

УДК 621.9.06-82:621.952

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ
ОТВЕРСТИЙ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ СТАНКА**

Струтинский В.Б., д.т.н., проф.

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", г. Киев

01056, г. Киев, просп. Победы, 37

Тихенко В.Н., к.т.н., доц.

Одесский национальный политехнический университет

65044, г. Одесса, проспект Шевченко, 1

E-mail: Salenko2006@ukr.net

Розглянуті принципи удосконалення гідравлічних компонентів технологічної системи при обробці глибоких отворів ружійними свердлами. Показана можливість адаптивного керування процесом глибокого свердлування на основі сигналів декількох сенсорів в режимі реального часу.

Ключові слова: глибоке свердлування, вісьова складова сили різання, гідропривод подачі, адаптивне керування.

Principles of perfection hydraulic components of the technological system are considered at treatment of the deep hole gun drills. Possibility of adaptive control the process of the deep boring is rotined on the basis of signals of a few sensors real-time.

Keywords: the deep hole drilling, the axial component of cutting force, the feed hydraulic drive, the adaptive control.

Введение. Одним из направлений развития современного машиностроения является внедрение прогрессивных технологических процессов, которые совмещают предварительную и окончательную обработку поверхности детали в одном цикле. К этим процессам относится обработка глубоких отверстий инструментами одностороннего резания с внутренним подводом смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС), в том числе ружейными сверлами, в таких деталях, как цилиндры, глубинные насосы, трубы радиаторов охлаждения и др. [1, 2].

Анализ предыдущих исследований. Обработка глубоких отверстий имеет ряд особенностей:

1. Недостаточная жесткость инструмента (особенно жесткость на кручение).

2. Скорость резания изменяется от максимальной в периферийной точке режущей кромки до практически нулевой в зоне образования нулевого стержня, поэтому условия резания в зоне образования нулевого стержня значительно отличаются от условий резания на остальных участках режущей кромки.

3. Обработка всегда происходит при большом расходе СОТС, влияние которой при обработке глубоких отверстий инструментами одностороннего резания значительно отличается от других видов лезвийной обработки.

В процессе работы сверло испытывает сложные деформации: кручение, сжатие и продольный изгиб. Трудности обработки возрастают с увеличением длины отверстия, поэтому для достижения требуемой точности и получения заданного качества поверхностного слоя обработку производят за не-

сколько проходов, что снижает производительность. Повышение производительности обработки при сверлении глубоких отверстий на черновых операциях может быть достигнуто увеличением подачи, скорости и глубины резания. Однако назначение повышенных скоростей резания вызывает интенсивный износ режущего лезвия, а увеличение глубины резания и подачи приводит к преждевременной поломке инструментов из-за их недостаточной прочности. Так как в ближайшее время создание новых инструментальных материалов, имеющих повышенную износостойкость и прочность маловероятно, то необходимо применять другие методы повышения производительности.

Проблема повышения эффективности обработки глубоких отверстий инструментами одностороннего резания является актуальной в связи с ростом номенклатуры деталей, содержащих такие отверстия, и повышением требований к их качеству. К решению этой проблемы следует подходить с позиций системного подхода, при этом выбирать такие схемные и конструктивные решения, реализация которых может дать существенный эффект. Публикации по вопросам обработки глубоких отверстий сравнительно малочисленны и, в основном, представлены в периодических изданиях и монографиях. В материалах специализированных выставок и проспектах фирм-изготовителей, как правило, приводятся лишь фрагментарные сведения о конструкциях сверл, особенностях станков для глубокого сверления.

Наблюдается тенденция использования ружейных сверел не только в специальных станках для глубокого сверления, но в многоцелевых станках типа обрабатывающий центр. Например, флагман

российской тяжелой индустрии «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск» (<http://www.2ks.ru/ZIO/tech/5>) для сверления глубоких отверстий в деталях типа трубных досок подогревателей высокого давления для энергоблоков АЭС толщиной до 300 мм применяет специализированные двухшпиндельные станки с подвижным порталом (разработчик - СКБАРС, г. Одесса), оснащенные системами ЧПУ фирмы SIEMENS (Германия) модели Sinumeric 880ME и диагностики состояния режущего инструмента фирмы SANDVIK COROMANT (Швеция) мод. TM2000-014. Станки обеспечивают возможность сверления глубоких отверстий ружейными сверлами одностороннего резания диаметром от 11 до 25 мм, а также зенкерования, развертывания, растачивания отверстий по точным координатам, фрезерования по контуру с линейной и круговой интерполяцией, нарезания резьбы метчиками, резцом и фрезами по методу "MS-Planet".

Основными направлениями совершенствования металлорежущего инструмента являются: его рациональный выбор, определение конструктивных геометрических параметров режущей части, количество режущих элементов, одновременно участвующих в резании, соблюдение условий заточки и доводки поверхностей, выбор наиболее выгодного режима резания с учетом физико-механических свойств обрабатываемого материала.

В отечественной практике применяют различные конструкции инструментов для обработки глубоких отверстий, в которых задача повышения стойкости сверла решается либо за счет изменения формы, или расположения режущих и направляющих элементов [3, 4], либо путем повышения стойкости режущих элементов. Например, разработана технология нанесения износостойких пленочных покрытий на рабочие поверхности инструментов (на основе патента России № 2023027, автор Шматов А.А., <http://www.belarus.net/discovery/Shmatov/shmat3m>).

Технология позволяет получать износостойкие покрытия, повышающие эксплуатационную стойкость инструмента. Результаты испытаний сверел для глубокого сверления (длиной до 400 мм) фирмы «Stock» (Германия), упрочненных по новой технологии, показали повышение их стойкости в 1,8 раза.

Цель работы. Анализ схемных и конструктивных решений станков для глубокого сверления показывает, что еще недостаточно используются резервы гидравлических компонентов технологической системы, поэтому целью данной статьи является изложение принципов совершенствования гидравлических компонентов технологической системы при обработке глубоких отверстий ружейными сверлами.

Материал и результаты исследований. Исследования вибросверления глубоких отверстий с помощью следящего гидропривода в качестве вибратора показали улучшение дробления стружки, значительное повышение производительности процесса и увеличение стойкости инструмента [5]. Однако такие решения приводят к усложнению конструкции

привода подачи, повышению трудоемкости изготовления станка.

Главным недостатком ружейных сверел традиционной конструкции является их низкая стойкость, что особенно проявляется при сверлении труднообрабатываемых материалов. Это связано с малым давлением СОТС в зоне обработки, т. к. эта зона связана щелью с большим поперечным сечением со стружкоотводным каналом. Кроме того, щель, соединяющая зону обработки и стружкоотводный канал, образованная ребром вспомогательной задней поверхности сверла и поверхностью резания, оказывает определяющее влияние на давление СОТС в полости «задние поверхности сверла - поверхность резания». Эта щель является основным гидросопротивлением в гидросистеме подачи СОТС, которая выполнена как система с дросселированием потока жидкости.

Если пренебречь потерями давления в подводящих магистралях и обозначить как p_n – давление СОТС, в зоне обработки, а p_c – давление СОТС в стружкоотводном канале, то перепад давлений $\Delta p = p_n - p_c$ и расход Q жидкости через поперечное сечение вышеуказанной щели связаны уравнением:

$$Q = \mu S \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}},$$

где μ – коэффициент расхода; S – эффективная площадь проходного сечения щели; γ и g – удельный вес жидкости и ускорение свободного падения.

Отсюда перепад давления равен:

$$\Delta p = \frac{\gamma}{2g} \left(\frac{Q}{\mu S} \right)^2.$$

Давление p_c практически равно атмосферному и им можно пренебречь, поэтому перепад давления в зоне обработки можно принять равным p_n .

Ассортимент жидкостей для СОТС ограничен, их удельный вес примерно одинаков. Почти все из них содержат различные присадки, улучшающие процесс глубокого сверления: возможно использование органических соединений азота, серы, фосфора, хлора, а также дисульфата молибдена. Влиять на перепад давления можно путем изменения расхода Q или эффективной площади проходного сечения S . Однако величина площади щели S связана с конфигурацией поверхности резания и определяется геометрическими параметрами режущей и направляющей части ружейного сверла. Изменение конфигурации вспомогательной задней поверхности, ребро которой образует одну из кромок щели, приводит к значительному усложнению заточки. Повышение расхода Q увеличивает разогрев СОТС при дросселировании потока через щель, что приводит к возрастанию температуры в зоне обработки.

Традиционные конструкции ружейных сверел не могут быть приспособлены для подачи струи СОТС одновременно как в место контакта стружки с передней поверхностью сверла, так и на задние поверхности. Разработками конструкций ружейных сверел, в которых более эффективно используется

энергия потока СОТС, занималась группа ученых Одесского национального политехнического университета (Астахов В.А., Айрикан А.Л., Гнатюк А.П. и др.).

С целью повышения стойкости ружейного сверла на поверхности V-образного стружкоотводного канала, непосредственно примыкающей к рабочей части, было предложено расположить вставку, торцевая поверхность которой выступает в осевом направлении относительно вспомогательной задней поверхности сверла. Вставка выполнена регулируемой в осевом направлении, что позволяет повысить давление СОТС в зоне обработки (полости «задние поверхности сверла - поверхности резания») за счет уменьшения площади поперечного сечения щели, через которую СОТС в виде пульпы из зоны обработки попадает в стружкоотводный канал и далее отводится в бак. Это улучшает условия смазки и охлаждения задней поверхности сверла, а, следовательно, уменьшает износ режущих лезвий.

Результаты исследований показывают, что стойкость сверел для глубокого сверления с внутренним подводом СОТС определяется временем образования фаски износа по задней поверхности. Таким образом, повышение давления СОТС в полости «задние поверхности сверла - поверхности резания» способствует повышению стойкости сверел за счет лучшего проникновения СОТС под задние поверхности режущих лезвий, т. е. в узкие зазоры между задними поверхностями сверла и поверхностью резания, которые характеризуются высоким гидросопротивлением. Повышение давления в полости «задние поверхности сверла - поверхности резания» необходимо именно для преодоления этих гидросопротивлений.

Сверло (рис. 1) содержит борштангу 1 с полостью 2 для подвода СОТС, рабочую часть 3 с двумя каналами 4 и 5 для подвода СОТС. Канал 4 соединяет полость 2 для подвода СОТС с передней поверхностью режущего лезвия сверла, а канал 5 – с задней. На рабочей части размещены режущая пластина 6 и направляющие элементы 7. Диаметрально противоположно режущему лезвию пластины 6 вдоль стебля борштанги расположен V-образный стружкоотводный канал 8.

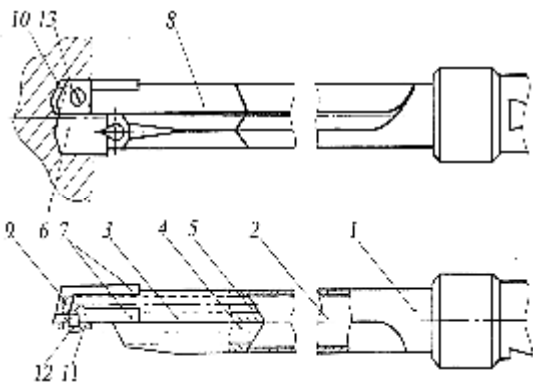


Рисунок 1 – Ружейное сверло с высоконапорной подачей СОТС по передней и задней поверхности

Диаметрально противоположно режущему лезвию пластины 6 вдоль стебля борштанги расположен V-образный стружкоотводный канал 8.

На поверхности канала 8, непосредственно примыкающей к рабочей части, размещена вставка 13, торцевая поверхность 10 которой выступает в осевом направлении над вспомогательной задней поверхностью сверла 9. На вставке 13 выполнен паз 11, за счет которого при отжатии винта 12 имеется возможность осевого перемещения вставки.

При работе сверла СОТС от патрона подается в полость 2. Далее поток СОТС разделяется на два: один подается через канал 4 к передней поверхности режущего лезвия сверла и отводится со стружкой по стружкоотводному каналу 8; другой подается в полость «задние поверхности сверла - поверхности резания», где служит для смазки и охлаждения задних поверхностей режущего лезвия, а также смазки и охлаждения направляющих элементов 7. Давление СОТС в этой полости определяется площадью поперечного сечения щели между поверхностью резания и торцевой поверхностью 10 вставки 13. Изменяя осевое положение вставки, можно регулировать площадь поперечного сечения щели в широких пределах, что приводит к соответствующим изменениям давления СОТС в полости «задние поверхности сверла - поверхности резания». Как показали выполненные исследования, даже небольшое повышение давления в полости «задние поверхности сверла - поверхности резания» увеличивает стойкость сверел в 3-5 раз. Кроме того, высокие скорости потока СОТС, выходящего из щели, способствуют лучшим условиям отвода стружки по каналу 8. Определено рациональное соотношение между диаметрами каналов 4 и 5, по которым СОТС направляется к передней и задней поверхности сверла.

Еще одним направлением повышения эффективности является реализация адаптивного управления гидросистемой привода подачи сверла. Наиболее информативным показателем процесса глубокого сверления является изменение сил резания, которое обусловлено совместным влиянием изменений припуска на обработку, колебаниями твердости обрабатываемого материала, затупления режущего инструмента и др. Характерной особенностью гидропривода является то, что он не только передает энергию рабочему органу, но и содержит информацию о работе гидродвигателя и его состоянии. Перепад давлений рабочей жидкости в полостях гидродвигателя подачи сверла пропорционален действующей на него величине нагрузки (в данном случае осевой силе сверления). Для осуществления адаптивного управления необходимы экспериментальные зависимости силовых параметров от режимов резания. Для исследований использовался специальный станок для обработки глубоких отверстий, изготовленный Одесским станкостроительным производственным объединением. Режущая и направляющая части ружейного сверла были изготовлены из твердого сплава марки ВК8. Тип СОТС – маловязкое минеральное масло марки МР-3, легированное небольшим количеством растительного масла.

тельных масел, а также высокоактивными противозадирными серосодержащими присадками, тонкость очистки СОТС составляла 25 мкм.

Крутящий момент и силы резания, возникающие при глубоком сверлении, измерялись по методике Астахова В.П. и Айриkyяна А.Л [6]. На корпус сверла наклеивались тензодатчики, подключенные к специально разработанной информационно-измерительной системе, в которую входили тензоусилитель типа «Топаз», предварительный усилитель, регистрирующий прибор. В качестве регистрирующего прибора применялся быстродействующий самопишущий милливольтметр Н-338. Для визуального контроля уровня сигналов и настройки системы использовался блок измерительных приборов.

Типовая зависимость крутящего момента M от времени t (рис. 2) на начальном этапе обработки ружейным сверлом имела 4 временных участка: 1 – участок неопределенного базирования режущей кромки; 2 – участок, когда режущая кромка полностью вошла в отверстие; 3 – участок, когда в контакт с отверстием вступают направляющие элементы; 4 – участок относительно стабильного крутящего момента сверления. Правее еще раз показано стабильное состояние процесса обработки через небольшой промежуток времени. Составляющие усилия резания на начальном этапе обработки имели подобный характер.

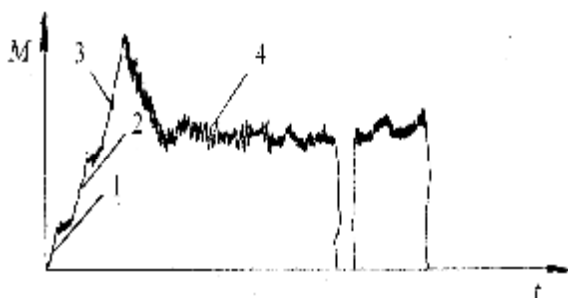


Рисунок 2 – Зависимость крутящего момента при глубоком сверлении

Затем экспериментально определялись значения составляющих сил резания при изменении скорости резания и подачи сверла. Обработка результатов исследований проводилась методом прямого однофакторного эксперимента. Опыты выполняли согласно матрице полного факторного эксперимента типа 2^3 с обработкой полученных результатов на ПЭВМ. Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивали по критерию Стьюдента, адекватность полученных уравнений проверяли по критерию Фишера при 5%-ном уровне значимости.

Была предложена система адаптивного управления с обратной связью по перепаду давлений в гидроцилиндре подачи сверла [7]. Величина осевого усилия имеет ограничения, исходя из условий предохранения сверла от потери продольной устойчивости и разрушения инструмента. Адаптивная система позволяет обеспечить стабилизацию осевого усилия, а в случае приближения к предельному значению

усилия – прекращение процесса резания и вывод сверла. В этом случае для управления гидроцилиндром подачи сверла используются электрогидравлические усилители либо гидроаппараты с пропорциональным электрическим управлением. Такую систему несложно реализовать при модернизации гидрофицированных станков для глубокого сверления уже находящихся в эксплуатации.

Известные схемы обработки глубоких отверстий малого диаметра базируются на управлении скоростью подачи режущего инструмента при неизменной частоте вращения шпинделя. Однако можно существенно увеличить эффективность процесса, если обеспечить векторное управление путем одновременного варьирования скорости подачи и частоты вращения шпинделя [8]. Векторное управление отличается от скалярного тем, что относительно независимые приводы подачи сверла и частоты вращения шпинделя становятся связанными через процесс резания. В электроприводе главного движения используется бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя с помощью частотного преобразователя, например, управляемого от системы ЧПУ станка.

В связи с этим представляют практический интерес зависимости осевой силы от произведения скорости резания v на величину подачи сверла s , т. е. от производительности процесса глубокого сверления. Одна из таких экспериментальных зависимостей, имеющих характер монотонно возрастающих степенных функций, представлена на рис. 3.

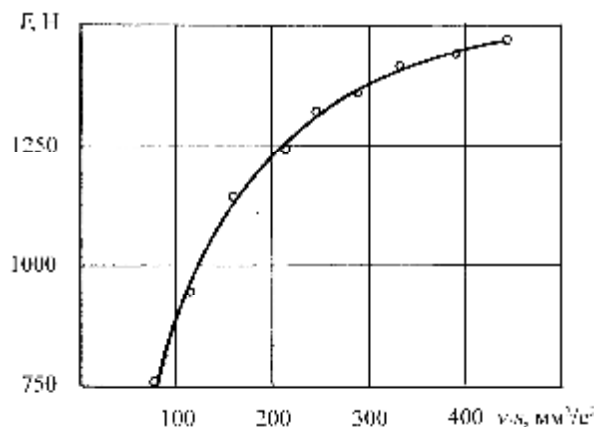


Рисунок 3 – Зависимость осевого усилия от производительности процесса глубокого сверления отверстий

Обработку глубоких отверстий осуществляют с подачей в рабочую зону значительных расходов СОТС $10 \div 250 \text{ м}^3/\text{с}$ при давлении $1,5 \div 12 \text{ МПа}$. Это приводит к тому, что затраты мощности на подачу и регенерацию СОТС примерно в 15 раз превышают затраты мощности на резание. Поток жидкости должен быть таким, чтобы обеспечить не только охлаждение режущих кромок и удаление стружки в виде пульпы из зоны обработки, но и стабилизацию стебля сверла, динамическую устойчивость его рабочей части [3]. В гидросистеме подвода СОТС обычно используют каскад шестеренных насосов с

несколькими приводными асинхронными электродвигателями, что позволяет оператору ступенчато изменять количество жидкости, поступающей в рабочую зону.

Для энергосбережения целесообразно использовать один большой насос, производительность которого можно автоматически регулировать с помощью изменения частоты вращения приводного электродвигателя насоса от частотного преобразователя. Тогда для адаптивного управления к силовым параметрам, можно добавить сигналы датчиков расхода СОТС, добиваясь снижения энергозатрат в станке при взаимосвязанной работе двух гидросистем: подвода СОТС и подачи сверла вдоль его оси. Перспективным методом измерения расхода СОТС является использование расходомеров с накладными ультразвуковыми чувствительными элементами. При этом не нарушается целостность трубопроводов и в поток СОТС не вносятся дополнительные сопротивления.

Если сигналов от датчиков силовых параметров и расхода СОТС будет недостаточно для эффективного управления процессом, то дополнительно можно использовать данные акустической эмиссии. В этом случае можно организовать управление станком на основе интеллектуальных экспертных моделей с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей [9, 10]. Процесс резания при обработке глубоких отверстий относится к эргодическим стационарным случайным процессам с нормальным (гауссовским) распределением плотности вероятности силовых факторов [3]. Результаты измерения вибрации, как и любые другие физические измерения, также подвержены некоторой случайности. Однако аппарат нейронных сетей относится к статистическим математическим методам, что позволяет ставить диагноз в режиме реального времени при значительных случайных составляющих обрабатываемых сигналов.

Выводы. Полученные результаты исследований могут быть использованы для оптимизации обработки глубоких отверстий, а также для реализации систем диагностики и автоматического управления процессами глубокого сверления. Схемные и конструктивные решения можно реализовать как при проектировании новых станков для глубокого сверления, так и при модернизации уже существующих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка глубоких отверстий / Под. ред. Н. Ф. Уткина. – Л.: Машиностроение, 1988. – 269 с.
2. Серебrenицкий П.П. Технология сверления глубоких отверстий // Мир техники и технологий. – 2007. – С. 54-57.
3. Астахов В.П. Научные основы разработки компонент технологических систем обработки отверстий инструментом одностороннего резания. Автореф. дис ...д-ра техн. наук: 05.02.05/Тульск. политехн. ин-т. – Тула, 1991. – 30 с.
4. Гнатюк А.П., Анельчик Д.Е., Варчук А.В. Повышение стойкости ружейных сверл за счет оптимизации их геометрических параметров // Труды Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1998. - Вып. 1(5). – С. 147-149.
5. Тихенко В. Н., Гнатюк А. П. Исследование гидропривода станка для обработки глубоких отверстий // Вибрация в технике и технологиях.— Винница, ВГАУ, 2003. - № 2(28). – С. 66—68.
6. Астахов В.П., Айриkyн А.Л. Универсальная измерительно-информационная система для исследования системы СПИД // Металлорежущие станки. – К., Техніка, 1983. - № 11. – С. 56–58.
7. Тихенко В. Н., Гнатюк А. П., Королькова М. В. Управление гидроприводом подачи инструмента в станке для глубокого сверления. // 36. наук. праць Кіровоградського держ. техн. ун-ту. - Кіровоград, 2004. - Вип. 15. – С. 417-420.
8. Левченко А.И., Назаренко Д.В. Экспериментальное исследование динамических характеристик процесса глубокого сверления // Вестник Севастоп. гос. техн. ун-та. - Севастополь, 2000. - Вып. 27. – С. 127-130.
9. Zakharov V.N. Intelligent control systems: Principal concepts and definitions // Journal of computer and systems sciences international, Vol. 36, № 3, 1997. P. 88-95.
10. Медведев В.В. Управление станками с ЧПУ на основе нейросетевых моделей // Мир техники и технологий. – 2006 - № 9(58). - С. 52 – 53.

Стаття надійшла 05.05.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Саленком О.Ф.