

Разумов М. С. /к. т. н./, Сидорова В. В.,
Гречухин А. Н. /к. т. н./

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»

Автоматизированное средство управления технологическими параметрами при сверлении с наложением вибраций

В статье рассмотрена новая конструкция вибросверлильного привода отличающаяся высокой технологичностью и универсальностью. Определен диапазон допустимых усилий вибрации. Получена формула для определения расстояния между магнитами в зависимости от усилия вибрации, позволяющая автоматизировать расчет настройки предложенного устройства. Ил. 5. Библиогр.: 4 назв.

Ключевые слова: *вибрационное сверление, обработка отверстий малого диаметра*

New construction of vibro-drilling drive, which differs with its high processibility and universality, is considered in the article. The range of allowable vibration force is determined. The formula for obtaining the distance between magnets depending on the vibration force is obtained. The formula allows to automate analysis of adjustment of suggested equipment.

Keywords: *vibrational drilling, processing of pinholes*

Многие детали, применяемые в машинах и механизмах различного назначения, содержат отверстия. Они применяются буквально во всех отраслях промышленности. Для достижения требуемой точности и получения заданного качества поверхностного слоя обработку производят за несколько проходов, что снижает производительность. Улучшений можно достичь увеличением подачи, скорости и глубины резания.

Однако назначение повышенных скоростей глубины и подачи резания приводит к преждевременной поломке инструмента в силу его недостаточной прочности. Так как в ближайшее время создание новых инструментальных материалов, имеющих повышенную износостойкость и прочность маловероятно, то необходимо применять другие методы повышения производительности. К ним относится выбор новых или применение известных схем резания для технологических операций, где они ранее не применялись. Таким образом, проведение теоретических и экспериментальных исследований в области обработки сверлением с наложением вибраций являются актуальными [1].

Для обеспечения прерывания процесса резания необходимо, чтобы амплитуда осевых колебаний превышала подачу при сверлении. Частота колебаний влияет на количество прерыва-

ний процесса резания при сверлении. Прерывание процесса также снижает температуру в области контакта срезаемого слоя и режущих кромок инструмента и обеспечивает более качественный подвод смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания.

С другой стороны, циклическое нагружение инструмента вызывает усталостное разрушение участков материала инструмента, находящегося в контакте с изделием и сходящей стружкой [2].

Таким образом, наложение осевых вибраций может значительно повысить производительность сверления в заготовках из титановых сплавов, однако следует учитывать при расчете на прочность осевого инструмента циклические нагрузки, которые существенно влияют на стойкость инструмента. В связи с чем требуется разработать новые методики для расчета на прочность.

На кафедре машиностроительных технологий и оборудования Юго-Западного государственного университета разработано устройство для вибрационного сверления.

Сущность работы спроектированного устройства поясняется на рис. 1, на котором показано устройство для вибрационного сверления в разрезе.

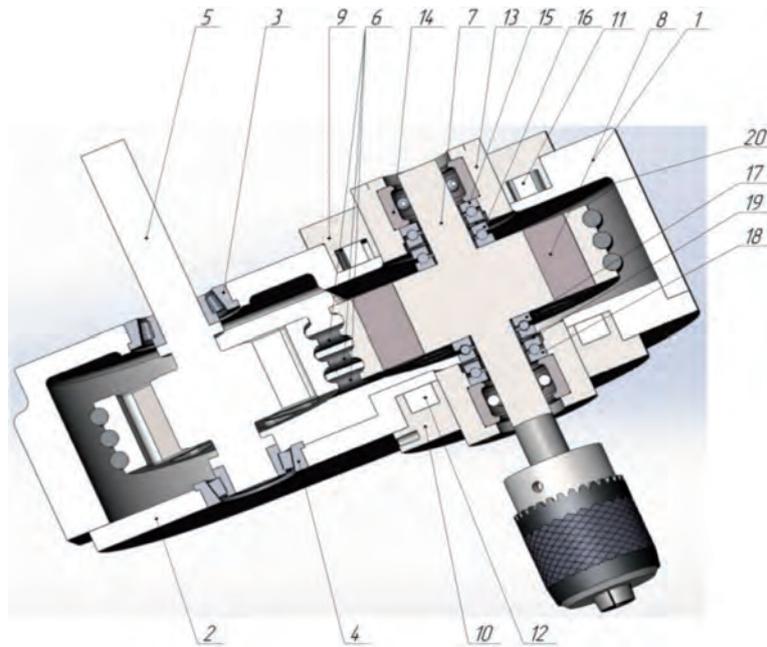


Рис. 1. Устройство для вибрационного сверления:

1 – корпус; 2 – крышка корпуса; 3, 4 – подшипники; 5 – входной вал; 6 – гибкая связь; 7 – выходной вал; 8 – магниты; 9, 10 – магнитные корпуса; 11, 12 – магниты; 13 – гайка; 14 – подшипник; 15, 16, 17, 18 – упорные подшипники; 19, 20 – пружины

Устройство содержит корпус 1 и крышку корпуса 2, в которых посредством подшипников 3, 4 закреплен входной вал 5. Вращение с входного вала посредством гибкой связи 6 передается на выходной вал 7, на котором расположены магниты 8. При вращении выходного вала магниты взаимодействуют с расположенными в магнитных корпусах 9, 10 магнитами 11, установленными таким образом, чтобы соблюдалась обратная полярность относительно магнитов 8 расположенных в выходном валу 7. В процессе взаимодействия создаются вибрации, частота которых определяется количеством магнитов 8 в выходном валу 7 и магнитов 11 в магнитных корпусах 9, 10.

Усилие вибрации регулируется расстоянием между магнитами 8 выходного вала 7 и магнитами 11, 12, расположенными в корпусах магнитов 9, 10, регулирующимися посредством резьбы на корпусе 1 и крышке корпуса 2 устройство для вибрационного сверления, и магнитных корпусах 9, 10. Амплитуда вибрации ограничивается регулировочной гайкой 13, в которой находится подшипник 14 с возможностью осевого перемещения. Между регулировочной гайкой 13 и выходным валом 7 находятся упорные подшипники 15, 16, 17, 18, между которыми находятся пружины 19, 20 для гашения ударов между выходным валом 7 и регулировочной гайкой 13.

Таким образом, наложение осевых вибраций может значительно повысить производительность сверления в заготовках из титановых

сплавов, однако следует учитывать при расчете на прочность осевого инструмента циклические нагрузки, которые существенно влияют на стойкость инструмента. В связи с чем требуется рассмотреть вопросы назначения режимов вибраций при сверлении [3], основополагающим параметром при этом является сила наложенных осевых вибраций инструмента, которую возможно определить как разность между критической силой сверла и осевой силой резания.

Анализ методов расчета металлорежущего инструмента на жесткость при сверлении показал, что для расчета критической силы сверла целесообразно применять зависимость.

$$[P]_o = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{\min}}{(\mu \cdot l_{\theta c})^2}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент приведения длины; $l_{\theta c}$ – длина вылета сверла, мм; E – модуль упругости материала сверла, Н/мм²; J_{\min} – минимальный момент инерции сечения сверла, мм⁴. По данной зависимости была определена критическая осевая сила при сверлении для различных диаметров сверл.

Согласно источнику [4], осевая сила резания при сверлении определяется зависимостью:

$$P_{кр} = C_p \cdot D^{q_p} \cdot S^{y_p} \cdot k_p, \quad (2)$$

где C_p, q_p, y_p – коэффициенты и показатели степени для вычисления осевой силы при сверлении и рассверливании; D – диаметр сверла, мм; S – среднее значение подачи инструмента,

мм/об.; k_p – поправочный коэффициент, учитывающий влияние механических свойств материала на силу резания.

Графики зависимостей критической силы и осевой силы при сверлении представлены на рис. 2, 3. Для удобства представления результатов исследований, диапазон диаметров сверл разбит на 2 части (1-5 мм) (5-20 мм).

Таким образом, получен диапазон и максимальное значение допустимых усилий вибраций.

Проведенный расчет позволит осуществить выбор силовых параметров при вибрационном сверлении, с учетом жесткости осевого инструмента.

Знание формы и намагниченности постоянного магнита позволяет для расчетов заменить его эквивалентной системой электрических токов намагничивания. Такая замена возможна как при расчете характеристик магнитного поля, так и при расчетах сил, действующих на магнит со стороны внешнего поля.

Схема взаимодействия постоянных магнитов приведена на рис. 4.

Проведем расчет силы взаимодействия двух постоянных магнитов. Пусть магниты имеют форму цилиндра, их радиусы обозначим r_1 и

r_2 , толщины h_1, h_2 , оси магнитов совпадают, расстояние между магнитами обозначим z , считаем, что оно значительно больше размеров магнитов.

Возникновение силы взаимодействия между магнитами объясняется традиционным способом: один магнит создает магнитное поле, которое воздействует на второй магнит.

Для расчета силы взаимодействия мысленно заменим магниты с однородной намагниченностью J_1 и J_2 круговыми токами, текущими по боковой поверхности цилиндров.

Силы этих токов выразим через намагниченности магнитов, а их радиусы будем считать равными радиусам магнитов.

$$I_{1,2} = J_{1,2} \cdot h_{1,2}. \quad (3)$$

Разложим вектор индукции \vec{B} магнитного поля, создаваемого первым магнитом в месте расположения второго, на две составляющие: осевую \vec{B}_z , направленную вдоль оси магнита, и радиальную \vec{B}_r – перпендикулярную ей.

Для вычисления суммарной силы, действующей на кольцо, необходимо разбить его на малые элементы $l\Delta l$ и просуммировать силы Ампера, действующие на каждые такой элемент.

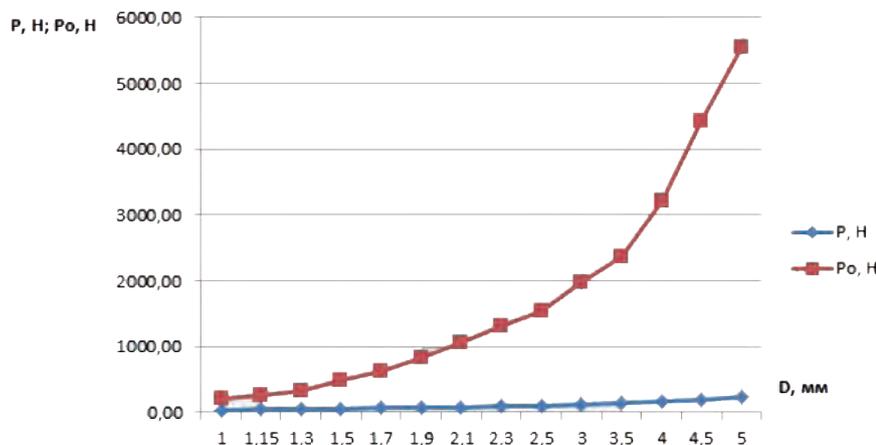


Рис. 2. График зависимости критической и осевой сил для сверл диаметром от 1 до 5 мм при сверлении: P – критическая сила при сверлении; Po – осевая сила при сверлении

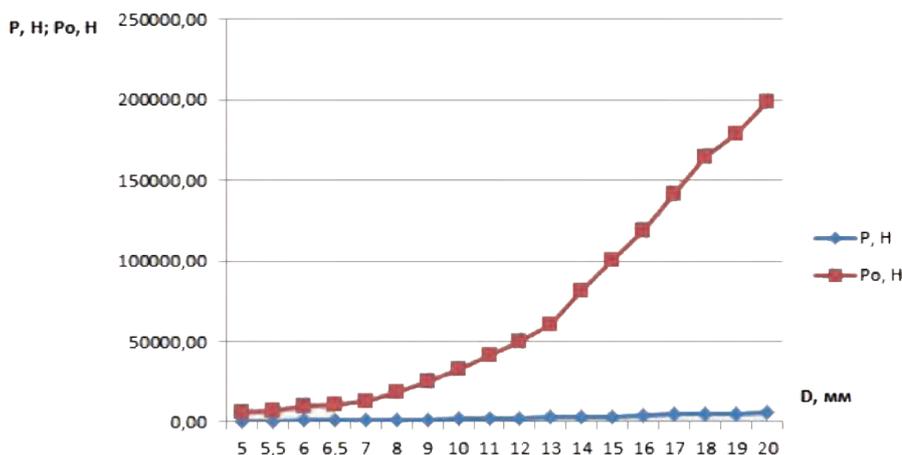


Рис. 3. График зависимости критической и осевой сил для сверл диаметром от 5 до 20 мм при сверлении: P – критическая сила при сверлении; Po – осевая сила при сверлении

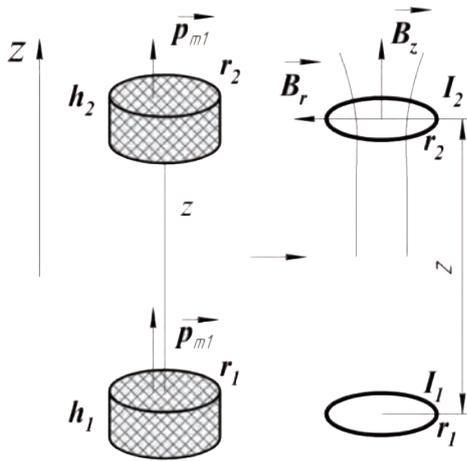


Рис. 4. Схема взаимодействия постоянных магнитов

Так как рассматриваемая система обладает осевой симметрией, то модуль радиальной составляющей постоянен во всех точках кольцевого тока второго магнита. Следовательно, проекция силы, действующей на второй магнит, с учетом правила левой руки, определяется формулой:

$$F = -I_2 \cdot B_r \cdot l = -I_2 \cdot B_r \cdot 2\pi \cdot r^2. \quad (4)$$

Положительное направление силы соответствует притяжению магнитов, положительное направление тока традиционно – против часовой стрелки.

Магнитное поле, создаваемое первым магнитом, эквивалентно полю кругового тока, закон Био-Саварра-Лапласа и принцип суперпозиции позволяют рассчитать индукцию магнитного поля \vec{B} , создаваемого произвольной системой электрических токов, в произвольной точке

пространства. В рамках сделанных приближений ($z \ll r, h$), осевая составляющая поля определяется формулой

$$B_z = \frac{\mu_0 \cdot p_{m1}}{2\pi \cdot (r^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (5)$$

где $p_{m1} = I_1 \cdot S_1 = J_1 \cdot h_1 \cdot \pi \cdot r_1^2 = J_1 \cdot V_1$ – магнитный момент первого магнита; V – объем магнита, m^3 ; μ_0 – магнитная постоянная.

Радиальную составляющую поля находим с помощью знаний о магнитном потоке, в месте расположения второго кругового контура по формуле

$$B_r = -\frac{r_2}{2} \cdot \frac{\Delta B_z}{\Delta z} = \frac{\mu_0 \cdot p_{m1}}{4\pi \cdot z \cdot (r^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot r_2. \quad (6)$$

Подставляя выражение для радиальной составляющей поля получим формулу для вычисления силы взаимодействия двух магнитов в рассматриваемом случае

$$F = -I_2 \cdot 2\pi \cdot r_2 \cdot B_r = \frac{\mu_0 \cdot p_{m1} \cdot p_{m2}}{2\pi \cdot z \cdot (r^2 + z^2)^2}, \quad (7)$$

где $p_{m2} = I_2 \cdot S_2 = J_2 \cdot h_2 \cdot \pi \cdot r_2^2 = J_2 \cdot V_2$ – магнитный момент второго магнита.

Математические выкладки, приведенные в данной статье, позволили автоматизировать расчет параметров настройки устройства с целью обеспечения условий формообразования отверстий с наложением вибраций. Скриншот окна программы, позволяющей произвести расчет технологических параметров при сверлении с наложением вибраций, представлен на рис. 5.

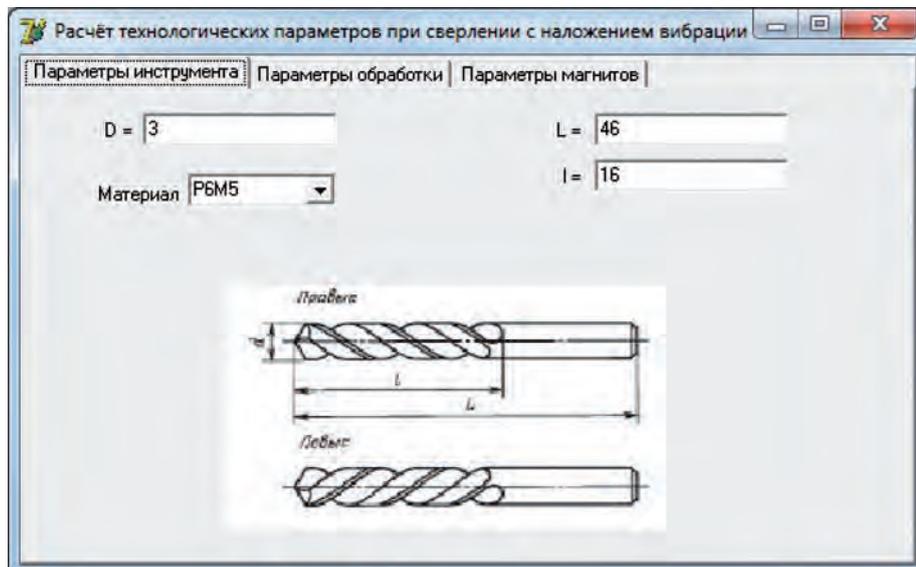


Рис. 5. Схема взаимодействия постоянных магнитов

В первом диалоговом окне вводятся параметры режущего инструмента. Далее вводятся параметры обработки. В третьем диалоговом окне вводятся параметры магнитов, после чего становится активной операция расчета, для получения результирующих данных.

Выводы

В статье рассмотрена новая конструкция вибросверлильного привода отличающаяся высокой технологичностью и универсальностью, что позволит снизить количество проходов при сверлении, и повысить производительность на 10-15 %. Определен диапазон допустимых осевых усилий вибрации с целью обеспечения рациональных параметров резания. Получена формула для определения расстояния между магнитами в зависимости от усилия вибрации позволяющая автоматизировать расчет настройки предложенного устройства, что позволит сократить временные затраты на технологическую подготовку операции сверления.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта президента РФ для государственной

поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-2653.2014.8.

Библиографический список

1. Отений Я. Н., Смольников Н. Я., Ольштынский Н. В. Прогрессивные методы обработки глубоких отверстий. – Волгоград: РПК Политехник, 2003.
2. Maslennikov A. V., Chevychelov S. A., Golubev I. G. Rear angle of a helical bit in hole shaping with axial vibration, Russian Engineering Research. – 2013. – Т. 33. – № 5. – P. 295-298.
3. Сидорова В. В. Анализ методов расчета металлорежущего инструмента на жесткость при сверлении, Молодые ученые – основа будущего машиностроения и строительства. – Курск, 2014. – С. 323-326.
4. Малов А. Н. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах. Том 2. – М.: Машиностроение, 1972. – 435 с.

Поступила 15.01.2015

