

УДК 621.914.2.016(047)(476)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ФОРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВАЛКАХ ВАЛЬЦ-ПРЕССОВ ФАСОННЫМИ ФРЕЗАМИ

Данилов В.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Прушак В.Я. (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь), Кондратчик Н.Ю. (УО «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, Беларусь)

Изложена методика анализа методов обработки фасонными фрезами формирующих элементов валков вальц-прессов в виде пазов с круговым профилем, включающая определение основного времени обработки, погрешности формообразования и неравномерности процесса резания в зависимости от кинематических и геометрических параметров схемы срезания припуска, разрешающей способности режущей кромки. Приведены результаты анализа методов обработки пазов торовой и концевой сферической фрезами в виде аналитических зависимостей для определения указанных характеристик методов обработки. Показаны пути повышения их эффективности за счет управления параметрами схем обработки.

Введение

Производство гранулированных калийных удобрений включает операцию прессования порошкообразного хлористого калия на вальц-прессах посредством вращающихся навстречу друг другу цилиндрических валков. Их исполнительные поверхности могут быть снабжены формирующими элементами в виде прямолинейных, винтовых, круговых или иной формы закрытых пазов (ячеек). С точки зрения служебного назначения и обеспечения надежности функционирования пресса предпочтительным является профиль пазов, не затрудняющий отделение от валков спрессованного материала [1], в частности, в виде дуги окружности. Такая форма пазов отвечает и требованиям технологичности изделия.

Совершенствование технологии изготовления валков в направлении повышения производительности обработки формирующих элементов актуально из-за значительной трудоемкости этой операции. Решение этой задачи требует применения рациональных схем формообразования и методов обработки, выбор которых возможен на основе кинематического и геометрического анализа возможных методов обработки и их сравнительного анализа [2]. В статье рассматривается первый этап решения задачи применительно к обработке пазов с круговым профилем.

Методика анализа методов обработки пазов

Требуемая геометрия формирующих элементов валков обеспечивается при профилировании методом копирования и формировании по длине методом касания, например, торовой или концевой сферической фрезами. Возможность их обработки разными методами обуславливает необходимость анализа каждого в отдельности с целью интенсификации, а также – сравнительного анализа возможных методов обработки для выбора эффективного. Решение этой задачи должно быть основано не на отдельных опытных данных, справедливых для частных случаев, а на физических возможностях сравниваемых методов [2]. При этом за критерии сравнения принимаются общие для

различных методов показатели эффективности – производительность, точность формообразования и др., представляемые в виде функций сопоставимых физических параметров процесса резания (толщины среза и скорости резания, произведение которых характеризует разрешающую способность режущей кромки), геометрических параметров обрабатываемой поверхности и инструмента. Это позволяет с учетом опытных данных установить область эффективного применения сравниваемых методов обработки.

При анализе методов обработки важно учитывать также кинематические и динамические особенности процесса резания, влияющие на работоспособность режущего инструмента и определяющие требования к станочному оборудованию, реализующему метод обработки, в отношении жесткости, виброустойчивости и других характеристик.

Для анализа методов обработки пазов важны следующие их характеристики.

1. *Кинематические и геометрические параметры схемы резания:*

- путь l , проходимый режущей кромкой без перерыва в резании по траектории среднего радиуса R_{cp} при угле ε ее контакта с обработанной поверхностью резания, характеризующий непрерывность процесса резания,

$$l = R_{cp} \varepsilon; \quad (1)$$

- общий путь l_0 , проходимый всеми z режущими кромками инструмента без перерыва в резании, который при обработке паза длиной L с подачей на зуб инструмента S_z составляет

$$l_0 = LL/S_z; \quad (2)$$

- число одновременно работающих зубьев z' , от которых зависит динамика процесса обработки, т.к. с увеличением z' уменьшается диапазон изменения силы резания и крутящего момента:

$$z' = 0,5\varepsilon z/\pi; \quad (3)$$

- длина m образующей поверхности резания, от которой зависит производительность формообразования, мгновенное m_i и максимальное m_{max} , значения которых определяются из схемы резания, а среднее – по формуле

$$m_{cp} = \frac{1}{l} \int_0^l m(l) dl;$$

- длина m_0 образующих поверхностей резания, образованных одновременно работающими зубьями,

$$m_0 = m z';$$

$$m_{0,cp} = \frac{z'}{l} \int_0^l m(l) dl; \quad (4)$$

- площадь f_0 поверхностей резания, формируемых режущими кромками за время обработки всей поверхности,

$$f_0 = l_0 m_{cp}; \quad (5)$$

- толщина среза a , влияющая на динамику процесса обработки; ее мгновенное a_i и максимальное a_{\max} значения определяются из схемы резания.

Известно [3], что при угле наклона главной режущей кромки $\lambda < 45^\circ$ влиянием данного угла на толщину среза можно пренебречь. В общем случае толщина среза является переменной величиной, поэтому при сравнении различных методов обработки рассматривается средняя толщина среза $a_{\text{ср}}$, равная отношению объема Q металла, срезанного всеми режущими кромками инструмента за время обработки, к площади f_0 сформированных ими поверхностей резания, т.е.

$$a_{\text{ср}} = \frac{Q}{f_0}.$$

Так как $Q = FL$, где F – площадь поперечного сечения паза, то с учетом зависимостей (2) и (5) средняя толщина среза при фрезеровании пазов выражается зависимостью

$$a_{\text{ср}} = \frac{FS_z}{lm_{\text{ср}}}. \quad (6)$$

Средняя толщина среза относится к основным характеристикам метода обработки, так как величина $a_{\text{ср}}V$ (V – скорость резания) определяет разрешающую способность режущей кромки, позволяющую обоснованно сравнивать различные методы лезвийной обработки для выбора рационального [2].

2. Основное время обработки T_0 .

Этот параметр позволяет сравнивать возможные методы обработки по производительности. При обработке паза длиной L за один ход основное время обработки составляет

$$T_0 = L/V_s,$$

где V_s – скорость движения подачи.

Для вращающегося многолезвийного инструмента $V_s = \frac{S_z z V}{\pi d}$, где d – диаметр инструмента, z – число зубьев инструмента, S_z – подача на зуб. Следовательно, через геометрические параметры схемы обработки и элементы режима резания время обработки выражается зависимостью

$$T_0 = \frac{\pi d L}{S_z z V}. \quad (7)$$

Для сравнительного анализа методов обработки величину T_0 следует представить в виде функции сопоставимых физических параметров процесса резания. В этом случае

$$T_0 = \frac{\pi d L F}{lm_{\text{ср}} z a_{\text{ср}} V}$$

или, учитывая, что $\frac{lz}{\pi d} = z'$, $m_{\text{ср}} z' = m_{\text{оср}}$,

$$T_0 = \frac{LF}{m_{\text{оср}} a_{\text{ср}} V}. \quad (8)$$

3. Коэффициент непрерывности P процесса резания.

Он характеризует единовременность работы режущих элементов инструмента и определяется отношением пути, проходимого ими в заготовке, к общему пути или

$$P = z' / z. \quad (9)$$

Чем больше значение коэффициента непрерывности P , тем меньше мощность и время, затрачиваемые на холостые движения инструмента по перемещению режущих элементов вне зоны резания, тем выше доля времени резания и технологическая производительность.

4. Точность формообразования.

При обработке паза фасонной фрезой погрешность формообразования определяется высотой отклонений обработанной поверхности от номинальной, обусловленных точечным контактом траекторий производящих элементов режущих зубьев с номинальной поверхностью пазов. Значения этих отклонений в каждом конкретном случае рассчитываются, исходя из схем формообразования поверхности и резания, параметров режущего инструмента и элементов режима резания. В зависимости от допускаемой погрешности формообразования назначается подача.

При фрезеровании паза с подачей S_z на зуб фрезы высота отклонений h обработанной поверхности от номинальной поверхности (не срезанной части припуска) с достаточной точностью описывается зависимостью

$$h = 0,125 \dot{S}_z^2 / r, \quad (10)$$

где r – радиус траектории режущей кромки.

Анализ зависимостей (7-10) позволяет оценить влияние геометрических и кинематических параметров на эффективность конкретных методов обработки и установить их рациональные значения. На этой основе, при наличии соответствующих практических данных по разрешающей способности различных методов обработки, возможно их сравнение по критериям эффективности – производительности, непрерывности процесса резания, точности формообразования.

По изложенной методике проанализируем методы фрезерования пазов с круговым профилем торовой и концевой сферической фрезами.

Анализ схемы фрезерования пазов торовой фрезой

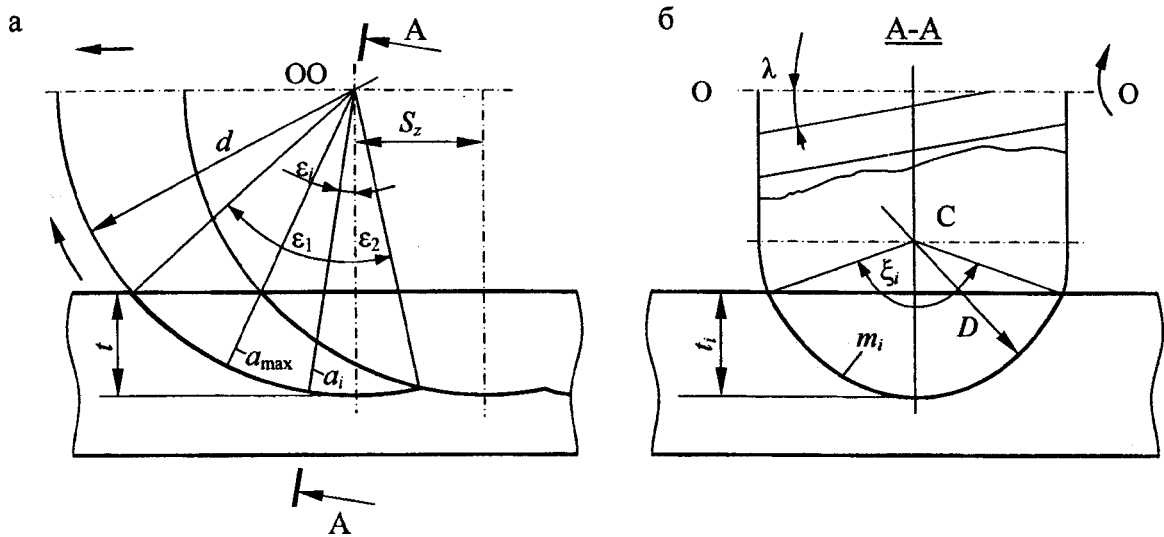
Режущие зубья торовой фрезы (рисунок 1) расположены на поверхности, образующей которой является окружность с центром в точке C диаметром D , и наклонены под углом λ к оси OO вращения фрезы. По изложенной выше методике определим основные кинематические и геометрические характеристики этого метода обработки.

Длина l траекторий разных точек режущей кромки торовой фрезы различна, поскольку они неодинаково удалены от оси ее вращения. Учитывая, что $t/d \ll 1$, где t – глубина резания, d – диаметр фрезы, можно принять

$$l = l_{\max} = \frac{d}{2} \arccos(1 - 2t/d). \quad (11)$$

Общий путь l_0 , проходимый всеми режущими зубьями в заготовке за время обработки паза длиной L , исходя из зависимостей (2) и (11), составляет

$$l_0 = \frac{Ld}{2S_z} \arccos(1 - 2t/d). \quad (12)$$



а – в плоскости вращения фрезы; б – в плоскости, проходящей через ось вращения фрезы
Рисунок 1 – Схема фрезерования формирующих элементов торовой фрезой

На основании (3) и рисунка 1 число одновременно работающих зубьев z' торовой фрезы, имеющей z зубьев, составляет

$$z' = \frac{z(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{2\pi},$$

где

$$\varepsilon_1 = \arccos(1 - 2t/d); \quad (13)$$

$$\varepsilon_2 = \arccos(1 - 2h/d).$$

Так как $2t/d \ll 1$, $2h/d \ll 1$, $h \ll t$, то с достаточной точностью $\varepsilon_2 \approx 0$. Тогда

$$z' = \frac{z}{2\pi} \arccos(1 - 2t/d). \quad (14)$$

Длина m_i образующей поверхности резания зависит от угла контакта ξ_i , величина которого, согласно рисунку 1,

$$\xi_i = 2 \arccos(1 - 2t_i/D).$$

Следовательно,

$$m_i = D \arccos(1 - 2t_i/D),$$

где, как следует из рисунка 1,

$$t_i = 0,5d - (0,5d - t) / \cos \varepsilon_i.$$

Таким образом,

$$m_i = D \arccos \left[1 - \frac{d}{D} + \frac{1}{\cos \varepsilon_i} \left(\frac{d}{D} - \frac{2t}{D} \right) \right]. \quad (15)$$

Значение длины образующей поверхности резания изменяется в зависимости от угла контакта ξ_i в диапазоне

$$0 \leq m_i \leq D \arccos(1 - 2t/D).$$

Средняя длина образующей поверхности резания m_{cp} составляет

$$m_{cp} = \frac{1}{\varepsilon_1} \int_0^{\varepsilon_1} m_i d\varepsilon_i, \quad (16)$$

где ε_1 и m_i описываются зависимостями (13) и (15), соответственно.

Толщина среза a при обработке торовой фрезой – переменная величина, ее текущее a_i и максимальное a_{max} значения, согласно рисунку 1,

$$a_i = S_z \sin \varepsilon_i,$$

$$a_{max} = S_z \sin \varepsilon_{max}.$$

Так как $2t/d \ll 1$, то с достаточной точностью можно принять

$$\sin \varepsilon_{max} = 2\sqrt{t/d},$$

$$a_{max} = 2S_z \sqrt{t/d}.$$

Средняя толщина среза a_{cp} с учетом (6) и (11)

$$a_{cp} = \frac{2FS_z}{dm_{cp} \arccos(1 - 2t/d)}, \quad (17)$$

где F – площадь поперечного сечения паза, равная площади сектора круга радиусом $R = D/2$ и высотой t , определяется по известной формуле

$$F = R^2 \arccos(1 - t/R).$$

Основное время обработки паза длиной L , выраженное через разрешающую способность режущей кромки $a_{cp}V$, с учетом (8) и (14) выражается формулой

$$T_o = \frac{\pi dLF}{m_{cp} z \arccos(1 - 2t/d) a_{cp} V}. \quad (18)$$

Коэффициент непрерывности P при обработке паза торовой фрезой на основании (9) и (14) составляет

$$P = \frac{1}{\pi} \arccos(1 - 2t/d). \quad (19)$$

Паз глубиной t обрабатывается за один ход с подачей на зуб S_z (рисунок 1а), поэтому обработанная поверхность имеет отклонения от номинальной в виде гребней, расчетная высота h которых составляет

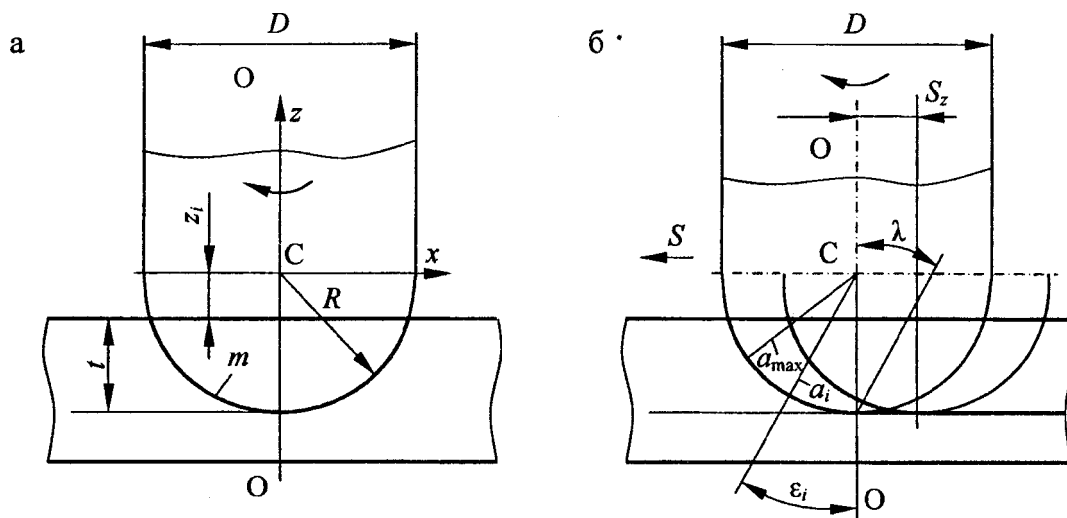
$$h = 0,25 S_z^2 / d. \quad (20)$$

Результаты геометрического и кинематического анализа метода фрезерования пазов торовой фрезой позволяют установить влияние ее конструктивных параметров и элементов режима резания на производительность и непрерывность процесса обработки и погрешность формообразования, а также сравнивать по производительности метод обработки пазов торовой фрезой с другими методами.

Как следует из (18), производительность обработки паза торовой фрезой максимальна при минимальном для заданного числа z режущих зубьев диаметре фрезы d , т.е., исходя из критерия производительности, следует применять фрезы с минимальным окружным шагом расположения режущих зубьев. При этом, согласно (14), с уменьшением диаметра d увеличивается число одновременно работающих зубьев фрезы и, соответственно, повышается непрерывность процесса резания. Однако, с уменьшением d при заданной подаче на зуб S_z , согласно (20) и (17), увеличиваются шероховатость обработанной поверхности и толщина среза (соответственно и сила резания), что следует учитывать при назначении режима резания.

Анализ схемы фрезерования пазов концевой сферической фрезой

Режущие кромки зубьев концевой сферической фрезы (рисунок 2) расположены на сферической поверхности радиуса R и наклонены к оси фрезы под углом λ .



а – в плоскости, перпендикулярной направлению подачи; б – в плоскости подачи

Рисунок 2 – Схема обработки формирующих элементов концевой сферической фрезой

Определим геометрические и кинематические параметры для этого метода фрезерования.

В соответствии со схемой обработки (рисунок 2) угол контакта инструментальной поверхности фрезы с заготовкой составляет π , поэтому число одновременно работающих зубьев не зависит от глубины резания и равно половине числа режущих зубьев фрезы, т.е.

$$z' = z/2. \quad (21)$$

Коэффициент непрерывности обработки концевой сферической фрезой в соответствии с (9) $P = 0,5$, т.е. непрерывность процесса фрезерования паза концевой сферической фрезой не зависит от параметров обработанной поверхности и режима резания.

Длина m образующей поверхности резания в процессе обработки имеет постоянное значение, равное длине дуги окружности, ограничивающей половину профиля фрезеруемого паза. В соответствии с рисунком 2

$$m = R \arccos(1 - t/R). \quad (22)$$

Площадь f поверхности резания равна площади поверхности, образованной дугой окружности длиной m на угле контакта с заготовкой, равном π , т.е. половине площади шарового сектора радиуса R и высотой t ,

$$f = 0,5\pi R \left(t + \sqrt{2Rt - t^2} \right).$$

За время обработки паза длиной L общая площадь всех сформированных поверхностей резания

$$f_0 = f \frac{L}{S_z}.$$

Тогда, учитывая (6), средняя толщина среза

$$a_{cp} = \frac{2FS_z}{\pi R \left(t + \sqrt{2Rt - t^2} \right)}. \quad (23)$$

Основное время обработки паза концевой сферической фрезой по аналогии с (7)

$$T_0 = \frac{\pi DL}{S_z z V}$$

или с учетом (23)

$$T_0 = \frac{4LF}{\left(t + \sqrt{Dt - t^2} \right) z a_{cp} V}. \quad (24)$$

Из (24) следует, что, при прочих равных условиях, технологическая производительность при обработке сферической концевой фрезой повышается с увеличением ее диаметра D и числа зубьев z .

Высота отклонений обработанной поверхности по аналогии с зависимостью (20) составляет

$$h = 0,25 S_z^2 / D. \quad (25)$$

Поскольку диаметр концевой фрезы D определяется профилем паза, управление шероховатостью обработки обеспечивается за счет величины подачи.

Приведенные выше зависимости для расчета характеристик T_0 , P и h позволяют установить необходимые для сравнительного анализа методов обработки коэффициенты сравнения по производительности K_T , неравномерности процесса резания K_p и шероховатости K_h в виде отношения соответствующих аналитических зависимостей, на основе анализа которых определяется область рационального применения сравниваемых методов обработки [2].

При выборе из возможных метода обработки пазов кроме их эффективности в отношении процесса резания следует учитывать также сложность реализации. По этому признаку при криволинейной форме пазов (дуговая и т.п.) предпочтительна схема обработки концевой сферической фрезой, поскольку в процессе обработки не требуется изменять ее положение относительно заготовки. При обработке же таких пазов торовой

фрезой кроме движения формообразования необходимо также движение ориентации для стабилизации положения плоскости вращения фрезы относительно направления паза, что требует применения более сложных станков с дополнительной управляемой системой координат.

В тех случаях, когда движение ориентации инструмента не требуется (обработка прямолинейных и винтовых пазов переменного шага), предпочтительной из-за более высокой производительности и меньшей шероховатости является обработка торовой фрезой.

Данное обстоятельство следует учитывать также при проектировании компоновки и кинематики специализированных станков для обработки формирующих элементов на валках вальц-прессов.

Заключение

Снижение трудоемкости обработки формирующих элементов валков вальц-прессов достигается применением рациональных методов обработки, определение которых из множества возможных предполагает проведение их сравнительного анализа по критериям эффективности, к которым относятся производительность, шероховатость обработанной поверхности и показатели, характеризующие динамику процесса резания.

Установлены аналитические зависимости, отражающие связь этих критериев с геометрическими и кинематическими характеристиками методов обработки и обеспечивающие объективное сравнение методов обработки с учетом физических возможностей инструмента, характеризуемых разрешающей способностью режущей кромки.

Список использованных источников

1. Грузглина, С.Н. Исследование и совершенствование формующих элементов вальцовых брикетных прессов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / С.Н. Грузглина; Днепропетровский горный институт им. Артема. – Днепропетровск, 1973. – 24 с.
2. Этин, А.О. Кинематический анализ и выбор эффективных методов обработки лезвийными инструментами / А.О. Этин, М.Е. Юхвид. – М.: АО ЭНИМС, 1994. – 185 с.
3. Бобров, В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки на процесс резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машгиз, 1962. – 149 с.

Danilov V.A., Prushak V.Ya., Kondratchik N.Yu.

Analysis of methods of forming elements processing by shaping cutters on the rollers of rolling presses

The article presents an analysis of methods of processing of rollers forming elements of rolling presses by shaping cutters in the form of grooves with a circular arc form, including determination of processing time, shaping errors and cutting process irregularity, depending on kinematic and geometric parameters of an excess metal cutting scheme and resolving ability of the cutting edge. The results are given of analysis of the methods of grooves processing by torus and end-milling spherical cutters in the form of analytical dependences for the determination of the given characteristics of processing methods. The ways of increasing their productivity by force of processing parameters control are given.

Поступила в редакцию 22.09.2015 г.