи инструмента на зуб.

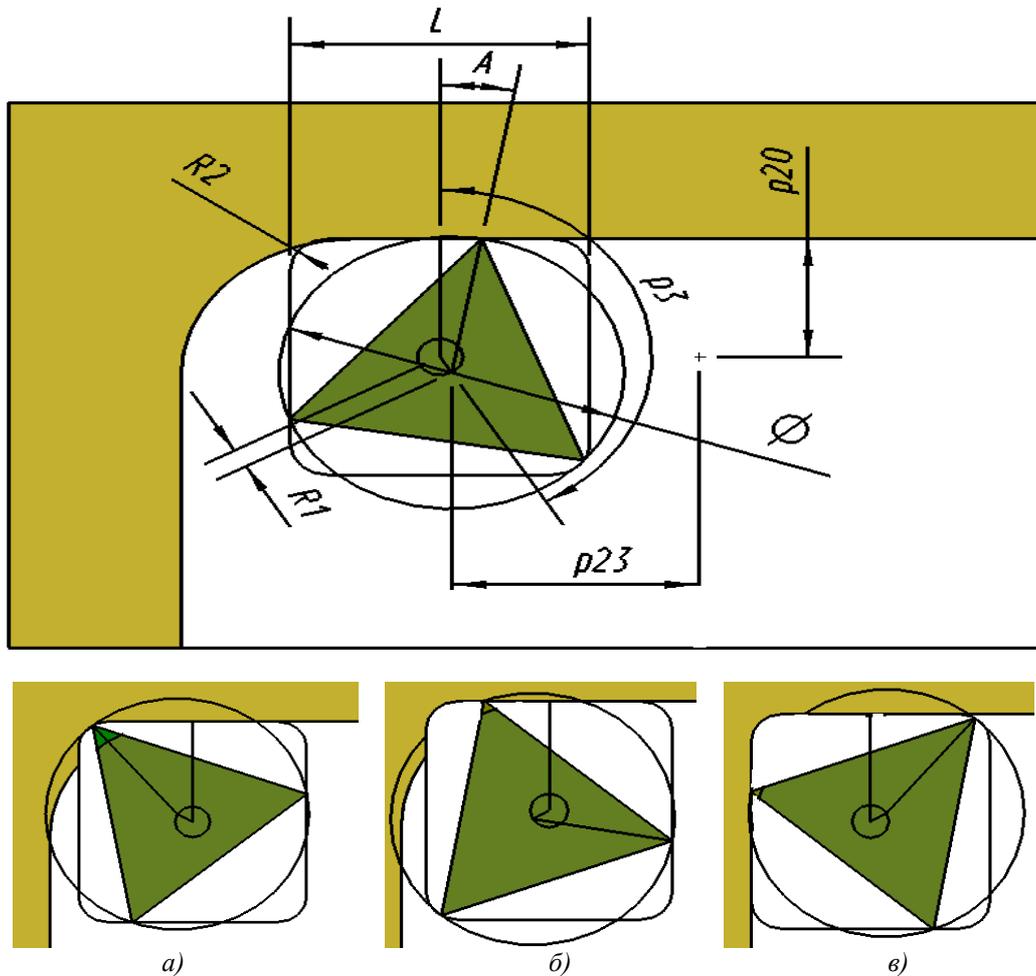


Рис. 4. Обработка угла:

a – начальное положение; *б* – промежуточное; *в* – конечное; *A* – угол поворота фрезы; *D* – диаметр фрезы; *L* – сторона квадрата (2); *R1* – радиус траектории инструмента (1); *R2* – радиус квадрата (3)

Для трехзубых фрез:

$$k = \frac{S_{\text{зуб}}}{120^\circ} \quad (7)$$

Выражения (1) - (7) позволяют определить координаты движения центра инструмента в зависимости от подачи на зуб в согласованности с поворотом шпинделя, что позволяет производить обработку углов вогнутых по

верхностей, инструментом, радиус которого значительно превышает радиус скругления ребер.

На рис. 5 представлена траектория центра инструмента, имеющая форму синусоиды с периодом 120° (значение выбирается для поворота шпинделя). При движении фрезы по оси *X* в точках периода значения координаты меняется на значение подачи.

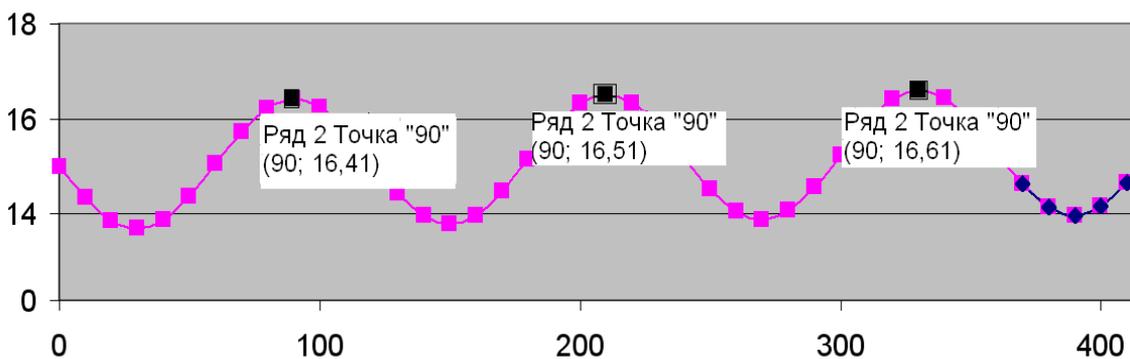


Рис. 5. Траектория инструмента

Проверка предложенного метода производилась на вертикально-фрезерном станке мод. 6Б52Ф3 с системой ЧПУ SIEMENS 802 (рис. 6). На данном станке можно задавать поворот и фиксацию шпинделя на установленный угол командой SPOS=.



Рис. 6. Фрезерование квадратного паза

Эксперимент проводился прямозубой фрезой с числом зубьев $Z = 3$; $D = 20$ мм. Обработывалась сталь 45; глубина на проход $t = 0,2$ мм; подача $S_z = 0,1$ мм/зуб; осевая подача $S = 400$ мм/мин. Фрезеровался паз глубиной 50 мм, со стороной квадрата 50 мм. Время обработки составило 2 мин. При электроэрозионной операции прожигания на станке SO-DISK время обработки составляет 130 мин.

Таким образом, применение стандартной фрезы при перемещении по разработанной траектории позволяет значительно повысить производительность выполнения операции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амбросимов, С.К., Большаков, А.Н. Исследование динамики процесса резания при выходе зуба из зоны обработки при фрезеровании // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2010. – №1. – С. 29–34.
2. Амбросимов, С.К., Вепренцев, О.Ю., Косенков, М.А., Большаков, А.Н. Исследование параметров срезаемого слоя при винтовом фрезеровании со спиралевидной

траекторией // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2011. – №6-3. – С. 3–12.

3. Козлов А.М. Повышение производительности объемного фрезерования необработанных зон. / А.М. Козлов, Г.Е. Малютин // *Сб. науч. статей V Междунар. науч.-техн. конф. «Машиностроение – основа технологического развития России»*. Курск. – 2013, С. 307–310.

4. Козлов, А.М., Малютин, Г.Е. Повышение эффективности чистового объемного 3D фрезерования на станках с ЧПУ // *Научные технологии в машиностроении*. – 2014. – №6. – С. 39–43.

5. Малютин, Г.Е. Определение усилий резания при чистовой объемной обработке вогнутых поверхностей сложной формы сферическими фрезами на станках с ЧПУ // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2014. – №4(306). – С. 74–81.

REFERENCES

1. Ambrosimov, S.K., Bolshakov, A.N. Investigation of cutting dynamics at tooth leaving the area of machining at milling // *Fundamental and Applied Problems of Technique and Technology*. – 2010. – No.1. – pp. 29-34.
2. Ambrosimov, S.K., Veprentsev, O.Yu., Kosenkov, M.A., Bolshakov, A.N. Parameter investigation of layer cut at helical milling with spiral path // *Fundamental and Applied Problems of Technique and Technology*. – 2011. – No.6-7. – pp. 3-12.
3. Kozlov, A.M. Productivity increase in unprocessed area volume milling. / A.M. Kozlov, G.E. Malyutin // *Proceedings of the Inter. Scientif.-Tech. Conf. "Mechanical Engineering – Basis of Technological Development of Russia"*. Kursk. – 2013, pp. 307-310.
4. Kozlov, A.M., Malyutin, G.E. Efficiency increase of 3D finish volume milling on NC machines // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – No.6. – pp. 39-43.
5. Malyutin, G.E. Definition of cutting forces at volume finish machining of concave complex surfaces by ball mills on NC machines // *Fundamental and Applied Problems of Technique and Technology*. – 2014. – No.4(306). – pp. 74-81.

Рецензент д.т.н. Н.В. Носов

