

В.М. ПЕСТУНОВ, к. т. н., профессор Кировоградского национального технического университета,

В.В. СВЯЦКИЙ, к. т. н., доцент Кировоградского национального технического университета,

СВЯЦКАЯ Л.П., инженер Кировоградского национального технического университета

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ В МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

В статье рассмотрены способы и методы оптимизации обработки глубоких отверстий малых диаметров по критериям устойчивости и производительности процесса.

Обработка глубоких отверстий является трудоемкой технологической операцией. При обработке глубоких отверстий кроме погрешностей, характерных для любой операции обработки резанием, возникают специфические дефекты, связанные с особенностями конструкции инструмента и большой длиной отверстия. В монографиях М.А. Минкова [1] и Н.Д. Троицкого [2] дан обзор основных технологических операций обработки точных глубоких отверстий больших диаметров. Обработке отверстий малых диаметров посвящена работа В.А. Астафьева [3]. Вопросы применения различного вида колебаний инструмента при глубоком сверлении отражены в работе [4].

На практике сверление глубоких отверстий малых диаметров в труднообрабатываемых материалах представляет немалую проблему. Трудность возрастает с увеличением глубины отверстий и повышением физико-механических свойств обрабатываемого материала. Это объясняется увеличением сил, действующих на нежесткий инструмент в процессе обработки, приводящих к возникновению колебаний, которые, в свою очередь, снижают стойкость инструмента. Необходимость работы на малых подачах, определяемых жесткостью и устойчивостью стебля сверла, приводит к тому, что период стойкости инструмента становится соизмеримым со временем обработки одного отверстия.

Целью данного исследования является разработка алгоритма оптимизации обработки глубоких отверстий по критерию устойчивости и производительности процесса.

Основным звеном технологической системы, ограничивающим выходные характеристики процесса глубокого сверления отверстий является, инструмент. Поэтому решение проблемы повышения производительности и увеличения предельной глубины сверления тесно связано с рациональным выбором параметров сверла и условий его эксплуатации. Улучшение условий эксплуатации инструмента чаще всего

сводится к устранению определенных технических ограничений процесса обработки материала или расширению допустимой области использования инструмента. В качестве целевой функции оценки возможностей элементов технологической системы может быть принята производительность процесса глубокого сверления [5]:

$$Q = \frac{V \cdot S \cdot d \cdot T}{2 \cdot (T + t_{\text{см}})},$$

где V, S, d – величины скорости, подачи и диаметра сверления, соответственно; T – стойкость сверла; $t_{\text{см}}$ – время смены инструмента, мин.

Для повышения производительности процесса сверления, ограничиваемого стойкостью инструмента, необходимо вести обработку с максимально допустимой величиной подачи, которая, в свою очередь, ограничена прочностью и продольной устойчивостью сверла. Подача сверления, допускаемая прочностью рабочей части сверла, может быть определена по формуле [6]:

$$S = \sqrt{\frac{0,02 \cdot d^{3-XM} \cdot \sigma_{\text{в}}}{1,73 \cdot C_M \cdot HB^{HM}}},$$

где $\sigma_{\text{в}}$ – допустимое напряжение для материала инструмента; C_M, XM, HM – постоянные коэффициенты, зависящие от механических свойств обрабатываемого материала режущей части сверла; HB – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю.

Подача сверления, допускаемая продольной устойчивостью сверла, может быть определена по формуле [6]:

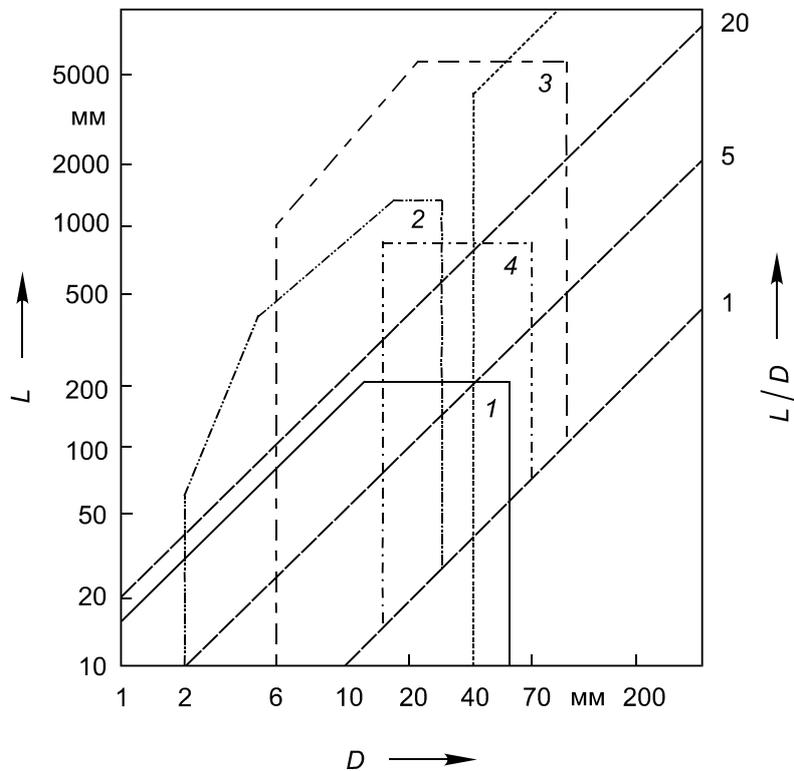
$$S \leq \frac{B_y \cdot \pi^2 \cdot \eta}{(\mu \cdot l_1)^2 \cdot C_p \cdot d^{XP} \cdot HB^{NP}}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент устойчивости; B_y – наименьшая жесткость поперечного сечения сверла коэффициент приведения длины; l_1 – длина исследуемого участка сверла; C_p – постоянный коэффициент, зависящие от механических свойств обрабатываемого материала режущей части сверла; XP, NP – показатели степени.

Из формулы (1) следует, что с увеличением глубины сверления допускаемую подачу по условиям устойчивости сверла следует уменьшить, однако, уменьшение подачи ведет к снижению производительности процесса и имеет предел, определяемый технологическими условиями резания. Соответственно, глубина сверления определяется устойчивостью сверла и не может быть увеличена снижением подачи. Это ограничивает предельные возможности глубокого сверления, как по производительности, так и по глубине сверления.

Снижение критической силы резания с ростом глубины сверления и наличие минимального значения осевой составляющей силы резания указывает на то, что существует предельная глубина сверления. Обработка отверстий с глубиной сверления близкой к предельной мало производительна.

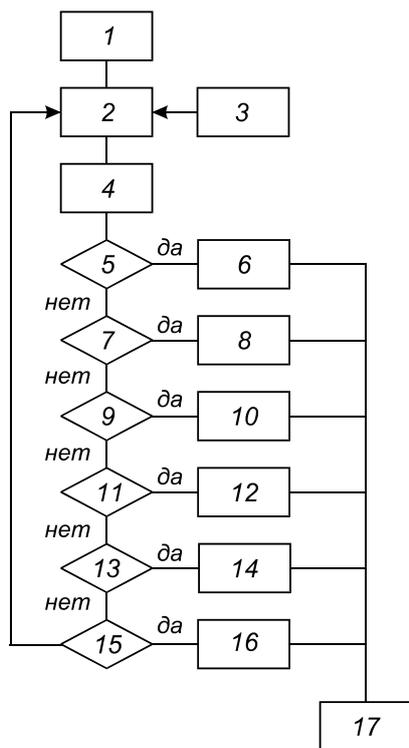
Наличие перечисленных ограничений по прочности, устойчивости инструмента и минимальному значению допустимой подачи сверления определяет область возможного выбора допустимых параметров элементов технологической системы. Теория и практика глубокого сверления дает некоторые рекомендации экономической целесообразности тех или иных способов глубокого сверления (рис. 1). Разумеется, что эти рекомендации в определенной степени условны, а их границы расплывчаты и в каждом конкретном случае могут быть сдвинуты в ту или иную сторону.



- 1 – область возможной обработки спиральными сверлами;
- 2 – область обработки ружейными сверлами; 3 – область обработки сверлами с внутренним отводом стружки; 4 – инжекторное сверление;
- 5 – рассверливание

Рисунок 1 – Номограмма для определения экономической эффективности способов глубокого сверления (L – глубина сверления, D – диаметр сверления)

В соответствии со схемой (рис. 1) разработан алгоритм (рис. 2) решения проблем глубокого сверления.



1. Необходимые данные.
2. Формулировка задачи.
3. Известные методы решения проблемы.
4. Уточнение вариантов решения поставленной задачи.
5. Оценка возможности решения задачи простейшими средствами (сверление спиральными сверлами).
6. Выбор условий и оптимизация параметров.
7. Оценка возможности сверления ружейными сверлами.
8. Выбор условий и оптимизации параметров.
9. Оценка возможности сверления сверлами с внутренним отводом стружки.
10. Выбор условий и оптимизации параметров.
11. Оценка возможности сверления инжекторными сверлами.
12. Выбор условий и оптимизация параметров.
13. Оценка возможности сверления с рассверливанием.
14. Выбор условий и оптимизация параметров.
15. Оценка возможности использования комбинированных методов.
16. Выбор условий и оптимизации параметров.
17. Разработка технологического процесса глубокого сверления, внедрение в производстве.

Рисунок 2

Ниже рассмотрены примеры методов оптимизации различных способов сверления, повышающих эффективность процесса.

Повышение эффективности глубокого сверления спиральными сверлами может осуществляться двумя путями: повышением жесткости установки и закрепления сверла или изменением положения сверла в пространстве. На рис. 3 показана схема решения проблемы повышения продольной устойчивости спиральных сверл при глубоком сверлении [7].

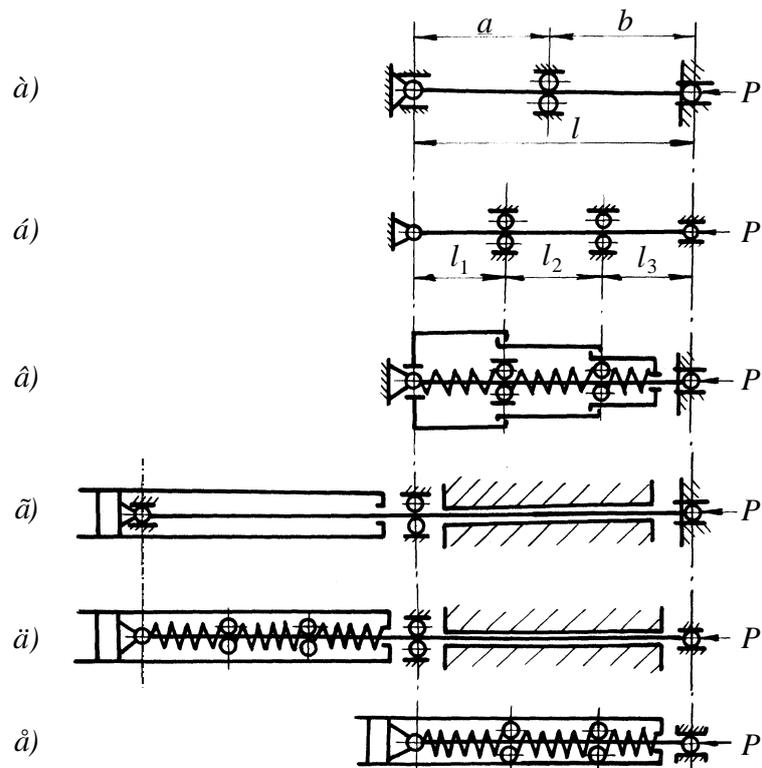


Рисунок 3 – Схема решения проблемы повышения продольной устойчивости спиральных сверл при глубоком сверлении

На рис. 3, а показана схема установки сверла с одной промежуточной опорой, разделяющей длину l на участки a и b . Это повышает продольную устойчивость сверла. Однако по мере заглубления сверла изменяется не только величина вылета сверла, но и соотношение a к b . Для получения максимальной жесткости на всем протяжении обработки соотношение a к b также целесообразно менять, однако это усложняет систему.

Эта задача не решается и в схеме (рис. 3, б), хотя технологические возможности по допустимой глубине сверления увеличивается. Схема (рис. 3, в) обеспечивает равномерное изменение расстояния между опорами по мере заглубления сверла, однако наличие пружин и промежуточных опор увеличивает общий вылет сверла в сравнении с глубиной сверления.

Дальнейшее повышение продольной устойчивости и жесткости обеспечивает схема (рис. 3, г). В этой схеме шток гидропривода подачи непосредственно соединен со сверлом. А так как жесткость штока всегда выше жесткости сверла при равных диаметрах, то схема обеспечивает повышение жесткости и в конечном итоге повышает эффективность процесса глубокого сверления. Схема (рис. 3, д) обеспечивает дальнейшее повышение жесткости и эффективности сверления, а схема (рис.3, е) к тому же и сокращает примерно вдвое осевой габарит привода подачи [8].

Разработанная по схеме рис. 3, е конструкция [9] показана на рис. 4. В корпусе 15 на подшипниках установлен шпиндель 13, связанный с валом 14 привода вращения. Шпиндель 13 со втулкой 2 и поршнем 11 образуют поршневую пару гидропривода подачи. Шпиндель 13 с поршнем 11 и крышкой 10 соединены двумя стержнями 3. В крышке 8 установлен вращающийся уплотнитель 7.

В процессе обработки заготовки 9 инструментом 4, закрепленном в поршне шпинделя 13 и удерживаемым фиксирующим механизмом 16–17–18, поступающее от распределителя 1 масло через клапан 12 перемещает поршень 11. По мере заглубления сверла в заготовку 9 сжимаются пружины 6, удерживая промежуточные опоры 5 сверла 4 на одинаковом расстоянии. Возвращение инструмента в исходное положение осуществляется пружинами 6.

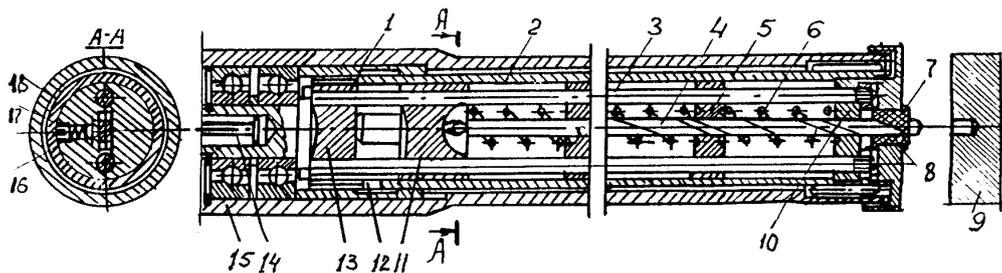


Рисунок 4

В соответствии с алгоритмом (рис. 2) оптимизация процессов глубокого сверления спиральными и другими сверлами может осуществляться путем выбора пространственного расположения инструмента и заготовки.

На рис. 5, а показана модульная система привода для глубокого сверления, позволяющая в широком диапазоне изменять параметры обработки [10]. На поворотной вокруг горизонтальной оси планшайбе 1 установлена шпиндельная бабка 2 и силовая заготовка 7. В процессе обработки шпиндельная бабка сообщает вращение заготовке, а гидравлическая схема, состоящая из насоса 6 распределителя 5, дросселя 4 и гидроцилиндра 3, сообщает шпиндельной бабке 2 полный цикл возвратно-поступательных движений. Силовая головка 7 может осуществлять вращение и передавать осевые колебания инструменту.

Проведенные нами исследования процесса сверления заготовок из стали и чугуна (рис. 5, б), показали, что при повороте планшайбы 1 на 180° (переход от сверления сверху к сверлению снизу при одних и тех же условиях обработки) крутящий момент нагрузки на спиральное сверло уменьшается в три раза при обработке стали (кривая 1), при обработке чугуна в два раза (кривая 2).

Таким образом, изменение направления сверления позволяет повысить эффективность процесса обработки. При переходе от сверления сверху к сверлению снизу спиральными сверлами возникает проблема подвода СОТС в зону обработки. Эту

проблему решает конструкция, показанная на рис. 6. На корпусе 1, закрепленном в шпинделе станка установлена муфта 8 связанная с системой подачи СОТС под давлением. Отверстие муфты 8 связано с полостью 2, закрытой уплотнителями 6–7–10. Полость 2 через спиральные клапаны сверла 3 соединена с режущей частью сверла. Сверло 3 с помощью цангового зажима 4–5 закреплено в корпусе 1. Таким образом, в процессе обработки система подвода СОТС обеспечивает охлаждение режущей части сверла при любом его расположении в пространстве.

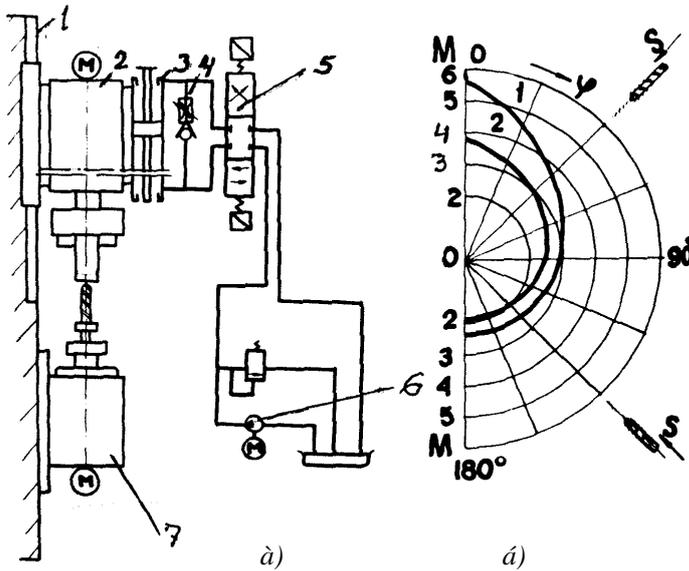


Рисунок 5

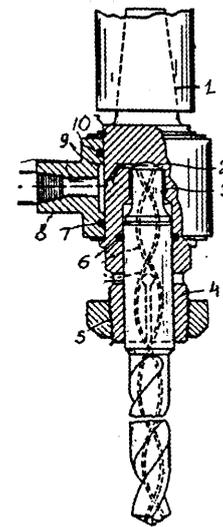


Рисунок 6

Примеры решения возможностей сверления другими типами сверл и методов оптимизации их использования в соответствии с алгоритмом (рис. 2) диаграммой (рис. 1) будут рассмотрены в дальнейших публикациях.

Выводы:

1. В статье рассмотрены методы оптимизации различных способов глубокого сверления спиральными сверлами за счет повышения жесткости установки и закрепления сверла и изменения пространственного положения сверла.
2. Рассмотренные технологические схемы позволяют повысить эффективность процесса сверления глубоких отверстий путем повышения устойчивости и надежности обработки.

Список литературы:

1. Минков М.А. Технология изготовления глубоких точных отверстий. – М.: Машиностроение, 1965.
2. Троицкий Н.Д. Глубокое сверление. – М.: Машиностроение, 1971.
3. Остафьев В.А., Пономаренко А.И. Обработка точных отверстий в приборостроении. – К.: Техника, 1972.
4. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение, 1974.
5. Корытин А.М., Шапарев Н.К. Оптимизация управления металлорежущими станками. – М.: Машиностроение, 1974.
6. Лещинский Л.Ю. Оптимизация операций глубокого сверления // Станки и инструмент. – 1971. – №10.
7. Подураев В.Н., Сабельников В.В. Динамическая устойчивость стебля инструмента при обычном и вибрационном сверлении глубоких отверстий // Изв. Вузов. машиностроение. – 1966. – №11.
8. Омштык М.Г. Исследование предохранительного устройства по крутящему моменту к станкам для глубокого сверления // совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков. – Ижевск, – 1968.
9. А.с. №515626 (СССР). Силовая головка / Пестунов В.М., Крыжановский В.А. – Оpubл. 30.05.76. – Бюлл. №20.
10. А.с. №622628 (СССР). Станок для вибрационной обработки / В.М. Пестунов. – Оpubл. 05.09.78. – Бюлл. №33.