

---

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

**Т**ехнология обработки глубоких отверстий является сложной технологической задачей, поскольку параметры этих отверстий в ряде деталей типа труб определяют их качественные характеристики. Кроме того, при производстве таких деталей, как цилиндры глубинных насосов, трубы спецсистем, трубы радиаторов охлаждения и т. п., временные затраты при их изготовлении в основном определяются временем операций по обработке глубоких отверстий. Это объясняется особой спецификой процессов получения глубокого отверстия и его обработки, что выделило технологию обработки глубоких отверстий из технологий получения и обработки отверстий обычной длины (глубины), характерных для большинства изделий в общем машиностроении.

Стремление к быстрому получению глубоких отверстий с высокими качественными характеристиками привело к возникновению специальных технологий, специального оборудования, специальной технологической оснастки, специальных методов работ и технологических приемов. Технология обработки глубоких отверстий получила самостоятельный статус среди технологий машиностроения вначале как технология специального производства, а потом уже как специальная технология общего машиностроения.

В нашей стране многие исследователи, технологии, конструкторы и рабочие занимались исследованиями, отработкой и внедрением технологий обработки глубоких

отверстий. Их трудам мы сейчас обязаны высоким уровнем состояния технологий глубокого сверления, растачивания, хонингования, раскатывания и других операций по обработке глубоких отверстий в стране, что позволяет в непростых условиях отечественного производства выпускать продукцию, не уступающую лучшим мировым образцам.

Выпускалось и до сих пор выпускается специальное оборудование высокого уровня. Созданы и проверены практической оригинальные конструкции инструмента и другой технологической оснастки, разработаны и внедрены эффективные технологические процессы. Среди наиболее активных отечественных исследователей прошлых лет могут быть отмечены И. С. Веремейчук, Т. К. Крылов, А. И. Павлючук, В. Н. Подураев, Л. П. Телятников, Н. Д. Троицкий, А. Д. Тукмачев, М. Н. Улитин, С. А. Черничкин и др.

В становление современного состояния технологий обработки глубоких отверстий большой вклад внесла научная школа доктора технических наук М. А. Минкова, по инициативе которого была создана (при кафедре спецпроизводства в Ленинградском Механическом институте — ныне Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова) и работала более 20 лет Отраслевая научно-исследовательская лаборатория технологий по обработке глубоких отверстий (ОНИЛ ТОГО). В разные годы в ней и на кафедре под руководством М. А. Минкова активно и успешно работали А. И. Давыдов, М. В. Потягайло, Ш. А. Красильщиков, В. И. Модестов, Н. Ф. Уткин, Б. В. Злотницкий, А. Д. Титковичев, А. Г. Рябинок, Ю. Д. Сузанович, И. Г. Космачев, Ю. В. Крылов, И. Г. Жарков, Ф. М. Дроздов, О. Л. Дулько, А. А. Шаманин, А. А. Кирюхин, Г. А. Безруков, А. Г. Краснов, А. Л. Попов.

**Их светлой памяти и посвящается эта книга.**

И ныне на кафедре «Технология машиностроения» БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова имеются специалисты, успешно работающие в области технологий обработки глубоких отверстий и являющиеся активными носителями громадного опыта по этой уникальной технологии, накопленного за прошедшие десятилетия.

Поддерживать и повышать достигнутый технологический уровень обработки глубоких отверстий — важная задача ныне работающих специалистов, поскольку значение этих технологий в современном производстве непрерывно расширяется, увеличивается сфера их использования в самых различных отраслях промышленности.

Существенные особенности технологии обработки глубоких отверстий требуют освещения большого круга задач. В данной книге сделана попытка представить основные материалы по технологии сверления глубоких отверстий, поскольку этот процесс при обработке большинства деталей является главным, формоопределяющим.

Книга содержит данные по основным аспектам технологии сверления глубоких отверстий в различных деталях. Даётся описание схем глубокого сверления. Приводятся данные по режущему и вспомогательному инструменту к глубокосверлильному оборудованию, по схемам и методам проектирования и выбора режущего инструмента, по подбору и отладке его параметров в зависимости от заданных условий его работы. Кратко рассмотрены конструкции оборудования, схемы его модернизации. Определенное внимание удалено методам управления качеством в производстве деталей с глубокими отверстиями.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и направлению подготовки специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Книга будет полезна технологам машиностроительных производств и передовым рабочим. Параграф 3.11 и глава 5 написаны Ю. И. Кижняевой.

За теплое и дружеское отношение и оказанную помощь в работе авторы выражают сердечную благодарность и признательность уважаемым рецензентам К. М. Иванову и В. И. Григорьеву, а за внимательный просмотр материала и за помощь в оформлении рукописи — инженеру М. И. Колодий.

---

## **ВВЕДЕНИЕ**

**К** глубоким отверстиям (ГО) принято относить отверстия с соотношением длины  $L$  к диаметру  $d$  более пяти, т. е.  $L/d > 5$ .

Детали с глубокими отверстиями изготавливаются во всех областях машиностроения и приборостроения. Глубокие отверстия являются в основном конструкторскими и технологическими базами, сопряжены с подвижными элементами машин и механизмов, определяют их эксплуатационные характеристики, надежность и долговечность в работе. К главным требованиям к отверстиям в деталях следует отнести диаметральную точность, заданную шероховатость, отклонения от круглости. Важный параметр точности — это прямолинейность оси глубокого отверстия. В ряде случаев к числу особых требований к деталям-валам и деталям-трубам относят требования по разностенности.

Самой сложной операцией при изготовлении отверстий в деталях является операция сверления, выполнение которой традиционным для ГО инструментом является крайне трудоемким и малопроизводительным, а при определенных длинах (глубинах) отверстий практически невозможным. Поэтому как в специальном, так и в общем машиностроении при сверлении ГО в деталях по возможности стремятся использовать специальные технологии, определяемые как *технологии глубокого сверления*.

Эти технологии являются специфическими, а осуществление их требует, как правило, соответствующего обо-

рудования и технологического оснащения, а именно специальных режущих, вспомогательных, измерительных инструментов и приспособлений, и обязательно исполнения специальных технологических приемов.

Специфика операций глубокого сверления состоит в том, что при осуществлении процесса в зону резания к инструменту-сверлу подается смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) под большими давлениями и с большими расходами, существенно отличающимися по величине от обеспечиваемых насосными системами обычного металлорежущего оборудования.

*Фактор подачи СОЖ* в зону резания является *главным* в операциях обработки глубоких отверстий, определяющим в основном специфику не только процесса, но и применяемого оборудования, технологической оснастки и технологических приемов. При обработке глубоких отверстий по схемам глубокого сверления практически все является специальным, а в ряде случаев принципиально отличающимся от аналогичного в общем машиностроении.

В операциях глубокого сверления СОЖ должна выполнять ряд функций, *главные* из которых — отведение стружки из зоны резания и транспортировка ее по отводным каналам, а также уменьшение сил резания и трения между направляющими элементами и поверхностью отверстия, отведение тепла, образующегося в процессе резания и трения. Для этого СОЖ должна иметь соответствующие свойства, а оборудование должно обеспечивать подачу СОЖ в зону резания в необходимом количестве при соответствующем давлении и с требуемыми расходами.

Технология глубокого сверления может быть выделено пять.

**Глубокое сверление универсальным и специализированным инструментом** предполагает использование для ведения процесса модернизированных спиральных сверл, т. е. удлиненных сверл, имеющих отверстия в теле сверла для подвода СОЖ в зону резания, или пластинчатых сверл, закрепляемых на длинных оправках.

**Технология ружейного сверления** (*нем. Gan-drilling*) предполагает использование так называемых ружейных

сверл, которые в отечественной технической литературе определяются как трубчато-лопаточные или как сверла одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ [1], [9]. Этот однорезцовый инструмент дал основание применять в международной практике также термин «система глубокого сверления ELB» (*нем.* ELB — einlippenbohrer — однорезцовое сверло). Иногда рассматриваемый процесс глубокого сверления (в соответствии с немецким термином) называют еще пушечным сверлением, а сверла — пушечными сверлами, что не совсем точно.

**Технология глубокого сверления ВТА** предполагает подвод СОЖ по зазору между стенкой обрабатываемого отверстия и наружной поверхностью стебля. По этому зазору СОЖ подается в зону резания, где забирает стружку и по отверстию в стебле транспортирует ее в стружкоприемник. Название технологии определено в соответствии с наименованием специальной ассоциации Boring and Trepanning Association (ВТА), объединяющей ряд зарубежных стран по теме исследований и разработок систем глубокого сверления. Однако в ряде зарубежных информационных источников рассматриваемая схема называется системой STS (от англ. Single Tube System — система с одной трубой).

Следует, однако, отметить, что такие названия не совсем справедливы, так как отечественные разработки указанной технологии сверления были выполнены задолго до создания указанной ассоциации, что подтверждается ранними техническими публикациями [3], [4]. Данная технология в отечественной литературе долго определялась как «Технология сверления глубоких отверстий с наружным подводом СОЖ», но краткие обозначения — система ВТА или система сверления STS — в современных публикациях преобладают.

**Технология глубокого сверления однотрубным инструментом с внутренней подачей СОЖ** предполагает применение инструмента, конструктивно похожего на инструмент для сверления глубоких отверстий с наружным подводом СОЖ, но приспособленного для наружного отвода стружки при внутренней подаче СОЖ через отвер-

стие в стебле. Встречается определение данной технологии как системы STS (системы с одной трубой) с внутренней подачей СОЖ. Эту технологию определяют часто как разновидность технологии ВТА, но существуют определенные особенности процесса, поэтому целесообразно эту технологию выделить отдельно.

**Технология эжекторного сверления** глубоких отверстий предполагает использование инструмента, имеющего два стебля (две трубы). Поэтому эту систему также называют системой DTS (от англ. Double Tube System — система с двумя трубами). Работа эжекторного инструмента определена спецификой использования в нем специального устройства — эжектора, обеспечивающего отвод стружки из зоны резания. Особенность эжекторного сверления состоит в том, что этот процесс может быть применен на универсальных станках (токарных, сверлильных, горизонтально-расточных и др.) при дополнении их насосной станцией, стационарной или перемещающейся по мере надобности от одного станка к другому.

---

# ГЛАВА ПЕРВАЯ

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

### 1.1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

При рассмотрении материала, а также для исключения повторяемости целесообразно по тексту всей книги использовать ряд терминов и определений, характерных для обработки ГО [1].

#### А. Термины, относящиеся к способам обработки

1. Глубокое сверление — способ сверления, характеризующийся базированием режущего инструмента и наличием принудительного отвода стружки из зоны резания в отверстии потоком смазочно-охлаждающей жидкости или какого-либо иного смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС).

2. Сплошное глубокое сверление — глубокое сверление, при котором глубина резания ( $t$ ) равна половине диаметра отверстия ( $d$ ).

3. Сплошное глубокое сверление с нулевым стержнем — сплошное глубокое сверление, при котором исключены условия смятия металла задней поверхностью инструмента вблизи его оси, что достигается за счет понижения лезвия и сопровождается сохранением части высверливаемого материала в виде нулевого стержня.

4. Кольцевое глубокое сверление — глубокое сверление, при котором только часть материала удаляется из отверстия в виде стружки, а остальная часть удаляется в виде стержня, образуемого путем вырезания кольцевой полости шириной, равной глубине резания.

5. Вибрационное глубокое сверление — глубокое сверление, при котором на обычное осевое движение подачи

инструмента накладывается дополнительное осциллирующее движение.

6. Эжекторное глубокое сверление — глубокое сверление, при котором необходимая скорость потока СОЖ для удаления стружки из зоны резания создается с использованием эффекта эжекции.

7. Глубокое сверление с импульсным подводом СОЖ — глубокое сверление, при котором величина давления потока подводимой СОЖ изменяется с заданной частотой и амплитудой.

8. Глубокое сверление с внутренним отводом стружки — глубокое сверление, при котором отвод стружки и СОЖ производится по внутренней полости инструмента.

9. Глубокое сверление с наружным отводом стружки — глубокое сверление, при котором отвод стружки и СОЖ производится по зазору между поверхностями отверстия и инструмента.

10. Адаптивное глубокое сверление — глубокое сверление, при котором осуществляется автоматическое изменение одного или нескольких параметров резания (например, скорости резания, подачи и т. п.) с целью сохранения на оптимальном уровне параметров процесса.

#### **Б. Термины, относящиеся к инструментам**

11. Режущий инструмент для глубокого сверления — инструмент для получения отверстия резанием в сплошном материале, характеризующийся наличием направляющих элементов и полостей для подвода СОЖ в зону резания и принудительного отвода стружки из отверстия потоком СОЖ или каким-либо иным смазочно-охлаждающим технологическим средством.

12. Составной инструмент для глубокого сверления — инструмент для глубокого сверления, имеющий составные по длине части.

13. Рабочая часть инструмента — часть инструмента для глубокого сверления, включающая корпус с режущими и направляющими элементами.

14. Стеблевая часть инструмента — часть инструмента для глубокого сверления, охватывающая участок длины от

рабочей части до конца инструмента, служащая для при-  
дания инструменту необходимой длины.

15. Сверло для глубокого сверления — инструмент для глубокого сверления, у которого рабочая и стеблевая час-  
ти сочленены посредством неразъемного соединения.

16. Сверлильная головка — обособленная часть состав-  
ного инструмента для глубокого сверления, включающая рабочую часть, дополненную посадочными поверхно-  
стями для соединения со стеблем.

17. Стебель (борштанга) — обособленная стеблевая часть инструмента, дополненная посадочными поверхно-  
стями для соединения с головкой.

*Примечание.* Стебель может выполняться составным  
по длине.

18. Базирование инструмента — схема размещения рабочей части инструмента на поверхности отверстия во время работы с целью повышения поперечной жесткости инструмента и сообщения ему определенного положения.

19. Направляющие элементы — совокупность элемен-  
тов рабочей части инструмента для глубокого сверления,  
служащая для базирования инструмента.

20. Направляющие элементы с натягом — направля-  
ющие элементы, получающие радиальный натяг при вво-  
де инструмента в отверстие.

21. Направляющие элементы без натяга — направля-  
ющие элементы, не получающие радиальный натяг при  
вводе инструмента в отверстие.

22. Направляющие элементы с зазором — направляю-  
щие элементы, базовые поверхности которых расположе-  
ны на окружности с диаметром меньше, чем диаметр ок-  
ружности по калибрующим фаскам режущих лезвий.

23. Вращающиеся направляющие элементы — направ-  
ляющие элементы, вращающиеся в процессе сверления  
относительно корпуса рабочей части инструмента и пере-  
мещающиеся вместе с ним в продольном направлении.

24. Базовая поверхность — поверхность на направля-  
ющих элементах, предназначенная для опоры рабочей  
части инструмента во время его работы на поверхность  
отверстия.

25. Направляющая — часть направляющих элементов, на которой выполнена базовая поверхность.

*Примечание.* Направляющая может либо выполнять-ся в виде обособленной части направляющих элементов, либо оформляться на корпусе рабочей части инструмента.

26. Направляющая шпонка — направляющая, выполненная в виде шпонки, устанавливаемой на корпусе рабо-чей части.

27. Жесткие направляющие — направляющие, изго-тovленные из материала, обладающего настолько малой упругостью, что не представляется возможным только за счет упругих свойств этого материала создать направляю-щие элементы с натягом.

28. Упругие направляющие — направляющие, изго-тovленные из материала, обладающего упругостью, дос-таточной для создания направляющих с натягом только за счет упругих свойств этого материала.

29. Неподвижные направляющие — направляющие, расположение которых относительно корпуса рабочей ча-сти инструмента в радиальном направлении сохраняется неизменным на протяжении одного рабочего хода при любой поперечной нагрузке на инструмент.

30. Ограниченно подвижные направляющие — направ-ляющие, которые во время рабочего хода могут беспре-пятственно перемещаться в радиальном направлении от оси до поверхности отверстия, а перемещение к оси полу-чают лишь при поперечных нагрузках, превышающих предельную, на которую настраивались направляющие перед рабочим ходом.

31. Регулируемые направляющие — направляющие, положение которых в радиальном направлении относи-тельно корпуса инструмента может изменяться перед ра-бочим ходом посредством специально предусмотренного регулирующего механизма.

32. Управляемые направляющие — направляющие, расположение которых в радиальном направлении отно-сительно корпуса рабочей части может изменяться по оп-ределенному закону во время рабочего хода инструмента.

33. Однорядные направляющие элементы — направляющие элементы с расположением всех направляющих по окружности в одном ряду (в одном поясе), ширина которого определяется расстоянием от переднего до заднего конца направляющих.

34. Многорядные направляющие элементы — направляющие элементы с расположением направляющих по окружности в нескольких рядах (в нескольких поясах), ширина каждого из которых определяется расстоянием от переднего до заднего конца направляющих рассматриваемого ряда.

*Примечания.* 1. Допускается многорядные направляющие элементы именовать по числу рядов: двухрядными, трехрядными и т. д. 2. Первым рядом считают ряд, входящий первым в отверстие.

35. Передний конец направляющей — конец направляющей, обращенный в сторону подачи инструмента.

36. Задний конец направляющей — конец направляющей, обращенный в сторону, противоположную подаче.

37. Длина направляющей — расстояние от переднего до заднего конца направляющей.

*Примечание.* Предполагается, что базовая поверхность выполнена на всей длине направляющей. При этом перерывы на базовой поверхности, связанные с размещением крепежных деталей, не учитываются.

38. Режущий элемент — элемент рабочей части инструмента для глубокого сверления, непосредственно осуществляющий срезание стружки с помощью имеющегося режущего лезвия.

39. Режущий элемент монолитный — режущий элемент, выполненный как единое целое с корпусом рабочей части инструмента.

40. Режущий элемент, закрепляемый постоянно, — режущий элемент, выполненный в виде обособленной части, сочленяемой с корпусом инструмента неразъемным соединением, например пайкой.

41. Режущий инструмент, закрепляемый сменно, — режущий элемент, выполненный в виде обособленной части, сочленяемой с корпусом инструмента разъемным соединением.

*Примечание.* К данной разновидности режущих элементов относятся резцы, расточные блоки, жестко закрепляемые на корпусе рабочей части, и т. п.

42. Режущий инструмент плавающий — режущий элемент, выполненный в виде обособленной части, сочленяемой с корпусом инструмента подвижным соединением, допускающим перемещение режущего элемента относительно корпуса в радиальном направлении.

43. Режущая часть — часть режущего элемента, включающая режущее лезвие и участок вблизи него.

44. Режущее лезвие (лезвие) — совокупность режущих кромок режущих элементов, образованная заточкой для срезания припуска на сплошном участке в пределах радиуса отверстия.

45. Режущая кромка — кромка на режущей части, создаваемая заточкой для срезания стружки, представляющая собой участок линии пересечения передней и задней поверхностей без разрывов, изломов и точек перегиба.

*Примечание.* Разрыв кромки стружкоделительными канавками не учитывается.

46. Главная режущая кромка (главная кромка) — режущая кромка, обращенная во время работы инструмента к припуску и в связи с этим выполняющая основную работу резания.

*Примечание.* Одно режущее лезвие может включать одну или несколько главных режущих кромок.

47. Главная режущая кромка внешняя (главная кромка внешняя) — главная режущая кромка, наиболее удаленная от оси инструмента в сравнении с другими главными режущими кромками рассматриваемого лезвия.

48. Главная режущая кромка внутренняя (главная кромка внутренняя) — главная режущая кромка, наиболее приближенная к оси инструмента в сравнении с другими главными режущими кромками рассматриваемого лезвия.

49. Главная режущая кромка средняя (главная кромка средняя) — главная режущая кромка, расположенная в рассматриваемом лезвии между внешней и внутренней главными режущими кромками.

*Примечание.* Инструмент может иметь несколько главных средних режущих кромок; так, например, у однолезвийного инструмента с четырьмя главными режущими кромками две главных средних кромки.

50. Калибрующая кромка — кромка лезвия, соприкасающаяся с обработанной поверхностью и в связи с этим непосредственно участвующая в формообразовании этой поверхности.

51. Калибрующая ленточка — цилиндрическая ленточка на режущей части, примыкающая к калибрующей кромке, которая является образующей рассматриваемой цилиндрической поверхности.

52. Калибрующая вершина — точка пересечения двух режущих кромок, соприкасающаяся во время работы инструмента с обработанной поверхностью и в связи с этим непосредственно участвующая в формообразовании этой поверхности.

*Примечание.* Режущее лезвие может иметь одну или две вершины. В последнем случае режущее лезвие одновременно обрабатывает две поверхности (например, при кольцевом сверлении).

53. Вспомогательная режущая кромка (вспомогательная кромка) — режущая кромка, примыкающая к калибрующей вершине или калибрующей кромке и обращенная во время работы инструмента в сторону, противоположную главному срезаемому припуску.

*Примечание.* Режущее лезвие может иметь одну или несколько вспомогательных режущих кромок.

54. Переходная режущая кромка — участок режущей кромки, используемый как переходной между смежными кромками и выполняемый обычно по радиусу.

55. Двухлезвийный режущий элемент — режущий элемент, имеющий два режущих лезвия и соответственно две режущие части.

*Примечание.* Примером двухлезвийного режущего элемента служит плавающая пластина.

56. Однолезвийный инструмент (однолезвийная сверлильная головка, однолезвийная расточная головка) — инструмент с односторонним расположением режущего

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)