

Разработка спиральных сверл повышенной жесткости

Д.В. Емельянов

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ» г.Набережные Челны, Россия

Аннотация: По своим конструктивным особенностям спиральное сверло известно уже достаточно давно, и представляет собой сложное тело винтообразной формы. При этом отдельные конструктивные элементы, например угол наклона винтовой стружечной канавки - ω , угол в плане - 2φ , спиральных сверл и рациональные взаимосвязи между ними могут в значительной степени повлиять на работоспособность спиральных сверл. Сверление спиральными сверлами на станках с ЧПУ производится без кондукторных втулок. Необходимо использовать инструмент повышенной жесткости и надежности. Это позволит получать отверстия с малым отклонением их осей, обеспечить лучшее самоцентрирование и меньший увод оси. Спиральные сверла стандартной конструкции не могут обеспечить всех этих требований.

Ключевые слова: Сверло, прочность, жесткость.

Спиральная стружечная канавка обычно выполняет две функции: является передней поверхностью главной режущей кромки (ГРК); служит каналом для отвода стружки из зоны резания. Форма и размеры спиральной стружечной канавки, а также поперечное сечение спирального сверла должны обеспечивать достаточную прочность и жесткость режущего инструмента, но, несмотря на это спиральное сверло, имеет большое количество недостатков, среди которых: недостаточная надежность, низкая прочности, малая жесткость, невысокая производительность [1].

В процессе эксплуатации спиральное сверло испытывает влияние крутящего момента $M_{кр}$ и $P_{ос}$ – осевой силы, а также результирующей радиальной силой, которая возникает на ГРК в результате чего инструмент испытывает продольные и поперечные деформации, которые в значительной степени влияют на его работоспособность. Так, например, при сверлении отверстия в сплошном материале наблюдается рост крутящего момента по мере увеличения глубины отверстия и при достижении границы $L/d_0=(3...5)$ увеличивается риск разрушения спирального сверла. Влияние осевой силы в значительной степени проявляется при формообразовании сквозных отверстий в тот момент, когда поперечная режущая кромка вышла из материала. В этот момент происходит резкая подача заготовки на инструмент, в результате чего происходит разрушение. Другой случай влияния осевой силы наблюдается в самом начале процесса сверления, когда в контакт с заготовкой вступает перемычка спирального сверла. Основные причины разрушения спиральных сверл отразим в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Основные причины разрушения спиральных сверл.

Причины разрушения спиральных сверл	
Механические	Технологические
<p>Разрушения с вязанные с увеличением крутящего момента:</p> <ul style="list-style-type: none"> - значительные припуски на обработку - увод оси сверла - некорректный выбор геометрии режущей части спирального сверла - брикетирование стружки в стружечных канавках 	<ul style="list-style-type: none"> - отклонение от заданных параметров точности обрабатываемой поверхности детали - некорректно рассчитанные или выбранные режимы резания - не удовлетворительное состояние технологической оснастки и оборудования - низкая точность наладки технологической системы - наличие СОЖ и ее свойства
<p>Выкрашивание режущих кромок спирального сверла</p> <ul style="list-style-type: none"> - поверхностные деформации - низкое качество инструментального материала - термические напряжения 	
<p>Разрушение спиральных сверл в недостаточной прочности</p> <ul style="list-style-type: none"> - дефекты термообработки - низкое качество инструментального материала - некорректная конструкция режущего инструмента 	

Работа по изучению прочности спиральных сверл с учетом их геометрических характеристик была начата в начале XX века [3, 4], но из-за отсутствия соответствующего математического аппарата не приобрела широкого распространения. В работе [5] при изучении прочности использован метод мембранной аналогии Прандтля, однако влияние угла наклона винтовой стружечной канавки ω на прочность спирального сверла не рассматривается.

Г.Н. Титов [6] впервые озвучил проблему прочности спиральных сверл при их проектировании, тем самым показал ее значение для работоспособности инструмента. Г.Н. Титов приводит данные по геометрическим характеристикам поперечного сечения сверл и расчет максимальной подачи допустимой прочностью рабочей части сверла.

В работе [4] были получены обобщенные эмпирические формулы для определения силовых зависимостей при сверлении:

$$M_{кр} = 8,65D^{2,6} \quad (1.1)$$

$$P_{ock} = 17,6D^2 \quad (1.2)$$

Нагрузки, рассчитанные по формулам (1.1) и (1.2) сверла должны выдерживать без разрушения [4]. Для определения величины разрушающего крутящего момента использовалась формула [4]:

$$M_{кр} = 10,8D^{2,6} \quad (1.3)$$

Зависимости (1.1), (1.2), (1.3) полученные для конкретных условий в работе [4], они не учитывают движение стружки по стружечным канавкам спирального сверла, которое накладывает дополнительную нагрузку на рабочую часть инструмента, поэтому их применение ограничено.

В свою очередь в работе [7] приведены результаты экспериментального исследования, в котором главным образом рассмотрен вопрос прочности режущих кромок. Там же приводятся данные по испытаниям на прочность сложных профилей режущих инструментов при растяжении и кручении. Автором сделан вывод, что осевая нагрузка в отдельности и при совместном ее действии на сверло с крутящей нагрузкой не влияет на прочность сверл диаметром 8 мм и выше, что увеличение толщины сердцевины от режущей части к хвостовику не оправдано и затрудняет отвод стружки, тогда как изменение наклона винтовой канавки ω приводит к изменению прочности спирального сверла.

В работе [8] приведена серия опытов, в результате которых получены зависимости между геометрическими параметрами сечения сверла и его прочностными характеристиками. В этих формулах сечение сверла характеризуется двумя безразмерными параметрами:

$$m=d/D \quad (m=0,14\dots 0,4) \quad (1.4)$$

$$n=h/D \quad (n=0,4\dots\dots 0,8) \quad (1.5)$$

где, D – диаметр сверла, мм

d – диаметр сердцевины, мм

h – ширина пера, мм

Для вычисления крутящего момента в работе [8] определена следующая зависимость:

$$M_{кр}=10^{1,4m+n} 0,003t^3 \quad (1.6)$$

Полученные закономерности носят эмпирический характер, они не учитывают ни движение стружки по стружечным каналам, ни форму поперечного сечения стебля сверла, а также не учитывают влияние угла наклона стружечных канавок, что делает их ограниченными в применении.

Согласно работам [9] кручение любого стержня характеризуется W_p – моментом сопротивления кручению, а зная величину $[\tau]$ – допустимых касательных напряжений можно определить $[M_{кр}]$ – допустимый крутящий момент [2, 5]:

$$[M_{кр}]=[\tau] W_p. \quad (1.7)$$

Зависимости определения жесткости и деформации спиральных сверл получены в работах [3, 4, 7,]. В этих работах изложены аналитические методы расчета, экспериментально-аналитические и экспериментальные. Однако из-за сложности расчетов и из-за плохой сходимости результатов, полученных различными методами, они также широко не используются.

Жесткость спиральных сверл так же исследована в работах [3, 4, 7], где установлено:

- радиальная жесткость сверла в значительной степени зависит от диаметра его сердцевины, увеличение которой от 0,1 до 0,3 D влияет на изменение указанной жесткости наиболее резко;

- с увеличением угла наклона стружечных канавок ω жесткость заметно уменьшается;

В работе [7] исследована жесткость спиральных сверл и их эксплуатационные характеристики. Анализ результатов приведенных автором в этой работе, показал, что стойкость не является линейной функцией жесткости и не всегда повышение жесткости дает эффект, что подтверждается и другими исследованиями. Так же установлено, что сопротивляемость сверла изгибу определяется углом наклона винтовой стружечной канавки – ω .

Наиболее глубокие исследования в области устойчивости спиральных сверл проведены Ю.П. Холмогорцевым, результаты которых приведены в работе [8]. Проведенные теоретические исследования и их экспериментальная проверка показали, что для повышения динамической устойчивости сверл необходимо увеличивать момент инерции сечения путем увеличения сердцевины сверла.

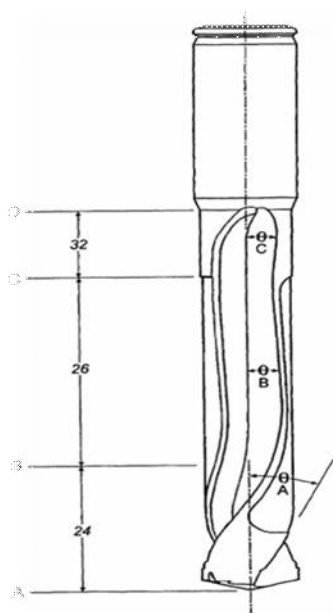


Рисунок 1.1 Разработка фирмы КЕННАМЕТАЛ

Следует отметить что, согласно изобретению KENNAMETAL (USA) предлагается спиральное сверло (Рис. 1.1), имеющее канавки, содержащие первый, второй и третий спиральные участки. Первый спиральный участок (AB) выполнен как у сверл стандартной конструкции, при этом он плавно переходит во второй спиральный участок (BC), который закручен в направлении, противоположном направлению закрутки первого спирального участка. Сделано это для того чтобы увеличит площадь поперечного сечения, тем самым повысить жесткость инструмента. Третий спиральный участок (CD) закручен в направлении первого спирального участка [9].

Так же из изобретения Шейнкмана И. Х., Джакели Л. А., Перцева Е. И., Власова В. М. известно спиральное сверло (Рис. 1.2), содержащее хвостовик и рабочую часть с двумя спиральными стружкоотводящими канавками и сердцевиной, имеющей плавное утолщение по направлению к хвостовику, отличающееся тем, что на рабочей части сверла от главных режущих кромок на длине, равной запасу на переточки, сердцевина выполнена постоянной толщины, а далее - с утолщением 25-35 % на каждые 100 мм длины.

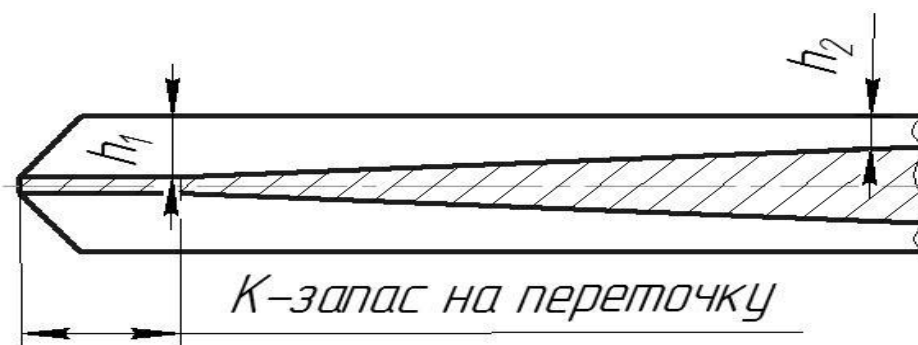


Рисунок 1.2 Спиральное сверло с утолщенной сердцевиной

При такой конструкции сверла его поперечное сечение будет иметь увеличенные геометрические характеристики (W_p , J_p), однако будет сильно затруднен выход стружки, за счет уменьшения площади стружечных канавок, что неблагоприятно скажется на процессе обработки.

В своей работе Каупер Х., Швегерл Ю. утверждают, что в технологии резания на протяжении уже долгого времени используются сверла с винтовыми стружечными канавками. В этом случае винтовая конфигурация стружечных канавок имеет функцию отклонения направления потока стружки, чтобы ломать стружку в стружечной канавке. Недостаток в случае таких инструментов, имеющих спиральную стружечную канавку, заключается в меньшей изгибной прочности сверла. Исходя из известного факта, что использование стружечной канавки, являющейся прямой относительно центральной продольной оси сверла, повышает жесткость сверла и является прочным на изгиб [10].

Так же из известно, что увеличение угла наклона винтовой стружечной канавки ω приводит к снижению жесткости инструмента. Это подтверждается в работе [5], в которой предлагается для повышения жесткости инструмента уменьшить угол наклона ω .

Проанализировав вышеизложенные исследования можно сделать вывод, с увеличением угла наклона винтовых стружечных канавок - ω , уменьшается жесткость спирального сверла, а также может привести к брикетированию стружки, что, несомненно, сказывается на качестве получаемых отверстий. Выполняя стружечную канавку с переменным углом наклона можно добиться высокой жесткости спирального сверла и улучшенного стружкоотвода. Так же важными моментами при производстве спиральных сверл является рассмотрение способов повышения их работоспособности.

На сегодняшний момент спиральный сверла преимущественно выполняют из твердого сплава или быстрорежущей стали. При этом прочностные свойства материалов отличаются друг от друга и приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 Прочность инструментального материала для изготовления спиральных сверл.

Инструментальный материал	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{сжт}$, МПа	Твердость, HRC	Твердость, HRA	Температура красностойкости, $^{\circ}C$

Низкоуглеродистые инструментальные стали	2000-2500	-	61-63	-	260-280
Быстрорежущая сталь	3200-3700	3800	63-67	-	615-650
Твердый сплав	950-1650	3300-4150	-	87-92	800-900
Керамические инструментальные материалы	350-750	1800-3000	-	91-93	1000-1200

Из таблицы видно, что сверла, изготовленные из быстрорежущей стали имеют более высокий предел прочности на изгиб, чем сверла, выполненные из твердого сплава. При этом стоимость твердого сплава выше, чем быстрорежущей стали. Однако уровень красностойкости быстрорежущей стали меньше из-за чего снижается производительность обработки. Поэтому следует рассматривать возможные методы повышения производительности спиральных сверл изготовленных из быстрорежущей стали.

Можно разбить существующие методы повышения работоспособности на несколько групп.

К первой группе можно отнести технологически методы, которые включают в себя:

- определение или применение рациональной геометрии рабочей части спирального сверла;
- предварительная приработка режущей кромки инструмента;
- применение высокоэффективных СОТС.

Данные методы широко используются при изготовлении спиральных сверл и позволяют повысить их работоспособность в 3-4 раза.

Ко второй группе относятся химико-термические методы повышения работоспособности, которые включают в себя:

- закалка спиральных сверл;
- термообработка в вакууме;
- насыщение поверхности азотом, хромом;
- плазменное напыление.

Указанные методы приводят к повышению работоспособности спиральных сверл в 2 раза.

К третьей группе относятся электрофизические методы, которые позволяют повысить работоспособность в 3 раза:

- электроискровая обработка;
- лазерная обработка;
- нейтрализация термоэлектрических явлений.

Приведенные выше методы используются при изготовлении спиральных сверл достаточно широко. При этом необходимость применения одного из методов повышения работоспособности спиральных сверл зависит от экономической эффективности в конкретных производственных условиях.

Таким образом, применение рациональной геометрии спиральных сверл, с переменным углом наклона спирали – ω , является перспективным методом, так как повысится жесткость спирального сверла, улучшится стружкоотвод, а комбинируя данный метод с другими методами можно добиться максимальной работоспособности спиральных сверл.

Вышеизложенное хорошо согласуется с тем, что современное машиностроение стремительно развивается в сторону увеличения автоматизированного оборудования, станков с ЧПУ, обрабатывающих центров, гибких производственных систем и модулей. Поэтому применяя спиральные сверла с переменным углом наклона спирали – ω повысит стойкость инструмента и производительность обработки, уменьшит число отказов оборудования по причине создания инструмента более высокой прочности и надежности, что крайне важно в условиях автоматизированного производства.

Автоматизация современного производства совершенствуется в сторону широкого развития оборудования с числовым программным управлением, робототехнических средств, гибких автоматизированных систем и производств.

Эффективность эксплуатации автоматических линий и станков с числовым программным управлением в основном зависят от гибкости инструментального обеспечения, надежностью работы инструмента его номенклатурой, автоматической смены и др. Все эти требования в полном объеме относятся и к спиральным сверлам и выполняются за счет создания конструкций повышенной жесткости и точности.

Требования, которые предъявляют к спиральным сверлам используемых в автоматизированном производстве следующие:

- возможность быстрого восстановления рабочей части;
- обеспечить размерную стойкость и взаимозаменяемость инструмента;
- инструмент не должен значительно отличаться от стандартного инструмента, что бы его можно было применять на станках любых видов;
- обеспечить надежное удаление стружки без нарушения цикла работы станка.

Поскольку сверление спиральными сверлами на станках с ЧПУ производится без кондукторных втулок, то необходимо использовать инструмент повышенной жесткости и надежности. Это позволит получать отверстия с малым отклонением их осей, обеспечить лучшее самоцентрирование и меньший увод оси. Спиральные сверла стандартной конструкции не могут обеспечить всех этих требований. Зачастую в целях увеличения жесткости сверл их изготавливают с утолщенной сердцевиной, а затем производят подточку поперечной режущей кромки для облегчения процесса резания.

Библиографический список:

1. Емельянов, Д.В. Проектирование и производство спиральных сверл переменной жесткости с изменяемым углом наклона стружечных

- канавок: дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Емельянов. – Казань: КНИТУ им. Туполева А.Н., 2014. – 126 с.
2. Александров, А.В. Сопротивление материалов : учеб. для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. – М. : Высшая школа, 1995. – 560 с.
 3. Титов, Г.И. Прочность металлорежущих инструментов. - М.: Машгиз, 1947. - 297 с.
 4. Катаев, Ю.П. Пластическое кручение полых элементов летательных аппаратов / Ю.П. Катаев. – М. : Машиностроение, 1985. – 128 с.
 5. Холмогорцев, Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий. - М: Машиностроение, 104. - 128 с.
 6. Савин И.А. Исследование характеристик износостойких покрытий, наносимых на режущие инструменты сложной формы методом катодно-ионной бомбардировки//Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 9. С. 41-44.
 7. Савин И.А. Вопросы выбора материала режущей части инструмента при проектировании обработки резанием [Текст] // Современная техника и технологии. 2015. № 1 p.67-71 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/?p=5589>
 8. Savin I.A. Los rasgos las elecciones del material de la parte que corta del instrumento al diseñado del tratamiento por el corte [Текст] // Modern scientific researches and innovations. 2015. №1 p.222-225 [Electronic journal]. URL: <http://web.snauka.ru/en/issues/2015/01/46088>
 9. Khakimzyanova A.A., Sadikov I.R., Savin I.A. Heat of combustion engines. analysis of the application // Modern scientific researches and innovations.2015.№ 10 p. 223-228 [Electronic journal]. URL: <http://web.snauka.ru/en/issues/2015/10/58160>
 10. Cowper H. Drill: патент № 2462335/ Cowper H., Shvegerl J.