

УДК 621.91

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЦОВЫХ ГОЛОВОК НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРИ ВИХРЕВОМ РАСТАЧИВАНИИ

¹Отений Я.Н., ²Муравьев О.П., ³Туменов Т.Н., ²Жунусова А.Ш., ²Ткачева Ю.О.,
²Плешакова Е.А., ²Ерахтина А.В.

¹Камышинский технологический институт (филиал Волгоградского государственного технического университета), Камышин, e-mail: oteny3@rambler.ru;

²КарГТУ «Карагандинский государственный технический университет»,
Караганда, e-mail: olinis@mail.ru;

³ТОО «ИнструментРесурс», Караганда, e-mail: iresurs@mail.ru

В статье рассматривается вопрос влияния конструктивных параметров резцовых головок на производительность и качество обработки глубоких отверстий при вихревом растачивании. Рассмотрены два принципиально различных вида инструмента: с определенностью базирования и неопределенностью базирования. Приведена схема вихревого растачивания отверстия. Получены математические зависимости для определения взаимосвязи между конструктивными параметрами резцовой головки, режимами обработки и качеством обработанной поверхности. Показано, что в процессе обработки происходит периодическое резание, аналогичное фрезерованию. В результате осуществляется разделение стружки на отдельные фрагменты, а на обработанной поверхности образуется огранка. Определена высота выступов (огранка). Определена величина подачи на зуб S_z при скоростном фрезорастачивании. Получены зависимости величины огранки от числа зубьев резцовой головки, а также зависимость для определения количества режущих элементов, установленных в резцовой головке. Определены сила и мощность резания при фрезорастачивании.

Ключевые слова: вихревое растачивание, резцовая головка, определенность базирования, неопределенность базирования, частота вращения, подача на зуб, сила резания, величина огранки

EFFECT OF DESIGN PARAMETERS FOR THE HEADS REZTSOVA PERFORMANCE AND QUALITY IN VORTEX BORING

¹Oteniy Y.N., ²Muravoiv O.P., ³Tymenov T.N., ²Zhunusova A.S., ²Tkacheva Y.O.,
²Pleshakova E.A., ²Erahtina A.V.

¹Kamyshin Technological Institute (Branch of Volgograd State Technical University),
Kamyshin, e-mail: oteny3@rambler.ru;

²Karaganda state technical university, Karaganda, e-mail: olinis@mail.ru;

³LLP «InstrumentResurs», Karaganda, e-mail: iresurs@mail.ru

The paper discusses the influence of design parameters on the incisal heads productivity and quality of processing deep holes in the vortex boring. Considered two fundamentally different types of tools: with certainty and uncertainty-based missiles. The scheme of the vortex boring holes. The mathematical function to determine the relationship between the design parameters of the cutting head, modes of processing and the quality of the surface treated. It is shown that in the course of treatment takes place periodically cut, similar to milling. The mathematical function to determine the relationship between the design parameters of the cutting head, modes of processing and the quality of the surface treated. It is shown that in the course of treatment takes place periodically cut what is similar to milling. The result is the separation of fragments on the chip and the machined surface is formed on the cut. The height of the protrusions (cut). Determined by the value of feed per tooth at high speed boring. We obtain the dependence of the cut away from the number of teeth of the cutting head. Obtained the dependence for determining the number of cutting elements mounted in the cutting head. Determined by the strength and cutting power in boring mills.

Keywords: vortex boring, tool head, certainty based based, uncertainty based, rotational speed, feed per tooth, cutting force, the magnitude of cuts

Из всех разновидностей обработки деталей резанием наиболее сложной и трудоемкой является расточка глубоких отверстий. Глубокими принято считать отверстия, для которых отношение их длины к диаметру больше десяти. Трудоемкость обработки заключается в недостаточной жесткости системы инструмент – деталь, невозможности непосредственного контроля за процессом резания, низкой производительности, необходимости дробления стружки и удаления ее из зоны резания и отверстия, сложности подвода смазывающе-охлаждающей жид-

кости (СОЖ), обеспечения стабильности и точности обработки на всей длине отверстия в связи с наличием размерного износа.

Для расточки отверстий существуют принципиально два различных вида инструмента: с определенностью базирования и неопределенностью базирования (рис. 1а и рис. 1б). В первом случае при векторном сложении всех составляющих сил резания, действующих на отдельные режущие лезвия инструмента, результирующее усилие теоретически должно быть равно нулю (развертки, зенкера, сверла и т.д.). На практике за счет

различных отклонений, вызванных неточностью изготовления инструмента, неоднородностью материала детали, неравномерным припуском, приходящимся на каждое лезвие и т.п., возникает результирующая сила $R_{рез}$, равная векторной сумме составляющих сил резания R_p , действующих на каждое отдельное лезвие (см. рис. 1а). Величина и направление результирующего усилия является случайной величиной, что может привести

к вибрациям и возникновению волнистости после обработки. В инструментах с определенностью базирования (см. рис. 1б) результирующая сила, действующая в пределах угла $\psi_{шп}$ расположения направляющих шпонок, воспринимается и уравнивается этими шпонками, поэтому в данном случае обеспечивается лучшее базирование инструмента, лучшее качество обработки, меньший износ инструмента [2, 4].

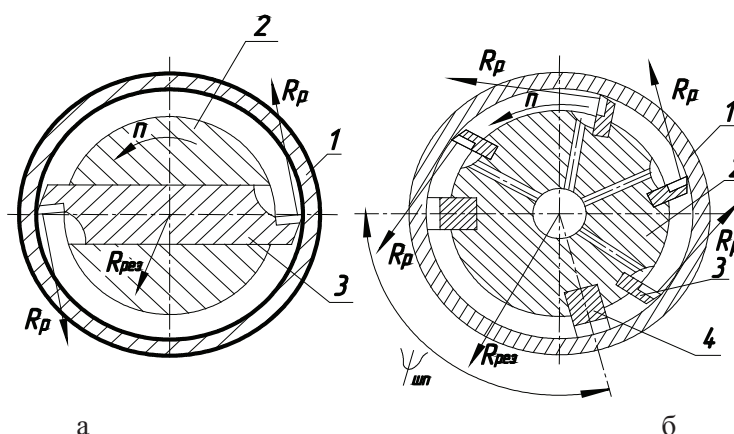


Рис. 1. Неуравновешенные инструменты с определенностью (а) и без определенности (б) базирования:

1 – обрабатываемая деталь; 2 – резцовая головка; 3 – резец; 4 – направляющая шпонка

Существует вихревое нарезание резьб с крупным модулем. Сущность данного метода заключается в том, что впадины зубьев вырезаются за один проход резцами, расположенными в резцовой головке, ось которой смещена относительно резьбы на некоторую величину. По аналогии с этим методом может осуществляться и срезание всего припуска при обработке отверстий за один проход, при этом величина подачи, количество резцов и их геометрические параметры должны находиться в соотношении, обеспечивающем полное удаление требуемого слоя [1].

Такую обработку можно отнести к методу, называемому скоростным фрезорастачиванием (рис. 2). Эта обработка может осуществляться по схеме с определенностью базирования. Обработка осуществляется вращающейся резцовой головкой 1, установленной в стебле 3 и содержащей несколько режущих элементов 2. Для поддержания непрерывности процесса резания деталь приводится во вращение с частотой n_d , а ось резцовой головки смещена относительно оси детали на некоторую величину δ . В результате смещения резцовой головки срез металла будет происходить в зоне резания, охваченной дугами, образующими заштрихованный сегмент 6. При обработке коротких отверстий и достаточно жесткого стебля направляющие шпонки могут отсутствовать.

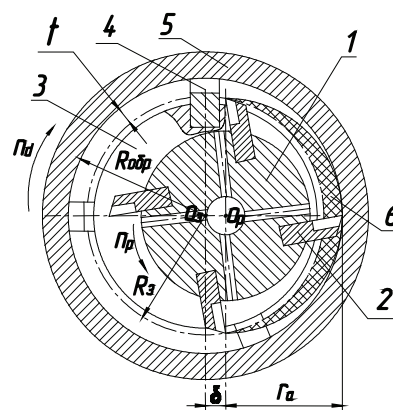


Рис. 2. Схема вихревого растачивания отверстий:

1 – резцовая головка; 2 – резец; 3 – стебель; 4 – направляющая шпонка; 5 – обрабатываемая деталь; 6 – сегмент срезаемой стружки

Ставится задача получения математических зависимостей для определения взаимосвязи между конструктивными параметрами резцовой головки, режимами обработки, производительностью и качеством обработанной поверхности.

Параметры зоны резания: полухорда a и углы ψ_d и ψ_n (рис. 3) при невращающейся детали вычисляются из равенств:

$$a' = \sqrt{R_3^2 - \left(\frac{2 \cdot R_3 \cdot t + t^2 - 2 \cdot R_3 \cdot \delta - 2 \cdot t \cdot \delta}{2 \cdot \delta} \right)^2}; (1)$$

$$\delta = R_3 - r_a; \quad (2)$$

$$R_3 = R_0 - t;$$

$$\psi'_d = 2 \cdot \arcsin \frac{a'}{R_3}; \quad (3)$$

$$\psi'_n = 2 \cdot \arcsin \frac{a'}{r_a},$$

где R_0 , R_3 , r_a – радиусы обработанного отверстия, заготовки и окружности, описываемой вершинами резцов режущей головки.

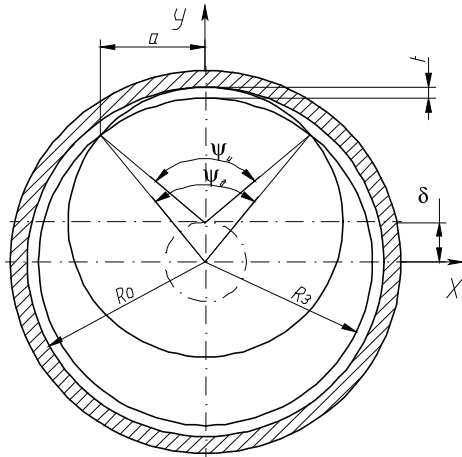


Рис. 3. Параметры зоны резания при вихревом растачивании отверстия

При частоте вращения резцовой головки n , время ее поворота, соответствующее углу ψ'_n можно вычислить из выражения.

$$\tau_n = \frac{\psi'_n}{60 \cdot n_n}. \quad (4)$$

За это время деталь повернется на угол

$$\xi = 60 \cdot \tau_{нд} \cdot n = \frac{\psi'_{нд} \cdot n}{n_n}, \quad (5)$$

в соответствии увеличивается и угол охвата зоны обработки на величину

$$\psi_d = \psi'_d + \xi = \psi \cdot \left(1 + \frac{n_d}{n_p} \right), \quad (6)$$

а также значение полухорды a' и угла ψ'_n .

$$a = R_3 \cdot \sin \psi_d; \quad (7)$$

$$\psi_n = \arcsin \frac{a}{r_a}. \quad (8)$$

Если в резцовой головке установлено z_n резцов, то их траектории движения будут смещены по дуге окружности обрабатываемого отверстия относительно друг друга на угол

$$\eta = \frac{\psi_{нд} \cdot n}{n_n \cdot z_n} = \frac{2 \cdot \arcsin \left(\frac{a}{r_a} \right) \cdot n_d}{n_n \cdot z_n}. \quad (9)$$

В процессе обработки происходит периодическое резание, аналогичное фрезерованию. В результате осуществляется разделение стружки на отдельные фрагменты, а на обработанной поверхности образуются выступы (огранка) в виде заштрихованного сегмента (рис. 4). Задачей является минимизация высоты выступов в зависимости от предъявляемых требований по точности и шероховатости. Высота выступов может быть вычислена по формуле:

$$h_b = R_0 - \delta \cdot \cos \left(\frac{\eta}{2} \right) - \sqrt{r_a^2 - \delta^2 \cdot \sin^2 \left(\frac{\eta}{2} \right)}, \quad (10)$$

где R_0 – радиус обработанного отверстия.

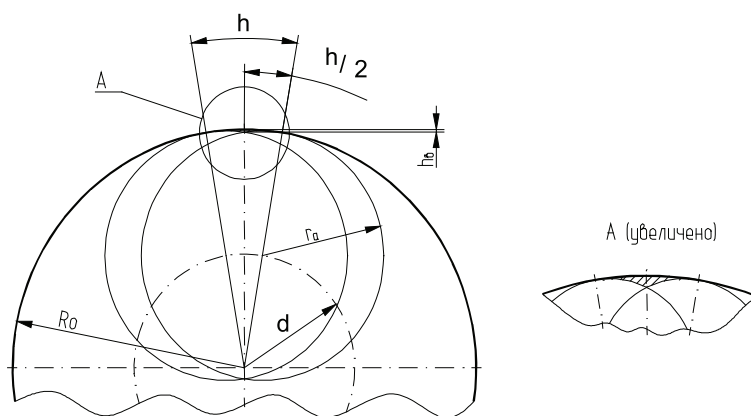


Рис. 4. Огранка отверстия

Формулы (9) и (10) показывают, что с уменьшением угла η и смещения резцовой головки δ высота огранки уменьшается, а от глубины резания она не зависит. Действительно, полагая в формуле (10) по отдельности $\delta \rightarrow 0$ или $\eta \rightarrow 0$, получим $h_b \rightarrow 0$.

Для примера на графике, приведенном на рис. 5, показаны зависимости изменения высоты огранки для конкретных случаев обработки, из которых видно, что скоростное фрезерообработка может применяться и для чистового растачивания.

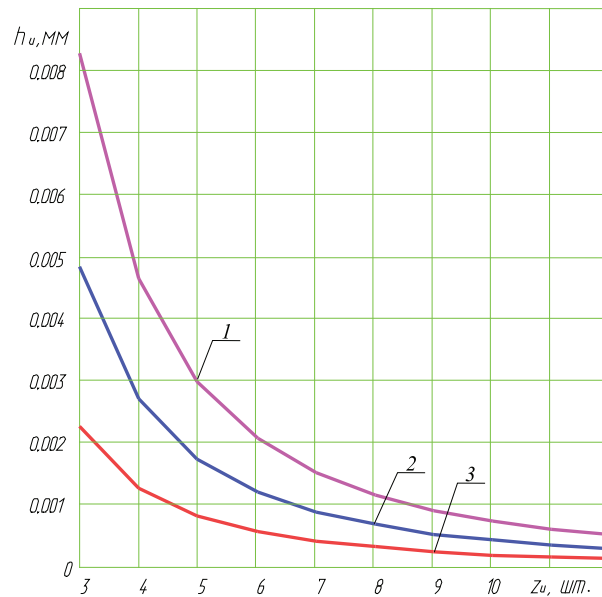


Рис. 5. Зависимость величины огранки от числа зубьев режущего инструмента ($n_u = 150 \text{ мин}^{-1}$, $n_o = 20 \text{ мин}^{-1}$, $t = 5 \text{ мм}$, $R_o = 125 \text{ мм}$):
1 – $\delta = 10 \text{ мм}$; 2 – $\delta = 9 \text{ мм}$; 3 – $\delta = 7 \text{ мм}$

Ограничениями, накладываемыми на выбор конструктивных параметров резцовой головки (диаметр, количество зубьев, длина их режущих кромок в осевом направлении), являются взаимосвязанные между собой максимально возможная производительность, предельно допустимая сила резания или мощность резания, шероховатость обработанной поверхности [3]. Все эти величины, в конечном итоге, определяются допустимой подачей на

зуб. Поэтому возникает вопрос: какой геометрический параметр при скоростном фрезероистачивании считать подачей на зуб, при чем выбор его должен быть таким, чтобы стало возможным использовать расчетные формулы, применяемые при обычном фрезеровании. С целью выяснения этого вопроса совместим на одном и том же чертеже два вида обработки – фрезерование плоской детали 1 и отверстия детали 2 (рис. 6).

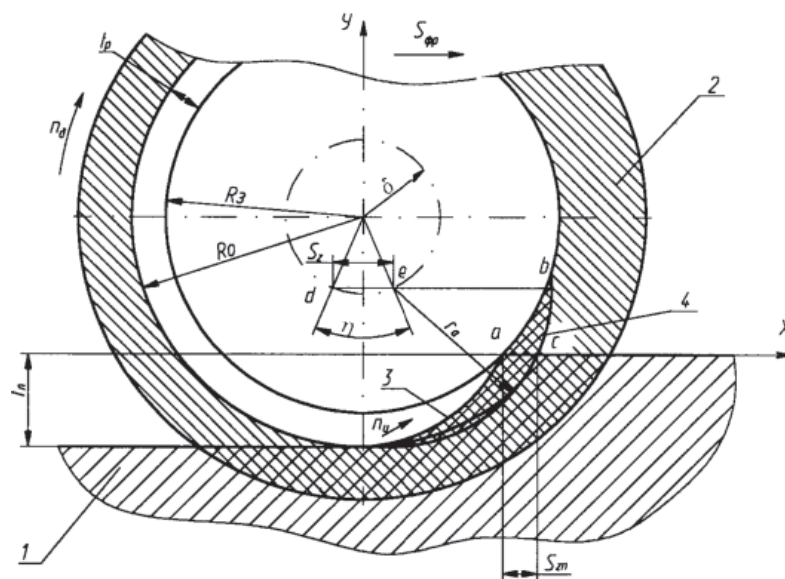


Рис. 6. Схема для определения подачи на зуб при фрезероистачивании:
1 – плоская деталь; 2 – отверстие детали; 3 – слой металла, снимаемый при фрезеровании;
4 – дополнительный слой металла, срезаемый при фрезероистачивании

В источнике [5] предлагают в качестве подачи на зуб применять значение дуги ab . Из рис. 6 видно, что при вращении оси резцовой головки по окружности с радиусом δ относительно обрабатываемого отверстия она переместится в направлении оси X за время поворота на угол η на расстояние de . Очевидно эта величина будет равна подаче на зуб:

$$de = S_z = 2 \cdot \delta \cdot \sin\left(\frac{\eta}{2}\right), \quad (11)$$

откуда, принимая во внимание значение η , из формулы (7) получим зависимость для вычисления количества режущих элементов, установленных в резцовой головке

$$z_p = \frac{\psi'_{ид} \cdot n}{n_i \cdot \arcsin\left(\frac{S_z}{2 \cdot \delta}\right)}. \quad (12)$$

Как видно из выражения (11), подача на зуб не зависит от скорости вращения резцовой головки и детали, а только от их соотношения.

Одновременно с этим, между обычным фрезерованием и фрезерастачиванием имеется различие, заключающееся в том, что при фрезерастачивании срезается дополнительный слой металла, ограниченный дугами ab , cb и отрезком прямой ac , следовательно сила резания тоже будет несколько большей. Величину поправки на увеличение силы резания можно оценить следующим образом. Предполагаем, что отношение хорды дуги ac к дуге $асlob$ можно приближенно оценить по формуле:

$$k = \frac{2 \cdot R_3 \cdot \sin\left(\frac{\eta}{2}\right)}{a}. \quad (13)$$

Тогда в качестве поправки в формуле для вычисления силы резания при фрезеровании примем величину:

$$k_p = 1 + k = 1 + \frac{2 \cdot R_3 \cdot \sin\left(\frac{\eta}{2}\right)}{a}. \quad (14)$$

Таким образом, сила резания при фрезерастачивании примет вид:

$$P_z = \frac{10 \cdot k_p \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z_p}{d_a^q \cdot n_u^w}. \quad (15)$$

Мощность фрезерастачивания:

$$N = P_z \cdot v_{окр}. \quad (16)$$

Список литературы

1. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Чистовая и упрочняющая обработка поверхностей. – Минск: Высшая школа, 1968. – 363 с.
2. Минков М.А. Технология изготовления глубоких точных отверстий. – М.: Л.: Машиностроение, 1968. – 183 с.
3. Ординарцев И.А., Филиппов Г.В., Шевченко А.Н., и др.; под. общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.
4. Металлорежущие инструменты / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
5. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

References

1. *Finish and hardening treatment of surfaces*. E.G. Konovalov, V.A. Sidorenko – Minsk: High school, 1968. 363 p.
2. *Manufacturing technology of deep precision holes*. M.A. Minkov – M.: L.: Mechanical engineering, 1968. 183 p.
3. *Toolsmith catalog*. I.A. Ordinarstev, G.V. Filippov, A.N. Shevchenko, edited by I.A. Ordinarsteva. L.: Mechanical engineering, 1987. 846 p.
4. *Metalcutting tools*. G.N. Saharov, O.B. Arbuzov, U.L. Borovoi et al. M.: Mechanical engineering, 1989. 328 p.
5. *The quality of the surface layer of machine parts*. A.G. Suslov. M.: Engineer, 2000. 320 p.

Рецензенты:

Туменов С.Н., д.т.н., профессор, проректор по науке и инновационным технологиям, Алматинский технологический университет, г. Алматы.

Кенжин Б.М., д.т.н., профессор, директор ТОО «Карагандинский машиностроительный консорциум», г. Караганда.

Работа поступила в редакцию 05.03.2012.